

Inhaltsverzeichnis

EF 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 | Messunsicherheit bei direkten Messgrößen | 12 |
| 3.1.2 | Messunsicherheit bei indirekten Messgrößen | 13 |
| 3.2 | Messgrößen mit zufälligen Messabweichungen | 14 |
| 3.2.1 | Mittelwert, Standardabweichung, Vertrauensbereich | 14 |
| 3.2.2 | Messunsicherheit bei kombinierten Messgrößen | 16 |
| 3.2.3 | Messunsicherheit 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 <i>Steiner</i> | 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 | Strahlungsthermometrie | 112 |
| 1.1 | Thermische Ausdehnung | 116 |
| 1.2 | Gasthermometer | 118 |
| 1.3 | Abkühlungskurven und Wärmeübergang | 120 |
| 1.4 | Strahlungsmessungen | 122 |
| 2 | Zustandsänderungen und Phasenumwandlungen | 125 |
| 2.0 | Grundlagen | 125 |
| 2.0.1 | Zustandsgleichungen | 125 |
| 2.0.2 | Energiesatz und Adiabatangleichung | 128 |
| 2.0.3 | Dampfdruck | 129 |
| 2.1 | Isothermen realer Gase | 131 |
| 2.2 | Adiabatexponent | 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 | 140 |
| 3 | Kalorimetrie | 143 |
| 3.0 | Grundlagen | 143 |
| 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 | Magnetfelder in Spulen | 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 | 216 |
| 4.2 | Resonanz im Reihenschwingkreis | 217 |
| 4.3 | Resonanz im Parallelschwingkreis | 219 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5 | Halbleiter-Bauelemente, elektronische Grundsaltungen . . . | 221 |
| 5.0 | Grundlagen | 221 |
| 5.0.1 | Leitungsvorgänge in Halbleitern | 221 |
| 5.0.2 | pn-Übergang - Dioden und Transistoren | 223 |
| 5.0.3 | Integrierte Schaltkreise - Operationsverstärker und logische Gatter | 227 |
| 5.1 | Bandlückenenergie, Sperrschichtkapazität eines pn-Übergangs | 231 |
| 5.2 | Halbleiterdioden | 233 |
| 5.2.1 | Kennlinien einer Si-Diode, Gleichrichtung | 233 |
| 5.2.2 | Kennlinie einer Z-Diode, Spannungsstabilisierung | 234 |
| 5.3 | npn-Transistor, n-Kanal-Sperrschicht-FET's, Verstärkerschaltung | 234 |
| 5.4 | Operationsverstärker | 236 |
| 5.5 | Digitalelektronik | 238 |
| 5.5.1 | Addierer | 238 |
| 5.5.2 | RS-Kippschaltungen | 239 |
| 5.5.3 | Digital-Analog-Wandler | 239 |

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 | Spektralphotometrie | 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 | 303 |
| 5.4.1 | Absorption von β -Strahlung | 303 |
| 5.4.2 | β -Spektroskopie | 305 |
| 5.5 | γ -Strahlung | 306 |
| 5.5.1 | Schwächung von γ -Strahlung | 306 |
| 5.5.2 | γ -Spektroskopie | 308 |
| 5.6 | Compton-Effekt | 310 |
| 5.7 | Röntgenstrahlung | 313 |
| 6 | Fundamentale Konstanten und Effekte der Physik | 316 |
| 6.1 | Lichtgeschwindigkeit | 317 |
| 6.2 | Elementarladung | 321 |
| 6.3 | Planck'sches Wirkungsquantum | 323 |
| 6.3.1 | Äußerer Photoeffekt | 323 |
| 6.3.2 | Röntgenbremsspektrum | 326 |
| 6.4 | Spezifische Ladung e/m des Elektrons | 327 |
| 6.5 | Franck-Hertz-Versuch | 328 |
| 6.6 | Rydberg-Konstante | 331 |
| 6.7 | Avogadro-Konstante | 332 |
| 6.8 | Gravitationskonstante | 334 |

F Fourier-Transformation und Signalanalyse

| | | |
|-------|--|-----|
| 1.0 | Grundlagen | 338 |
| 1.0.1 | Das Prinzip der Fourier-Transformation | 338 |
| 1.0.2 | Diskrete Fourier-Transformation und Abtasttheorem | 340 |
| 1.0.3 | Fourier-Transformation in endlichen (Zeit)Intervallen | 341 |
| 1.1 | Fourier-Synthese und -Analyse optischer Muster und elektrischer Signale | 342 |
| 1.2 | Fourier-Analyse gekoppelter elektrischer Schwingungen | 345 |
| 1.3 | Fourier-Analyse akustischer Schwingungen | 351 |

Anhang

| | | |
|------|--|-----|
| A.1 | Komplexe Zahlen | 358 |
| A.2 | Lösungen linearer Differentialgleichungen | 360 |
| A.3 | Nichtlineare Dynamik | 364 |
| A.4 | Grundlagen digitaler Messungen | 370 |
| A.5 | Nuklid-Zerfall | 373 |
| A.6 | Fundamentalkonstanten der Physik | 377 |
| A.7 | Eigenschaften fester Stoffe | 378 |
| A.8 | Eigenschaften von Flüssigkeiten | 379 |
| A.9 | Dichte und dynamische Viskosität von Wasser | 380 |
| A.10 | Siedetemperatur des Wassers in Abhängigkeit vom Luftdruck | 380 |
| A.11 | Spezifische Wärmekapazität von Wasser | 381 |
| A.12 | Dichte von Gasen, Schallgeschwindigkeit in Gasen, Flüssigkeiten und Festkörpern | 381 |
| A.13 | Wärmeleitfähigkeit fester Stoffe | 381 |
| A.14 | Flächenträgheitsmomente ausgewählter Querschnitte | 382 |
| A.15 | Beispiele stationärer Wärmeleitung | 383 |
| A.16 | Spezifischer elektrischer Widerstand und Temperaturkoeffizient | 384 |
| A.17 | Beweglichkeit der Ladungsträger verschiedener Halbleiter | 384 |
| A.18 | Spektrallinien ausgewählter Elemente | 385 |
| A.19 | Termschema von Neon | 386 |
| A.20 | Tabelle zur Standardnormalverteilung | 387 |
| A.21 | Tabelle zur t -Verteilung | 388 |
| A.22 | Tabelle zur χ^2 -Verteilung | 389 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| Sachverzeichnis | 390 |
|----------------------------------|------------|

| | |
|---|------------|
| Weiterführende Literatur | 397 |
|---|------------|