

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole	12
1 Einführung	16
1.1 Entwicklung der Automatisierungstechnik	16
1.2 Automatisierungssysteme	18
1.3 Aufgaben in der Industrie 4.0	19
1.3.1 Messen, Steuern, Regeln und Überwachen	20
1.3.2 Auswerten und Planen im Industrial Internet of Things	21
1.3.3 Virtualisierung und Testen mit digitalem Zwilling	23
Übungen zu Kapitel 1	23
2 Aufbau von Steuerungen für die Industrie 4.0	24
2.1 SPS-Aufbau	24
2.1.1 Zentralbaugruppe	24
2.1.2 Peripheriebaugruppen	24
2.1.3 Programmiergerät	25
2.1.4 Human Machine Interface	25
2.1.5 Vernetzte Automatisierungssysteme	26
2.2 SPS-Arten und IoT-Geräte	27
2.2.1 Hardware-SPS	27
2.2.2 Slot-SPS	27
2.2.3 Soft-SPS	27
2.2.4 Vor- und Nachteile PC-basierter SPSen	27
2.2.5 Edge-Controller und IoT-Gateways	28
2.2.6 Hochverfügbare und fehlersichere SPSen	29
2.3 Informationsverarbeitung in der SPS	29
2.4 Ein- und Ausgangsbaugruppen der SPS	30
2.4.1 Digitale Eingangsbaugruppen	30
2.4.2 Digitale Ausgangsbaugruppen	31
2.4.3 Analoge Eingangsbaugruppen	32
2.4.4 Analoge Ausgangsbaugruppen	34
2.4.5 Schnelle Zählerbaugruppen	34
2.4.6 Pulsausgabe-Baugruppen	35
2.5 Ankopplung der Sensoren und Aktoren an die SPS	36
2.5.1 Zwei-/Vierleitertechnik	36
2.5.2 Busankopplung der Feldgeräte	36
2.5.3 Intelligenter Feldverteiler (Remote-I/O)	37
2.6 Industrielle Feldbussysteme	38
2.6.1 Übertragungsmedien	38
2.6.2 Datenübertragung durch das Master-Slave-Verfahren	39
2.6.3 Ethernet-basierte Feldbusse	40

2.7	Bedienen und Beobachten	41
2.7.1	Elemente der Prozessvisualisierung	42
2.7.2	Datenaustausch zwischen HMI und SPS	45
2.7.3	Ankopplung der Prozessvisualisierung an SPSen	46
2.7.4	Prozessleitsysteme	46
2.8	Zusammenfassung	46
	Übungen zu Kapitel 2	47
3	Modulare SPS-Programmierung nach IEC 61131	51
3.1	Softwaremodell	51
3.1.1	Steuerungskonfiguration und Ressourcen	52
3.1.2	Variablen	54
3.1.3	Tasks	56
3.1.4	Programmorganisationseinheiten	58
3.1.5	Funktionen	60
3.1.6	Funktionsbausteine	61
3.1.7	Instanziierung von Funktionsbausteinen in Programmen	67
3.2	Kommunikationsmodell	68
3.2.1	Datenaustausch innerhalb eines Programms	68
3.2.2	Datenaustausch zwischen Programmen	70
3.3	Programmiermodell	71
3.3.1	SPS-Programmiersprachen	72
3.3.2	Anweisungsliste (AWL)	72
3.3.3	Strukturierter Text (ST)	72
3.3.4	Funktionsbausteinsprache (FUP)	73
3.3.5	Kontaktplan (KOP)	74
3.3.6	Ablaufsprache (AS)	75
3.3.7	Anwender-Datentypen	78
3.4	Zusammenfassung	79
	Übungen zu Kapitel 3	79
4	Entwurf von Verknüpfungssteuerungen	83
4.1	SPS-Software-Engineering	83
4.1.1	Analyse der User-Requirements	84
4.1.2	Objektorientierte Softwarestrukturierung	85
4.1.3	Entwurf der Feldgeräteklassen	87
4.1.4	Entwurf der Ansteuerprogramme	87
4.1.5	Implementierung in der SPS	89
4.1.6	Simulation und virtuelle Inbetriebnahme	90
4.2	Entwurf der Verknüpfungslogik	94
4.2.1	Entwurf von Schaltnetzen	94
4.2.2	Entwurf von Schaltwerken	98
4.3	Ansteuerung der Sensorik und Aktorik	106
4.3.1	Funktionsbausteine zum Einlesen von Sensordaten	106
4.3.2	Funktionsbausteine zum Ansteuern von Motoren	107
4.3.3	Funktionsbausteine zum Ansteuern von Ventilen	108
4.3.4	Schutzfunktionen	109
4.3.5	Betriebsarten	112

4.4	Regelungen	115
4.4.1	Schaltende Regler	116
4.4.2	Reglerbetriebsarten	118
4.4.3	Kontinuierliche Regler	119
4.4.4	Selbsteinstellende Regler	125
4.5	Zusammenfassung	129
Übungen zu Kapitel 4		129
5	Entwurf von Ablaufsteuerungen	133
5.1	Entwurf aus Zustandsfolge	133
5.2	Entwurf aus zeitlicher Abfolge	134
5.3	Modellierung durch Fluss- oder Aktivitätsdiagramm	135
5.4	Programmierung industrieller Abläufe	135
5.4.1	Verknüpfung von CFCs und SFCs	137
5.4.2	Schutzfunktionen und Betriebsarten	139
5.5	Modellierung durch anlagenneutrale Grundfunktionen	142
5.5.1	Prozessanalyse	142
5.5.2	Entwurf anlagenneutraler Grundfunktionen	143
5.5.3	Zusammensetzung der Ablaufsteuerung	144
5.6	Entwurf paralleler Prozesse mit Petri-Netzen	145
5.6.1	Analyse der Erreichbarkeit paralleler Abläufe	146
5.6.2	Modellierung paralleler Prozessabläufe durch Petri-Netze	147
5.6.3	Algebraischer Entwurf zur Koordination paralleler Prozesse	151
5.6.4	Programmmentwurf aus Petri-Netzen	152
5.7	Zusammenfassung	154
Übungen zu Kapitel 5		155
6	Objektorientierte SPS-Programmierung	159
6.1	Klassen und Objekte	159
6.2	Interfaces als abstrakte Klassen	160
6.3	Einsatz von Methoden und Eigenschaften	161
6.4	Vererbung	164
6.5	Objektorientierte Ansteuerung der Feldgeräte	167
6.5.1	Ablaufsteuerungen mit Methoden und Eigenschaften	168
6.5.2	Polymorphe Ansteuerung durch Schnittstellen	170
6.5.3	Anlagenneutrale Ablaufsteuerung	171
6.6	Flexible Ablaufsteuerung durch Rezeptfahrweise	173
6.6.1	Entwurf von Rezeptsteuerungen	173
6.6.2	Objektorientierte Programmierung des Prozessmodells	178
6.6.3	Objektorientierte Programmierung des Anlagenmodells	180
6.6.4	Ausführung von Steuerrezepten	181
6.7	Zusammenfassung	182
Übungen zu Kapitel 6		183
7	Bewegungssteuerungen für die digitale Fabrik	185
7.1	Entwurfsmethodik zur Steuerung von Fertigungsabläufen	185
7.2	Motion-Control in der SPS	190
7.2.1	Aufbau von Motion-Control-Systemen	190
7.2.2	Motion-Control durch SPS-Programmierung nach PLCopen	192

7.3	Steuerung einer Bewegungsachse	193
7.3.1	Interpolation	194
7.3.2	Lageregelung	197
7.4	Steuerung von Werkzeugmaschinen	199
7.4.1	Bahnplanung durch CNC-Programmierung	200
7.4.2	Bewegungsvorgaben durch Kurvenscheiben	202
7.4.3	Elektronisches Getriebe	205
7.5	Robotersteuerungen	206
7.5.1	Koordinatentransformation	207
7.5.2	Programmierung von Bewegungsabläufen	209
7.6	Bildverarbeitung zur Steuerung von Robotern	212
7.6.1	Machine-Vision-Systeme	212
7.6.2	Programmierung der Bildverarbeitung nach IEC 61131	214
7.6.3	3D-Positionsbestimmung	215
7.7	Zusammenfassung	217
	Übungen zu Kapitel 7	217
8	Digital Engineering zuverlässiger Steuerungen	221
8.1	Projektierung in der Cloud	221
8.1.1	CAE-Systeme	222
8.1.2	Gute Engineering-Praxis	222
8.1.3	Digitaler Zwilling	224
8.2	Planung der Automatisierung	225
8.2.1	Prozess- und Anlagenplanung	225
8.2.2	Automatisierungstechnisches Lastenheft	226
8.2.3	Automatisierungstechnisches Pflichtenheft	227
8.3	Realisierung des Automatisierungssystems	229
8.3.1	Automatische Codegenerierung	229
8.3.2	Cloud Engineering	230
8.3.3	Virtuelle Inbetriebnahme	231
8.4	Inbetriebnahme und Qualifizierung	234
8.4.1	Installationsprüfung	235
8.4.2	Funktionsprüfung	235
8.4.3	Produktionsprüfung	236
8.5	Wartung und Instandhaltung	237
8.5.1	Condition Monitoring mit Hilfe des digitalen Zwillings	237
8.5.2	Change Management	238
8.5.3	Fernwartung	239
8.6	Zusammenfassung	240
	Übungen zu Kapitel 8	241
9	Safety und Security in der Industrie 4.0	243
9.1	Funktionale Sicherheit	243
9.1.1	Sicherheitsgerichtete Steuerungen	243
9.1.2	Mehrkanalige SSPSen	245
9.1.3	Einkanalige SSPSen	246
9.1.4	Selbsttests in SSPSen	247
9.1.5	Sicherheitsgerichtete Feldbussysteme	248
9.1.6	Gefahren- und Risikoanalyse	249

9.2	Steuerungen für explosionsgefährdete Betriebe	254
9.2.1	Eigensichere Ansteuerung durch die SPS	254
9.2.2	Eigensichere Feldbussysteme	255
9.3	IT-Security	256
9.3.1	Analyse der Schwachstellen	256
9.3.2	Schutzmaßnahmen	257
9.4	Zusammenfassung	259
	Übungen zu Kapitel 9	259
10	Industrial IoT in der Prozessautomatisierung	261
10.1	Horizontale Vernetzung Cyber Physical Systems	262
10.1.1	Vernetzung mit Industrial Ethernet	262
10.1.2	Werkzeuge zur Netzwerkintegration	263
10.1.3	Datenaustausch zwischen SPSen	264
10.2	Vertikale Vernetzung in die Cloud	266
10.2.1	Interoperabilität durch OPC-UA	267
10.2.2	MQTT zur Anbindung von Kleingeräten an die Cloud	269
10.2.3	Plattformunabhängige Webvisualisierung	270
10.3	Betriebsdatenauswertung und Cloud Services	272
10.3.1	Betriebsdatenerfassung	272
10.3.2	Betriebsdatenauswertung	277
10.3.3	Asset Management	279
10.3.4	Qualitätsmanagement	281
10.4	Automatisierte Produktionsplanung und -steuerung	282
10.4.1	Produktionsplanung durch Enterprise-Ressource-Planning	283
10.4.2	Produktionssteuerung in Manufacturing Execution Systems	284
10.4.3	Logistic Execution Systems	285
10.4.4	Supply Chain Management	286
10.5	Zusammenfassung	286
	Übungen zu Kapitel 10	287
11	Die Zukunft der SPS in der Industrie 4.0	290
	Literaturverzeichnis	293
	Anhang	299
	A SPS-Lern-und-Übungsseite	299
	B Funktionsbaustein-Bibliotheken	300
	Stichwortverzeichnis	303