

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole 13

1 Einführung..... 16

1.1 Entwicklung der industriellen Automatisierungstechnik 16

1.2 Automatisierungssysteme 18

1.3 Aufgaben im Industrial IoT 20

1.3.1 Messen, Steuern, Regeln und Überwachen 20

1.3.2 Auswerten und Planen im Industrial Internet of Things 22

1.3.3 Virtualisierung und Testen mit digitalem Zwilling 23

Übungen zu Kapitel 1 23

2 Aufbau industrieller Steuerungen..... 25

2.1 SPS-Aufbau 25

2.1.1 Zentralbaugruppe..... 25

2.1.2 Peripheriebaugruppen 26

2.1.3 Programmiergerät 26

2.1.4 Human Machine Interface 27

2.1.5 Vernetzte Automatisierungssysteme 27

2.2 SPS-Arten und IoT-Geräte 28

2.2.1 Hardware-SPS 28

2.2.2 Slot-SPS 28

2.2.3 Soft-SPS 28

2.2.4 Edge Controller und IoT-Gateways 29

2.2.5 Virtuelle SPS und Cloud-SPS 30

2.2.6 Hochverfügbare und fehlersichere SPSen 31

2.3 Informationsverarbeitung in der SPS 32

2.4 Ein-/Ausgangsbaugruppen der SPS 33

2.4.1 Digitale Eingangsbaugruppen 33

2.4.2 Digitale Ausgangsbaugruppen 34

2.4.3 Analoge Eingangsbaugruppen 35

2.4.4 Analoge Ausgangsbaugruppen..... 37

2.4.5 Schnelle Zählerbaugruppen 37

2.4.6 Pulsausgabe-Baugruppen..... 38

2.5	Ankopplung der Sensoren und Aktoren	39
2.5.1	Zwei-/Vierleitertechnik	39
2.5.2	Busankopplung der Feldgeräte	40
2.5.3	Intelligenter Feldverteiler (Remote-I/O)	41
2.6	Industrielle Feldbussysteme	41
2.6.1	Übertragungsmedien	41
2.6.2	Datenübertragung mit dem Master-Slave-Verfahren	42
2.6.3	Ethernet-basierte Feldbusse	44
2.7	Bedienen und Beobachten	45
2.7.1	Elemente der Prozessvisualisierung	46
2.7.2	Datenaustausch zwischen HMI und SPS	48
2.7.3	Ankopplung der Prozessvisualisierung an SPSen	51
2.7.4	Prozessleitsysteme	51
	Übungen zu Kapitel 2	52

3 SPS-Programmierung nach IEC 61131 **56**

3.1	Softwaremodell	56
3.1.1	Steuerungskonfiguration und Ressourcen	57
3.1.2	Variablen	59
3.1.3	Tasks	61
3.1.4	Programmorganisationseinheiten	64
3.1.5	Funktionen	65
3.1.6	Funktionsbausteine	66
3.1.7	Instanziierung von Funktionsbausteinen in Programmen	72
3.2	Kommunikationsmodell	74
3.2.1	Datenaustausch innerhalb eines Programms	74
3.2.2	Datenaustausch zwischen Programmen	75
3.2.3	Datenaustausch zwischen SPSen	76
3.3	Programmiermodell	78
3.3.1	SPS-Programmiersprachen	78
3.3.2	Anweisungsliste (AWL)	78
3.3.3	Strukturierter Text (ST)	79
3.3.4	Funktionsbausteinsprache (FBS/FUP)	80
3.3.5	Kontaktplan (KOP)	81
3.3.6	Ablaufsprache (AS)	82
3.3.7	Anwender-Datentypen	85
3.4	KI-gestützte SPS-Programmierung	87
	Übungen zu Kapitel 3	89

4	Entwurf kontinuierlicher Steuerungen	92
4.1	SPS-Software-Engineering	92
4.1.1	Analyse der User Requirements	93
4.1.2	Objektorientierte Softwarestrukturierung.....	94
4.1.3	Entwurf der Feldgeräteklassen	96
4.1.4	Entwurf der Ansteuerprogramme	97
4.1.5	Implementierung in der SPS	99
4.1.6	Simulation und virtuelle Inbetriebnahme	100
4.2	Entwurf der Verknüpfungslogik	103
4.2.1	Entwurf von Schaltnetzen	104
4.2.2	Entwurf von Schaltwerken	108
4.3	Ansteuerung der Sensorik und Aktorik	116
4.3.1	Funktionsbausteine zum Einlesen von Sensordaten	116
4.3.2	Funktionsbausteine zum Ansteuern von Motoren	117
4.3.3	Funktionsbausteine zum Ansteuern von Ventilen	118
4.3.4	Schutzfunktionen	119
4.3.5	Betriebsarten.....	122
4.4	Die SPS als Regler	125
4.4.1	Schaltende Regler	126
4.4.2	Reglerbetriebsarten	129
4.4.3	Kontinuierliche Regler	130
4.4.4	Selbsteinstellende Regler	135
	Übungen zu Kapitel 4	139
5	Entwurf von Ablaufsteuerungen	144
5.1	Entwurf aus Zustandsfolge	144
5.2	Entwurf aus zeitlicher Abfolge	145
5.3	Modellierung durch Aktivitätsdiagramm	146
5.4	Programmierung industrieller Abläufe	147
5.4.1	Verknüpfung von CFCs und SFCs	148
5.4.2	Schutzfunktionen und Betriebsarten.....	151
5.5	Ablaufmodellierung durch projektneutrale Grundfunktionen	154
5.5.1	Prozessanalyse.....	154
5.5.2	Entwurf anlagenneutraler Grundfunktionen.....	155
5.5.3	Zusammensetzung der Ablaufsteuerung	157
5.6	Entwurf paralleler Prozessabläufe	158
5.6.1	Analyse der Steuerbarkeit paralleler Abläufe	158
5.6.2	Modellierung paralleler Prozessabläufe mit Petri-Netzen	159

5.6.3	Algebraischer Entwurf zur Koordination paralleler Prozesse	163
5.6.4	Programmmentwurf aus Petri-Netzen	164
	Übungen zu Kapitel 5	166
6	Objektorientierte SPS-Programmierung	171
6.1	Klassen und Objekte	171
6.2	Interfaces als abstrakte Klassen.....	172
6.3	Methoden und Eigenschaften	172
6.4	Vererbung	177
6.5	Objektorientierte Ansteuerung der Feldgeräte	180
6.5.1	Ablaufsteuerungen mit Methoden und Properties	180
6.5.2	Polymorphe Ansteuerung durch Interfaces.....	182
6.5.3	Anlagenneutrale Ablaufsteuerung	184
6.6	Flexible Ablaufsteuerung durch Rezeptfahrweise	185
6.6.1	Entwurf von Rezeptsteuerungen	185
6.6.2	Objektorientierte Programmierung des Prozessmodells	191
6.6.3	Objektorientierte Programmierung des Anlagenmodells	193
6.6.4	Ausführung von Steuerrezepten	194
	Übungen zu Kapitel 6	195
7	Motion Control in der Fabrikautomatisierung	198
7.1	Entwurfsmethodik zur Steuerung von Fertigungsabläufen	198
7.2	Motion-Control in der SPS	203
7.2.1	Aufbau von Motion-Control-Systemen	203
7.2.2	Motion-Control durch SPS-Programmierung nach PLCopen	205
7.3	Steuerung einer Bewegungsachse	206
7.3.1	Interpolation	208
7.3.2	Lageregelung	211
7.4	Steuerung von Werkzeugmaschinen	213
7.4.1	Bahnplanung durch CNC-Programmierung	214
7.4.2	Bewegungsvorgaben durch Kurvenscheiben	216
7.4.3	Elektronisches Getriebe	218
7.5	Robotersteuerungen	220
7.5.1	Koordinatentransformation	221
7.5.2	Programmierung von Bewegungsabläufen	223
7.6	Bildverarbeitung in der SPS	226
7.6.1	Machine-Vision-Systeme	226
7.6.2	Programmierung der Bildverarbeitung nach IEC 61131	227
7.6.3	Bestimmung der 3D-Zielposition	228
	Übungen zu Kapitel 7	231

8	Industrial IoT in der Prozessautomatisierung	236
8.1	Horizontale Vernetzung der Cyber Physical Systems	237
8.1.1	Homogenes Netzwerk mit Industrial Ethernet	237
8.1.2	Werkzeuge zur Netzwerkintegration	238
8.1.3	Interoperabilität durch OPC-UA	239
8.2	Vertikale Vernetzung in die Cloud	241
8.2.1	Industrial IoT-Netzwerk mit OPC-UA	242
8.2.2	MQTT zur Anbindung von Kleingeräten an die Cloud	243
8.2.3	Plattformunabhängige Webvisualisierung	244
8.3	Betriebsdatenauswertung und Cloud Services	245
8.3.1	Betriebsdatenerfassung	247
8.3.2	Betriebsdatenauswertung	250
8.3.3	Asset Management	252
8.3.4	Qualitätsmanagement	254
8.4	Künstliche Intelligenz für die Anlagenautomatisierung	256
8.4.1	Deep Learning in der Cloud	256
8.4.2	Shallow Learning in der SPS	257
8.5	Produktionsplanung und -steuerung	260
8.5.1	Produktionsplanung durch Enterprise Resource Planning	260
8.5.2	Produktionssteuerung in Manufacturing Execution Systems	262
8.5.3	Logistic Execution Systems	263
8.5.4	Supply Chain Management	264
	Übungen zu Kapitel 8	266
9	Safety und Security im Industrial IoT	268
9.1	Funktionale Sicherheit	268
9.1.1	Sicherheitsgerichtete Steuerungen	268
9.1.2	Mehrkanalige SSPSen	270
9.1.3	Einkanalige SSPSen	271
9.1.4	Selbsttests in SSPSen	272
9.1.5	Sicherheitsgerichtete Feldbussysteme	274
9.1.6	Gefahren- und Risikoanalyse	274
9.2	Steuerungen für explosionsgefährdete Betriebe	279
9.2.1	Eigensichere Ansteuerung durch die SPS	279
9.2.2	Eigensichere Feldbussysteme	280
9.3	IT-Security	281
9.3.1	Analyse der Schwachstellen	281
9.3.2	Schutzmaßnahmen	282
	Übungen zu Kapitel 9	285

10	Digital Engineering zuverlässiger Steuerungen	287
10.1	Projektierung in der Cloud.....	287
10.1.1	Computer-Aided-Engineering-Systeme	287
10.1.2	Gute Engineering-Praxis	288
10.1.3	Verwaltungsschale und digitaler Zwilling	290
10.2	Planung der Automatisierung.....	293
10.2.1	Prozess- und Anlagenplanung	293
10.2.2	Automatisierungstechnisches Lastenheft	293
10.2.3	Automatisierungstechnisches Pflichtenheft	294
10.3	Realisierung des Automatisierungssystems	297
10.3.1	Automatische Codegenerierung.....	297
10.3.2	Cloud Engineering	299
10.3.3	Virtuelle Inbetriebnahme	300
10.4	Inbetriebnahme und Qualifizierung.....	303
10.4.1	Installationsprüfung	303
10.4.2	Funktionsprüfung	304
10.4.3	Produktionsprüfung	305
10.5	Wartung und Instandhaltung	305
10.5.1	Predictive Maintenance mithilfe des digitalen Zwillings.....	305
10.5.2	Change Management	307
10.5.3	Fernwartung	307
	Übungen zu Kapitel 10	310
11	Die Zukunft der SPS im Industrial IoT	312
	Anhang	316
	A SPS-Lern-und-Übungsseite	316
	B Funktionsbaustein-Bibliotheken.....	317
	Literaturverzeichnis	319
	Index	326