

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>v</b>
<b>1 Mechanik</b>	
1.1 Grundgrößen und ihre Messung	1
1.2 Die Dichte	2
1.3 Die Kraft	2
1.3.1 Wirkung einer Kraft	2
1.3.2 Vektorgrößen	2
1.3.3 Gewichtskraft	4
1.3.4 Hooke'sches Gesetz	5
1.3.5 Kraft und Gegenkraft	5
1.4 Geschwindigkeit/Beschleunigung	6
1.4.1 Geradlinige gleichförmige Bewegung	6
1.4.2 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	7
1.4.3 Durchschnitts- und Momentangeschwindigkeit	9
1.4.4 Durchschnitts- und Momentanbeschleunigung	9
1.5 Kräftegleichgewicht/Trägheitssatz	10
1.6 Reibung/Luftwiderstand	11
1.6.1 Gleitreibungskraft	11
1.6.2 Haftreibungskraft	11
1.6.3 Strömungswiderstand	12
1.7 Das Newton'sche Grundgesetz	13
1.8 Der freie Fall	14
1.8.1 Freier Fall ohne Luftwiderstand	14
1.8.2 Fall mit Luftwiderstand	14
1.9 Überlagerung von Bewegungen, Würfe, Bremsbewegungen	15
1.9.1 Überlagerung gleichförmiger Bewegungen	15
1.9.2 Würfe	15
1.9.3 Bremsbewegungen	19
1.10 Einfache Maschinen	20
1.10.1 Stange und Seil	20
1.10.2 Feste Rolle	20
1.10.3 Lose Rolle	21
1.10.4 Kombination einer festen und einer losen („masselosen“) Rolle	21
1.10.5 Der Flaschenzug	22
1.11 Die physikalische Arbeit	23
1.11.1 Spezialfälle	23
1.12 Leistung	27
1.13 Energie	28
1.13.1 Arten der Energie	28
1.13.2 Verlustfreie Speicherung von, verlustfreie Umsetzung in Arbeit	28
1.13.3 Energieumwandlungen	29

1.14	Impuls	32
1.14.1	Impulserhaltungssatz	32
1.14.2	Ballistisches Pendel	34
1.14.3	Unelastischer Stoß	34
1.14.4	Gerader elastischer Stoß	35
1.14.5	Schiefer Stoß gegen ruhende Wand	37
1.14.6	Kraft und Impulsänderung, Kraftstoß	38
1.15	Die Kreisbewegung	40
1.15.1	Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung	40
1.15.2	Größe der Zentripetalkraft $F_z$ und der Zentripetalbeschleunigung $a_z$	41
1.15.3	Begriffe und Größen bei der Kreisbewegung	42
1.15.4	Vertikale Kreisbewegung	44
1.15.5	Arbeit bei der Kreisbewegung	45
1.15.6	Weitere Beispiele zur Kreisbewegung	46
1.16	Himmelsbewegung und Gravitation	48
1.16.1	Geozentrisches Weltsystem	48
1.16.2	Heliozentrisches Weltsystem	49
1.16.3	Kepler'sche Gesetze	49
1.16.4	Planetenbewegungen	50
1.16.5	Erd- und Sonnenmasse	52
1.16.6	Satelliten auf Kreisbahnen um die Erde	52
1.17	Trägheitskräfte	53
1.17.1	Möglichkeiten zur Beschreibung dynamischer Probleme	54
1.18	Der Stempeldruck in Flüssigkeiten und Gasen	56
1.18.1	Anwendungen des Stempeldrucks	57
1.19	Der hydrostatische Druck (Schweredruck)	58
1.20	Der Auftrieb/Schwimmen, Schweben, Sinken	61
1.20.1	Auftrieb	61
1.20.2	Schwimmen, Schweben, Sinken	63
1.21	Statik der Gase/Gesetz von Boyle-Mariotte	64
1.21.1	Statik der Gase	64
1.21.2	Gesetz von Boyle-Mariotte	66
1.22	Mechanische Schwingbewegungen	67
1.22.1	Schwingbewegung	67
1.22.2	Schwingungsfrequenz	68
1.22.3	Beispiel für eine kompliziertere Anfangsbedingung	69
1.22.4	Energie der mechanischen Horizontalschwingung	70
1.22.5	Die vertikale Federschwingung	70
1.22.6	Die U-Rohr-Schwingung	72
1.22.7	Das Fadenpendel	72
1.23	Gedämpfte Schwingungen/Erzwungene Schwingungen der Mechanik	75
1.23.1	Gedämpfte Schwingungen	75
1.23.2	Erzwungene Schwingungen	76
1.24	Überlagerung von Schwingungen	79

1.24.1	Zahlenbeispiele/Bewegungstypen bei der Überlagerung von Horizontal- und Vertikalschwingung	80
1.24.2	Eindimensionale Überlagerung	83
1.25	Mechanische Querwellen (eindimensional)	85
1.25.1	Transversal- und Longitudinalwellen	85
1.25.2	Reflexion der Transversalstörungen	87
1.25.3	Die sinusförmige Querwelle	88
1.26	Überlagerung von Wellen	92
1.26.1	Überlagerung einer Welle mit ihrer „Reflexion“ – Ausbildung stehender Wellen	94
1.26.2	Stehende Wellen in Trägern	95
1.26.3	Saitenschwingungen	96
1.27	Längswellen (Eindimensional)	99
1.27.1	Ausbreitung von Überdruck- und Unterdruckstörung	99
1.27.2	Reflexion von Längswellen	101
1.27.3	Reflexion einer sinusförmigen Längswelle am festen Ende/losen Ende	102
1.28	Zweidimensionale Wellenfelder (mechanischer Wellen)	103
1.28.1	Erklärung der Reflexion	105
1.28.2	Erklärung der Brechung	106
<b>2</b>	<b>Wärmelehre</b>	
2.1	Die Temperatur und ihre Messung	108
2.2	Längsausdehnung fester Körper beim Erwärmen	110
2.3	Die Volumenausdehnung von Flüssigkeiten/Anomalie des Wassers	111
2.3.1	Anomalie des Wassers	111
2.4	Die Volumenausdehnung der Gase/Kelvinskala	112
2.5	Temperatur und Teilchenbild/Wärme	114
2.5.1	Aufbau der Körper im Teilchenbild	114
2.5.2	Mechanische Arbeit und Wärme	116
2.6	Wärmemenge und spezifische Wärmekapazität	118
2.7	Mischungsversuche	119
2.8	Erscheinungsformen der Stoffe/Schmelz- und Verdampfungswärme	120
2.8.1	Aggregatzustände	120
2.8.2	Schmelzwärme	120
2.8.3	Verdampfungswärme	121
2.9	Ergänzungen: Verdunsten, Siedepunkterniedrigung	123
2.9.1	Verdunstung	123
2.9.2	Siedepunkterniedrigung	123
2.10	Wärmetransport	124
2.10.1	Wärmekonvektion	124
2.10.2	Wärmeleitung	125
2.10.3	Wärmestrahlung	125
2.11	Das allgemeine Gasgesetz	125
2.11.1	Erstfassung des Gasgesetzes	125
2.11.2	Avogadro- oder Loschmidt-Zahl, Endfassung des Gasgesetzes	127

---

2.12	Kinetische Gastheorie	128
2.12.1	Zusammenhang zwischen Druck und Geschwindigkeit	128
2.12.2	Zusammenhang zwischen Temperatur und Geschwindigkeit	130
2.12.3	Innere Energie	130
2.13	Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre	131
2.14	Carnotprozess, 2. Hauptsatz, Wirkungsgrad bei Wärmemaschinen	131
2.14.1	Der Carnotprozess	131
2.14.2	Wirkungsgrad von Wärmemaschinen	133
2.14.3	Einige Erfahrungstatsachen	133
2.14.4	Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre	134
2.14.5	Wärmemaschinen	135
2.15	Strahlungsgesetze	136
<b>3</b>	<b>Akustik</b>	
3.1	Grundtatsachen	138
3.1.1	Amplitude und Frequenz	138
3.1.2	Die Lochsirene	139
3.1.3	Ausbreitung von Schall	140
3.2	Schall als Längswelle	141
3.2.1	Versuche mit Schallwellen	141
3.3	Der Doppler-Effekt: Erreger oder Beobachter einer Welle bewegen sich	145
3.3.1	Erreger bewegt, Beobachter in Ruhe	145
3.3.2	Erreger fest, Beobachter bewegt	148
<b>4</b>	<b>Optik</b>	
4.1	Grundbegriffe	152
4.1.1	Punktförmige Lichtquelle, Lichtstrahl	152
4.1.2	Das optische Bild	152
4.2	Schatten	154
4.2.1	Kernschatten und Halbschatten	154
4.2.2	Die Entstehung der Mondphasen	154
4.2.3	Mond- und Sonnenfinsternisse	155
4.3	Die Reflexion des Lichts	156
4.3.1	Reflexionsgesetz	156
4.3.2	Das Spiegelbild	157
4.4	Die Brechung des Lichts	159
4.4.1	Brechungsgesetz	159
4.4.2	Anwendungen des Brechungsgesetzes	161
4.4.3	Totalreflexion	162
4.4.4	Strahlengang des Lichts im Prisma	163
4.5	Die Sammellinse	164
4.5.1	Strahlengang bei der Sammellinse	164
4.5.2	Abbildung durch Sammellinsen	166
4.6	Das menschliche Auge	169
4.6.1	Veränderung der Brennweite	169
4.6.2	Augenfehler	170

4.7	Der Fotoapparat	171
4.8	Farbiges Licht, Körperfarben	172
4.8.1	Spektralfarben	172
4.8.2	Entstehung des Regenbogens	173
4.8.3	Linienspektrum und kontinuierliches Spektrum	173
4.8.4	Farbabaddition	173
4.8.5	Farbsubtraktion	175
4.8.6	Körperfarben	175
4.9	Newton'sches Teilmodell, Huygens'sches Wellenmodell für Licht	176
4.9.1	Korpuskelmodell des Lichts	176
4.9.2	Huygens'sches Wellenmodell	177
4.10	Messung der Lichtgeschwindigkeit	177
4.10.1	Astronomische Methode nach Olaf Rönnér (1675)	177
4.10.2	Terrestrische Methode nach Fizeau (1849) – Zahnradmethode	178
4.10.3	Drehspiegelmethode nach Foucault	179
4.10.4	Ergebnisse der Lichtgeschwindigkeitsmessung	179
4.11	Die Interferenz des Lichts	179
4.11.1	Bestätigungsversuch nach Wiener	179
4.11.2	Interferenzversuch von Fresnel	180
4.11.3	Interferenz an dünnen Schichten	180
4.12	Die Beugung des Lichts	184
4.12.1	Beugung an verschiedenen kleinen Objekten	184
4.12.2	Beugung am Spalt	185
4.12.3	Beugung am Gitter	187
4.12.4	Überlagerung von Gitter- und Spaltinterferenz	191
4.13	Die Polarisation des Lichts	192
4.13.1	Licht als Querwelle	192
4.13.2	Brewster'sches Gesetz	192
<b>5</b>	<b>Elektrizitätslehre und Magnetismus</b>	
5.1	Einfache Grundaussagen des Magnetismus	194
5.1.1	Magnetische Pole	194
5.1.2	Elementarmagnete	194
5.1.3	Magnetische Influenz	195
5.1.4	Das magnetische Feld	195
5.1.5	Das Erdmagnetfeld	197
5.2	Elektrizitätslehre – Grundbegriffe, Grundaussagen	198
5.2.1	Stromkreis	198
5.2.2	Leiter und Nichtleiter	199
5.2.3	Wirkungen des Stroms	200
5.2.4	Ergänzungen	201
5.3	Ladung und Stromstärke	202
5.3.1	Elektrische Ladung	202
5.3.2	Definition der Ladungseinheit	203
5.3.3	Definition der elektrischen Stromstärke	203
5.3.4	Eigenschaften der Ladung	204
5.4	Elektronen, Atombau, Ionen	205

5.4.1	Versuch von Edison	205
5.4.2	Atombau	206
5.4.3	Stromleitung in Metallen	207
5.4.4	Erklärung verschiedener elektrischer Erscheinungen im Elektronenbild	208
5.4.5	Stromleitung in Flüssigkeiten (Elektrolyse)	209
5.5	Geräte zur Messung der Stromstärke	210
5.5.1	Hitzedrahtampèremeter	210
5.5.2	Drehspulampèremeter	210
5.5.3	Mittelwert bei der Stromanzeige	211
5.6	Die elektrische Spannung	211
5.6.1	Definition der Spannung	211
5.6.2	Reihenschaltung (Hintereinanderschaltung) von Stromquellen	213
5.6.3	Elektrisches Potenzial	214
5.7	Das Ohm'sche Gesetz/Elektrischer Widerstand	214
5.8	Widerstand eines Drahts	215
5.8.1	Widerstandsformel für einen Draht	215
5.8.2	Schiebewiderstand	216
5.9	Stromstärke, Ladung, Spannung, Arbeit, Leistung im Stromkreis	217
5.10	Parallelschaltung und Reihenschaltung von Widerständen	218
5.10.1	Kirchhoff'sches Gesetz	218
5.10.2	Reihenschaltung von Widerständen	219
5.10.3	Anwendung von Reihenschaltung	220
5.10.4	Parallelschaltung von Widerständen	221
5.11	Messbereichserweiterung beim Strom- und Spannungsmesser	223
5.11.1	Strommesser	223
5.11.2	Spannungsmesser	224
5.12	Fernsehröhre	225
5.13	Der Elektromotor	226
5.14	Die Lorentzkraft (qualitativ)	227
5.15	Elektromagnetische Induktion – 1. Teil: Einfache Aussagen (qualitativ)	229
5.15.1	Generatorprinzip	229
5.15.2	Induktion von Wechselspannung bei einer sich im Magnetfeld drehenden Leiterschleife	230
5.15.3	Induktion von Spannung durch Magnetfeldänderung	231
5.16	Röhrendiode und Röhrentriode	231
5.16.1	$U_A$ - $I_A$ -Kennlinien der Röhrendiode	231
5.16.2	Diode als Gleichrichter	232
5.16.3	Röhrentriode	233
5.16.4	Anwendung: Triode als Verstärker	233
5.17	Halbleiter, Halbleiterdiode, Transistor	234
5.17.1	Undotierte Halbleiter	234
5.17.2	Dotierte Halbleiter	236
5.17.3	Der p/n-Übergang	236
5.17.4	Halbleiterdiode als Gleichrichter	237
5.17.5	Gleichrichterschaltung mit vier Dioden und Foto-Diode	238

---

5.17.6	Der Transistor	239
5.18	Das elektrische Feld, elektrische Feldstärke	241
5.18.1	Elektrische Felder, Feldlinien	241
5.18.2	Elektrische Feldstärke	243
5.19	Elektrische Feldstärke und Spannung	245
5.20	Ladungsdichte und Kapazität	246
5.20.1	Flächenladungsdichte und Feldkonstante	246
5.20.2	Kapazität	248
5.20.3	Dielektrizitätszahl	248
5.20.4	Polarisation der Atome	249
5.20.5	Ergänzungen	249
5.20.6	Größenfaktoren	252
5.21	Schaltung von Kondensatoren	252
5.21.1	Parallelenschaltung von Kondensatoren	252
5.21.2	Reihenschaltung von Kondensatoren	253
5.21.3	Aufgaben	253
5.21.4	Kondensator mit Dielektrikum und Luftschlitz	254
5.22	Die Energie des elektrischen Feldes	255
5.22.1	Energie des geladenen Kondensators	255
5.22.2	Räumliche Energiedichte	255
5.23	Radialfeld einer punktförmigen Ladung, Coulomb-Gesetz	256
5.24	Die magnetische Flussdichte	261
5.24.1	Definition der Flussdichte	262
5.24.2	Magnetische Flussdichte $B$ in einer lang gestreckten Spule	264
5.25	Lorentzkraft auf ein Elektron (quantitativ), Hall-Effekt	266
5.25.1	Eine Formel für die Stromstärke im Leiter	266
5.25.2	Lorentzkraft auf ein Elektron	267
5.25.3	Der Hall-Effekt	267
5.26	Geladene Teilchen in elektrischen Feldern, Millikanversuch	268
5.26.1	Elektronenvolt	268
5.26.2	Parabelbahnen bei Teilchen im Kondensatorfeld	269
5.26.3	Bremsbewegung	269
5.26.4	Milikanversuch – Bestimmung der Elementarladung $e$	270
5.27	Teilchen in magnetischen und elektrischen Feldern	270
5.27.1	Teilchen in magnetischen Feldern	270
5.27.2	E-Feld und B-Feld senkrecht zueinander	272
5.27.3	Teilchenbeschleuniger	273
5.28	Ladungsträger in Gasen	276
5.29	Elektromagnetische Induktion – 2. Teil (quantitativ)	278
5.29.1	Wirbelströme	282
5.29.2	Versuch: „Aluring“/Spulenmagnet	283
5.29.3	Aufgaben	284
5.30	Selbstinduktion bei Spulen	285
5.30.1	Größe der induzierten Spannung der Spule im Falle der Selbstinduktion	286
5.30.2	Quantitative Betrachtung des Ein- und Ausschaltvorgangs	287
5.30.3	Energie des Magnetfeldes	288

5.31	Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung im Generator	290
5.32	Effektivwerte von Strom und Spannung bei Wechselstrom	291
5.33	Ohm'scher Widerstand, Spule und Kondensator im Wechselstromkreis	293
5.33.1	Induktiver Widerstand	293
5.33.2	Kapazitiver Widerstand	295
5.33.3	Zeigerdiagramm	296
5.33.4	Reihenschaltung von Ohm'schem Widerstand R, Spule mit Induktivität L und Kondensator mit Kapazität C im Wechselstromkreis (Siebkette)	297
5.33.5	Abhängigkeit der Größen $I_{\text{eff}}$ und $\delta$ von der Frequenz f, wenn R, L, C und $U_{\text{eff}}$ fest vorgegeben sind	299
5.33.6	Sperrkreis	301
5.33.7	Aufgabe	302
5.34	Der Schwingkreis	303
5.34.1	Ungedämpfter Schwingkreis	303
5.34.2	Gedämpfter Schwingkreis	306
5.34.3	Aufhebung der Dämpfung durch Rückkopplung (Meißner-Schaltung)	306
5.34.4	Erzwungene elektromagnetische Schwingungen	307
5.35	Der Transformator (Trafo)	309
5.35.1	Hoch- und Niederspannungstrafo	309
5.35.2	Belasteter und unbelasteter Trafo	309
5.36	Drehstrom	311
5.36.1	Prinzip der drei Phasen	311
5.36.2	Erzeugung von Drehstrom	312
5.37	Elektromagnetische Wellen	313
5.37.1	Hertz'scher Dipol	313
5.37.2	Elektromagnetische Wellen im Raum	314
5.37.3	Maxwells Überlegungen	315
5.37.4	Ergänzungen	317
5.38	„Lichtegenschaften“ elektromagnetischer Wellen	318
5.39	Licht als elektromagnetische Welle	320
5.39.1	Faraday-Effekt und Kerr-Effekt	320
5.39.2	Entspricht die Modell-Lichtwelle der elektrischen oder der magnetischen Teilwelle?	321
5.40	Nicht sichtbare Spektralbereiche im elektromagnetischen Spektrum/Überblick	323
5.40.1	„Infrarotlicht“, „Ultraviolettlicht“	323
5.40.2	Röntgenstrahlen	323
5.40.3	$\gamma$ -Strahlung	323
5.40.4	Überblick über das elektromagnetische Spektrum	324
<b>6</b>	<b>Atomphysik und Quantenphysik</b>	
6.1	Kernphysik	325
6.1.1	Kernaufbau	325
6.1.2	Radioaktivität	325

---

6.1.3	Wie wird die unsichtbare Strahlung nachgewiesen?	326
6.1.4	Was passiert beim radioaktiven Zerfall eines Atomkerns?	328
6.1.5	Kernreaktionen	328
6.1.6	Kernspaltung (Otto Hahn, 1938)	329
6.1.7	Kernfusion	329
6.2	Kristalluntersuchungen mit Röntgenstrahlen	330
6.2.1	Bragg'sche Reflexionsbedingung	330
6.2.2	Drehkristallmethode	331
6.2.3	Debye-Scherrer-Methode (Pulvermethode)	332
6.3	Der Fotoeffekt	333
6.3.1	Lichtquanten und Planck'sches Wirkungsquantum	333
6.3.2	Fotostrom	335
6.4	Einige Aussagen der speziellen Relativitätstheorie, Comptoneffekt	337
6.4.1	Massenzunahme und relativistische Energie	337
6.4.2	Photonenmasse, Photonenimpuls	339
6.4.3	Comptoneffekt	340
6.5	Materiewellen	342
6.5.1	Wellencharakter von Elektronen	342
6.5.2	Bedeutung der Welle bei Materieteilchen	342
6.5.3	Frequenz und Wellengeschwindigkeit bei Materiewellen	343
6.5.4	Elektronen am Doppelspalt	344
6.5.5	Elektronen am Einzelspalt	344
6.6	Entwicklung des Atommodells, Erklärung der Balmerserie	346
6.6.1	Bohr'sche Postulate	346
6.6.2	Halbklassische Berechnung des Wasserstoffspektrums	346
6.6.3	Strahlungsserien	348
6.7	Der eindimensionale Potentialtopf – Quantengesetz des eingespererten Elektrons	349
6.8	Der Franck-Hertz-Versuch, Umkehrung der Na-Linie	352
6.8.1	Franck-Hertz-Versuch	352
6.8.2	Umkehrung der Na-Linie	354
6.8.3	Fraunhofer'sche Linien	354
6.9	Röntgenstrahlung	355
6.9.1	Bremsstrahlung und charakteristische Röntgenstrahlung	355
6.9.2	Deutung der kontinuierlichen Röntgenstrahlung	356
6.9.3	Deutung der charakteristischen Röntgenstrahlung	356
6.10	Quantenmechanische Behandlung physikalischer Probleme mit der Schrödinger-Gleichung	359
6.10.1	Zeitabhängige und zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung	359
6.10.2	Teilchen im eindimensionalen Potentialtopf	361
6.10.3	Das Wasserstoffproblem	361
6.10.4	Der harmonische Oszillator – „Teilchen, das an einer Feder hängt“	363
	<b>Anhang I: Physikalische Konstanten</b>	368
	<b>Anhang II: Literatur</b>	369
	<b>Sachregister</b>	370