

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	V
<b>I Automatisierung, SPS, Variablen und Daten .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Aufbau und Funktion der Automatisierungsgeräte .....</b>	<b>9</b>
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
<b>3 Grundzüge der Programmiernorm DIN EN 61131-3 .....</b>	<b>19</b>
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
<b>II</b>	<b>Operationsvorrat und Beschreibungsmittel für SPS-Programme ....</b>	<b>58</b>
<b>4</b>	<b>Basis-Operationen .....</b>	<b>58</b>
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	Flankenauswertung .....	116
4.6.1	Steigende (positive) Flanke .....	116
4.6.2	Fallende (negative) Flanke .....	117
4.6.3	Flankenauswertung nach DIN EN 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	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
<b>5</b>	<b>Übertragungs- und Programmsteuerungs-Funktionen .....</b>	<b>195</b>
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

<b>6</b>	<b>Digitale Operationen</b>	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
<b>7</b>	<b>Beschreibungsmittel Programmablaufplan und Struktogramm</b>	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
<b>8</b>	<b>Mathematische Operationen .....</b>	<b>299</b>
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	Nummerische Funktionen .....	313
8.2.1	Nummerische Funktionen nach DIN EN 61131-3 .....	313
8.2.2	Nummerische 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	Nummerische 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

<b>9</b>	<b>Indirekte Adressierung</b>	<b>328</b>
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
<b>10</b>	<b>Programmiersprache Strukturierter Text ST (SCL)</b>	<b>350</b>
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
<b>III</b>	<b>Ablaufsteuerungen und Zustandsgraph</b>	<b>378</b>
<b>11</b>	<b>Ablauf-Funktionsplan</b>	<b>378</b>
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 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
<b>12</b>	<b>Zustandsgraph, S7-HiGraph .....</b>	<b>442</b>
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
<b>IV</b>	<b>Analogwertverarbeitung .....</b>	<b>473</b>
<b>13</b>	<b>Grundlagen der Analogwertverarbeitung .....</b>	<b>473</b>
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
<b>14</b>	<b>Normierungsbausteine für Analogwertverarbeitung .....</b>	<b>491</b>
14.1	Messwerte einlesen und normieren .....	491
14.2	Ausgeben von normierten Analogwerten .....	492
14.3	Beispiele .....	494
<b>V</b>	<b>Bussysteme in der Automatisierungstechnik .....</b>	<b>505</b>
<b>15</b>	<b>SPS- und PC-Stationen an Bussysteme anschließen .....</b>	<b>505</b>
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
<b>16</b>	<b>AS-i-Bus .....</b>	<b>510</b>
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
<b>17</b>	<b>PROFIBUS .....</b>	<b>526</b>
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
<b>18</b>	<b>Ethernet-TCP/IP .....</b>	<b>549</b>
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
<b>19</b>	<b>PROFINET – Offener Industrial Ethernet Standard .....</b>	<b>575</b>
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
<b>20</b>	<b>WLAN-Funknetztechnologie nach IEEE 802.11 .....</b>	<b>593</b>
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
<b>VI</b>	<b>Technologische Funktionen .....</b>	<b>621</b>
<b>21</b>	<b>Prozessdiagnose mit Instandhaltungsbausteinen .....</b>	<b>621</b>
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
<b>22</b>	<b>Regelungen mit Automatisierungsgeräten .....</b>	<b>638</b>
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
<b>23</b>	<b>Antriebe in der Automatisierungstechnik .....</b>	<b>700</b>
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

<b>VII Informationstechnologien zur Integration von Betriebsführungs- und Fertigungsabläufen .....</b>	<b>748</b>
<b>24 Industrielle Kommunikation – Überblick .....</b>	<b>748</b>
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
<b>25 Web-Technologien in der Automatisierungstechnik .....</b>	<b>755</b>
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
<b>26 OPC-Kommunikation – Zugang zu Prozessdaten .....</b>	<b>775</b>
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

<b>VIII Sicherheit von Steuerungen .....</b>	<b>798</b>
<b>27 Aufbau des sicherheitstechnischen Regelwerkes .....</b>	<b>798</b>
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
<b>28 Grundsätze der Maschinensicherheit .....</b>	<b>803</b>
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
<b>29 Elektrische Ausrüstung von Maschinen nach DIN EN 60204-1 .....</b>	<b>812</b>
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
<b>30 Sicherheitstechnologien .....</b>	<b>818</b>
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, Drahtbrucherkennung .....	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
<b>Anhang</b>	.....	<b>830</b>
<b>I</b>	<b>Zusammenstellung der Beispiele mit Bibliotheksbausteinen für STEP 7 und CoDeSys .....</b>	<b>830</b>
<b>II</b>	<b>Zusammenstellung der mehrfach verwendeten Bibliotheksbausteine für STEP 7 und CoDeSys .....</b>	<b>833</b>
1.	Umwandlung, Normierung .....	833
2.	Taktbausteine .....	834
3.	Ablaufsteuerungen .....	835
4.	Reglerbausteine .....	836
<b>III</b>	<b>Operationslisten der Steuerungssprache STEP 7 .....</b>	<b>838</b>
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
<b>IV</b>	<b>Operationsliste der Steuerungssprache CoDeSys .....</b>	<b>854</b>
	Weiterführende Literatur .....	855
	Sachwortverzeichnis .....	856