

Inhaltsverzeichnis

Einführung

1	Größen und Einheiten	1
1.1	Internationales Einheitensystem (SI-Einheiten)	2
1.2	Abgeleitete Einheiten	3
2	Erfassung und Auswertung von Messwerten	4
2.1	Sensoren und Messgeräte	4
2.2	Graphische Darstellung und Auswertung	6
2.3	Ausgleichsrechnung (lineare Regression)	9
3	Messunsicherheit	10
3.1	Messabweichungen bei Einzelmessungen	11
3.1.1	Messunsicherheiten bei direkten Messgrößen	12
3.1.2	Messunsicherheiten bei indirekten Messgrößen	13
3.2	Messgrößen mit zufälligen Messabweichungen	14
3.2.1	Mittelwert, Standardabweichung, Vertrauensbereich	14
3.2.2	Messunsicherheiten bei kombinierten Messgrößen	16
3.2.3	Messunsicherheiten beim linearen Ausgleich	17
3.3	Angabe des Messergebnisses	18
4	Statistische Tests	20
4.1	Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen	20
4.2	Verteilungen und Prüfverfahren	22
5	Versuchsvorbereitung und Protokollführung	27

M Mechanik

1	Wägung und Dichte	29
1.0	Grundlagen	29
1.1	Pyknometer	33
1.2	Auftriebsverfahren	35
1.3	Resonanzverfahren	39
1.3.1	Schwingrohr	40
1.3.2	Stimmgabeldichtemesser	41
2	Schwingungen	43
2.0	Grundlagen	43
2.0.1	Bewegungsgleichungen	43
2.0.2	Satz von Steiner	47

2.0.3	Reduzierte Pendellänge	48
2.1	Fadenpendel	48
2.2	Reversionspendel	49
2.3	Drehpendel	52
2.3.1	Lineare Schwingungen und Resonanz	53
2.3.2	Nichtlineare Schwingungen	57
2.4	Gekoppelte Pendel	59
2.5	Trägheitsmomente	63
3	Deformationsverhalten	66
3.0	Grundlagen	66
3.1	Elastizitätsmodul	68
3.1.1	Dehnung	69
3.1.2	Biegung	69
3.2	Torsionsmodul	74
3.2.1	Statische Messmethode	75
3.2.2	Dynamische Messmethode	75
3.3	Federkonstante einer Schraubenfeder	77
4	Schall	79
4.0	Grundlagen	79
4.0.1	Wellengleichung	80
4.0.2	Schallwandler	84
4.1	Schallgeschwindigkeit in Festkörpern	84
4.1.1	Dehnungswelle	84
4.1.2	Biegewelle	86
4.2	Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten	87
5	Oberflächenspannung	91
5.0	Grundlagen	91
5.1	Abreißmethode	93
5.2	Steighöhenmethode	94
5.3	Tropfenmethode	97
6	Viskosität und Strömung	99
6.0	Grundlagen	99
6.0.1	Bernoulli-Gleichung	99
6.0.2	Gesetz von <i>Hagen</i> und <i>Poiseuille</i>	100
6.1	Kugelfallmethode	102
6.2	Kugelfall-Viskosimeter	103
6.3	Kapillar-Viskosimeter	104
6.4	Strömung im Rohr	106

W Wärmelehre

1	Temperaturmessung	109
1.0	Grundlagen	109
1.0.1	Temperatur, Maßeinheit und Temperaturskalen	109
1.0.2	Ausdehnungsthermometer	110
1.0.3	Elektrische Temperatursensoren	110
1.0.4	Strahlungsthermometer	112
1.1	Thermische Ausdehnung	116
1.2	Gasthermometer	118
1.3	Abkühlungskurven und Wärmetübergang	120
1.4	Strahlungsthermometrie	122
2	Zustandsänderungen und Phasenumwandlungen	125
2.0	Grundlagen	125
2.0.1	Zustandsgleichungen	125
2.0.2	Energiesatz und Adiabatengleichung	128
2.0.3	Dampfdruck	129
2.1	Isothermen realer Gase	131
2.2	Adiabatenexponent	132
2.2.1	Versuch nach <i>Clément</i> und <i>Desormes</i>	133
2.2.2	Schallgeschwindigkeit	134
2.2.3	Resonanzmethoden	135
2.3	Dampfdruckkurve und Verdampfungswärme	138
2.4	Wärmepumpe	139
3	Kalorimetrie	142
3.0	Grundlagen	142
3.1	Wärmekapazität eines Kalorimeters	144
3.2	Spezifische Wärmekapazität von Festkörpern und Flüssigkeiten	145
3.2.1	Spezifische Wärmekapazität fester Stoffe	146
3.2.2	Spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten	148
3.3	Umwandlungswärmen	148
3.3.1	Spezifische Schmelzwärme des Eises	148
3.3.2	Spezifische Kondensationswärme des Wassers	150
4	Wärmeleitung in Festkörpern	151
4.0	Grundlagen	151
4.1	Wärmeleitfähigkeit	152

E Elektrizitätslehre

1	Widerstände und Stromquellen	157
1.0	Grundlagen	157
1.0.1	Elektrischer Widerstand	157
1.0.2	Reale Spannungsquelle	161
1.1	Widerstandsbestimmung durch Strom- und Spannungsmessung	162
1.2	Temperaturabhängigkeit elektrischer Widerstände	164
1.3	Kenngrößen einer realen Spannungsquelle	167
1.4	Verlustbehafteter Spannungsteiler	169
2	Elektrische und magnetische Felder	172
2.0	Grundlagen	172
2.0.1	Elektrisches Feld	172
2.0.2	Magnetisches Feld	174
2.0.3	Magnetismus	177
2.1	Elektrostatische Felder	179
2.2	Spulenfelder	181
2.3	Magnetische Hysterese	183
2.4	Hall-Effekt	185
2.5	Transformator	187
3	Spulen und Kondensatoren in Gleich- und Wechselstromkreisen	191
3.0	Grundlagen	191
3.0.1	Einstellvorgänge	191
3.0.2	Komplexe Darstellung von Wechselgrößen	194
3.0.3	Schaltungen mit Wechselstromwiderständen	195
3.1	Oszilloskop und Phasenbeziehungen	199
3.2	Tief- und Hochpass	203
3.3	Sprungantworten von RC- und RL-Schaltungen	207
4	Elektrische Schwingungen	209
4.0	Grundlagen	209
4.0.1	Freie gedämpfte Schwingungen	209
4.0.2	Reihen- und Parallelschwingkreis	211
4.1	Abklingvorgänge im RLC-Kreis	215
4.2	Resonanz im Reihenschwingkreis	216
4.3	Resonanz im Parallelschwingkreis	218

5	Halbleiter-Bauelemente, elektronische Grundschaltungen	220
5.0	Grundlagen	220
5.0.1	Leitungsvorgänge in Halbleitern	220
5.0.2	pn-Übergang - Dioden und Transistoren	222
5.0.3	Integrierte Schaltkreise - Operationsverstärker und logische Gatter	226
5.1	Bandlückenenergie, Sperrsichtkapazität eines pn-Übergangs	230
5.2.	Halbleiterdioden	232
5.2.1	Kennlinie einer Si-Diode, Gleichrichtung	232
5.2.2	Kennlinie einer Z-Diode, Spannungsstabilisierung	233
5.3	npn-Transistor, n-Kanal-Sperrsicht-FET's, Verstärkerschaltung	234
5.4	Operationsverstärker	235
5.5	Digitalelektronik	237
5.5.1	Addierer	237
5.5.2	RS-Kippschaltungen	238
5.5.3	Digital-Analog-Wandler	238

O Optik und Atomphysik

1	Linsen und Linsensysteme	240
1.0	Grundlagen	240
1.1	Krümmungsradius und Brennweite dünner Linsen	243
1.2	Brennweite und Hauptebenen eines Linsensystems	246
1.3	Lupe und Mikroskop	247
1.4	Fernrohr	250
2	Kohärenz, Interferenz und Beugung	252
2.0	Grundlagen	252
2.0.1	Licht als elektromagnetische Welle	252
2.0.2	Kohärenz und Laser	253
2.0.3	Beugung an Spalt, Doppelspalt und Gitter	254
2.1	Interferenzen gleicher Dicke	257
2.2	Beugung an Spalt und Doppelspalt	260
2.3	Beugung am Gitter	263
2.4	Michelson-Interferometer	265
3	Brechung, Dispersion und Absorption	268
3.0	Grundlagen	268
3.0.1	Brechungsindex und Dispersion	268
3.0.2	Extinktion und Absorption	270
3.1	Refraktometrie	271
3.2	Prismenspektrometer	274

3.3	Brechungsindex von Gasen	277
3.4	Spektralphotometer	280
4	Polarisation	282
4.0	Grundlagen	282
4.0.1	Polarisation durch Reflexion	282
4.0.2	Polarisation durch Doppelbrechung	283
4.0.3	Drehung der Polarisationsebene	284
4.1	Polarisationswinkel und Reflexionsvermögen	285
4.2	Drehung der Schwingungsebene linear polarisierten Lichts	285
4.3	Polarisationsgrad und Viertelwellenlängenplatte	287
5	Ionisierende Strahlung	291
5.0	Grundlagen	291
5.0.1	Wechselwirkung von Strahlung und Stoff	292
5.0.2	Strahlungsdetektoren	293
5.0.3	Radioaktive Umwandlung	296
5.1	Messungen mit dem Geiger-Müller-Zählrohr	297
5.2	Messung der Halbwertszeit	300
5.3	Reichweite von α -Strahlung in Luft	301
5.4	β -Strahlung	301
5.4.1	Absorption von β -Strahlung	301
5.4.2	β -Spektroskopie	303
5.5	γ -Strahlung	305
5.5.1	Schwächung von γ -Strahlung	305
5.5.2	γ -Spektroskopie	306
5.6	Compton-Effekt	309
5.7	Röntgenstrahlung	312
6	Fundamentale Konstanten und Effekte der Physik	315
6.1	Lichtgeschwindigkeit	316
6.2	Elementarladung	319
6.3	Planck'sches Wirkungsquantum	321
6.3.1	Äußerer Photoeffekt	321
6.3.2	Röntgenbremsspektrum	324
6.4	Spezifische Ladung e/m des Elektrons	325
6.5	Franck-Hertz-Versuch	327
6.6	Rydberg-Konstante	329
6.7	Avogadro-Konstante	330
6.8	Gravitationskonstante	332

F Fourier-Transformation und Signalanalyse

1.0	Grundlagen	336
1.0.1	Das Prinzip der Fourier-Transformation	336
1.0.2	Diskrete Fourier-Transformation und Abtasttheorem	338
1.1	Fourier-Synthese und -Analyse optischer Muster und elektrischer Signale	339
1.2	Fourier-Analyse gekoppelter elektrischer Schwingungen	342
1.3	Fourier-Analyse akustischer Schwingungen	347

Anhang

A.1	Komplexe Zahlen	354
A.2	Lösungen linearer Differentialgleichungen	356
A.3	Nichtlineare Dynamik	360
A.4	Grundlagen digitaler Messungen	366
A.5	Nuklid-Zerfall	369
A.6	Fundamentalkonstanten der Physik	373
A.7	Eigenschaften fester Stoffe	374
A.8	Eigenschaften von Flüssigkeiten	375
A.9	Dichte und dynamische Viskosität von Wasser	376
A.10	Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Luftdruck	376
A.11	Spezifische Wärmekapazität von Wasser	377
A.12	Dichte von Gasen, Schallgeschwindigkeit in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern	377
A.13	Wärmeleitfähigkeit fester Stoffe	377
A.14	Flächenträgheitsmomente ausgewählter Querschnitte	378
A.15	Beispiele stationärer Wärmeleitung	379
A.16	Spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturkoeffizient	380
A.17	Beweglichkeit der Ladungsträger verschiedener Halbleiter	380
A.18	Spektrallinien ausgewählter Elemente	381
A.19	Tabelle zur Standardnormalverteilung	382
A.20	Tabelle zur t -Verteilung	383
A.21	Tabelle zur χ^2 -Verteilung	384
	Sachverzeichnis	385
	Weiterführende Literatur	392