

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 8. Auflage	V
Beiträge und Autoren	VI
1 Einführung in die Regelungs- und Steuerungstechnik	1
<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
2 Beharrungs- und Zeitverhalten von Regelkreisgliedern	13
<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
3 Regelstrecken	47
<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
4	Regeleinrichtungen	79
	<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

5	Stellglieder	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
6	Der geschlossene Regelkreis	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
7	Einstellregeln	261
	<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
8	Erweiterte Regelkreisschaltungen	273
	<i>Joachim Schiele</i>	
8.1	Störgrößenaufschaltung	273
8.2	Kaskadenregelung	275
8.3	Literatur	276
9	Grundlagen der elektrischen Steuerungstechnik	277
	<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	Niveaufächter	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	Folgesaltungen	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 Raumluftechnik	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
10	Anwendungen: Regelung von Heizanlagen	367
	<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
11	Anwendungen: Regelung von Raumlufotechnischen Anlagen (RLT)	425
	<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

12	Anwendungen: Regelung in der solaren Wärmeversorgung	453
	<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
13	Anwendungen: Regelung von Kälteanlagen	459
	<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
	Stichwortverzeichnis	487