

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-Norm DIN EN 61131-3 (IEC 61131-3)	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 FC 1	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
3.7.1.3	Programmstrukturen und Bausteinauswahl	38
3.7.1.4	Deklarations-Schnittstelle	38
3.7.1.5	Deklarationsbeispiel für eine Funktion FC 1	39
3.7.1.6	Deklarationsbeispiel für einen Funktionsbaustein FB 1	40
3.7.1.7	Parametertypen als Ergänzung zu Datentypen	40
3.7.1.8	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 DIN EN 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	Flankenbewertung	116
4.6.1	Steigende (positive) Flanke	116
4.6.2	Fallende (negative) Flanke	117
4.6.3	Flankenbewertung nach DIN EN 61131-3	117
4.6.4	Flankenbewertung in STEP 7	118
4.6.5	Flankenbewertung 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	Zeitgeber nach DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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 DIN EN 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. TIME_OF_DAY	267
6.4.3.6	Umwandlung von DATE bzw. DATE_AND_TIME	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 Baueinstruktur ...	392
11.4.1	Regeln für die Programmierung des Bibliotheks-Schrittketten- bausteins FB15: 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	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-V0	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-Leitung ITP	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	AG_SEND-, AG_RECV-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	PROFINET IO	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 permanenterregte 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	Bausteinanrufe	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