

Günter Wellenreuther | Dieter Zastrow

Automatisieren mit SPS Theorie und Praxis

Programmierung:

DIN EN 61131-3, STEP 7, CoDeSys,
Entwurfsverfahren, Bausteinbibliotheken

Applikationen:

Steuerungen, Regelungen, Antriebe, Safety

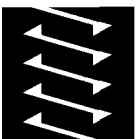
Kommunikation:

AS-i-Bus, PROFIBUS, Ethernet-TCP/IP,
PROFINET, Web-Technologien, OPC, WLAN

5., korrigierte und erweiterte Auflage

Mit mehr als 865 Abbildungen,
108 Steuerungsbeispielen und
8 Projektierungen

STUDIUM



VIEWEG+
TEUBNER

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	V
I Automatisierung, SPS, Variablen und Daten.....	1
1 Einführung.....	1
1.1 Automatisierung.....	1
1.1.1 Grundfunktionen der Automatisierung.....	1
1.1.2 SPS-NormDINEN61131-3(IEC61131-3).....	2
1.1.3 Projektierungssysteme STEP 7 und CoDeSys.....	3
1.1.4 Programmierlehrgang.....	3
1.1.5 Beschreibungsmittel für den systematischen Steuerungsentwurf	3
1.1.6 Regelungs-und Antriebstechnik als technologische Funktionen	4
1.1.7 SPS und PC als Automatisierungsgeräte.....	5
1.2 Kommunikation.....	5
1.2.1 Kommunikation in Automatisierungssystemen.....	5
1.2.2 Bussysteme und WLAN.....	5
1.2.3 Durchgängiger Informationsfluss.....	6
1.2.4 OPC-Technologie.....	7
1.2.5 Web-Technologien.....	7
1.3 Sicherheit von Steuerungen.....	8
1.3.1 Europäische Normung zur Steuerungssicherheit.....	8
1.3.2 Programmierbare Sicherheitssteuerungen und sichere Bussysteme.	8
2 Aufbau und Funktion der Automatisierungsgeräte.....	9
2.1 Verfügbare Automatisierungssysteme.....	9
2.1.1 Hardware-SPS.....	9
2.1.2 PC-basierte Steuerungen.....	10
2.2 Struktur und Funktionsweise einer SPS-CPU.....	11
2.2.1 Zentraleinheit (CPU).....	11
2.2.2 Zyklische Programmbearbeitung.....	14
2.3 Zentrale Prozessperipherie einer S7-SPS.....	15
2.3.1 Signale: Welche Signalarten in einer SPS verarbeitet werden können .	15
2.3.2 Eingabe-/Ausgabebaugruppen: Was angeschlossen werden darf	16
2.3.3 Absolute Adressen von Eingängen und Ausgängen.....	17
3 Grundzüge der Programmiernorm DIN EN 61131-3.....	19
3.1 Programmiersprachen.....	19
3.2 Programm-Organisationseinheiten.....	20
3.3 Deklaration von Programm-Organisationseinheiten.....	21
3.3.1 Deklaration einer Funktion mit dem Funktionsnamen FC1.....	21
3.3.2 Deklaration eines Funktionsbausteins mit dem Namen FB 1.....	22

3.4	Variablen.....	23
3.4.1	Übersicht.....	23
3.4.2	Variablen-Deklaration.....	23
	3.4.2.1 Einzelement-Variablen.....	23
	3.4.2.2 Multielement-Variablen.....	25
3.5	Datentypen und Literale.....	27
3.5.1	Standard Datentypen und Schreibweisen von Zahlen- und Zeitangaben.....	28
3.5.2	Abgeleitete Datentypen.....	29
3.6	Programmstrukturen und Datenaustausch zwischen Bausteinen.....	29
3.6.1	Lineares Programm.....	29
3.6.2	Strukturiertes Programm.....	30
3.6.3	Aufruf und Wertübergaben zwischen Bausteinen nach IEC 61131-3 ...	31
	3.6.3.1 Aufrufhierarchie der Bausteine PRG, FB und FC.....	31
	3.6.3.2 Aufruf eines Funktionsbausteins FB in FBS(FUP) und AWL	31
	3.6.3.3 Aufruf einer Funktion FC in AWL.....	32
3.7	Programmiersysteme.....	34
3.7.1	Einführung in STEP 7.....	34
	3.7.1.1 Projektstruktur mit Hardware-Projektierung.....	34
	3.7.1.2 Bausteintypen.....	35
	3.7. .3 Programmstrukturen und Bausteinauswahl.....	38
	3.7. .4 Deklarations-Schnittstelle.....	38
	3.7. .5 Deklarationsbeispiel für eine Funktion FC 1.....	39
	3.7. .6 Deklarationsbeispiel für einen Funktionsbaustein FB 1.....	40
	3.7. .7 Parametertypen als Ergänzung zu Datentypen.....	40
	3.7. . IEC-Bibliotheken.....	41
	3.7.1.9 Programmtest durch Simulation (PLCSIM).....	41
3.7.2	Einführung in CoDeSys.....	42
	3.7.2.1 Projektstruktur.....	42
	3.7.2.2 Bibliotheken.....	43
	3.7.2.3 Programm erstellen und Projekt generieren („Alles Übersetzen“).....	47
	3.7.2.4 Simulation.....	48
3.8	Exkurs: Zahlendarstellung.....	49
3.8.1	Grundlagen des Dualzahlensystems.....	49
3.8.2	Zweierkomplement.....	50
3.8.3	Zahlenformate.....	52
	3.8.3.1 Ganzzahlen (Festpunktzahlen).....	52
	3.8.3.2 Gleitpunktzahlen nach IEEE.....	53
	3.8.3.3 BCD-Zahlen.....	54
 II Operationsvorrat und Beschreibungsmittel für SPS-Programme....		58
4	Basis-Operationen.....	58
4.1	Binäre Abfragen und Verknüpfungen.....	58
4.1.1	Negation.....	58
4.1.2	UND-Verknüpfung.....	59
4.1.3	ODER-Verknüpfung.....	61

4.1.4	Die Exklusiv-ODER-Verknüpfung	62
4.1.5	Negation einer Verknüpfung	63
4.1.6	Verknüpfungsergebnis VKE	65
4.1.7	Beispiele	65
4.2	Zusammengesetzte logische Grundverknüpfungen	71
4.2.1	UND-vor-ODER-Verknüpfung	71
4.2.2	ODER-vor-UND-Verknüpfung	72
4.2.3	Zusammengesetzte Verknüpfungen mit Exklusiv-ODER	73
4.2.4	Zusammengesetzte Verknüpfungen mit mehreren Klammerebenen	74
4.2.5	Beispiele	77
4.3	Systematischer Programmentwurf mit Funktionstabellen	80
4.3.1	Aufstellen einer Funktionstabelle	81
4.3.2	Disjunktive Normalform DNF	82
4.3.3	Konjunktive Normalform KNF	83
4.3.4	Vereinfachung von Schaltfunktionen mit algebraischen Verfahren	84
4.3.5	Vereinfachung von Schaltfunktionen mit grafischem Verfahren: KVS-Diagramm	86
4.3.6	Umsetzung in ein Steuerungsprogramm	89
4.3.7	Beispiele	90
4.4	Speicherfunktionen	94
4.4.1	Entstehung des Speicherverhaltens	94
4.4.2	Speicherfunktionen in Steuerungsprogrammen	95
4.4.2.1	Speicherfunktion mit vorrangigem Rücksetzen	95
4.4.2.2	Speicherfunktion mit vorrangigem Setzen	96
4.4.3	Speicherfunktionen nach DINEN 61131-3	97
4.4.4	Speicherfunktionen in STEP 7	97
4.4.5	Speicherfunktionen in CoDeSys	100
4.4.6	Verriegelung von Speichern	101
4.4.6.1	Gegenseitiges Verriegeln	101
4.4.6.2	Reihenfolgeverriegelung	102
4.4.7	Beispiele	102
4.5	Systematischer Programmentwurf mit RS-Tabellen	109
4.5.1	RS-Tabelle zu Beginn der Entwurfsphase	109
4.5.2	RS-Tabelle am Ende der Entwurfsphase	110
4.5.3	Beispiele	110
4.6	Flankenauswertung	116
4.6.1	Steigende (positive) Flanke	116
4.6.2	Fallende (negative) Flanke	117
4.6.3	Flankenauswertung nach DINEN 61131-3	117
4.6.4	Flankenauswertung in STEP 7	118
4.6.5	Flankenauswertung in CoDeSys	120
4.6.6	Binäruntersetzer	121
4.6.7	Schaltfolgetabelle	122
4.6.8	Beispiele	124
4.7	Zeitgeber	134
4.7.1	Zeitgebernach DINEN 61131-3	134
4.7.2	Zeitgeber in STEP 7	135
4.7.2.1	STEP 7 - Zeitfunktionen	135

	4.7.2.2	IEC-Standard-Funktionsbausteine in STEP 7.....	142
	4.7.2.3	STEP 7 - Uhrzeitfunktionen.....	145
	4.7.3	Zeitgeber in CoDeSys.....	147
	4.7.4	Beispiele.....	148
4.8		Erzeugung von Taktsignalen.....	165
	4.8.1	Taktgeberprogramm.....	165
	4.8.2	Verfügbare Taktgeber in STEP 7.....	166
	4.8.2.1	Taktmerker.....	166
	4.8.2.2	Weckalarm-Organisationsbausteine.....	167
	4.8.2.3	Taktgeberbausteine.....	167
	4.8.3	Taktgeber in CoDeSys.....	169
	4.8.3.1	Funktionsbaustein „BLINK" (util.lib).....	170
	4.8.3.2	Selbstgeschriebene Funktionsbausteine.....	170
	4.8.4	Beispiele.....	171
4.9		Zählerfunktionen.....	177
	4.9.1	Zählerfunktionen nach DINEN 61131-3.....	177
	4.9.2	Zählerfunktionen in STEP 7.....	178
	4.9.2.1	STEP 7 - Zählerfunktionen.....	178
	4.9.2.2	IEC-Standard-Funktionsbausteine in STEP 7.....	182
	4.9.3	Zähler in CoDeSys.....	185
	4.9.4	Beispiele.....	187
5		Übertragungs-und Programmsteuerungs-Funktionen.....	195
5.1		Übertragungsfunktionen.....	195
	5.1.1	Übertragungsfunktionen nach DINEN 61131-3.....	195
	5.1.2	Übertragungsfunktionen in STEP 7.....	196
	5.1.2.1	Lade-und Transfer-Funktionen.....	196
	5.1.2.2	Akkumulatorfunktionen.....	201
	5.1.3	Übertragungsfunktionen in CoDeSys.....	202
	5.1.3.1	Lade-und Speicherfunktion.....	202
	5.1.3.2	Selektion.....	202
	5.1.4	Beispiele.....	203
5.2		Programmsteuerfunktionen.....	208
	5.2.1	Programmsteuerfunktionen nach DINEN 61131-3.....	208
	5.2.2	Programmsteuerfunktionen in STEP 7.....	210
	5.2.2.1	Unbedingte und bedingte Sprungfunktionen.....	210
	5.2.2.2	Sprungleiste SPL.....	213
	5.2.2.3	Schleifensprung LOOP.....	214
	5.2.2.4	Bausteinaufrufe.....	215
	5.2.2.5	Baustein-Ende-Funktionen.....	216
	5.2.2.6	EN/ENO-Mechanismus.....	217
	5.2.3	Programmsteuerfunktionen in CoDeSys.....	218
	5.2.3.1	Unbedingte und bedingte Sprungfunktionen.....	218
	5.2.3.2	Bausteinaufrufe.....	219
	5.2.3.3	Baustein-Ende-Funktion.....	220
	5.2.3.4	EN/ENO-Mechanismus.....	220
	5.2.4	Beispiele.....	221

6	Digitale Operationen	231
6.1	Vergleichsfunktionen	231
6.1.1	Vergleichsfunktionen nach DINEN 61131-3	231
6.1.2	Vergleichsfunktionen in STEP 7	232
6.1.3	Vergleichsfunktionen in CoDeSys	233
6.1.4	Beispiele	233
6.2	Digitale Verknüpfungen	236
6.2.1	Digitale Verknüpfungen nach DINEN 61131-3	236
6.2.2	Digitale Verknüpfungen in STEP 7	236
6.2.3	Digitale Verknüpfungen in CoDeSys	238
6.2.4	Maskieren von Binärstellen	239
6.2.5	Ergänzen von Bitmustern	239
6.2.6	Signalwechsel von Binärstellen erkennen	239
6.2.7	Beispiele	240
6.3	Schiebefunktionen	245
6.3.1	Schiebefunktionen nach DINEN 61131-3	245
6.3.2	Schiebefunktionen in STEP 7	245
	6.3.2.1 Schieben Wort oder Doppelwort	246
	6.3.2.2 Rotieren	247
	6.3.2.3 Schieben INTEGER	247
6.3.3	Schiebefunktionen in CoDeSys	248
6.3.4	Beispiele	249
6.4	Umwandlungsfunktionen	257
6.4.1	Umwandlungsfunktionen nach DINEN 61131-3	257
6.4.2	Umwandlungsfunktionen in STEP 7	257
	6.4.2.1 Übersicht	258
	6.4.2.2 Umwandlung von BCD-Zahlen	258
	6.4.2.3 Umwandlung von INTEGER- und Doppelinteger-Zahlen	259
	6.4.2.4 Umwandlung von Gleitpunktzahlen	261
	6.4.2.5 Umwandlung durch Komplementbildung	262
	6.4.2.6 Umwandlung BOOL, BYTE, WORD und DWORD	264
6.4.3	Umwandlungsfunktionen in CoDeSys	265
	6.4.3.1 Übersicht	265
	6.4.3.2 Umwandlung von und zu dem Datentyp BOOL	266
	6.4.3.3 Umwandlung zwischen ganzzahligen Datentypen	266
	6.4.3.4 Umwandlung von Gleitpunktzahlen	266
	6.4.3.5 Umwandlung von TIME bzw. TIMEOFDAY	267
	6.4.3.6 Umwandlung von DATE bzw. DATEANDTIME	267
	6.4.3.7 Umwandlung von STRING	267
	6.4.3.8 TRUNC	267
6.4.4	Beispiele	268
7	Beschreibungsmittel Programmablaufplan und Struktogramm	275
7.1	Programmablaufplan	276
/	7.1.1 Programmkonstrukt Verarbeitung	276
	7.1.2 Programmkonstrukt Folge	276
	7.1.3 Programmkonstrukt Auswahl	276

7.1.4	Programmkonstrukt Wiederholung.....	277
7.1.5	Kombination der Programmkonstrukte.....	278
7.2	Struktogramm.....	278
7.2.1	Strukturblock Verarbeitung.....	278
7.2.2	Strukturblock Folge.....	278
7.2.3	Strukturblock Auswahl.....	279
7.2.4	Strukturblock Wiederholung.....	279
7.2.5	Kombination der Strukturblöcke.....	280
7.3	Zusammenstellung der Sinnbilder für Struktogramm und Programmablaufplan.....	281
7.4	AWL-Programmierung nach Vorlage von Programmablaufplan oder Struktogramm.....	282
7.4.1	Verarbeitung.....	282
7.4.2	Folge.....	282
7.4.3	Auswahl.....	283
7.4.4	Wiederholung.....	285
7.5	Beispiele.....	286
8	Mathematische Operationen.....	299
8.1	Arithmetische Funktionen.....	299
8.1.1	Arithmetische Funktionen nach DIN EN 61131-3.....	299
8.1.2	Arithmetische Funktionen in STEP 7.....	300
8.1.2.1	Rechnen mit Konstanten.....	300
8.1.2.2	Rechnen mit INTEGER-Werten.....	301
8.1.2.3	Rechnen mit Doppelinteger-Werten.....	302
8.1.2.4	Rechnen mit Gleitpunktzahlen.....	304
8.1.3	Arithmetische Funktionen in CoDeSys.....	305
8.1.3.1	Addition.....	305
8.1.3.2	Subtraktion.....	305
8.1.3.3	Multiplikation.....	306
8.1.3.4	Division.....	306
8.1.3.5	Modulo Division.....	306
8.1.4	Beispiele.....	307
8.2	Numerische Funktionen.....	313
8.2.1	Numerische Funktionen nach DIN EN 61131-3.....	313
8.2.2	Numerische Funktionen in STEP 7.....	313
8.2.2.1	Allgemeine Funktionen.....	314
8.2.2.2	Logarithmus-und Exponential-Funktionen.....	315
8.2.2.3	Trigonometrische Funktionen.....	316
8.2.3	Numerische Funktionen in CoDeSys.....	317
8.2.3.1	Allgemeine Funktionen.....	317
8.2.3.2	Logarithmus-und Exponential-Funktionen.....	318
8.2.3.3	Trigonometrische Funktionen.....	319
8.2.4	Beispiele.....	320

9	Indirekte Adressierung	328
9.1	Adressierungsarten in AWL.....	328
9.1.1	Indirekte Operanden-Adressierung in STEP 7-AWL.....	328
9.1.2	Indirekte Adressierung bei Multielement-Variablen nach IEC 61131-3... ..	328
9.2	Grundlagen der indirekten Adressierung in STEP 7-AWL.....	329
9.3	Bereichszeiger in STEP 7.....	330
9.4	Speicherindirekte Adressierung in STEP 7-AWL.....	331
9.5	Registerindirekte Adressierung in STEP 7-AWL.....	333
9.6	Beispiele.....	336
10	Programmiersprache Strukturierter Text ST (SCL)	350
10.1	Bausteine in ST (SCL).....	350
10.1.1	Bausteinanfang und Bausteinende.....	350
10.1.2	Deklarationsteil.....	351
10.1.3	Anweisungsteil.....	351
10.2	Ausdrücke, Operanden und Operatoren.....	352
10.2.1	Übersicht.....	352
10.2.2	Operatoren.....	352
10.2.3	Operanden.....	353
10.2.4	Ausdrücke.....	354
10.3	Anweisungen.....	354
10.3.1	Wertzuweisungen.....	354
10.3.2	Kontrollanweisungen.....	355
10.3.2.1	Übersicht.....	355
10.3.2.2	IF-Anweisung.....	356
10.3.2.3	CASE-Anweisung.....	357
10.3.2.4	FOR-Anweisung.....	357
10.3.2.5	WHILE-Anweisung.....	358
10.3.2.6	REPEAT-Anweisung.....	358
10.3.2.7	EXIT-Anweisung.....	359
10.3.2.8	RETURN-Anweisung.....	359
10.3.2.9	CONTINUE-Anweisung.....	359
10.3.2.10	GOTO-Anweisung.....	360
10.3.3	Steueranweisungen für Funktionen und Funktionsbausteine.....	361
10.3.3.1	Aufruf von Funktionsbausteinen.....	361
10.3.3.2	Aufruf von Funktionen.....	362
10.3.3.3	Aufruf von Zählern und Zeiten.....	362
10.4	Beispiele.....	363
III	Ablaufsteuerungen und Zustandsgraph	378
11	Ablauf-Funktionsplan	378
11.1	Konzeption und Normungsquellen.....	378
11.2	Grafische Darstellung von Ablaufsteuerungsfunktionen.....	379
11.2.1	Darstellung von Schritten.....	379
11.2.2	Darstellung von Übergängen und Übergangsbedingungen.....	379

11.2.3	Grundformen der Ablaufkette.....	380
11.2.4	Aktionen, Aktionsblock.....	383
11.3	Umsetzung des Ablauf-Funktionsplans mit SR-Speichern.....	386
11.3.1	Umsetzungsregeln.....	386
11.3.2	Realisierung.....	388
11.3.3	Beispiel.....	388
11.4	Umsetzung des Ablauf-Funktionsplans mit standardisierter Bausteinstruktur ...	392
11.4.1	Regeln für die Programmierung des Bibliotheks-Schrittketten- bausteins FB 15: KoB (Kette ohne Betriebsartenwahl).....	392
11.4.2	Regeln für die Programmierung des Befehlsausgabebausteins.....	394
11.4.3	Realisierung.....	395
11.4.4	Beispiel.....	395
11.5	Ablaufsteuerungen mit wählbaren Betriebsarten.....	398
11.5.1	Grundlagen.....	398
11.5.2	Struktur.....	398
11.5.3	Bedien- und Anzeigefeld.....	399
11.5.4	Betriebsartenteil-Baustein (FB 24: BETR).....	402
11.5.5	Ablaufkettenbaustein (FB 25: KET 10).....	404
11.5.6	Befehlsausgabe.....	407
11.5.7	Realisierung.....	411
11.5.8	Beispiel.....	411
11.6	Komplexe Ablaufsteuerungen.....	418
11.6.1	Ablaufsteuerung mit Betriebsartenteil und Signalvorverarbeitung.....	418
11.6.2	Ablaufsteuerungen mit korrespondierenden Ablaufketten.....	419
11.6.3	Ablaufbeschreibung für Verknüpfungssteuerungen.....	420
11.6.4	Beispiele.....	421
12	Zustandsgraph, S7-HiGraph.....	442
12.1	Zustandsgraph-Darstellung.....	443
12.1.1	Zustände.....	443
12.1.2	Transitionen.....	443
12.1.3	Aktionen.....	445
12.2	Umsetzung von Zustandsgraphen in ein Steuerungsprogramm.....	445
12.3	Zeigerprinzip bei Zustandsgraphen.....	448
12.3.1	Zeigerprinzip bei der Datenspeicherung.....	449
12.3.2	Zeigerprinzip bei Speicherfunktionen.....	449
12.4	Graphengruppe.....	450
12.5	Beispiele.....	452
IV	Analogwertverarbeitung.....	473
13	Grundlagen der Analogwertverarbeitung.....	473
13.1	Analoge Signale.....	473
13.2	SPS-Analogbaugruppen.....	474
13.2.1	Analoge Signale in digitale Messwerte umsetzen.....	474
13.2.2	Auflösung.....	475

13.2.3	Digitalwerte in analoge Signale umsetzen.....	476
13.2.4	Analogwertdarstellung in Peripherieworten.....	476
13.2.5	Signalarten und Messbereiche der Analogeingänge.....	477
13.2.6	Signalarten und Messbereiche der Analogausgänge.....	479
13.3	Anschluss von Messgebern und Lasten.....	481
13.3.1	Anschließen von Messgebern an Analogeingänge.....	481
13.3.2	Anschließen von Lasten an Analogausgänge.....	484
13.4	Beispiele.....	486
14	Normierungsbausteine für Analogwertverarbeitung.....	491
14.1	Messwerte einlesen und normieren.....	491
14.2	Ausgeben von normierten Analogwerten.....	492
14.3	Beispiele.....	494
V	Bussysteme in der Automatisierungstechnik.....	505
15	SPS- und PC-Stationen an Bussysteme anschließen.....	505
15.1	Ursachen des Kommunikationsbedarfs.....	505
15.2	Kommunikationsebenen und Bussysteme.....	505
15.3	Bussystemanschluss für SPS-Stationen.....	507
15.3.1	Systemanschluss durch CPU mit integrierter Schnittstelle.....	507
15.3.1.1	Für PROFIBUS DP.....	507
15.3.1.2	Für PROFINET.....	507
15.3.2	Systemanschluss mit Kommunikationsbaugruppe.....	507
15.3.2.1	Für PROFIBUS DP.....	507
15.3.2.2	Für PROFINET, Industrial Ethernet-TCP/IP.....	508
15.4	Bussystemanschluss für PC-Stationen.....	509
15.4.1	Standard-Netzwerkkarte.....	509
15.4.2	Für PROFIBUS DP.....	509
16	AS-i-Bus.....	510
16.1	Grundlagen.....	510
16.1.1	AS-i-System.....	510
16.1.2	Netzwerk-Topologie.....	511
16.1.3	Übertragungsverfahren.....	511
16.1.4	AS-i-Leitung.....	512
16.1.5	Zugriffssteuerung.....	513
16.1.6	Aufbau einer AS-i-Nachricht.....	513
16.1.7	Datenfelder und Listen beim Master.....	514
16.1.8	Betriebsmodi des Masters.....	515
16.1.9	Datensicherung.....	515
16.1.10	Räumliche Netzerweiterung.....	516
16.1.11	Netzübergänge.....	516
/	16.1.12 AS-i-Spezifikationen.....	517
16.2	Projektierung eines AS-i-Bussystems.....	518
16.2.1	Übersicht.....	518

16.2.2	Aufgabenstellung.....	518
16.2.3	Arbeitsschritt (1): Konfigurierung des AS-i-Slave-Systems.....	519
16.2.3.1	Anlegen eines Projekts.....	519
16.2.3.2	Slave-Adressierung, -Parametrierung, -Projektierung und Funktionstest.....	520
16.2.4	Arbeitsschritt (2): Erstellen und Testen des Anwenderprogramms.....	523
16.2.5	Arbeitsschritt (3): Kleinprojekt.....	524
17	PROFIBUS.....	526
17.1	Grundlagen.....	526
17.1.1	Systemübersicht.....	526
17.1.2	PROFIBUS DP.....	527
17.1.3	PROFIBUS PA.....	528
17.1.4	Netztopologien.....	529
17.1.4.1	Linientopologie (Bustopologie) bei elektrischer Übertragungstechnik.....	529
17.1.4.2	Punkt-zu-Punkt-Verbindung bei Lichtwellenleitern.....	530
17.1.5	Übertragungstechnik.....	531
17.1.5.1	RS 485-Standard für PROFIBUS DP.....	531
17.1.5.2	MBP-Standard für PROFIBUS PA.....	534
17.1.5.3	Lichtwellenleiter.....	534
17.1.6	Buszugriffsverfahren.....	535
17.1.7	Aufbau einer PROFIBUS-Nachricht.....	536
17.1.8	Kommunikationsmodell PROFIBUS DP.....	537
17.1.8.1	Zyklischer Datentransfer Master-Slave in Leistungsstufe DP-VO.....	537
17.1.8.2	Zusätzlicher azyklischer Datenverkehr Master-Slave in Leistungsstufe DP-V1.....	538
17.1.8.3	Zusätzlicher Datenquerverkehr (DX) mit I-Slaves bei Leistungsstufe DP-V2.....	539
17.2	Projektierung PROFIBUS DP.....	540
17.2.1	Übersicht.....	540
17.2.2	Aufgabenstellung.....	540
17.2.3	Arbeitsschritt (1): Löschen und Anlegen eines neuen Projektes.....	541
17.2.4	Arbeitsschritt (2): Hardware konfigurieren.....	541
17.2.5	Arbeitsschritt (3): Software erstellen.....	546
17.2.6	Arbeitsschritt (4): Inbetriebnahme und Test, Fehlerquellen.....	548
18	Ethernet-TCP/IP.....	549
18.1	Grundlagen.....	549
18.1.1	Übersicht.....	549
18.1.2	Ethernet-Netzwerke.....	550
18.1.2.1	Standard 10 BASE-T.....	550
/	18.1.2.2 Fast Ethernet (100 MBit/s).....	551
18.1.3	Industrielle Installation.....	551
18.1.3.1	Industrial-Twisted-Pair-LeitungITP.....	552
18.1.3.2	Strukturierte Verkabelung nach EN 50173.....	552

18.1.3.3	Sterntopologie.....	553
18.1.3.4	Linientopologie.....	554
18.1.4	Datenübertragung über Ethernet.....	554
18.1.4.1	Buszugriffsverfahren.....	554
18.1.4.2	Aufbau einer Ethernet-Nachricht.....	556
18.1.5	Internet Protokoll (IP).....	557
18.1.5.1	IP-Adressen.....	557
18.1.5.2	IP-Datenpakete.....	559
18.1.5.3	Routing (Wege finden) durch das Netz.....	560
18.1.6	Transport-Protokolle (TCP, UDP).....	563
18.1.6.1	Verbindungsorientierter Transportdienst: TCP-Standard . . .	563
18.1.6.2	Verbindungsloser Transportdienst: UDP-Standard.....	565
18.1.7	TCP/IP-Kommunikation bei Industrial Ethernet.....	565
18.1.7.1	Leistungsmerkmale.....	565
18.1.7.2	Zugang zu TCP/IP.....	565
18.1.7.3	Socket-Schnittstelle.....	566
18.1.7.4	Verbindungstypen.....	566
18.1.7.5	SEND-RECEIVE-Schnittstelle.....	567
18.1.7.6	Bedeutung der S7-Funktionen im SIMATIC-System.....	568
18.2	Projektierung Industrial Ethernet.....	569
18.2.1	Übersicht.....	569
18.2.2	Aufgabenstellung: AG-AG-Kopplung in zwei STEP 7 Projekten	569
18.2.3	Arbeitsschritt (1): Hardware-Projektierung.....	570
18.2.3.1	Station 1 mit CPU und CP projektieren.....	570
18.2.3.2	Netzanschluss für „Andere Station“.....	570
18.2.4	Arbeitsschritt (2): Verbindungsprojektierung zur fernen Station	572
18.2.4.1	ISO-on-TCP-Verbindung auswählen.....	572
18.2.4.2	Eigenschaften der ISO-on-TCP-Verbindung festlegen	572
18.2.4.3	Kommunikationsdienste Send/Receive anmelden	573
18.2.5	Arbeitsschritt (3): Datenschnittstelle im Anwenderprogramm einrichten.....	573
18.2.5.1	AGSEND-, AGRECV-Bausteine projektieren.....	573
18.2.5.2	Hinweise zur Inbetriebnahme.....	574
19	PROFINET - Offener Industrial Ethernet Standard.....	575
19.1	Grundlagen.....	575
19.1.1	Überblick.....	575
19.1.2	PROFINETIO.....	575
19.1.2.1	Gegenüberstellung PROFINET IO und PROFIBUS DP. . . .	575
19.1.2.2	Gerätemodell und Peripherieadressen.....	577
19.1.2.3	Adressen.....	577
19.1.3	Netzaufbau.....	578
19.1.3.1	Leitungen und Steckverbinder.....	578
19.1.3.2	Switches.....	579
19.1.3.3	Netztopologien.....	579

19.1.4	PROFINET CBA.....	580
19.1.4.1	Gegenüberstellung von PROFINET IO und PPROFINET CBA.....	580
19.1.4.2	PROFINET-Komponente bilden.....	581
19.1.4.3	PROFINET-Komponenten verschalten.....	582
19.1.4.4	Diagnose.....	582
19.1.4.5	Prozessdaten über OPC visualisieren.....	582
19.1.5	Feldbusintegration.....	583
19.1.6	PROFINET-Kommunikationskanäle.....	584
19.1.7	PROFINET-Web-Integration.....	585
19.2	Projektierung PROFINET IO.....	586
19.2.1	Übersicht.....	586
19.2.2	Aufgabenstellung.....	586
19.2.3	Arbeitsschritt (1): Hardware-Projektierung.....	587
19.2.3.1	Hardwarekonfiguration der S7-Station.....	587
19.2.3.2	IO-Devices anbinden und Module konfigurieren.....	588
19.2.3.3	Gerätenamen und Parameter einstellen.....	588
19.2.4	Arbeitsschritt (2): Gerätenamen zuweisen und Projektierung laden . . .	590
19.2.4.1	Gerätenamen laden.....	590
19.2.4.2	Hardwarekonfiguration laden.....	591
19.2.5	Arbeitsschritt (3): Software erstellen.....	591
19.2.5.1	Ermittlung der EA-Adressen.....	591
19.2.5.2	Anwender-Testprogramm.....	592
19.2.6	Arbeitsschritt (4): Inbetriebnahme, Test und Diagnose.....	592
20	WLAN-Funknetztechnologie nach IEEE 802.11.....	593
20.1	Grundlagen.....	593
20.1.1	Einführung.....	593
20.1.2	WLAN-Realisierung im Überblick.....	593
20.1.2.1	WLAN-Stationen.....	593
20.1.2.2	WLAN-Netzstrukturen.....	594
20.1.2.3	Projektierungsschritte.....	597
20.1.3	Funkkommunikation im Infrastruktur-Netz.....	598
20.1.3.1	Clients suchen Funknetz.....	598
20.1.3.2	WLAN-Zugangskontrolle: Authentifizierung und Assoziierung von Clients.....	598
20.1.3.3	WLAN-Abhörsicherheit: Verschlüsselungsverfahren für die Nutzdaten.....	600
20.1.3.4	Datenadressierung in der WLAN-Kommunikation.....	601
20.1.3.5	Zugriff der WLAN-Geräte auf den Übertragungskanal . . .	602
20.1.4	WLAN-Funktechnik.....	603
20.1.4.1	ISM-Band und überlappungsfreie Funkkanäle.....	603
20.1.4.2	WLAN-Standards und ihre Übertragungsverfahren.....	604
20.1.5	WLAN-Grundlagen im ISO/OSI-Netzwerkmodell.....	607
20.2	Projektierung WLAN-Funknetz.....	609
20.2.1	Aufgabenstellung.....	609
20.2.2	Übersicht.....	609
20.2.3	Basisprojekt.....	610

20.2.4	Erweiterung des Basisprojekts	616
20.2.5	Sicherheitseinstellungen für geschützten WLAN-Betrieb	619
20.2.6	WLAN-Mischbetrieb bei Funkstandard IEEE 802.11b/g: Test	620
VI	Technologische Funktionen	621
21	Prozessdiagnose mit Instandhaltungsbausteinen	621
21.1	Einführung	621
21.2	Instandhaltungsmaßnahmen	621
21.3	Grundlagen von Instandhaltungsbausteinen	624
21.3.1	Störmeldungen	624
21.3.2	Instandhaltungsmeldungen	626
21.3.3	Prinzipieller Aufbau von Instandhaltungsbausteinen	626
21.4	Beispiele	630
22	Regelungen mit Automatisierungsgeräten	638
22.1	Regelung und regelungstechnische Größen	638
22.1.1	Funktionsschema einer Regelung	639
22.1.2	Wirkungsplan einer Regelung	640
22.2	Regelstrecke	641
22.2.1	Begriff der Regelstrecke	641
22.2.2	Bestimmung von Regelstreckenparametern	642
22.2.3	Typisierung der Regelstrecken	644
22.3	Regler	646
22.3.1	Realisierbare Reglerarten	646
22.3.2	Bildung der Regelfunktion	647
22.3.2.1	Zweipunkt-Regelfunktion	647
22.3.2.2	Dreipunkt-Regelfunktion	647
22.3.2.3	PID-Regelfunktionen (P, I, PI, PI-Schritt, PD, PID)	648
22.3.2.4	Fuzzy-Regelfunktion	654
22.3.3	Stellsignaltypen	661
22.3.3.1	Unstetige Stellsignale (Zweipunkt, Dreipunkt)	662
22.3.3.2	Kontinuierliche (stetige) Stellsignale	663
22.3.3.3	Quasi-kontinuierliche Schritt-Stellsignale	664
22.3.3.4	Quasi-kontinuierliche Impuls-Stellsignale (PWM)	665
22.4	Stellglieder	667
22.5	Grundlagen der digitalen Regelung	668
22.5.1	Wirkungsplan digitaler Regelkreise	668
22.5.2	Abtastung, Abtastzeit	668
22.5.3	Auflösung	669
22.5.4	Digitaler PID-Algorithmus	670
22.6	Regler-Programmierung	671
22.6.1	Prinzipieller Aufbau eines Regelungsprogramms	671
22.6.2	Reglereinstellungen	671
22.6.3	Zweipunkt-Reglerbausteine	672
22.6.4	Dreipunkt-Reglerbausteine	675

22.6.5	PID-Reglerbaustein.....	681
22.6.6	PI-Schrittreglerbaustein (Dreipunkt-Schrittregler mit PI-Verhalten)	684
22.7	Beispiele.....	689
23	Antriebe in der Automatisierungstechnik	700
23.1	Übersicht.....	700
23.2	Energie- und Kostensparen durch elektrische Antriebstechnik	700
23.2.1	Energiesparmotoren.....	700
23.2.2	Wirkungsgradverbesserung durch drehzahlveränderbare Antriebe.	701
23.2.3	Kosteneinsparung durch intelligente Antriebe.....	702
23.3	Grundlagen der Umrichtertechnik für Drehstrommotoren.....	703
23.3.1	Prinzip des kontinuierlich drehzahlverstellbaren AC-Antriebs.....	703
23.3.2	Umrichter als Stromrichterstellglied.....	705
23.3.3	Aufbau und Funktion von Umrichtern mit Spannungszwischenkreis ...	706
23.3.4	Drehspannungserzeugung im Wechselrichter.....	708
23.3.4.1	Sinusbewertete Pulsbreitenmodulation.....	709
23.3.4.2	Raumzeigermodulation.....	710
23.3.5	Motorführungsverfahren der Umrichter.....	712
23.3.5.1	Übersicht.....	712
23.3.5.2	U/f-Kennliniensteuerung für Drehstrom-Asynchronmotore ..	712
23.3.5.3	Feldorientierte Vektorregelung für Drehstrom-Asynchronmotore.....	716
23.3.5.4	Servoregelung für permanenterrechte Synchronmotore.....	719
23.3.6	Gebersysteme.....	722
23.3.7	Kommunikation und Antriebsvernetzung.....	724
23.3.7.1	Anlagenbeschreibung.....	724
23.3.7.2	Umrichterparameter und Prozessdaten.....	725
23.3.7.3	Telegrammtypen, Prozessdaten und Verschaltung.....	726
23.4	Inbetriebnahmemöglichkeiten eines Umrichterantriebs.....	732
23.4.1	Serieninbetriebnahme.....	732
23.4.2	Schnellinbetriebnahme mittels Operatorpanel.....	732
23.4.3	Applikationsinbetriebnahme mittels Inbetriebnahmetool.....	733
23.5	Projektierung und Inbetriebnahme eines Umrichterantriebs.....	734
23.5.1	Aufgabenstellung.....	734
23.5.2	Anlagenstruktur.....	734
23.5.3	Projektierungsschritte für SPS-Hardware und Umrichter.....	735
23.5.4	Offline-Konfigurierung des Umrichters.....	736
23.5.4.1	Hardware-Konfiguration des Antriebsgeräts (Umrichter)	736
23.5.4.2	Durchführung der Applikationsinbetriebnahme unter Assistentenführung.....	737
23.5.5	Antriebsprojekt starten, Motor drehen lassen.....	742
23.5.6	Steuerungsprogramm.....	746

VII	Informationstechnologien zur Integration von Betriebsführungs- und Fertigungsabläufen.....	748
24	Industrielle Kommunikation — Überblick	748
24.1	Informationsstrukturen moderner Automatisierungssysteme.....	748
24.2	Horizontale Kommunikation in der Fertigungsebene.....	749
24.3	Vertikale Kommunikation für betriebliche Abläufe.....	750
24.4	Dienste im ISO-OSI-Kommunikationsmodell.....	750
24.5	Netzkomponenten im ISO-OSI-Kommunikationsmodell.....	752
24.5.1	Switches.....	752
24.5.2	Router.....	753
24.5.3	Gateway.....	754
25	Web-Technologien in der Automatisierungstechnik	755
25.1	Grundlagen.....	755
25.1.1	Technologien.....	755
25.1.2	Akteure im Netz: Client und Server.....	755
25.1.3	Netz-Infrastruktur und Protokolle.....	756
25.1.4	HTTP.....	757
25.1.5	HTML.....	758
25.1.6	Ressourcenadresse: URL.....	761
25.1.7	Web-Server.....	762
25.1.8	Java Applets / S7-Applets.....	764
25.1.9	JavaScript.....	767
25.2	Projektierung einer SPS-Webseite.....	769
25.2.1	Aufgabenstellung.....	769
25.2.2	Quelltext.....	769
25.2.3	Projektierung der S7-Steuerung.....	772
26	OPC-Kommunikation - Zugang zu Prozessdaten	775
26.1	Grundlagen.....	775
26.1.1	Der Nutzen von OPC.....	775
26.1.2	Client-Server-Prinzip.....	776
26.1.3	OPC-Server.....	776
26.1.4	OPC-Client.....	778
26.1.5	OPC XML - Internettauglich und betriebssystemunabhängig.....	782
26.2	Projektierung einer Excel-SPS-Verbindung über OPC.....	785
26.2.1	OPC-Server mit unterlagerter SPS einrichten.....	785
26.2.2	Auftragssteuerung unter Excel mit OPC-Automation-Schnittstelle.....	787
26.2.3	Auftragssteuerung unter Excel mit OPC-Data Control.....	794

VIII	Sicherheit von Steuerungen.....	798
27	Aufbau des sicherheitstechnischen Regelwerkes	798
27.1	Europäische Richtlinien.....	798
27.2	Europäisches Normenwerk zur Sicherheit von Maschinen.....	799
27.3	Rechtliche Bedeutung von VDE-Bestimmungen.....	801
27.4	Bedeutung von Symbolen.....	802
27.4.1	CE-Kennzeichen(Konformitätszeichen).....	802
27.4.2	VDE-Prüfzeichen (Gütezeichen).....	802
28	Grundsätze der Maschinensicherheit	803
28.1	Maschinenbegriff.....	803
28.2	Sicherheitsbegriff.....	803
28.3	Risikograf und Kategorien.....	806
28.4	Performance Level PL.....	808
28.5	Sicherheits-Integritäts-Level SIL.....	809
29	Elektrische Ausrüstung von Maschinen nach DIN EN 60204-1	812
29.1	Netzanschlüsse und Einrichtungen zum Trennen und Ausschalten.....	812
29.1.1	Einspeisung.....	812
29.1.2	Netz-Trenneinrichtung.....	813
29.2	Schutz der Ausrüstung.....	813
29.2.1	Überstromschutz.....	813
29.2.2	Überlastschutz von Motoren.....	814
29.2.3	Spannungsunterbrechung und Spannungswiederkehr.....	814
29.3	Steuerstromkreise und Steuerfunktionen.....	814
29.3.1	Versorgung von Steuerstromkreisen.....	814
29.3.2	Steuerspannung.....	814
29.3.3	Anschluss von Steuergeräten.....	814
29.3.4	Überstromschutz.....	814
29.3.5	Maßnahmen zur Risikoverminderung im Fehlerfall.....	814
29.3.6	Schutzverriegelungen.....	815
29.3.7	Start-Funktionen.....	815
29.3.8	Stopp-Funktionen.....	815
29.3.9	Betriebsarten.....	817
29.3.10	Handlungen im Notfall.....	817
30	Sicherheitstechnologien	818
30.1	Bewährte Prinzipien elektromechanischer Sicherheitstechnik.....	818
30.1.1	Zwangsöffnende Schaltkontakte.....	818
30.1.2	Zwangsgeführte Kontakte.....	818
30.1.3	Freigabekontakte.....	819
30.1.4	Rückführkreis.....	819
30.1.5	Ruhestromprinzip, Drahtbruchererkennung.....	819
30.1.6	Verriegelung gegensinnig wirkender Signale.....	819
30.1.7	Zweikanaligkeit.....	819
30.1.8	Redundanz und Diversität.....	819

30.2	Relais- und Schütz-Sicherheitstechnik.....	820
30.3	Sicherheitsschaltgeräte für Not-Halt-Überwachung.....	821
30.4	Auswertegeräte für Lichtvorhänge.....	824
30.5	Fehlersichere Kommunikation über Standard-Bussysteme.....	826
30.5.1	Überblick.....	826
30.5.2	AS-Interface Safety at Work.....	827
30.5.3	PROFISafe auf PROFIBUS DP-Protokoll.....	828
Anhang	830
I	Zusammenstellung der Beispiele mit Bibliotheksbausteinen für STEP 7 und CoDeSys.....	830
II	Zusammenstellung der mehrfach verwendeten Bibliotheksbausteine für STEP 7 und CoDeSys.....	833
1.	Umwandlung, Normierung.....	833
2.	Taktbausteine.....	834
3.	Ablaufsteuerungen.....	835
4.	Reglerbausteine.....	836
III	Operationslisten der Steuerungssprache STEP 7.....	838
1.	AWL-Operationen.....	838
1.1	Nach Art bzw. Funktion sortiert.....	838
1.2	Alphabetisch sortiert.....	839
2.	FUP-Operationen alphabetisch sortiert.....	844
3.	SCL-Anweisungs- und Funktionsübersicht.....	848
3.1	Operatoren.....	848
3.2	Kontrollanweisungen.....	849
3.3	Bausteinaufrufe.....	850
3.4	Zählfunktionen.....	850
3.5	Zeitfunktionen.....	851
3.6	Konvertierungsfunktionen.....	851
3.7	Mathematische Funktionen.....	853
3.8	Schieben und Rotieren.....	853
IV	Operationsliste der Steuerungssprache CoDeSys.....	854
	Weiterführende Literatur.....	855
	Sachwortverzeichnis.....	856