
HANDBUCH DER EXPERIMENTELLEN PHYSIK

SEKUNDARBEREICH II

Ausbildung – Unterricht – Fortbildung

BAND 12

TECHNISCHE PHYSIK

Verfaßt von

Prof. Dr. *Friedrich Heinz Effertz*, Dipl. Phys. *Knut Emmert*,
Dipl.-Ing. *Hans-Willi Hüsch*, Dr. *Christian Lukner*,
Prof. Dr. *Herbert Schramm*, Prof. Dr. *Rudolf Schulten*,
Dr. *Gerhard Sperlich*, Dr. *Wolfgang Vollrath*



AULIS VERLAG DEUBNER & CO KG · KÖLN

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zum Gesamtwerk	IX
Vorwort	XII
1 Grundbegriffe der Steuerung und Regelung physikalischer Größen	
(<i>F. H. Effertz, H. W. Hüsch</i>)	
1.1 Wirkungsmäßige Beschreibung von Übertragungsgliedern	3
1.1.1 Das Funktionsprinzip der Regelung	3
1.1.2 Kenngrößen und Zeitverhalten des P-Reglers	4
1.1.3 Blockdarstellung von Übertragungsgliedern	10
1.1.4 Wirkungsmäßige Darstellung der Regelstrecke	10
1.1.5 Signalflußpläne von Übertragungssystemen	13
1.2 Gerätetechnische Grundbegriffe	17
1.2.1 Prinzipbild einer Drehzahlregelung	17
1.2.2 Bauglieder von Regelungssystemen	18
1.3 Steuerung und Regelung	20
1.3.1 Druckregelkreis als Nachrichtenübertragungssystem	20
1.3.2 Blockschema und Blockschaltbild eines Regelkreises	21
1.3.3 Bezeichnung regelungstechnischer Größen	22
1.3.4 Struktur von Steuerungssystemen	23
1.3.5 Struktur von Regelungssystemen	26
1.4 Zeit- und Beharrungsverhalten von Übertragungsgliedern	33
1.4.1 Beispiel einer hydraulischen Druckregelung	33
1.4.2 Lineare und nichtlineare Übertragungsglieder	39
1.4.3 Das Zeitverhalten linearer Übertragungsglieder	39
1.4.4 Kennlinienfelder von Übertragungsgliedern	51
1.4.5 Das Zeitverhalten wichtiger linearer Übertragungsglieder	56
1.5 Zeitverhalten von Reglern	62
1.5.1 Kennwerte von stetigen Reglern ohne Verzögerung	62
1.5.2 Übergangsfunktionen von Reglern mit Verzögerung	66
1.5.3 Regler mit Rückführung	68
1.5.4 Das Zeitverhalten von nichtstetigen Reglern	76
1.5.5 Drehzahlregelung eines Motor/Generatorsatzes mit Hilfe eines Zweipunktreglers – Das 10-Stufen-Modell der experimentellen Problemlösungsmethode	78
1.5.6 Temperaturregelung mittels Zweipunktregler	90
1.6 Kennlinien und Kennwerte von Regelstrecken	93
1.6.1 Das Beharrungsverhalten von Regelstrecken	93
1.6.2 Das Übergangsverhalten von Regelstrecken	95
1.7 Hauptgruppen der Regelstrecken und ihre Regelung	99
1.7.1 Verzögerungsarme Regelstrecken	104
1.7.2 Regelstrecken mit Anlaufzeit	106
1.7.3 Regelstrecken mit Anlaufzeit und Totzeit	109
1.8 Simulation und Stabilitätsuntersuchung von Regelungssystemen	116
1.8.1 Die Differentialgleichung der Drehzahlregelung eines Elektromotors	116
1.8.2 Das Phänomen der oszillatorischen Instabilität	123
1.8.3 Algebraische Stabilitätskriterien für Regelungssysteme	126

2	Grundlagen der Informationstechnik (H. Schramm)	131
2.1	Vorbemerkung: Materie – Energie – Information	131
2.2	Grundbegriffe der Informationstheorie	131
2.2.1	Zeichen und Signale	132
2.2.2	Codierung	133
2.2.3	Informationsgehalt	142
2.2.4	Informationsübertragung	150
2.3	Darstellung von Signalen durch kontinuierliche Funktionen	168
2.3.1	Fourierreihen	168
2.3.2	Frequenzspektrum	171
2.3.3	Bandbreite und Signaldauer	175
2.3.4	Abtasttheorem	182
2.3.5	Übertragungsglieder: Frequenzgang und Ortskurve	188
2.3.6	Dämpfung und Verstärkung	190
2.4	Kontinuierliche Funktionen als Informationsträger	197
2.4.1	Entropie – Kanalkapazität	197
2.4.2	Strukturgehalt eines Signals und Informationsvolumens	199
2.4.3	Rauschen	199
3	Technische Optik (W. Vollrath)	203
3.1	Optikrechnung – klassische Physik in modernster Anwendung	203
3.2	Optikrechnung – Definition und Aufgabenstellung	204
3.2.1	Der optische Ansatz	204
3.2.2	Optimierung des optischen Ansatzes	205
3.2.3	Systemanalyse und -simulation	206
3.3	Das abbildende symmetrische optische System	207
3.3.1	Die ideale Abbildung	208
3.3.2	Das Koordinatensystem	211
3.3.3	Das Feld	211
3.3.4	Apertur und Pupille	212
3.3.5	Systembeispiele	218
3.4	Monochromatische Bildfehler	222
3.4.1	Das Spotdiagramm	222
3.4.2	Queraberrationskurven und Bildfehlertypen	225
3.4.3	Bildfehlertheorie	232
3.4.4	Chromatische Bildfehler und optische Gläser	234
3.5	Rechnergestützte Bildfehlerkorrektion	240
3.5.1	Die lineare Näherung	241
3.5.2	Die Gütfunktion	241
3.5.3	Die Parameterdämpfung	242
3.5.4	Nebenbedingungen an Aberrationen	243
3.5.5	Randbedingungen an die Konstruktionsdaten	243
4	Technische Thermodynamik (K. Emmert)	247
4.1	Einfache Maschinen	247
4.1.1	Dampfmaschine und <i>Clausius-Rankine</i> -Prozeß	248
4.1.2	Verbrennungsmotor	260
4.1.3	Gasturbine	270
4.2	Kraftwerkstechnik	276

4.2.1	Kohlekraftwerk	276
4.2.2	Kernkraftwerk	290
5	Energieversorgungssysteme und regenerative Energien (G. Sperlich)	301
5.1	Energiesektoren	301
5.2	Energieversorgung in Deutschland	302
5.2.1	Energiedienstleistungen, Energiefluß	302
5.2.2	Energieversorgung in West- und Ostdeutschland	302
5.2.3	Elektrizitätsversorgung in Deutschland	303
5.2.4	Wärmekraftwerke – Basis der Elektrizitätserzeugung	305
5.3	Techniken zur Nutzung regenerativer Energien	307
5.3.1	Spektrum der regenerativen Energien	307
5.3.2	Erdwärme	307
5.3.3	Gezeitenenergie	308
5.3.4	Kollektortechnik/Photovoltaik	308
5.3.5	Windenergie	310
5.3.6	Wellenenergie, Meereströmung und -wärme	311
5.3.7	Biomasse	312
5.3.8	Umweltenergie	312
5.3.9	Wasserkraft	312
5.4	Regenerative Energien in Deutschland	313
5.4.1	Anlagen zur Nutzbarmachung regenerativer Energien	313
5.4.2	Energiewirtschaftliche Bedeutung der regenerativen Energien	315
6	Hochtemperaturreaktoren (R. Schulten)	318
6.1	Technische und Sicherheitstechnische Ziele	318
6.2	Das Grundprinzip des Hochtemperaturreaktors	318
6.3	Physikalische Auslegung	319
6.4	Brennelemente und Materialtechnik	322
6.5	Verfahrenstechnik des Primärkreislaufs	326
6.6	Ausgeführte Anlagen	328
6.7	Sicherheitskonzeption	333
6.8	Mögliche künftige Anwendungen	336
7	Umwelphysik: Luftreinhaltung und Klimaschutz im Verkehr (C. Lukner)	339
7.1	Umweltschutz als globale Aufgabe	339
7.1.1	Umwelphysik und Umwelterziehung	339
7.1.2	Leitziele und Grundlagen der Verkehrsentwicklung	340
7.2	Energieumwandlung und Schadstoffentstehung im Otto-Motor	341
7.2.1	Energieumwandlung	341
7.2.2	Schadstoffentstehung	342
7.3	Der geregelte Dreiwege-Katalysator	342
7.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	342
7.3.2	Steuerung und Regelung des Systems „Motor und Katalysator“	343
7.3.3	Katalysator-Abgasversuch	344
7.4	Maßnahmen zur Reduzierung der klassischen Schadstoffemissionen von Pkw	344
7.4.1	Bleifrei-Kraftstoff	344
7.4.2	Verschärfung der europäischen Abgasnormen	344
7.4.3	Steuerliche Förderung des schadstoffarmen Autos	345

7.4.4	Schadstoffbilanz mit Prognose	345
7.5	Das Treibhausphänomen und die CO ₂ -Reduktionspotentiale im Verkehrsbereich	346
7.5.1	Verkehr und CO ₂ -Emissionen	346
7.5.2	Das 6-Effekte-Modell des Treibhausphänomens	346
7.5.3	Leistungsbilanzmodell des Treibhausphänomens	348
7.5.4	Einfaches Experiment zum Treibhausphänomen	349
7.5.5	IR-Spektroskopisches Modellexperiment	351
7.6	Zukünftige Lösungsstrategien	353
7.6.1	Dreisäulenstrategie zur Minderung der CO ₂ -Emissionen	353
7.6.2	Grenzkurven-Modell zur Begrenzung der CO ₂ -Emissionen von Pkw	353
7.6.3	Konkrete Lösung: Nachwachsende Rohstoffe?	355
7.6.4	Elektro- und Wasserstoffantrieb	356
7.6.5	Nicht-technische Maßnahmen	357
7.7	Schlußbemerkung	357
Register		360