

# Digitale Regelung und Steuerung in der Versorgungstechnik

**Springer**

*Berlin*

*Heidelberg*

*New York*

*Barcelona*

*Budapest*

*Hong Kong*

*London*

*Mailand*

*Paris*

*Tokyo*

S. Baumgarth, A. Karbach, D. Otto,  
G.-P. Schernus, W. Treusch

# Digitale Regelung und Steuerung in der Versorgungstechnik (DDC - GA)

Zweite korrigierte Auflage

Arbeitskreis der Dozenten für Regelungstechnik  
an Fachhochschulen mit Fachbereich  
Versorgungstechnik - Braunschweig

Mit 405 Abbildungen



Springer

Prof. Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth  
Homburgstraße 31, D-38116 Braunschweig

Prof. Dr. rer. nat. Alfred Karbach  
Lottestraße 33, D-35625 Hüttenberg

Prof. Dr.-Ing. Dieter Otto  
Im Wiesengrund 25, D-48565 Steinfurt

Prof. Dr.-Ing. Georg-Peter Schernus  
Zur Oker 10, D-38300 Wolfenbüttel

Prof. Dipl.-Ing. Wilfried Treusch  
Am Ostermoor 19, D-27578 Bremerhaven

ISBN-13: 978-3-642-97637-7

e-ISBN-13: 978-3-642-97636-0

DOI: 10.1007/978-3-642-97636-0

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Digitale Regelung und Steuerung in der Versorgungstechnik (DDC-GA) / Arbeitskreis der Dozenten für  
Regelungstechnik an Fachhochschulen mit Fachbereich Versorgungstechnik -

Braunschweig. S. Baumgarth ... - 2., korrigierte Aufl. - Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona;  
Budapest; Hong Kong; London; Mailand; Paris; Tokyo: Springer, 1995

ISBN 3-540-59133-8

NE: Baumgarth, Siegfried; Arbeitskreis der Dozenten für Regelungstechnik an Fachhochschulen mit  
Fachbereich Versorgungstechnik

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg 1993 and 1995

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlagen vom Autor

SPIN: 10484329

68/3020 - 5 4 3 2 1 0 - Gedruckt auf säurefreiem Papier

# Beiträge der Autoren

## Koordination

Professor Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Institut für Verbrennungstechnik und Prozeßautomation, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

## 1 Einleitung

Professor Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Institut für Verbrennungstechnik und Prozeßautomation, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

## 2 Einführung in die digitale Steuerungstechnik

Professor Dr.-Ing. Georg-Peter Schernus, Institut für Verbrennungstechnik und Prozeßautomation, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

## 3 Einführung in die digitale Regelungstechnik

Professor Dipl.-Ing. Wilfried Treusch, Hochschule Bremerhaven

## 4 Regelungsprogramme und Einstellregeln

Professor Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Institut für Verbrennungstechnik und Prozeßautomation, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel,

Professor Dr.-Ing. Dieter Otto, Fachhochschule Münster, Abteilung Steinfurt

## 5 Systeme und Programmierung

Professor Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Professor Dr.-Ing. Georg-Peter Schernus, Institut für Verbrennungstechnik und Prozeßautomation, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel

## 6 Datenübertragung

Professor Dr.-Ing. Dieter Otto, Fachhochschule Münster, Abteilung Steinfurt

## 7 Gebäudeleittechnik

Professor Dr.-Ing. Alfred Karbach, Fachhochschule Gießen

## 8 Exemplarische Anlagenbeispiele

Professor Dr.-Ing. Siegfried Baumgarth, Professor Dr.-Ing. Georg-Peter Schernus, Professor Dr.-Ing. Dieter Otto

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einführung in die digitale Steuerungstechnik</b>	<b>3</b>
2.1	Binäre Verknüpfungsfunktionen	6
2.1.1	Grundverknüpfungen	6
2.1.2	Abgeleitete Verknüpfungen	10
2.1.3	Systematischer Entwurf eines Schaltnetzes	15
2.1.4	Grundzüge der Schaltalgebra	21
2.1.5	Schaltungsvereinfachung mit dem Karnaugh-Veitch-Diagramm	30
2.2	Binäre Speicherfunktionen	40
2.2.1	RS-Speicher als Selbsthaltekreis mit Verknüpfungsgliedern	40
2.2.2	Funktionssymbole für Speicherglieder	42
2.2.3	Verriegelung bei Speichergliedern	43
2.2.4	Beispiel: Pumpe mit thermischem Motorschutz	44
2.2.5	Beispiel: Wendeschaltung für einen Drehstrommotor	45
2.2.6	Speicher mit dynamischem Eingang (T-Flipflop)	46
2.3	Zähler	48
2.4	Zeitfunktionen	50
2.4.1	Kurzzeiteinschaltung (Impulsfunktion)	50
2.4.2	Einschaltverzögerung	51
2.4.3	Ausschaltverzögerung	51
2.4.4	Erzeugung einer Zeitgrundfunktion aus einer anderen	52
2.4.5	Ein- und Ausschaltverzögerung	54
2.4.6	Taktgenerator	54
2.4.7	Mindesteinschaltzeit	55
2.4.8	Mindestausschaltzeit	55
2.4.9	Beispiel: Ventilatorvorlauf und -nachlauf bei einem Elektrolufterhitzer	56
2.5	Anwendungsspezifische Grundsaltungen	57
2.5.1	Einzelsteuerungen für Pumpen- und Ventilatorantriebe	57
2.5.2	Erfassen von Störungen	67
2.5.3	Spezielle Überwachungssaltungen aus der Versorgungstechnik	68
2.5.4	Beispiel: Doppelpumpensteuerung	71

<b>3</b>	<b>Einführung in die digitale Regelungstechnik</b>	<b>74</b>
3.1	Darstellung von Zahlen und Zeichen im Computer	74
3.1.1	Codierung von Zahlen	75
3.1.2	Darstellung von Integer-Zahlen und Rechenregeln	79
3.1.3	Darstellung von Gleitkommazahlen im Computer	83
3.1.4	Gray-Code	84
3.1.5	Logische Verknüpfungen in höheren Programmiersprachen	87
3.1.6	Übertragung und Speicherung von Zeichen	92
3.2	Mikrorechner	98
3.2.1	Baugruppen des Mikrorechners	98
3.2.2	Arbeitsweise eines Mikrorechners	102
3.2.3	Geschwindigkeitssteigerung durch eine Pipeline	103
3.2.4	Geschwindigkeitssteigerung durch einen Cache-Speicher	104
3.2.5	Personal-Computer	107
3.2.6	Betriebssystem MS-DOS	109
3.2.7	Programmiersprachen	113
3.3	Datenübertragung zwischen dem Rechner und dem Prozeß	117
3.3.1	Komparatoren und Schmitt-Trigger	118
3.3.2	Digital/Analog-Umsetzer	122
3.3.3	Analog/Digital-Umsetzer	125
3.3.4	Analog-Multiplexer	133
3.3.5	Vermeidung von Störungseinwirkungen auf DDC/SPS-Geräte, Elektromagnetische Verträglichkeit	134
3.4	Zeitdiskrete Übertragungsglieder	140
3.4.1	Abtasten und Halten der Signale	140
3.4.2	Einfache zeitdiskrete Übertragungsglieder	144
3.4.3	Digitale Filter	148
3.5	Regelung mit Fuzzy-Logik	149
3.5.1	Fuzzyfizierung der Eingangsgröße	149
3.5.2	Ermittlung der unscharfen Ausgangsgröße	152
3.5.3	Defuzzyfizierung	156
3.5.4	Fuzzy-Operatoren	157
3.5.5	Fuzzy-Regler mit zwei Eingangsvariablen	159
3.5.6	Soft- und Hardware für Fuzzy-Systeme	167

<b>4</b>	<b>Regelungsprogramme und Einstellregeln</b>	<b>171</b>
4.1	Kopplung Rechner - Prozeß	171
4.2	Regelalgorithmen in DDC-Technik	173
4.2.1	Proportionaler Regler (P-Regler)	173
4.2.2	Integraler Regler (I-Regler)	175
4.2.3	PI-Regler	176
4.2.4	PD-Regler	177
4.2.5	PID-Regler	177
4.3	Spezielle Regler-Programme	179
4.3.1	Sequenzsteuerung	179
4.3.2	Bedarfsabhängige Schaltung	180
4.3.3	Kaskadenregelung	181
4.3.4	Regler mit Strukturumschaltung	183
4.4	Einstellregeln für digitale Regelkreise	185
4.4.1	Einstellregeln nach Kenngrößen der Regelstrecke für Strecken mit Ausgleich	185
4.4.1.1	Einstellregeln ohne Berücksichtigung der Zykluszeit $T_z$	185
4.4.1.2	Einstellregeln mit Berücksichtigung der Zykluszeit $T_z$	187
4.4.2	Einstellregeln nach Kenngrößen der Regelstrecke für Strecken ohne Ausgleich	194
4.4.3	Experimentelle Einstellregeln nach Ziegler und Nichols	196
4.4.4	Einfluß der Laufzeit des Antriebs	197
4.4.5	Einfluß der Nichtlinearität der Regelstrecke auf das Regelverhalten	199
4.5	Adaptive Regelung	201
4.5.1	Verfahren der adaptiven Regelung	201
4.5.1.1	Regler nach dem Modellvergleichsverfahren	201
4.5.1.2	Adaptive Regler ohne Vergleichsmodell	202
4.5.1.3	Strukturumschaltender Regler	203
4.5.1.4	Gain- (bzw. Parameter-) Scheduling-Regler	204
4.5.2	Adaptive Regelung mit geregelter Adaption	204
4.5.2.1	Die Identifikation und Modellbildung der Regelstrecke	205
4.5.2.2	Die Streckenmodellbildung mit der Momentenmethode von Ba Hli	206
4.5.2.3	Entscheidungsprozeß und Modifikation	207
4.5.2.4	Struktur und Wirkungsweise der gesteuerten Adaption	208
4.5.3	Anwendungen mit adaptiven Reglern	213
4.5.3.1	Strecke mit hoher Ordnung	213



<b>5</b>	<b>Systeme und Programmierung (SPS und DDC)</b>	<b>216</b>
5.1	Speicherprogrammierbare Steuerungen	216
5.1.1	Aufbau und Funktionsweise einer SPS	218
5.1.1.1	Zentraleinheit	219
5.1.1.2	Ein- und Ausgabegruppen, Stromversorgung	223
5.1.1.3	Ergänzende Anmerkungen zur SPS-Hardware	225
5.1.2	Programmierung	227
5.1.2.1	Struktur einer Steuerungsanweisung	229
5.1.2.2	Anweisungsliste nach DIN 19239	229
5.1.2.3	Grafische Programmdarstellung und Programmiersprachen	237
5.1.2.4	Beispiel: Einfache RLT-Anlage mit Frostschutz und Keilriemen- überwachung	241
5.1.2.5	Tabellarische Programmierung	246
5.1.2.6	Zuordnungsliste und symbolische Adressierung	248
5.1.3	Programmiergeräte und Programmierhilfsmittel	248
5.1.3.1	Systemspezifische Programmiergeräte	249
5.1.3.2	IBM-PC/AT mit systemspezifischer Software	250
5.1.3.3	Herstellerunabhängige Programmiersysteme	255
5.1.4	Analogwertverarbeitung mit SPS	259
5.2	DDC-Systeme	260
5.2.1	Systemstruktur	260
5.2.1.1	Eingabemöglichkeiten von Programmen	264
5.2.1.2	Voraussetzungen für eine Programmeingabe	266
5.2.2	Programmiermethoden von DDC-Systemen über Code-Zahlen oder Programmiersprachen	268
5.2.2.1	Programmierung über CODE-Zahlen (z. B. MICOS 4000SR)	268
5.2.2.2	Programmierung über eine Programmiersprache (z. B. COLBAS)	271
5.2.2.3	Programmierung in Funktionsplantechnik	274
5.2.3	Programmierung über CAE-Technik	281
5.2.3.1	Einführung in die CAE-Technik, Anlagenbilderstellung	281
5.2.3.2	Einbindung der Regelung und Steuerung	283
5.2.3.3	Erstellung des DDC-Programms, Nutzung auf Leitebene	286
5.2.3.4	Anwendungsbeispiel EXCEL 500 mit CARE	288

<b>6</b>	<b>Datenübertragung</b>	<b>294</b>
6.1	Grundlagen	294
6.1.1	Verbindungsstrukturen	294
6.1.2	Schnittstellen zum PC	294
6.1.2.1	Parallele Schnittstelle	295
6.1.2.2	Serielle Schnittstelle	296
6.1.3	Steuerung der Datenübertragung	298
6.1.3.1	Asynchrones Verfahren	298
6.1.3.2	Synchrones Verfahren	299
6.1.3.3	Übertragungsgeschwindigkeit	299
6.2	Bussysteme	300
6.2.1	Grundlagen	300
6.2.2	Parallele Bussysteme	302
6.2.2.1	Der IEC-Bus	302
6.2.2.2	Der Q-Bus	303
6.2.3	Serielle Bussysteme	304
6.2.3.1	Einteilung der seriellen Busse	305
6.2.3.2	Der PROFIBUS	307
6.2.3.3	Datenübertragung im RS-485-Standard	308
6.2.3.4	Der serielle Sende- und Empfangsteil (UART)	309
6.2.3.5	Busankopplung	310
6.3	Datennetze	311
6.3.1	Lokale Netze	311
6.3.1.1	Der CSMA/CD-LAN	311
6.3.1.2	Der IEEE 802.4-Token-Bus	312
6.3.1.3	Der IEEE 802.5-Token-Ring	312
6.3.1.4	Firmenneutrales Datenübertragungssystem FND	313
6.3.2	Die Netzdienste der Deutschen Bundespost Telekom	314
6.3.2.1	Das Fernsprechnet	315
6.3.2.2	ISDN	315
6.3.2.3	IDN	316
6.3.2.4	TEMEX	319
6.3.3	Intelligente Schnittstellen im Netzverbund (GATEWAY)	321

<b>7</b>	<b>Gebäudeleittechnik</b>	<b>322</b>
7.1	Einführung	322
7.1.1	Aufgaben der Gebäudeleittechnik und historische Entwicklung	322
7.1.2	Das Automatisierungskonzept in der Gebäudeleittechnik	323
7.1.3	Normierungsaktivitäten	326
7.2	Funktion eines Gebäudeleittsystems	327
7.2.1	Grundfunktionen	327
7.2.2	Übergeordnete Funktionen: Bedienen, Beobachten, Überwachen, Protokollieren und Archivieren	331
7.2.3	Optimierungs- und Managementfunktionen	340
7.3	Systemtechnik	347
7.3.1	Sensoren und Aktoren	348
7.3.2	DDC-Unterstationen - Aufbau und Funktionsweise	349
7.3.3	Leitzentrale	353
7.3.4	Vernetzung	356
7.4	Trends in der Gebäudeleittechnik	360
<b>8</b>	<b>Exemplarische Anlagenbeispiele</b>	<b>364</b>
<b>8.1</b>	<b>h,x-geführte Regelung</b>	<b>365</b>
8.1.1	Umluftbeimischung bei Wäscheraustrittstemperatur-Regelung	365
8.1.2	Klimaanlage mit Umluftbeimischung und Dampfbefeuchtung	366
8.1.3	Klimaanlage mit Umluftbeimischung und geregeltem Luftwäscher	373
<b>8.2</b>	<b>Regelungsstrategien für die Zentrale bei Einzelraumregelung</b>	<b>381</b>
8.2.1	Regelung der zentralen Heizenergieaufbereitung	381
8.2.1.1	Optimierte Vorlauftemperatur-Regelung	381
8.2.1.2	Optimierte Regelung der Heizwasserverteilung bei Mehrzonenanlagen	382
8.2.2	Regelung der Klimazentrale (bei Einzelraumregelung)	383
8.2.2.1	Klimaanlage mit Nachheizregister und VVS-System	383
8.2.2.2	Zweikanal-Klimaanlage und deren Einbindung in die zentrale Luftaufbereitung	386
8.2.2.3	Induktions-Klimaanlage und deren Einbindung in die zentrale Energieaufbereitung	388

<b>8.3</b>	<b>Strategien für eine pH-Wert-Regelung mit DDC-Technik</b>	<b>389</b>
8.3.1	Problem der pH-Wert-Regelung	389
8.3.2	Verbesserung der Streckenkennlinie	390
8.3.3	Verbesserung des Zeitverhaltens $T_I/T_I$	392
8.3.4	Neutralisation einer sauren/basischen Lösung	394
8.3.5	Umsetzung der Regelungsstrategie in ein DDC-Programm	396
<b>8.4</b>	<b>VVS-Lüftungsanlage</b>	<b>397</b>
8.4.1	VVS-Lüftungsanlage mit stetiger Drehzahlregelung	397
8.4.2	VVS-Anlage mit mehrstufigen Ventilatoren	399
8.4.2.1	Funktionsbedingungen für zweistufige Ventilatoren	400
8.4.2.2	Funktionsablauf	401
<b>8.5</b>	<b>Steuerung und Regelung bei Mehrkesselanlagen</b>	<b>404</b>
8.5.1	Hydraulische Grundforderung bei Mehrkesselanlagen	404
8.5.2	Folgeschaltung mit Aufheizung über internen Zirkulationsbetrieb	409
8.5.3	Zeitfunktionen bei Kesselfolgeschaltungen	409
8.5.4	Weitere Zu- und Abschaltkriterien	412
8.5.5	Ergänzende Steuerungsstrategien	416
8.5.6	Zuschaltstrategien bei Kesseln mit zweistufigen Brennern	418
8.5.7	Folgesteuerung bei stetig regelbarem Brenner	420
8.5.8	Folgesteuerung bei verschiedenartigen Wärmeerzeugern	421
<b>8.6</b>	<b>Druckerhöhungsanlage</b>	<b>423</b>
8.6.1	Hydraulische Anforderungen	426
8.6.2	Funktionsweise der Anlage	424
8.6.3	Steuerung der Druckerhöhungsanlage	427
8.6.4	Ergänzende Funktionen	431
<b>8.7</b>	<b>Simulation</b>	<b>433</b>
8.7.1	Simulation einer Zulufttemperatur-Regelung	435
8.7.2	Simulation einer Zulufttemperatur- und Zuluftfeuchte-Regelung	437
	Sachwortverzeichnis	440