

Inhaltsverzeichnis

1	WAS HEISST PROZESSAUTOMATISIERUNG?	1
1.1	Definition einiger Grundbegriffe	1
1.1.1	Der Begriff "Technischer Prozess"	1
1.1.2	Der Begriff "Prozessautomatisierung"	5
1.1.3	Das Prozessautomatisierungssystem als Echtzeitsystem	10
1.1.4	Rechner für die Prozessautomatisierung	12
1.2	Automatisierungsgrad und Rechner-Einsatzarten	15
1.2.1	Definition des Automatisierungsgrades	15
1.2.2	Rechner-Einsatzarten	16
1.3	Automatisierung technischer Produkte und technischer Anlagen	22
1.4	Die Bestandteile eines Prozessautomatisierungssystems	27
1.4.1	Die Teilsysteme eines Prozessautomatisierungssystems	27
1.4.2	Sensoren und Aktoren	29
1.4.3	Das Kommunikationssystem	29
1.4.4	Das Automatisierungs-Computersystem	31
1.4.5	Das Automatisierungs-Softwaresystem	35
1.5	Ebenen der Prozessführung und Automatisierungsfunktionen	39
1.5.1	Ebenen-Modell bei der Führung technischer Prozesse	39
1.5.2	Automatisierungsfunktionen	40
1.6	Grundtypen von Vorgängen in technischen Systemen	41
1.6.1	Gebräuchliche Klassifizierungsverfahren für technische Prozesse	41
1.6.2	Klassifizierung nach Vorgängen, bei denen bestimmte Arten von Prozessgrößen vorkommen	42
1.6.3	Kontinuierliche, sequentielle und objektbezogene Vorgänge	43
1.6.4	Klassifizierung technischer Prozesse nach den dominierenden Typen von Vorgängen	46
1.6.5	Graphische Darstellung technischer Prozesse	47
1.7	Beispiele für Prozessautomatisierungssysteme	51

x

1.7.1	Beispiel für ein Prozessautomatisierungssystem zur Produkt-automatisierung	51
1.7.2	Beispiel für ein Prozessautomatisierungssystem zur Anlagen-automatisierung	53
1.8	Auswirkungen der Prozessautomatisierung auf Mensch, Gesellschaft und Umwelt	57
1.8.1	Beabsichtigte (positive) und unbeabsichtigte (negative) Auswirkungen	57
1.8.2	Die Verantwortung des Automatisierungs-Ingenieurs für die Auswirkungen der Prozessautomatisierung	58
	Selbsttestaufgaben	59
2	AUTOMATISIERUNGS-GERÄTESYSTEME UND -STRUKTUREN	63
2.1	Arten von Prozess-Signalen und Darstellung der Prozessdaten in Automatisierungs-Computern	63
2.2	Automatisierungs-Computer	66
2.2.1	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	66
2.2.2	Mikrocontroller	69
2.2.3	Industrie-PC	74
2.2.4	Prozessleitsysteme	78
2.3	Zentrale und dezentrale Automatisierungsstrukturen	85
2.3.1	Die verschiedenen Arten von Automatisierungsstrukturen	85
2.3.2	Kriterien für einen Vergleich der Eigenschaften von Automatisierungsstrukturen	89
2.4	Automatisierungs-Hierarchien	93
2.5	Verteilte Automatisierungssysteme	96
2.5.1	Zielsetzung	96
2.5.2	Grundstrukturen der Kommunikation bei verteilten Computersystemen	97
2.5.3	Bussysteme	100
2.6	Automatisierungsstrukturen mit Redundanz	102
2.6.1	Formen der Redundanz	102
2.6.2	Fehlertolerante Strukturen	103
2.6.3	Doppel- und Drei-Rechner-Strukturen	105

2.6.4	Software-Redundanz	108
	Selbsttestaufgaben	110
3	PROZESSPERIPHERIE	111
3.1	Schnittstellen zwischen dem technischen Prozess und dem Automatisierungs-Computersystem	111
3.1.1	Arten von Schnittstellen	111
3.1.2	Prozess-Signal-Ein-/Ausgabe bei direktem Anschluss von Sensoren bzw. Aktoren	113
3.1.3	Prozess-Signal-Ein-/Ausgabe über Feldbussysteme	113
3.1.4	Das VME-Bussystem	114
3.2	Sensoren und Aktoren	118
3.2.1	Sensoren	118
3.2.2	Aktoren	123
3.3	Feldbussysteme	125
3.3.1	Übersicht	125
3.3.2	Bus-Zugriffsverfahren	128
3.3.3	Der PROFIBUS	131
3.3.4	Der Interbus-S	133
3.3.5	Der CAN-Bus (Controller Area Network)	135
3.4	Ein-/Ausgabe von analogen Signalen	141
3.4.1	Analog-Eingabe	141
3.4.2	Analog-Digital-Umsetzer	144
3.4.3	Analog-Ausgabe	152
3.4.4	Potentialfreie Durchschaltung analoger Signale	155
3.5	Ein-/Ausgabe von binären und digitalen Signalen	157
3.5.1	Digital-Eingabe	157
3.5.2	Digital-Ausgabe	160
3.5.3	Programmierbare Digital-Ein-/Ausgabe	161
3.5.4	Potentialfreie Durchschaltung von Binärsignalen	162
3.6	Störbeeinflussungen auf Prozess-Signalleitungen	163
3.6.1	Arten von Störbeeinflussungen	163
3.6.2	Gegentakt-Störbeeinflussungen	166
3.6.3	Gleichtakt-Störbeeinflussungen	168

3.7	Maßnahmen gegen Störbeeinflussungen	169
3.7.1	Übersicht	169
3.7.2	Potentialtrennung	170
3.7.3	Maßnahmen gegen elektromagnetische Beeinflussung elektrischer Prozess-Signale	170
3.7.4	Erdungsmaßnahmen	174
3.7.5	Maßnahmen gegen Überspannungen	174
3.7.6	Einsatz von Lichtwellenleitern	175
	Selbsttestaufgaben	176
4	ECHTZEITPROGRAMMIERUNG	179
4.1	Problemstellung	179
4.1.1	Was heißt Echtzeitprogrammierung?	179
4.1.2	Forderung nach Rechtzeitigkeit	183
4.1.3	Forderung nach Gleichzeitigkeit	185
4.1.4	Forderung nach Determiniertheit	186
4.1.5	Arten von Echtzeit-Rechensystemen	186
4.2	Echtzeit-Programmierverfahren	187
4.2.1	Arten des Vorgehens zur Erfüllung der Forderungen nach Rechtzeitigkeit und Gleichzeitigkeit	187
4.2.2	Das Verfahren der synchronen Programmierung	189
4.2.3	Das Verfahren der asynchronen Programmierung (Parallelprogrammierung)	195
4.2.4	Ereignisgesteuerte vs. Zeitgesteuerte Systeme	199
4.3	Rechenprozesse (Tasks)	200
4.3.1	Einführung des Begriffs „Rechenprozess“	200
4.3.2	Zustandsmodelle von Rechenprozessen	202
4.3.3	Einplanung von Rechenprozessen	203
4.3.4	Zeitparameter von Rechenprozessen	204
4.4	Zeitliche Koordinierung (Synchronisierung) von Rechenprozessen	206
4.4.1	Parallele und sequentielle, nebenläufige und simultane Aktionen von Rechenprozessen	206
4.4.2	Synchronisierung von Rechenprozessen	206

4.4.3	Semaphorvariable und Semaphoroperationen zur Synchronisierung von Rechenprozessen	210
4.5	Kommunikation zwischen Rechenprozessen	214
4.6	Strategien zur Zuteilung des Prozessors an ablaufbereite Rechenprozesse (Scheduling-Verfahren)	215
4.6.1	Das Scheduling-Problem	215
4.6.2	Scheduling-Verfahren	216
4.6.3	Tests zur Prüfung der Ausführbarkeit	220
	Selbsttestaufgaben	221
5	ECHTZEIT-BETRIEBSSYSTEME	225
5.1	Begriffsbestimmung	225
5.1.1	Was ist ein Betriebssystem?	225
5.1.2	Betriebsmittel	226
5.1.3	Anforderungen an ein Echtzeit-Betriebssystem	226
5.1.4	Kategorien von Echtzeit-Betriebssystemen	227
5.2	Organisationsaufgaben eines Echtzeit-Betriebssystems	229
5.2.1	Aufbau und Eigenschaften eines Echtzeit-Betriebssystems	229
5.2.2	Rechenprozess-Verwaltung	231
5.2.3	Interrupt-Verwaltung	232
5.2.4	Speicherverwaltung	233
5.2.5	Ein-/Ausgabesteuerung	235
5.2.6	Fehlerbehandlung und (Wieder-) Anlauf	236
5.3	Entwicklung eines Mini-Echtzeit-Betriebssystems	236
5.3.1	Zielsetzung und Vorgehen	236
5.3.2	Klärung und Festlegung der Aufgabenstellung und der Anforderungen	238
5.3.3	Entwurf einer Lösungskonzeption	239
5.4	Software-Systementwurf des Mini-Echtzeit-Betriebssystems	244
5.4.1	Software-Systementwurf unter Zugrundelegung der stark vereinfachten Aufgabenstellung	244
5.4.2	Erste Erweiterung des Software-Systementwurfs: Zulassen längerer Rechenzeiten für die Rechenprozesse	253

5.4.3	Zweite Erweiterung des Software-Systementwurfs: Vorsehen der Möglichkeit von Interrupts	255
5.4.4	Dritte Erweiterung des Software-Systementwurfs: Betriebsmittelverwaltung für Ein-/Ausgabegeräte	256
5.4.5	Übergang zum realen Echtzeit-Betriebssystem	257
5.5	Gliederung der Systemprogramme in anwendungsbezogene Programmbausteine	258
5.6	Beispiele für Echtzeit-Betriebssysteme	259
5.6.1	Marktübersicht	259
5.6.2	Das Echtzeit-Betriebssystem QNX	263
	Selbsttestaufgaben	267
6	PROGRAMMIERSPRACHEN FÜR DIE PROZESS- AUTOMATISIERUNG	269
6.1	Grundbegriffe	269
6.1.1	Vorgehensweisen bei der Erstellung der Programme für die Prozessautomatisierung	269
6.1.2	Arten von Programmiersprachen	270
6.1.3	Übersetzung in die Maschinensprache	275
6.2	Höhere Programmiersprachen für die Prozessautomatisierung	276
6.2.1	Die Problematik der Echtzeit-Programmierung	276
6.2.2	Vor- und Nachteile der Assembler-Programmierung	278
6.2.3	Entwicklungsrichtungen zur Anwendung maschinen- unabhängiger, universeller Echtzeit-Programmiersprachen	279
6.3	Programmierung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS)	280
6.3.1	Ausgangssituation	280
6.3.2	Programmablauf in SPS-Systemen	281
6.3.3	Programmiersprachen für SPS-Systeme	283
6.3.4	Programm-Organisation	286
6.4	Die Echtzeitprogrammiersprache Ada 95	289
6.4.1	Entstehungsgeschichte	289
6.4.2	Sprachkonstrukte für die algorithmische Programmierung	290
6.4.3	Sprachkonstrukte für die Echtzeit-Programmierung	294

6.4.4	Spracherweiterungen	300
6.5	Die Echtzeitprogrammiersprache PEARL	301
6.5.1	Entstehungsgeschichte	301
6.5.2	Übersicht über die wichtigsten Spracheigenschaften	302
6.6	Die Programmiersprachen C und C++	304
6.6.1	Entstehungsgeschichte	304
6.6.2	Sprachkonzepte von C	305
6.6.3	Sprachkonzepte von C++	306
6.6.4	Eignung von C und C++ für die Echtzeitprogrammierung	307
6.7	Die Programmierumgebung Java	309
6.7.1	Entstehungsgeschichte	309
6.7.2	Sprachkonzepte	310
6.7.3	Sprachkonstrukte	313
6.7.4	Eignung von Java für Echtzeitsysteme	314
	Selbsttestaufgaben	315
7	ZUVERLÄSSIGKEIT UND SICHERHEIT VON PROZESSAUTOMATISIERUNGSSYSTEMEN	317
7.1	Grundlagen	317
7.1.1	Abgrenzung der Begriffe Zuverlässigkeit und Sicherheit	317
7.1.2	Verschiedene Bedeutungen des Sicherheitsbegriffs	319
7.1.3	Risiko und Grenzkrisiko	322
7.1.4	Ausfälle und Fehler	324
7.1.5	Weitere wichtige Begriffe der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik	325
7.1.6	Zuverlässigkeits- und Sicherheitsstrategien	327
7.2	Zuverlässigkeitstechnik	327
7.2.1	Zuverlässigkeitskenngrößen bei nicht-reparierbaren Betrachtungseinheiten	327
7.2.2	Zuverlässigkeitkenngrößen bei reparierbaren Betrachtungseinheiten	331
7.2.3	Zuverlässigkeitsmodelle für Hardwaresysteme	334
7.2.4	Zuverlässigkeitsmodelle für Softwaresysteme	335

7.2.5	Zuverlässigkeitsmodelle für Hardware-Software-Gesamtsysteme	340
7.3	Zuverlässigkeitsmaßnahmen	341
7.3.1	Übersicht über Zuverlässigkeitsmaßnahmen	341
7.3.2	Zuverlässigkeitsmaßnahmen bei Hardwaresystemen	344
7.3.3	Zuverlässigkeitsmaßnahmen bei Softwaresystemen	345
7.4	Sicherheitstechnik	346
7.4.1	Sicherheitsanalyse	346
7.4.2	Technische Prozesse mit und ohne sicheren Zustand	353
7.4.3	Ereignisfolge bis zum Eintreten eines Unfallschadens	354
7.4.4	Quantitative Definition von Sicherheitskenngrößen	357
7.4.5	Anforderungs-Klassen bzw. Sicherheitsstufen für sicherheitsrelevante technische Prozesse	357
7.4.6	Sicherheitsvorschriften	361
7.4.7	Sicherheitsnachweis	362
7.5	Sicherheitsmaßnahmen	362
7.5.1	Übersicht über die grundsätzlichen Strategien und Sicherheitsmaßnahmen	362
7.5.2	Sicherheitsmaßnahmen bei Gerätesystemen	366
7.5.3	Sicherheitsmaßnahmen gegen Software-Fehler	369
7.6	Sicherheits-Nachweisverfahren	375
7.6.1	Übersicht	375
7.6.2	Sicherheits-Nachweisverfahren für Hardwaresysteme	376
7.6.3	Sicherheits-Nachweisverfahren für Softwaresysteme	377
7.6.4	Formale Verfahren zum Nachweis der Korrektheit	379
	Selbsttestaufgaben	385
	Lösungen der Selbsttestaufgaben	391
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 1	391
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 2	394
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 3	396
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 4	399
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 5	401

Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 6	404
Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 7	406

Literatur	413
Literatur zu Kapitel 1	413
Literatur zu Kapitel 2	414
Literatur zu Kapitel 3	415
Literatur zu Kapitel 4	416
Literatur zu Kapitel 5	416
Literatur zu Kapitel 6	417
Literatur zu Kapitel 7	417

Index	421
--------------	------------