Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Was ist Regelungstechnik? Was ist Automatisierungstechnik?	1
1.2 Begriffe und Definitionen	6
1.2.1 Funktionseinheiten, Signale und Nomenklatur eines Regelkreises	6
1.2.2 Technische Systeme	11
1.3 Beispiele aus dem Maschinen- und Anlagenbau	20
1.4 Aufgaben zu Kap. 1	39
2 Automatisierungstechnische Grundlagen	45
2.1 Industrie-Antriebstechnologien	45
2.1.1 Funktionsweise elektromechanischer Antriebe	47
2.1.2 Funktionsweise fluidtechnischer Antriebe	57
2.2 Messwert-Erfassung und Sensorik	66
2.3 Aufgaben zu Kap. 2	83
3 Modellbildung und mathematische Grundlagen	85
3.1 Mathematische Beschreibung realer Systeme	85
3.1.1 Von der Zeichnung zur Differentialgleichung	92
3.1.2 Lösen von Differentialgleichungen im Zeitbereich	117
3.1.3 Lösen von Differentialgleichungen im Bildbereich mit der Laplace-Transformation	130
3.2 Testfunktionen	138
3.3 Übertragungsfunktion und Frequenzgang	143
3.4 Grafische Darstellung von Frequenzgängen	148
3.4.1 Bode-Diagramm	148
3.4.2 Ortskurve	151

3.5	Blockschaltbilder.....	152
3.6	Lernerfahrung aus mathematischen Modellen.....	157
3.7	Aufgaben zu Kap. 3.....	158
4	Beschreibung typischer Übertragungsfunktionen.....	179
4.1	Identifikation von Regelstrecken.....	179
4.1.1	Proportionales Verhalten (P-Glied).....	180
4.1.2	Integrierendes Verhalten (I-Glied).....	188
4.1.3	Verzögerungsglied erster Ordnung (P-T ₁).....	193
4.1.4	Nicht-schwingungsfähiges Verzögerungsglied zweiter Ordnung (P-T ₂).....	204
4.1.5	Nicht-schwingungsfähige Verzögerungsglieder höherer Ordnung (P-T _n).....	210
4.1.6	Schwingungsfähiges Verzögerungsglied zweiter Ordnung (P-T ₂).....	212
4.1.7	Schwingungsfähige Verzögerungsglieder höherer Ordnung (P-T _n).....	239
4.1.8	Verzögerungsglied 1. und höherer Ordnung mit Integrator (I-T ₁ bzw. I-T _n).....	243
4.1.9	Differenzierendes Verhalten (D-Glied).....	247
4.1.10	Reales differenzierendes Verhalten (D-T ₁ -Glied).....	251
4.1.11	Totzeitglied (T _t).....	253
4.2	Übertragungsfunktionen eines PID-Reglers.....	257
4.2.1	PID-Einzelanteile (P-Regler, I-Regler und D-Regler).....	257
4.2.2	Proportional-integrierendes Verhalten (PI-Regler).....	259
4.2.3	Proportional-differenzierendes Verhalten (PD-Regler).....	260
4.2.4	Proportional-differenzierendes Verhalten mit Verzögerung (PD-T ₁ -Regler, realer PD-Regler).....	263
4.2.5	Proportional-integrierendes-differenzierendes Verhalten (PID-Regler und PID-T ₁ -Regler bzw. realer PID-Regler).....	265
4.3	Aufgaben zu Kap. 4.....	271
5	Analyse von Regelkreisen und Regler-Auslegung.....	283
5.1	Ziel und Entwurf einer Regelung.....	283
5.2	Der PID-Regler.....	286
5.2.1	Qualitative Analyse eines Reglers.....	286
5.2.2	Mathematische Beschreibung von Reglern.....	295
5.2.3	Technische Realisierung von Regel-Geräten.....	299
5.3	Stabilität.....	302
5.3.1	Bewertung des Nenners einer Übertragungsfunktion.....	307
5.3.2	Kriterium nach Hurwitz.....	310

5.3.3	Bewertung des offenen Regelkreises und des Bode-Diagramms	312
5.4	Untersuchung der Kombination „Regler und Strecke“	317
5.4.1	Festwertregelung: P-Regler und P-T ₁ -Strecke	317
5.4.2	Festwertregelung: I-Regler und P-T ₁ -Strecke	320
5.4.3	Folgerregelung: I-Regler und P-T ₁ -Strecke	324
5.4.4	Festwertregelung: PI-Regler und P-T ₁ -Strecke	328
5.4.5	Festwertregelung: PD-Regler und schwingungsfähige P-T ₂ -Strecke	329
5.5	Auslegung im Zeitbereich	332
5.5.1	Pragmatische Einstellmethoden	333
5.5.2	Einstellung mit Gütekriterien	340
5.6	Auslegung im Frequenzbereich	341
5.6.1	Betragsoptimum und Kompensation von Strecken-Parametern	341
5.6.2	Symmetrisches Optimum	348
5.6.3	Auslegung anhand des Bode-Diagramms	351
5.7	Aufgaben zu Kap. 5	354
6	Projektierung und Auslegung von Anlagen, Optimierung von Regelkreisen	367
6.1	Pragmatische Ansätze zur Optimierung von Reglern und Regelkreisen	367
6.1.1	Regeldifferenz- und Stellgrößen-Aufschaltung	367
6.1.2	Rückführung von Zuständen, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsrückführung	371
6.1.3	Schaltender I-Anteil	374
6.1.4	Einstellung eines realen D-Reglers	375
6.1.5	Umgang mit Stellgrößenbegrenzung, Vermeidung Regler-Überlauf (Anti-Windup)	378
6.1.6	P-T ₁ -Regler	379
6.1.7	Umgang mit Losbrechmomenten oder Ventil-Überdeckungen	382
6.1.8	Vorgabe von Eingangssignalen (Sollwertanpassung, Vorfilter, Trajektorienplanung und Input-Shaper)	386
6.1.9	Kaskadenregelung	392
6.2	Beispiele geregelter Anlagen	393
6.2.1	Positionsregelung	393
6.2.2	Geschwindigkeitsregelung	397
6.2.3	Regelung von Beschleunigung und Kraft	398
6.2.4	Gleichlaufregelung	400
6.2.5	Aktive Schwingungsdämpfung	400

6.3	Optimierung der Regelstrecke	413
6.3.1	Eigenfrequenzen	413
6.3.2	Konstruktive Beeinflussung der Eigenfrequenz bei hydraulischen Antrieben	418
6.3.3	Beeinflussung der Eigenfrequenz durch ein Getriebe am Beispiel der Hydraulik	425
6.3.4	Wahl des Getriebefaktors aus regelungstechnischer Sicht.....	429
6.4	Sensoroptimierung	435
6.5	Labormodelle.....	436
6.6	Aufgaben zu Kap. 6	445
7	Lösungen zu den Aufgaben	451
	Literaturverzeichnis	521
	Stichwortverzeichnis	527