

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 8. Auflage .....	V
Beiträge und Autoren .....	VI
<b>1 Einführung in die Regelungs- und Steuerungstechnik .....</b>	<b>1</b>
<i>Joachim Schiele</i>	
1.1 Begriffe und Benennungen .....	1
1.1.1 Regelung .....	1
1.1.2 Regelstrecke .....	2
1.1.3 Regeleinrichtung .....	3
1.1.4 Regelkreis .....	4
1.1.5 Steuerung .....	4
1.1.6 Folgeregelung .....	5
1.2 Wirkungspläne .....	6
1.3 Weitere Beispiele für Regelkreise .....	8
1.4 Literatur .....	12
<b>2 Beharrungs- und Zeitverhalten von Regelkreisgliedern .....</b>	<b>13</b>
<i>Burkard Fromm</i>	
2.1 Einführung .....	14
2.2 Beharrungsverhalten (statisches Verhalten) von Regelkreisgliedern .....	17
2.3 Zeitverhalten (dynamisches Verhalten) von Regelkreisgliedern .....	20
2.3.1 Proportionalglied, P-Glied, P-Verhalten .....	23
2.3.2 Verzögerungsglied 1. Ordnung, $PT_1$ -Glied, $PT_1$ -Verhalten .....	24
2.3.3 Integrierendes Verhalten, I-Verhalten, I-Glied .....	33
2.3.4 Differenzierendes Verhalten, D-Verhalten, D-Glied .....	39
2.3.5 D-Glied mit Verzögerung 1. Ordnung, $DT_1$ -Glied, $DT_1$ -Verhalten .....	41
2.3.6 Totzeitglied, $T_t$ -Glied, Totzeitverhalten .....	43
<b>3 Regelstrecken .....</b>	<b>47</b>
<i>Friedbert Tiersch</i>	
3.1 Abgrenzung der Regelstrecke .....	48
3.2 Kennwerte von Regelstrecken .....	50
3.2.1 Übertragungsverhalten von Regelstrecken .....	50
3.2.2 Bestimmung der Zeitkennwerte von Regelstrecken .....	51
3.2.3 Bestimmung des Übertragungsbeiwertes von Regelstrecken .....	54
3.3 Regelstrecken mit Ausgleich .....	55
3.3.1 Kennlinie und Übertragungsbeiwert .....	55

3.3.2	Linearisierung der Regelstreckenkenmlinie .....	58
3.3.3	Einfluss von Störungen auf P-Regelstrecken .....	61
3.4	Regelstrecken ohne Ausgleich .....	66
3.5	Dynamisches Verhalten von Regelstrecken .....	69
3.5.1	Physikalische Ursachen und Klassifikationsschema .....	69
3.5.2	P-Strecken 0. Ordnung ( $PT_0$ -Strecken) .....	70
3.5.3	P-Strecken mit Totzeit ( $PT_t$ -Strecken) .....	71
3.5.4	P-Strecken 1. Ordnung ( $PT_1$ -Strecken) .....	72
3.5.5	P-Strecken 1. Ordnung mit Totzeit ( $PT_1T_t$ -Strecken) .....	73
3.5.6	P-Strecken höherer Ordnung ( $PT_n$ -Strecken) .....	74
3.6	Schwierigkeitsgrad und Regelbarkeit von Regelstrecken .....	76
3.7	Literatur .....	78
<b>4</b>	<b>Regeleinrichtungen .....</b>	<b>79</b>
	<i>Gerhard Fetzner</i>	
4.1	Eigenschaften der Regler .....	82
4.1.1	Proportionalregler, P-Regler .....	82
4.1.2	Integral-Regler, I-Regler .....	84
4.1.3	Proportional-Differential-Regler, PD-Regler .....	86
4.1.4	Proportional-Integral-Regler, PI-Regler .....	87
4.1.5	PID-Regler .....	89
4.1.6	Reales Verhalten der Regler .....	90
4.2	Auswahl von Regelgeräten .....	90
4.3	Stetig arbeitende Regelgeräte .....	91
4.3.1	Elektronische Regler .....	92
4.3.2	Pneumatische Regler .....	94
4.3.3	Regler ohne Hilfsenergie .....	97
4.3.3.1	Temperaturregler .....	98
4.3.3.2	Druckregler .....	99
4.3.3.3	Differenzdruckregler und Überströmventile .....	100
4.4	Zweipunktregler .....	101
4.4.1	Zweipunktregler ohne Rückführung .....	103
4.4.2	Zweipunktregler mit Rückführung .....	107
4.5	Stetig-ähnliche Regler .....	108
4.6	Stellantriebe .....	109
4.6.1	Elektromotorische Stellantriebe .....	109
4.6.2	Thermoantrieb, thermoelektrischer Stellantrieb .....	112
4.6.3	Elektromagnetische Stellantriebe .....	114
4.6.4	Pneumatische Stellantriebe .....	115
4.6.5	Stellantriebe mit Positionsregelung .....	116
4.7	Literatur .....	117

<b>5</b>	<b>Stellglieder</b> .....	119
5.1	Stellventile und ihre Auslegung .....	119
	<i>Burkard Fromm</i>	
5.1.1	Einführung .....	120
5.1.2	Bauformen von Stellventilen .....	123
5.1.3	Kenngrößen und Kennlinien von Stellventilen .....	126
5.1.4	Grundlagen für die Berechnung hydraulischer Schaltungen .....	134
5.1.5	Hydraulische Grundsaltungen .....	144
5.1.6	Auslegung von Stellventilen .....	152
5.1.6.1	Auslegung für den Nennbetrieb – der einfachste Fall .....	152
5.1.6.2	Auslegung unter Berücksichtigung der Grundform der Ventilkennlinie sowie der Ventilautorität .....	154
5.1.6.3	Dreiwegeventile .....	163
5.1.7	Literatur .....	176
5.2	Geregelte Strahlpumpen .....	177
	<i>Hartmuth Paerschke</i>	
5.2.1	Aufbau, Wirkungsprinzip .....	178
5.2.2	Hydraulische Schaltung, Massen- und Energiebilanz der Strahlpumpe .....	179
5.2.3	Regelungsprinzip .....	180
5.2.4	Vergleich von Mengen-, Mischungs- und Strahlpumpenregelung .....	181
5.2.5	Einsatzfälle .....	182
5.2.5.1	Verteilnetze mit parallelen Mischkreisen .....	182
5.2.5.2	Große Verteilnetze mit Drosselventilen und Mengenregelung .....	183
5.2.6	Modell der geregelten Strahlpumpe .....	185
5.2.7	Dimensionierung und erforderliche Primärdruckdifferenz .....	188
5.2.8	Kennlinienfeld der Strahlpumpe und Netzkennlinien .....	193
5.2.9	Regelverhalten der Strahlpumpe bei konstanter Netzkennlinie .....	196
5.2.10	Mischtemperaturregelung mit Strahlpumpe bei mengengeregelten Verbraucherkreisen .....	198
5.2.11	Regelverhalten der Strahlpumpe bei ansteigendem Primärdruck .....	199
5.2.12	Schlussfolgerungen für Planung und Inbetriebnahme .....	200
5.2.13	Literatur .....	202
5.3	Pumpen und Ventilatoren als Stellgeräte .....	203
5.3.1	Pumpen- und Ventilatorantriebe .....	203
5.3.2	Drehzahlverstellung von Pumpen- und Ventilatorantrieben .....	204
5.3.3	Kennlinienfelder und hydraulische Leistung .....	207
5.3.4	Steuerung und Regelung von Pumpen und Ventilatoren .....	207
5.3.5	Regelung von Pumpen/Ventilatoren in Netzen mit Drosselorganen .....	209
<b>6</b>	<b>Der geschlossene Regelkreis</b> .....	213
	<i>Manfred Heiser</i>	
6.1	Der geschlossene Regelkreis als schwingungsfähiges System .....	214
6.1.1	Frequenzgang .....	214

6.1.2	Schwingungen in einem Regelkreis .....	228
6.1.3	Stabilitätskriterien .....	230
6.1.3.1	Stabilitätskriterium von Nyquist .....	231
6.1.3.2	Stabilitätsreserve .....	231
6.1.4	Berechnung der Parameter eines Regelkreises .....	232
6.1.5	Grundsätzlich stabile oder instabile Regelkreise .....	234
6.1.6	Bode-Diagramm .....	237
6.1.7	Stabilitätskurve .....	241
6.2	Der geschlossene Regelkreis als statisches System .....	248
6.2.1	Regelkreis mit linearen Regelstrecken Kennlinien .....	248
6.2.2	Regelkreis mit nichtlinearen Regelstrecken Kennlinien .....	252
6.2.3	Stabilisierung durch Verkleinern des Regelbereiches .....	254
6.3	Der geschlossene Regelkreis als dynamisches System .....	258
<b>7</b>	<b>Einstellregeln</b> .....	<b>261</b>
	<i>Manfred Büchel</i>	
7.1	Einführung .....	261
7.2	Gütemaße .....	263
7.3	Einstellregeln .....	264
7.3.1	Beispielregelkreis .....	264
7.3.2	Einstellregeln nach <i>Ziegler</i> und <i>Nichols</i> .....	265
7.3.3	Einstellregeln nach <i>Chien</i> , <i>Hrones</i> und <i>Reswick</i> .....	267
7.3.4	Auswirkungen der Reglerparameter beim PID-Regler .....	270
7.4	Literatur .....	272
<b>8</b>	<b>Erweiterte Regelkreisschaltungen</b> .....	<b>273</b>
	<i>Joachim Schiele</i>	
8.1	Störgrößenaufschaltung .....	273
8.2	Kaskadenregelung .....	275
8.3	Literatur .....	276
<b>9</b>	<b>Grundlagen der elektrischen Steuerungstechnik</b> .....	<b>277</b>
	<i>Georg-Peter Schernus/Ekkehard Boggasch</i>	
9.1	Schalt-, Melde- und Stellgeräte .....	280
9.1.1	Schaltglieder .....	280
9.1.2	Daten und Einteilungen von Schaltgeräten .....	282
9.1.3	Handschafter .....	284
9.1.4	Grenzschafter .....	286
9.1.4.1	Endschafter .....	287
9.1.4.2	Temperaturwächter und Temperaturbegrenzer .....	287
9.1.4.3	Bimetallüberstromrelais .....	289

9.1.4.4	Strömungswächter .....	290
9.1.4.5	Druck- und Differenzdruckwächter .....	291
9.1.4.6	Niveaufwächter .....	291
9.1.5	Sicherungen und Schutzschalter .....	293
9.1.5.1	Schmelzsicherungen .....	293
9.1.5.2	Leitungsschutzschalter .....	295
9.1.5.3	Leistungsschalter .....	296
9.1.5.4	Motorschutzschalter .....	297
9.1.5.5	Fehlerstromschutzschalter (RCD) .....	298
9.1.6	Relais und Schütz .....	298
9.1.7	Remanenzschütz und verklinktes Hilfsschütz .....	301
9.1.8	Relais mit Zeitfunktionen und Programmgeber .....	301
9.1.8.1	Zeitrelais .....	301
9.1.8.2	Wischrelais .....	303
9.1.8.3	Programmgeber .....	303
9.1.9	Meldegeräte .....	304
9.1.10	Magnetantriebe und Stellmotoren .....	304
9.2	Schaltungsunterlagen .....	307
9.2.1	Übersichtsschaltplan .....	308
9.2.2	Stromlaufplan .....	308
9.2.3	Verdrahtungsplan .....	309
9.2.4	Regeln für die Erstellung von Stromlaufplänen in aufgelöster Form .....	311
9.2.4.1	Struktur .....	311
9.2.4.2	Zeichenregeln .....	311
9.2.4.3	Methodik beim Entwurf von Stromlaufplänen .....	312
9.2.4.4	Kennzeichnungen in Stromlaufplänen .....	313
9.2.5	Vorschriften und Empfehlungen .....	316
9.2.6	Rechnerunterstützte Erstellung von Schaltungsunterlagen .....	319
9.3	Allgemeine Grundsaltungen .....	319
9.3.1	Logische UND- und ODER-Saltungen .....	319
9.3.2	Dauer- und Impulsbefehlsgabe .....	320
9.3.3	Selbthaltesaltungen .....	320
9.3.4	Befehlsgabe von mehreren Stellen .....	321
9.3.5	Folgeschaltungen .....	322
9.3.6	Signalvervielfachung .....	323
9.3.7	Verriegelungssaltungen .....	323
9.3.7.1	Verriegelung über Tasterkontakte .....	324
9.3.7.2	Verriegelung über Schützkontakte .....	324
9.3.8	Einfache Meldesaltungen für Betriebs- und Störungsanzeigen .....	325
9.3.8.1	Optische Anzeige von Betriebszuständen .....	325
9.3.8.2	Störungsspeicherung und Quittierung .....	326
9.3.8.3	Lampenprüfung .....	327
9.3.8.4	Akustische Sammelstörmeldung .....	328
9.3.9	Hand-Automatik-Umschaltung .....	328

9.4	Steuerschaltungen für Drehstrommotoren .....	329
9.4.1	Motorschutz .....	329
9.4.2	Drehrichtungsumsteuerung eines Drehstrommotors .....	332
9.4.3	Drehzahlumschaltungen bei Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren .....	333
9.4.3.1	Motor mit zwei getrennten Wicklungen .....	334
9.4.3.2	Motor mit umschaltbarer Wicklung nach Dahlander .....	335
9.4.3.3	Motoren mit drei und mehr Drehzahlen .....	336
9.4.4	Automatische Anlassschaltungen für Drehstrom-Asynchronmotoren .....	337
9.4.4.1	Stern-Dreieck-Umschaltung .....	337
9.4.4.2	Ständeranlasser mit Widerständen .....	338
9.4.4.3	Anlasstransformator .....	339
9.4.4.4	Elektronische Sanftanlaufgeräte .....	340
9.4.4.5	Anlassen von Schleifringläufermotoren .....	340
9.5	Spezielle Schaltungsbeispiele aus der Versorgungstechnik .....	341
9.5.1	Steuerschaltungen für die Raumlufttechnik .....	341
9.5.1.1	Frostschutz .....	341
9.5.1.2	Ventilatorkeilriemen- und Strömungsüberwachung .....	342
9.5.1.3	Steuerung einer Klimaanlage .....	343
9.5.2	Steuerschaltungen für die Heizungstechnik .....	345
9.5.2.1	Steuergerät für einen Ölzerstäubungsbrenner .....	345
9.5.2.2	Doppelpumpensteuerung .....	346
9.5.3	Steuerschaltungen für die Wassertechnik .....	349
9.5.3.1	Steuerschaltung für zwei Brunnenpumpen .....	349
9.5.3.2	Druckerhöhungsanlage .....	351
9.5.4	Steuerschaltungen für die Kältetechnik .....	353
9.5.4.1	Sicherheitskette und Absaugsteuerung (pump out) .....	353
9.5.4.2	Betriebswechselschaltung für zwei Verdichter .....	356
9.5.5	Energiemanagement .....	356
9.6	Schaltschrank .....	358
9.6.1	Gehäuse .....	358
9.6.2	Geräteanordnung .....	360
9.6.3	Verdrahtung .....	362
9.6.4	Schutzmaßnahmen .....	364
9.6.4.1	Erdung .....	364
9.6.4.2	Überspannungsschutz .....	364
9.6.4.3	Explosionsschutz .....	364
9.7	Literatur .....	365
<b>10</b>	<b>Anwendungen: Regelung von Heizanlagen .....</b>	<b>367</b>
	<i>Dieter Striebel</i>	
10.1	Regelung von Wärmeerzeugern .....	370
10.1.1	Kesseltemperaturregelung .....	370
10.1.2	Vorlauftemperaturregelung, konstanter Volumenstrom .....	371
10.1.3	Rücklauftemperaturregelung, konstanter Volumenstrom .....	372

10.1.4	Mehrere Wärmeerzeuger, hydraulische Entkopplung .....	372
10.1.5	Pufferspeicher .....	373
10.2	Regelung der Wärmeverteilung .....	374
10.2.1	Regelung der Vorlauftemperatur .....	374
10.2.2	Regelung des Differenzdrucks .....	379
10.3	Einzelraumtemperatur-Regelung mit Thermostatventilen .....	385
	<i>Friedbert Tiersch</i>	
10.3.1	Thermostatventil und Energieeinsparverordnung .....	386
10.3.2	Thermostatventil als stetiger Regler .....	386
10.3.3	Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen .....	393
10.3.4	Auslegungsbeispiel .....	400
10.3.5	Auslegung von thermostatischen Heizkörperventilen nach VDI 2073 .....	410
10.4	Regelung von Fußbodenheizungen .....	411
	<i>Hartmuth Paerschke, Hans Krinninger †</i>	
10.4.1	Aufgabe und Wärmeleistung einer Fußbodenheizung .....	411
10.4.2	Regelung der Wärmeleistung einer Fußbodenheizung .....	412
10.4.3	Aufbau und Wirkungsweise von Einzelraumregelungen bei Fußbodenheizungen .....	415
10.5	Regelung von Fernheizungen .....	416
	<i>Hartmuth Paerschke, Hans Krinninger †</i>	
10.5.1	Aufgabe und Aufbau von Fernheizungsanschlüssen .....	416
10.5.2	Druckverteilung in einer Heißwasser-Fernleitung .....	420
10.6	Literatur .....	423
<b>11</b>	<b>Anwendungen: Regelung von Raumlufotechnischen Anlagen (RLT) .....</b>	<b>425</b>
	<i>Siegfried Baumgarth/Manfred Heiser</i>	
11.1	Regelung von Lüftungsanlagen .....	426
11.1.1	Zulufttemperatur-Regelung .....	426
11.1.2	Kaskadenregelung .....	429
11.1.3	Lüftungsanlagen im VVS-Betrieb .....	431
11.1.4	Lüftungsanlagen mit Umluftbeimischung .....	432
11.2	Regelung von Klimaanlageanlagen .....	433
11.2.1	Klimaanlage mit Luftwäscher .....	435
11.2.2	Klimaanlage mit Dampfbefeuchtung .....	439
11.3	Einzelraumregelung .....	442
11.4	Einzelraumregelung mit bedarfsangepasster Energiebereitstellung .....	447
11.5	Literatur .....	452

<b>12</b>	<b>Anwendungen: Regelung in der solaren Wärmeversorgung</b> .....	<b>453</b>
	<i>Elmar Bollin</i>	
12.1	Einleitung.....	453
12.2	Regelungstechnische Einrichtungen .....	453
12.3	Einfache solare Systeme zur Brauchwassererwärmung.....	456
12.4	Solare Systeme zur Brauchwassererwärmung und Gebäudeheizung .....	457
12.5	Literatur .....	458
<b>13</b>	<b>Anwendungen: Regelung von Kälteanlagen</b> .....	<b>459</b>
	<i>Martin Becker</i>	
13.1	Einleitung.....	459
13.2	Grundlagen und Systembetrachtung von Kälteanlagen aus regelungstechnischer Sicht .....	460
13.3	Typische Steuerungs- und Regelungsaufgaben bei Kälteanlagen.....	466
13.3.1	Kühlraum- bzw. Kühlstellenregelung .....	467
13.3.2	Abtausteuern und -regelung .....	469
13.3.3	Verdampfer-Leistungsregelung.....	471
13.3.4	Verdichter-Leistungsregelung .....	475
13.3.5	Verflüssiger-Leistungsregelung.....	477
13.3.6	Weitere Steuer-, Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen .....	478
13.4	Von den Einzelregelungen zur Systemregelung einer Kälteanlage.....	479
13.5	Von der Kälteanlage zum kältetechnischen Gesamtsystem .....	481
13.6	Spezielle Anforderungen an die MSR-Technik und die Hydraulik in Kälteversorgungsnetzen.....	483
13.7	Literatur .....	485
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>487</b>