

---

# 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 (F. H. Effertz, H. W. Hüscher)	1
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

<b>2</b>	<b>Grundlagen der Informationstechnik (H. Schramm)</b>	<b>131</b>
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
<b>3</b>	<b>Technische Optik (W. Vollrath)</b>	<b>203</b>
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 Bildfehlerkorrektur	240
3.5.1	Die lineare Näherung	241
3.5.2	Die Gütefunktion	241
3.5.3	Die Parameterdämpfung	242
3.5.4	Nebenbedingungen an Aberrationen	243
3.5.5	Randbedingungen an die Konstruktionsdaten	243
<b>4</b>	<b>Technische Thermodynamik (K. Emmert)</b>	<b>247</b>
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
<b>5</b>	<b>Energieversorgungssysteme und regenerative Energien (G. Sperlich)</b> . . . . .	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, Meeresströmung 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
<b>6</b>	<b>Hochtemperaturreaktoren (R. Schulten)</b> . . . . .	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
<b>7</b>	<b>Umweltphysik: Luftreinhaltung und Klimaschutz im Verkehr (C. Lukner)</b> . . . . .	339
7.1	Umweltschutz als globale Aufgabe . . . . .	339
7.1.1	Umweltphysik 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 <sub>2</sub> -Reduktionspotentiale im Verkehrsbereich . . . . .	346
7.5.1	Verkehr und CO <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -Emissionen . . . . .	353
7.6.2	Grenzkurven-Modell zur Begrenzung der CO <sub>2</sub> -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
<b>Register . . . . .</b>		<b>360</b>