

Walter Kaspers  
Hans-Jürgen Kufner  
Berthold Heinrich  
Wolfgang Vogt

# **Steuern – Regeln – Automatisieren**

Lehr- und Arbeitsbuch

4., vollständig überarbeitete  
und erweiterte Auflage

Mit über 800 Bildern



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Meßtechnik</b> .....	<b>1</b>
1.1 Grundbegriffe der Meßtechnik .....	1
1.1.1 Der Meßvorgang .....	1
1.1.2 Einmalige Messung, Meßreihe oder Dauermessung .....	2
1.1.3 Meßgrößen .....	2
1.1.4 Die Anzeige .....	3
1.1.5 Anzeigebereich und Meßbereich .....	4
1.1.6 Meßfehler – Fehlerursachen und Fehlerbeurteilung .....	5
1.2 Temperaturmessung in der Verfahrenstechnik .....	9
1.2.1 Temperaturmessung mit dem Widerstandsthermometer .....	9
1.2.1.1 Aufbau der Widerstands-Temperaturmeßeinrichtung .....	11
1.2.1.2 Die Auswahl des Schutzrohrs .....	11
1.2.1.3 Die Halbwertszeit – ein Maß für die Reaktionsgeschwindigkeit ..	12
1.2.1.4 Einbaugrundsätze für Widerstandsthermometer .....	13
1.2.2 Temperaturmessung mit Thermoelementen .....	14
1.2.2.1 Hohe Standzeit oder schnelles Ansprechen .....	17
1.2.2.2 Grundsaltungen des Thermoelements .....	18
1.2.2.3 Typische Anwendungsbeispiele der Thermoelemente .....	18
1.2.2.4 Thermoelemente für Spezialaufgaben .....	19
1.2.2.5 Auswahlkriterien für Thermoelemente und Widerstandsthermometer .....	20
1.2.2.6 Die Zeitkonstante – ein zweites Maß für den Zeitablauf eines Meßvorganges .....	22
1.2.3 Der Flüssigkeits-Ausdehnungsfühler .....	23
1.2.4 Thermo-Bi-Metalle und Invarstab als Temperaturfühler .....	24
1.3 Kraftmessung .....	25
1.3.1 Dehnungsmeßstreifen .....	25
1.3.1.1 Wirkungsweise .....	25
1.3.1.2 Anwendung .....	25
1.3.1.3 Verschiedene Formen von Dehnungsmeßstreifen .....	26
1.3.1.4 Temperaturkompensation durch Brückenschaltung .....	26
1.3.1.5 Vollbrückenschaltung mit 4 DMS und Verstärker .....	27
1.3.1.6 Anwendungsbeispiele von Dehnungsmeßstreifen .....	27
1.3.2 Messungen mit Kraftmeßdosen .....	30
1.4 Drehzahlmessung .....	31
1.4.1 Analoge Drehzahlmessung .....	31
1.4.1.1 Stroboskopische Drehzahlmessung .....	31
1.4.1.2 Drehzahlmessung mit Tachogenerator .....	32
1.4.1.3 Drehzahlmessung mit Hilfe von Impulszählung .....	32
1.4.2 Digitale Drehzahlmessung (Frequenzmessung) .....	33
1.4.2.1 Digitale Kurzzeitmessung .....	34
1.4.2.2 Digitale Frequenz und Drehzahlmessung .....	35
1.5 Meßwertgeber für weitere nichtelektrische Meßgrößen .....	36
1.5.1 Meßwertgeber für die Regelgröße Druck .....	37

1.5.2	Meßwertgeber für Durchfluß (Wirkdruckverfahren) .....	38
1.5.3	Meßwertgeber für Durchfluß nach dem induktiven Meßverfahren .....	39
1.5.4	Schwebekörper als Meßwertgeber für Durchfluß .....	40
1.5.5	Meßwertgeber für die Regelgröße Niveau und Dichte .....	40
1.5.6	Meßwertgeber für die Regelgröße Durchhang .....	42
1.5.7	Meßwertgeber zur Erfassung des pH-Wertes .....	42
1.6	Registrierung .....	43
1.6.1	Die analoge Registrierung .....	43
1.6.2	Beurteilung und Auswertung des Registrierstreifens .....	44
1.6.3	Bauteile der Analog-Registriergeräte .....	46
1.6.4	Punktschreiber, Linienschreiber und Lichtschreiber im Vergleich .....	47
1.6.5	Schreibeinrichtung und Meßgerät .....	48
1.6.6	Auflösungsvermögen und Meßwertgenauigkeit beim Analogschreiber .....	49
1.6.7	Die Digital-Registrierung .....	50
<b>2</b>	<b>Steuerungstechnik .....</b>	<b>53</b>
2.1	Grundbegriffe der Steuerungstechnik .....	53
2.1.1	Einführung in die Steuerungstechnik .....	53
2.1.2	Steuerungsarten .....	55
2.1.2.1	Führungssteuerung und Haltegliedsteuerung .....	56
2.1.2.2	Programmsteuerungen .....	56
2.1.2.3	Gegenüberstellung von Steuerungsarten .....	58
2.1.3	Graphische Darstellung von Steuerungsabläufen .....	59
2.1.3.1	Bewegungsdiagramme .....	59
2.1.3.2	Funktionsdiagramme .....	61
2.2	Grundelemente logischer Schaltungen (Funktionen) .....	63
2.2.1	NICHT (Negation) .....	64
2.2.2	UND-NAND .....	64
2.2.3	ODER-NOR .....	67
2.2.4	Exklusiv-ODER .....	70
2.2.5	NOR und NAND – universelle Logikbausteine .....	73
2.2.6	Lehrbeispiele .....	75
2.3	Schaltalgebra .....	78
2.3.1	Grundregeln der Schaltalgebra .....	78
2.3.1.1	Unversionsgesetze (de Morgansche Regeln) .....	79
2.3.1.2	Distributives Gesetz .....	80
2.3.2	Karnaugh-Diagramme .....	85
2.3.2.1	Karnaugh-Diagramm für zwei Variable .....	86
2.3.2.2	Karnaugh-Diagramm für drei Variable .....	87
2.3.2.3	Karnaugh-Diagramm für vier Variable .....	89
2.3.2.4	Karnaugh-Diagramm für fünf Variable .....	94
2.3.3	Der Speicher als Element der Schaltalgebra .....	100
2.3.3.1	Statische Speicher .....	101
2.3.3.2	Speicherelement aus NOR-Elementen .....	102
2.3.4	Zählspeicher .....	104
2.3.4.1	Logikplan von Zählspeichern .....	105
2.3.4.2	Aufbau eines Dualzählers .....	106
2.3.4.3	Umsetzung des Dualzählers in das Dezimalsystem .....	108
2.4	Technische Ausführung von digitalen Steuerelementen .....	111
2.4.1	Elektromechanische Bauteile .....	113
2.4.1.1	Elektromechanische NICHT-Stufe .....	113
2.4.1.2	Elektromechanische ODER-NOR-Stufe .....	113

2.4.1.3	Elektromechanische UND-NAND-Stufe	114
2.4.1.4	Elektromechanische Exklusiv-ODER-Element (Antivalenz – Äquivalenz)	114
2.4.1.5	Elektromechanische Speicher (Flip-Flop)	115
2.4.1.6	Elektromagnetische Zeitschalter (Zeitrelais)	115
2.4.1.7	Elektromagnetische Verzögerungsschaltung	116
2.4.1.8	Elektromagnetische Impulswandler (Monoflop)	117
2.4.1.9	Impulserzeuger (astabiler Kippstufe)	117
2.4.2	Elektronische Bauteile	118
2.4.2.1	Der Transistor als Schalter	118
2.4.2.2	Elektronische NICHT-Stufe	120
2.4.2.3	Elektronische ODER-NOR-Stufe	120
2.4.2.4	Elektronische UND-NAND-Stufe	121
2.4.2.5	Elektronischer Speicher (Flip-Flop)	121
2.4.2.6	Elektronischer Zähler (Untersetzer)	123
2.4.2.7	Elektronisches Zeitrelais (monostabiler Kippstufe)	123
2.4.2.8	Elektronischer Taktgeber (astabile Kippstufe)	125
2.4.2.9	Integrierte Schaltungen (IC)	126
2.4.3	Statische Fluidik-Elemente	127
2.4.3.1	Statisches UND-Element	127
2.4.3.2	Statisches ODER-Element	127
2.4.3.3	Statisches NICHT-Element	128
2.4.3.4	Statisches Speicherlement (Flip-Flop)	128
2.4.3.5	Verzögerungsschalter (Zeitrelais)	129
2.4.3.6	Zeitschalter mit einstellbarer Verzögerung	130
2.4.3.7	Impulsformer (monostabile Kippstufe)	130
2.4.3.8	Impulsgenerator (astabile Kippstufe)	131
2.4.4	Pneumatische Elemente	131
2.4.4.1	Darstellung pneumatischer Elemente nach DIN 24300	132
2.4.4.2	Pneumatische NICHT-Stufe	133
2.4.4.3	Pneumatische ODER-NOR-Stufe	134
2.4.4.4	Pneumatische UND-NAND-Stufe	134
2.4.4.5	Pneumatische Speicherschaltungen (Flip-Flop)	135
2.4.4.6	Pneumatische Zähler (Untersetzerstufe)	137
2.4.4.7	Pneumatischer Verzögerungsschalter (Zeitschalter)	138
2.4.4.8	Pneumatischer Impulswandler (Monoflop)	139
2.4.4.9	Pneumatischer Impulserzeuger (astabile Kippstufe)	140
2.4.4.10	Elektropneumatische Schaltungen	141
2.4.4.11	Gegenüberstellung der verschiedenen Fluidik-Steuerungssysteme	143
2.4.5	Sequentielle Steuerungen	144
2.4.6	Ablaufketten	158
2.4.7	Kaskadenschaltung	159
2.5	Periphere Geräte digitaler Steuerungen	162
2.5.1	Elemente der Signaleingabe	163
2.5.2	Elemente der Signalumformung	173
2.5.3	Pneumatische Signalanzeigergeräte	178
2.5.4	Pneumatische Stell- und Arbeitsglieder	178
2.6	Komplexe Schaltungen, Fallbeispiele und Lösungen	179
2.6.1	Lösungsschema für Steuerungsaufgaben	179
2.6.2	Verteilung codierter Teile	186
2.6.3	Elektropneumatische Steuerungen	188
2.6.4	Automatischer Türöffner	189

2.6.5	Folgesteuerung mit Fluidics .....	190
2.6.6	Hydraulisch gesteuerte Verteilerstation .....	191
2.6.7	Folgesteuerung (Profil-Press-Steuerung) .....	193
2.6.8	Dreifachpresse .....	197
2.6.9	Zweifach-Nietung (Firma Crouzet) .....	200
2.6.10	Automatische Säge .....	202
2.7	Aufbau von Speicherprogrammierbaren Steuerungen – Hardware .....	205
2.7.1	Aufgaben einer speicherprogrammierbaren Steuerung .....	205
2.7.2	Arbeitsweise einer speicherprogrammierbaren Steuerung .....	206
2.7.3	Aufbau und Geräte einer speicherprogrammierbaren Steuerung .....	207
2.7.3.1	Eingabebaustein .....	207
2.7.3.2	Programmspeicher .....	207
2.7.3.3	Steuereinheit .....	208
2.7.3.4	Ausgabebaustein .....	211
2.7.3.5	Programmiergeräte .....	212
2.7.3.6	Zusammenspiel von Arbeitsprogramm, Steuereinheit und Ein- und Ausgabebaustein .....	213
2.8	Programmierung von speicherprogrammierbaren Steuerungen – Software .....	214
2.8.1	Programmierung .....	214
2.8.2	Programmiersprachen einer SPS .....	215
2.8.3	Belegungsliste .....	215
2.8.4	Schaltplan .....	216
2.8.5	Programmiersprachen für Verknüpfungssteuerungen .....	217
2.8.5.1	Der Kontaktplan (KOP) .....	217
2.8.5.2	Funktionsplan (FUP) .....	219
2.8.5.3	Anweisungsliste (AWL) .....	220
2.8.6	Programmiersprachen für Ablaufsteuerungen .....	221
2.8.6.1	Kontaktplan (KOP) für Ablaufsteuerungen .....	223
2.8.6.2	Funktionsplan (FUP) für Ablaufsteuerungen .....	224
2.8.6.3	Anweisungsliste (AWL) für Ablaufsteuerungen .....	225
2.9	Arbeitsbeispiele .....	226
2.9.1	Steuerungsaufgabe: Stempelpresse .....	227
2.9.2	Steuerungsaufgabe: Stanzpresse .....	228
2.9.3	Steuerungsaufgabe: Wendeschüttschaltung .....	229
2.9.4	Steuerungsaufgabe: Transportband .....	231
2.9.5	Steuerungsaufgabe: Prägwerkzeug .....	234
<b>3</b>	<b>Regelungstechnik</b> .....	<b>237</b>
3.1	Grundlagen .....	238
3.1.1	Grundbegriffe im Regelkreis .....	238
3.1.1.1	Regelung .....	238
3.1.1.2	Regelstrecke .....	240
3.1.1.3	Regelgröße, Meßort .....	242
3.1.1.4	Stellgröße, Stellort .....	243
3.1.1.5	Führungsgröße .....	244
3.1.1.6	Störgrößen .....	245
3.1.1.7	Regeleinrichtung .....	246
3.1.1.8	Abgrenzung zwischen Regelstrecke und Regeleinrichtung .....	250
3.1.2	Graphische Darstellung von Regelkreisen .....	251
3.1.2.1	Wirkungsplan .....	251
3.1.2.2	Gerätetechnische Darstellung .....	253
3.1.2.3	Darstellung mit Bildzeichen .....	253

3.1.2.4	Übersicht: Funktionsteile eines Regelkreises .....	255
3.1.3	Beschreibung des Verhaltens von Regelkreisglieder .....	259
3.1.3.1	Statisches Verhalten .....	259
3.1.3.2	Zeitverhalten .....	260
3.2	Regelstrecken .....	268
3.2.1	Regelstrecken mit Ausgleich ( <i>P</i> -Strecken) .....	270
3.2.2	Regelstrecken ohne Ausgleich ( <i>I</i> -Strecken) .....	273
3.2.3	Regelstrecken mit Verzögerung ( $PT_n$ -Strecken) .....	276
3.2.4	Regelstrecken mit Totzeit ( $T_1$ -Strecken) .....	283
3.2.5	Übersicht: Regelstrecken .....	288
3.3	Regler .....	290
3.3.1	Unstetige Regler .....	291
3.3.1.1	Zweipunktregler .....	291
3.3.1.2	Dreipunktregler .....	293
3.3.2	Stetige Regler .....	293
3.3.2.1	Regler mit <i>P</i> -Verhalten .....	294
3.3.2.2	Regler mit <i>I</i> -Verhalten .....	302
3.3.2.3	Regler mit <i>D</i> -Verhalten .....	307
3.3.2.4	Regler mit <i>PI</i> -Verhalten .....	308
3.3.2.5	Regler mit <i>PID</i> -Verhalten .....	312
3.3.2.6	Übersicht: Regler .....	314
3.3.3	Quasisteilige Regler .....	316
3.4	Zusammenwirken von Regler und Strecke .....	320
3.4.1	Begriffe zur Beurteilung von Regelkreisen .....	321
3.4.2	Regelung mit stetigen Reglern .....	322
3.4.2.1	Mathematische Zusammenhänge .....	322
3.4.2.2	Kriterien für die Reglerauswahl .....	325
3.4.2.3	Übersicht: Kombinationen von Reglern und Strecke .....	328
3.4.2.4	Einstellregeln .....	329
3.4.3	Regelung mit Zweipunktreglern .....	330
3.4.4	Regelung mit einer <i>SPS</i> .....	333
3.5	Anhang: Komplexe Zahlen .....	340
<b>4</b>	<b>Automatisierungstechnik .....</b>	<b>345</b>
4.1	Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse .....	346
4.1.1	Prozeßleittechnik/Prozeßleitsysteme .....	346
4.2	Automatisierung fertigungstechnischer Prozesse .....	350
4.2.1	Produktionsleittechnik/Rechnerintegrierte Produktion (CIM) .....	350
4.2.2	Produktionsplanung und -steuerung (PPS) .....	352
4.2.3	Betriebsdatenerfassung (BDE) .....	354
4.2.4	Rechnerunterstützte Konstruktion (CAD) .....	355
4.2.5	Rechnerunterstützte Arbeitsplanung (CAP) .....	362
4.2.6	Rechnerunterstützte Fertigung (CAM) .....	366
4.2.7	Rechnerunterstützte Qualitätssicherung (CAQ, CAT) .....	375
4.2.8	Kommunikationssystem in der rechnerintegrierten Produktion .....	378
4.2.9	Datenbanken in der rechnerintegrierten Produktion .....	382
4.2.10	Expertensysteme in der rechnerintegrierten Produktion .....	384
	<b>Verzeichnis der Abkürzungen .....</b>	<b>386</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>387</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>388</b>