

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_1 -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 Regelstrecken Kennlinie	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 Fetzner</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 <i>Burkard Fromm</i>	121
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 Grundsaltungen	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 Regelstrecken Kennlinien	250
6.2.2	Regelkreis mit nichtlinearen Regelstrecken Kennlinien	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 Ziegler und Nichols	267
7.3.3	Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick	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	Handscharter	286
9.1.4	Grenzscharter	288
9.1.4.1	Endscharter	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 Grundsaltungen.....	321
9.3.1	Logische UND- und ODER-Schaltungen.....	321
9.3.2	Dauer- und Impulsbefehlsgabe.....	322
9.3.3	Selbthalteschaltungen	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	Ventilatorkeilriemen- 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 Paerschke, 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 Paerschke, 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 Raumluftechnischen 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 Klimaanlageanlagen	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 Bollin</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	Abtausteuern 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