

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 6. Auflage	V
Beiträge und Autoren	VI
1 Einführung in die Regelungs- und Steuerungstechnik	1
<i>Joachim Schiele</i>	
1.1 Begriffe und Benennungen	2
1.1.1 Regelung	2
1.1.2 Wirkungsplan eines Regelkreises	5
1.1.3 Regelkreise	6
1.1.4 Steuerung	6
1.2 Weitere Beispiele für Regelkreise	7
1.3 Folgeregelung	11
1.4 Literatur	13
2 Beharrungs- und Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	15
<i>Burkard Fromm</i>	
2.1 Einführung	16
2.2 Beharrungsverhalten (statisches Verhalten) von Regelkreisgliedern	19
2.3 Zeitverhalten (dynamisches Verhalten) von Regelkreisgliedern	22
2.3.1 Proportionalglied, P-Glied, P-Verhalten	25
2.3.2 Verzögerungsglied 1. Ordnung, PT_1 -Glied, PT_1 -Verhalten	26
2.3.3 Integrierendes Verhalten, I-Verhalten, I-Glied	35
2.3.4 Differenzierendes Verhalten, D-Verhalten, D-Glied	41
2.3.5 D-Glied mit Verzögerung 1. Ordnung, DT_1 -Glied, DT_1 -Verhalten	43
2.3.6 Totzeitglied, T_t -Glied, Totzeitverhalten	45
3 Regelstrecken	49
<i>Friedbert Tiersch</i>	
3.1 Abgrenzung der Regelstrecke	50
3.2 Kennwerte von Regelstrecken	52
3.2.1 Übertragungsverhalten von Regelstrecken	52
3.2.2 Bestimmung der Zeitkennwerte von Regelstrecken	53
3.2.3 Bestimmung des Übertragungsbeiwertes von Regelstrecken	56
3.3 Regelstrecken mit Ausgleich	57
3.3.1 Kennlinie und Übertragungsbeiwert	57
3.3.2 Linearisierung der Regelstreckenkennlinie	60

3.3.3	Einfluss von Störungen auf P-Regelstrecken	63
3.4	Regelstrecken ohne Ausgleich	68
3.5	Dynamisches Verhalten von Regelstrecken	71
3.5.1	Physikalische Ursachen und Klassifikationsschema	71
3.5.2	P-Strecken 0. Ordnung (PT_0 -Strecken)	72
3.5.3	P-Strecken mit Totzeit (PT_t -Strecken)	73
3.5.4	P-Strecken 1. Ordnung (PT_1 -Strecken)	74
3.5.5	P-Strecken 1. Ordnung mit Totzeit (PT_1T_t -Strecken)	75
3.5.6	P-Strecken höherer Ordnung (PT_n -Strecken)	76
3.6	Schwierigkeitsgrad und Regelbarkeit von Regelstrecken	78
3.7	Literatur	80
4	Regeleinrichtungen	81
	<i>Gerhard Fetzer</i>	
4.1	Eigenschaften der Regler	84
4.1.1	Proportionalregler, P-Regler	84
4.1.2	Integral-Regler, I-Regler	86
4.1.3	Proportional-Differential-Regler, PD-Regler	88
4.1.4	Proportional-Integral-Regler, PI-Regler	89
4.1.5	PID-Regler	91
4.1.6	Reales Verhalten der Regler	92
4.2	Auswahl von Regelgeräten	92
4.3	Stetig arbeitende Regelgeräte	93
4.3.1	Elektronische Regler	94
4.3.2	Pneumatische Regler	96
4.3.3	Regler ohne Hilfsenergie	99
4.3.3.1	Temperaturregler	100
4.3.3.2	Druckregler	101
4.3.3.3	Differenzdruckregler und Überströmventile	102
4.4	Zweipunktregler	103
4.4.1	Zweipunktregler ohne Rückführung	105
4.4.2	Zweipunktregler mit Rückführung	109
4.5	Stetig-ähnliche Regler	110
4.6	Stellantriebe	111
4.6.1	Elektromotorische Stellantriebe	111
4.6.2	Thermoantrieb, thermoelektrischer Stellantrieb	114
4.6.3	Elektromagnetische Stellantriebe	116
4.6.4	Pneumatische Stellantriebe	117
4.6.5	Stellantriebe mit Positionsregelung	118
4.7	Literatur	119

5	Stellglieder	121
5.1	Stellventile und ihre Auslegung	121
	<i>Burkard Fromm</i>	
5.1.1	Einführung	122
5.1.2	Bauformen von Stellventilen	125
5.1.3	Kenngrößen und Kennlinien von Stellventilen	128
5.1.4	Grundlagen für die Berechnung hydraulischer Schaltungen	136
5.1.5	Hydraulische Grundschatungen	146
5.1.6	Auslegung von Stellventilen	154
5.1.6.1	Auslegung für den Nennbetrieb – der einfachste Fall	154
5.1.6.2	Auslegung unter Berücksichtigung der Grundform der Ventilkennlinie sowie der Ventilautorität	156
5.1.6.3	Dreiwegeventile	165
5.1.7	Literatur	178
5.2	Geregelte Strahlpumpen	179
	<i>Hartmuth Paerschke</i>	
5.2.1	Aufbau, Wirkungsprinzip	180
5.2.2	Hydraulische Schaltung, Massen- und Energiebilanz der Strahlpumpe	181
5.2.3	Regelungsprinzip	182
5.2.4	Vergleich von Mengen-, Mischungs- und Strahlpumpenregelung	183
5.2.5	Einsatzfälle	184
5.2.5.1	Verteilnetze mit parallelen Mischkreisen	184
5.2.5.2	Große Verteilnetze mit Drosselventilen und Mengenregelung	185
5.2.6	Modell der geregelten Strahlpumpe	187
5.2.7	Dimensionierung und erforderliche Primärdruckdifferenz	190
5.2.8	Kennlinienfeld der Strahlpumpe und Netzkennlinien	195
5.2.9	Regelverhalten der Strahlpumpe bei konstanter Netzkennlinie	198
5.2.10	Mischtemperaturregelung mit Strahlpumpe bei mengengeregelten Verbraucherkreisen	200
5.2.11	Regelverhalten der Strahlpumpe bei ansteigendem Primärdruck	201
5.2.12	Schlussfolgerungen für Planung und Inbetriebnahme	202
5.2.13	Literatur	204
5.3	Pumpen und Ventilatoren als Stellgeräte	205
5.3.1	Pumpen- und Ventilatorantriebe	205
5.3.2	Drehzahlverstellung von Pumpen- und Ventilatorantrieben	206
5.3.3	Kennlinienfelder und hydraulische Leistung	209
5.3.4	Steuerung und Regelung von Pumpen und Ventilatoren	209
5.3.5	Regelung von Pumpen/Ventilatoren in Netzen mit Drosselorganen	211
6	Der geschlossene Regelkreis	215
	<i>Manfred Heiser</i>	
6.1	Der geschlossene Regelkreis als schwingungsfähiges System	216
6.1.1	Frequenzgang	216

6.1.2	Schwingungen in einem Regelkreis	230
6.1.3	Stabilitätskriterien	232
6.1.3.1	Stabilitätskriterium von Nyquist	233
6.1.3.2	Stabilitätsreserve	233
6.1.4	Berechnung der Parameter eines Regelkreises	234
6.1.5	Grundsätzlich stabile oder instabile Regelkreise	236
6.1.6	Bode-Diagramm	239
6.1.7	Stabilitätskurve	243
6.2	Der geschlossene Regelkreis als statisches System	250
6.2.1	Regelkreis mit linearen Regelstreckenkennlinien	250
6.2.2	Regelkreis mit nichtlinearen Regelstreckenkennlinien	254
6.2.3	Stabilisierung durch Verkleinern des Regelbereiches	256
6.3	Der geschlossene Regelkreis als dynamisches System	260
7	Einstellregeln	263
	<i>Manfred Büchel</i>	
7.1	Einführung	263
7.2	Gütemaße	265
7.3	Einstellregeln	266
7.3.1	Beispielregelkreis	266
7.3.2	Einstellregeln nach <i>Ziegler</i> und <i>Nichols</i>	267
7.3.3	Einstellregeln nach <i>Chien</i> , <i>Hrones</i> und <i>Reswick</i>	269
7.3.4	Auswirkungen der Reglerparameter beim PID-Regler	272
7.4	Literatur	274
8	Erweiterte Regelkreisschaltungen	275
	<i>Joachim Schiele</i>	
8.1	Störgrößenaufschaltung	275
8.2	Kaskadenregelung	277
8.3	Literatur	278
9	Grundlagen der elektrischen Steuerungstechnik	279
	<i>Georg-Peter Schernus</i>	
9.1	Schalt-, Melde- und Stellgeräte	282
9.1.1	Schaltglieder	282
9.1.2	Daten und Einteilungen von Schaltgeräten	284
9.1.3	Handschafter	286
9.1.4	Grenzschalter	288
9.1.4.1	Endschalter	289
9.1.4.2	Temperaturwächter und Temperaturbegrenzer	289

9.1.4.3	Bimetallüberstromrelais	291
9.1.4.4	Strömungswächter	292
9.1.4.5	Druck- und Differenzdruckwächter	293
9.1.4.6	Niveauwächter	293
9.1.5	Sicherungen und Schutzschalter	295
9.1.5.1	Schmelzsicherungen	295
9.1.5.2	Leitungsschutzschalter	297
9.1.5.3	Leistungsschalter	298
9.1.5.4	Motorschutzschalter	299
9.1.5.5	Fehlerstromschutzschalter (RCD)	300
9.1.6	Relais und Schütz	300
9.1.7	Remanenzschütz und verklinktes Hilfsschütz	303
9.1.8	Relais mit Zeitfunktionen und Programmgeber	303
9.1.8.1	Zeitrelais	303
9.1.8.2	Wischrelais	305
9.1.8.3	Programmgeber	305
9.1.9	Meldegeräte	306
9.1.10	Magnetantriebe und Stellmotoren	306
9.2	Schaltungsunterlagen	309
9.2.1	Übersichtsschaltplan	310
9.2.2	Stromlaufplan	311
9.2.3	Verdrahtungsplan	311
9.2.4	Regeln für die Erstellung von Stromlaufplänen in aufgelöster Form	313
9.2.4.1	Struktur	313
9.2.4.2	Zeichenregeln	313
9.2.4.3	Methodik beim Entwurf von Stromlaufplänen	314
9.2.4.4	Kennzeichnungen in Stromlaufplänen	316
9.2.5	Vorschriften und Empfehlungen	318
9.2.6	Rechnerunterstützte Erstellung von Schaltungsunterlagen	321
9.3	Allgemeine Grundschaltungen	321
9.3.1	Logische UND- und ODER-Schaltungen	321
9.3.2	Dauer- und Impulsbefehlsgabe	322
9.3.3	Selbstthalteschaltungen	322
9.3.4	Befehlsgabe von mehreren Stellen	323
9.3.5	Folgeschaltungen	324
9.3.6	Signalvervielfachung	325
9.3.7	Verriegelungsschaltungen	325
9.3.7.1	Verriegelung über Tasterkontakte	326
9.3.7.2	Verriegelung über Schützkontakte	326
9.3.8	Einfache Meldeschaltungen für Betriebs- und Störungsanzeigen	327
9.3.8.1	Optische Anzeige von Betriebszuständen	327
9.3.8.2	Störungsspeicherung und Quittierung	328
9.3.8.3	Lampenprüfung	329
9.3.8.4	Akustische Sammelstörmeldung	330
9.3.9	Hand-Automatik-Umschaltung	330

9.4	Steuerschaltungen für Drehstrommotoren	331
9.4.1	Motorschutz	331
9.4.2	Drehrichtungsumsteuerung eines Drehstrommotors	334
9.4.3	Drehzahlumschaltungen bei Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	335
9.4.3.1	Motor mit zwei getrennten Wicklungen	336
9.4.3.2	Motor mit umschaltbarer Wicklung nach Dahlander	337
9.4.3.3	Motoren mit drei und mehr Drehzahlen	338
9.4.4	Automatische Anlassschaltungen für Drehstrom-Asynchronmotoren	339
9.4.4.1	Stern-Dreieck-Umschaltung	339
9.4.4.2	Ständeranlasser mit Widerständen	340
9.4.4.3	Anlasstransformator	341
9.4.4.4	Elektronische Sanftanlaufgeräte	342
9.4.4.5	Anlassen von Schleifringläufermotoren	342
9.5	Spezielle Schaltungsbeispiele aus der Versorgungstechnik	343
9.5.1	Steuerschaltungen für die Raumlufttechnik	343
9.5.1.1	Frostschutz	343
9.5.1.2	Ventilatorkielriemen- und Strömungsüberwachung	344
9.5.1.3	Steuerung einer Klimaanlage	345
9.5.2	Steuerschaltungen für die Heizungstechnik	347
9.5.2.1	Steuergerät für einen Ölzerstäubungsbrenner	347
9.5.2.2	Doppelpumpensteuerung	348
9.5.3	Steuerschaltungen für die Wassertechnik	351
9.5.3.1	Steuerschaltung für zwei Brunnenpumpen	351
9.5.3.2	Druckerhöhungsanlage	353
9.5.4	Steuerschaltungen für die Kältetechnik	355
9.5.4.1	Sicherheitskette und Absaugsteuerung (pump out)	355
9.5.4.2	Betriebswechselschaltung für zwei Verdichter	358
9.5.5	Energiemanagement	358
9.6	Schaltschrank	360
9.6.1	Gehäuse	360
9.6.2	Geräteanordnung	362
9.6.3	Verdrahtung	364
9.6.4	Schutzmaßnahmen	366
9.6.4.1	Erdung	366
9.6.4.2	Überspannungsschutz	366
9.6.4.3	Explosionsschutz	366
9.7	Literatur	367
10	Anwendungen: Regelung von Heizanlagen	369
	<i>Dieter Striebel</i>	
10.1	Regelung von Wärmeerzeugern	372
10.1.1	Kesseltemperaturregelung	372
10.1.2	Vorlauftemperaturregelung, konstanter Volumenstrom	373
10.1.3	Rücklauftemperaturregelung, konstanter Volumenstrom	374

10.1.4	Mehrere Wärmeerzeuger, hydraulische Entkopplung	374
10.1.5	Pufferspeicher	375
10.2	Regelung der Wärmeverteilung	376
10.2.1	Regelung der Vorlauftemperatur	376
10.2.2	Regelung des Differenzdruckes	381
10.3	Einzelraumtemperatur-Regelung mit Thermostatventilen	387
	<i>Friedbert Tiersch</i>	
10.3.1	Thermostatventil und Energieeinsparverordnung	388
10.3.2	Thermostatventil als stetiger Regler	389
10.3.3	Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen	396
10.3.4	Auslegungsbeispiel	402
10.3.5	Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen nach VDI 2073	413
10.4	Regelung von Fußbodenheizungen	414
	<i>Hartmuth Paeschke, Hans Krinninger</i>	
10.4.1	Aufgabe und Wärmeleistung einer Fußbodenheizung	414
10.4.2	Regelung der Wärmeleistung einer Fußbodenheizung	415
10.4.3	Aufbau und Wirkungsweise von Einzelraumregelungen bei Fußbodenheizungen	418
10.5	Regelung von Fernheizungen	419
	<i>Hartmuth Paeschke, Hans Krinninger</i>	
10.5.1	Aufgabe und Aufbau von Fernheizungsanschlüssen	419
10.5.2	Druckverteilung in einer Heißwasser-Fernleitung	423
10.6	Literatur	426
11	Anwendungen: Regelung von Raumlufttechnischen Anlagen (RLT)	427
	<i>Siegfried Baumgarth/Manfred Heiser</i>	
11.1	Regelung von Lüftungsanlagen	428
11.1.1	Zulufttemperatur-Regelung	428
11.1.2	Kaskadenregelung	431
11.1.3	Lüftungsanlagen im VVS-Betrieb	433
11.1.4	Lüftungsanlagen mit Umluftbeimischung	434
11.2	Regelung von Klimaanlagen	435
11.2.1	Klimaanlage mit Luftwäscher	437
11.2.2	Klimaanlage mit Dampfbefeuchtung	441
11.3	Einzelraumregelung	444
11.4	Einzelraumregelung mit bedarfsangepasster Energiebereitstellung	449
11.5	Literatur	454

12	Anwendungen: Regelung in der solaren Wärmeversorgung	455
	<i>Elmar Böllin</i>	
12.1	Einleitung	455
12.2	Regelungstechnische Einrichtungen	455
12.3	Einfache solare Systeme zur Brauchwassererwärmung	458
12.4	Solare Systeme zur Brauchwassererwärmung und Gebäudeheizung	459
13	Anwendungen: Regelung von Kälteanlagen	461
	<i>Martin Becker</i>	
13.1	Einleitung	461
13.2	Grundlagen und Systembetrachtung von Kälteanlagen aus regelungstechnischer Sicht	462
13.3	Typische Steuerungs- und Regelungsaufgaben bei Kälteanlagen	468
13.3.1	Kühlraum- bzw. Kühlstellenregelung	469
13.3.2	Abtausteuerung und -regelung	471
13.3.3	Verdampfer-Leistungsregelung	473
13.3.4	Verdichter-Leistungsregelung	477
13.3.5	Verflüssiger-Leistungsregelung	479
13.3.6	Weitere Steuer-, Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen	480
13.4	Von den Einzelregelungen zur Systemregelung einer Kälteanlage	481
13.5	Von der Kälteanlage zum kältetechnischen Gesamtsystem	483
13.6	Spezielle Anforderungen an die MSR-Technik und die Hydraulik in Kälteversorgungsnetzen	485
13.7	Literatur	487
	Stichwortverzeichnis	489