

Inhaltsverzeichnis

1 Was heißt Prozeßautomatisierung, Prozeßleittechnik, Prozeßdatenverarbeitung?	1
1.1 Definition einiger Grundbegriffe	1
1.1.1 Der Begriff "Technischer Prozeß"	1
1.1.2 Was ist ein Prozeßrechner ?	3
1.1.3 Prozeßrechensysteme	5
1.1.4 Ein neues technisches Fachgebiet mit den Namen Prozeßautomatisierung, Prozeßleittechnik oder Prozeßdatenverarbeitung	7
1.2 Geräte- bzw. Maschinen-Automatisierung und Automatisierung technischer Anlagen	10
1.2.1 Definition von zwei Arten von Prozeßautomatisierungssystemen	10
1.2.2 Kennzeichnende Eigenschaften bei der Automatisierung von Geräten bzw. Maschinen	11
1.2.3 Kennzeichnende Eigenschaften bei der Automatisierung technischer Anlagen	12
1.3 Automatisierungsgrad und Prozeßrechner-Einsatzarten	14
1.3.1 Definition des Automatisierungsgrades	14
1.3.2 Herkömmliche Art des Prozeßbetriebes	15
1.3.3 Off-line-Einsatz eines Rechners	16
1.3.4 On-line und open-loop-Betrieb eines Prozeßrechensystems	17
1.3.5 On-line und closed-loop-Betrieb eines Prozeßrechensystems	18
1.4 Die Bestandteile eines Prozeßautomatisierungssystems (Prozeßleitsystems)	20
1.4.1 Die Teilsysteme eines Prozeßautomatisierungssystems	20
1.4.2 Die Schnittstelle des Automatisierungssystems zum technischen Prozeß	21
1.4.3 Das Prozeßrechensystem	21
1.4.4 Das Prozeßrechner-Software-System	22
1.5 Ebenen der Prozeßführung und Automatisierungsfunktionen	25
1.5.1 Entscheidungs- und Ausführungsebenen	25
1.5.2 Automatisierungsfunktionen	27
1.6 Grundtypen von Vorgängen in technischen Prozessen	28
1.6.1 Gebräuchliche Klassifizierungsverfahren für technische Prozesse	28
1.6.2 Klassifizierung nach Vorgängen, bei denen bestimmte Arten von Prozeßgrößen vorkommen	29
1.6.3 Kontinuierliche, sequentielle und objektbezogene Vorgänge	30
1.6.4 Klassifizierung technischer Prozesse nach den dominierenden Typen von Vorgängen	32
1.6.5 Graphische Darstellung technischer Prozesse	33

1.7 Beispiel für ein Prozeßautomatisierungssystem: Automatisierung eines Heizungs- und Brauchwasserbereitungssystems	35
1.7.1 Aufgabenstellung	35
1.7.2 Fachtechnische Lösungskonzeption	38
1.7.3 Auslegung des Prozeßautomatisierungssystems	39
1.8 Auswirkungen der Prozeßautomatisierung auf Mensch und Gesellschaft	41
1.8.1 Beabsichtigte (positive) und unbeabsichtigte (negative) Auswirkungen	41
1.8.2 Die Verantwortung des Automatisierungs-Ingenieurs für die Auswirkungen der Prozeßautomatisierung	42
Selbsttestaufgaben	43
2 Prozeßrechner - Gerätesysteme	45
2.1 Mini- und Mikrorechner als Prozeßrechner	45
2.1.1 Was ist ein Mini- bzw. Mikrorechner?	45
2.1.2 Aufbau von Mikrorechnern, die als Prozeßrechner verwendet werden	47
2.1.3 Hardware-Eigenschaften von Mikrorechnern	50
2.1.4 Darstellung der Prozeßdaten in Prozeßrechnern	50
2.2 Zentrale und dezentrale Automatisierungsstrukturen	52
2.2.1 Die verschiedenen Arten von Automatisierungsstrukturen	52
2.2.2 Kriterien für einen Vergleich der Eigenschaften von Automatisierungsstrukturen	55
2.3 Automatisierungs-Hierarchien	59
2.3.1 Kombination einer wirkungsmäßig zentralen und dezentralen Struktur	59
2.3.2 Realisierung einer Automatisierungs-Hierarchie mit einem Bus-orientierten verteilten Prozeßrechensystem	61
2.4 Verteilte Prozeßautomatisierungssysteme	63
2.4.1 Zielsetzung bei verteilten Prozeßautomatisierungssystemen	63
2.4.2 Grundstrukturen der Kommunikation bei verteilten Prozeßautomatisierungssystemen	64
2.4.3 Tendenz der gegenwärtigen technischen Entwicklungen bezüglich der Kommunikationssysteme	68
2.5 Automatisierungsstrukturen mit Redundanz	68
2.5.1 Formen der Redundanz	68
2.5.2 Die Hardware-Redundanz	69
2.5.3 Die Software-Redundanz	72
2.6 Konfiguration der Prozeßrechner-Hardware	73
2.6.1 Mögliche Komponenten einer Prozeßrechner-Hardware-Konfiguration	73
2.6.2 Beispiele für Konfigurationen der Prozeßrechner-Hardware	75
Selbsttestaufgaben	78

3	Prozeßperipherie	80
3.1	Schnittstellen zwischen Prozeßrechensystem und technischem Prozeß	80
3.1.1	Übertragung von Prozeßsignalen zwischen dem Prozeßrechensystem und dem technischen Prozeß	80
3.1.2	Arten von Prozeßsignalen an den Schnittstellen des Prozeßrechensystems.	82
3.1.3	Prozeßsignal-Ein-/Ausgabe bei örtlich zentraler Struktur des Automatisierungssystems	84
3.1.4	Prozeßsignal-Ein-/Ausgabe bei örtlich dezentraler Struktur des Automatisierungssystems	85
3.2	Digital-Ein- und Ausgabe	88
3.2.1	Digital-Eingabe	88
3.2.2	Digital-Ausgabe	90
3.2.3	Potentialfreie Durchschaltung von Binärsignalen	91
3.3	Analog-Ein- und Ausgabe	92
3.3.1	Analog-Eingabe	92
3.3.2	Analog-Digital-Umsetzer	95
3.3.3	Analog-Ausgabe	101
3.3.4	Arten von Digital-Analog-Umsetzern	102
3.3.5	Potentialfreie Durchschaltung analoger Signale	103
3.4	Programmierbare und "intelligente" Prozeßsignal-Ein-/Ausgabeeinheiten	105
3.4.1	Programmierbare Digital-Ein-/Ausgabe	105
3.4.2	"Intelligente" Prozeßsignal-Ein-/Ausgabeeinheiten	107
3.5	Sensoren und Aktoren	109
3.5.1	Sensoren	109
3.5.2	Aktoren	111
3.6	Störbeeinflussungen auf Prozeßsignalleitungen	113
3.6.1	Arten von Störbeeinflussungen	113
3.6.2	Gegentakt-Störbeeinflussungen	115
3.6.3	Gleichtakt-Störbeeinflussungen	118
3.7	Maßnahmen gegen Störbeeinflussungen	118
3.7.1	Maßnahmen zur Verhinderung von Störbeeinflussung infolge von Erdpotentialdifferenzen	119
3.7.2	Maßnahmen zur Sicherung der Prozeßsignal-Eingabeleitungen gegen elektromagnetische Störfelder	119
3.7.3	Erdungsmaßnahmen	122
3.7.4	Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Störspannungen (Überspannungen) an Eingängen von elektronischen Schaltungen	123
	Selbsttestaufgaben	124
4	Echtzeit-Programmierung von Prozeßrechnern	126

4.1 Problemstellung	126
4.1.1 Was heißt Echtzeit-Programmierung?	126
4.1.2 Forderung nach Rechtzeitigkeit	128
4.1.3 Forderung nach Gleichzeitigkeit	131
4.1.4 Arten von Echtzeit-Rechensystemen	132
4.2 Echtzeit-Programmierverfahren	132
4.2.1 Zwei grundsätzliche Arten des Vorgehens	132
4.2.2 Das Verfahren der synchronen Programmierung	134
4.2.3 Das Verfahren der asynchronen Programmierung (Parallelprogrammierung)	139
4.3 Rechenprozesse (Tasks)	143
4.3.1 Einführung des Begriffs "Rechenprozeß"	143
4.3.2 Zustandsmodelle von Rechenprozessen	144
4.3.3 Einplanung von Rechenprozessen	146
4.4 Zeitliche Koordinierung (Synchronisierung) von Rechenprozessen	146
4.4.1 Parallele und sequentielle, nebenläufige und simultane Aktionen von Rechenprozessen	146
4.4.2 Synchronisierung von Rechenprozessen	147
4.4.3 Semaphorevariable und Semaphoreoperation zur Synchronisierung von Rechenprozessen	150
Selbsttestaufgaben	153
5 Prozeßrechner-Betriebssysteme	156
5.1 Begriffsbestimmung	156
5.1.1 Was ist ein Betriebssystem?	156
5.1.2 Typen von Betriebssystemen	157
5.1.3 Betriebsmittel	159
5.2 Organisationsaufgaben eines Prozeßrechner-Betriebssystems	160
5.2.1 Übersicht	160
5.2.2 Rechenprozeß-Verwaltung	161
5.2.3 Speicherverwaltung	162
5.2.4 Ein-/Ausgabesteuerung	165
5.2.5 Fehlerbehandlung und (Wieder-)Anlauf	165
5.3 Entwicklung eines 'Mini-Betriebssystems' als Beispiel für die Lösung der Organisationsaufgaben	166
5.3.1 Vorgehen	166
5.3.2 Zielsetzung	167
5.3.3 Aufgabenstellung	167
5.3.4 Lösungskonzeption	168
5.4 Systementwurf des Mini-Betriebssystems	173
5.4.1 Systementwurf unter Zugrundelegung der stark vereinfachten Aufgabenstellung	173
5.4.2 Erste Erweiterung des Systementwurfs	181

5.4.3	Zweite Erweiterung des Systementwurfs	182
5.4.4	Dritte Erweiterung des Systementwurfs	183
5.4.5	Übergang zum realen Echtzeit-Betriebssystem	185
5.5	Gliederung der Prozeßrechner-Systemprogramme in anwendungsbezogene Programmbausteine	185
5.6	Beispiele für Prozeßrechner-Betriebssysteme	187
5.6.1	Einordnung auf dem Markt befindlicher Betriebssysteme	187
5.6.2	Aufbau und Eigenschaften eines realen Betriebssystems	188
	Selbsttestaufgaben	192
6	Programmiersprachen für die Prozeßautomatisierung	195
6.1	Grundbegriffe	195
6.1.1	Arten von Programmiersprachen	195
6.1.2	Übersetzung in die Maschinensprache	202
6.2	Höhere Programmiersprachen für die Echtzeit-Programmierung von Prozeßrechnersystemen	205
6.2.1	Die Problematik der Echtzeit-Programmierung bei Aufgabenstellungen in der Prozeßautomatisierung	205
6.2.2	Vor- und Nachteile der Anwendung von Assemblersprachen für die Prozeßautomatisierung	207
6.2.3	Entwicklungsrichtungen zur Anwendung maschinenunabhängiger Programmiersprachen für die Prozeßautomatisierung	208
6.3	Übersicht über die Prozeßrechner- Programmiersprache PEARL	211
6.3.1	Entstehungsgeschichte	211
6.3.2	Entwicklungsziele und Sprachanforderungen	212
6.3.3	Übersicht über die wichtigsten Spracheigenschaften	214
6.4	Sprachmittel zur Strukturierung eines PEARL-Programms	217
6.4.1	Aufbau eines PEARL-Programms	217
6.4.2	Struktur des Problemteils	218
6.4.3	Blockstruktur von PEARL	219
6.4.4	Beispiel für den Aufbau eines Problemteils	219
6.5	Der algorithmische Sprachkern von PEARL	220
6.5.1	Schreibregeln für PEARL-Programme	220
6.5.2	Vereinbarung von PEARL-Objekten	222
6.5.3	Grunddatentypen	224
6.5.4	Zusammengesetzte Datenobjekte	224
6.5.5	Zuweisung	227
6.5.6	Standard-Operationen	227
6.5.7	Zugriff auf Matrizen, Verbunde und Bit-Strings	227
6.5.8	Anweisungen zur Steuerung des Programmablaufs	232
6.5.9	Prozeduren	236

6.6 Sprachmittel von PEARL für die Ein- und Ausgabe	238
6.6.1 Die Ein-/Ausgabe-Konzeption	238
6.6.2 Beschreibung von Geräteverbindungen bzw. Geräteanschlüssen im Systemteil	239
6.6.3 Vereinbarung von Ereignissen im Systemteil	243
6.6.4 Spezifikation von Datenstationen	243
6.6.5 Deklaration von benutzerdefinierten Datenstationen	244
6.6.6 Ein- und Ausgabeanweisungen	246
6.7 Sprachmittel von PEARL für die Echtzeit-Programmierung	248
6.7.1 Vereinbarung von Tasks	249
6.7.2 Steuerung der Übergänge zwischen Task-Zuständen	250
6.7.3 Einplanung von Tasks	252
6.7.4 Synchronisierung von Tasks	254
6.7.5 Maskierung von Interrupts	255
6.8 Sprachmittel für verteilte Prozeßrechnungssysteme (Mehrrechner-PEARL)	256
6.8.1 Struktur eines Mehrrechner-PEARL-Programms	257
6.8.2 Beschreibung von Teilstationen (Stations-Teil)	258
6.8.3 Beschreibung der physikalischen Verbindungswege (NET-Teil)	259
6.8.4 Beschreibung des Zugangs zur Peripherie (Systemteil)	260
6.8.5 Beschreibung der Software-Konfiguration (Konfigurations-Teil)	262
6.8.6 Botschaftenaustausch	264
6.9 Beispiel für die Entwicklung eines PEARL-Programms	266
6.9.1 Ingenieur Tätigkeiten bei der Software-Entwicklung	266
6.9.2 Klärung der Aufgabenstellung und Definition der Anforderungen an die Heizungsautomatisierung	268
6.9.3 Heizungstechnische bzw. regelungstechnische Konzeption	270
6.9.4 Systementwurf	272
6.9.5 Umsetzung des Software-Feinentwurfs in ein PEARL-Programm (Implementierung)	282
Selbsttestaufgaben	295
7 Zuverlässigkeit und Sicherheit von Prozeßautomatisierungssystemen	297
7.1 Grundlagen	297
7.1.1 Problemstellung	297
7.1.2 Ausfälle und Fehler	300
7.1.3 Zuverlässigkeits- und Sicherheitsstrategien und -Verfahren	302
7.2 Zuverlässigkeitstechnik	302
7.2.1 Zuverlässigkeitskenngrößen	302
7.2.2 Zuverlässigkeitsmodelle für Gerätesysteme	307
7.2.3 Zuverlässigkeitsmodelle für Programmsysteme	308
7.3 Zuverlässigkeitsmaßnahmen	311

7.3.1	Klassifizierung von Zuverlässigkeitsmaßnahmen	311
7.3.2	Zuverlässigkeitsmaßnahmen bei Gerätesystemen	311
7.3.3	Zuverlässigkeitsmaßnahmen bei Programmsystemen.	313
7.4	Sicherheitstechnik	314
7.4.1	Qualitative Definition von Grundbegriffen	314
7.4.2	Technische Prozesse mit und ohne sicheren Zustand	316
7.4.3	Ereignisfolge bis zum Eintreten eines Unfallschadens	316
7.4.4	Quantitative Definition von Sicherheitskenngrößen	319
7.4.5	Vorschriften der Sicherheitstechnik	319
7.4.6	Sicherheitsnachweis	320
7.5	Sicherheitsmaßnahmen	321
7.5.1	Klassifizierung von Sicherheitsmaßnahmen bei Prozeßautomatisierungssystemen	321
7.5.2	Sicherheitsmaßnahmen bei Gerätesystemen	324
7.5.3	Sicherheitsmaßnahmen gegen Software-Fehler	326
	Selbsttestaufgaben	328
	Lösungen der Selbsttestaufgaben	331
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 1	331
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 2	333
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 3	335
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 4	337
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 5	339
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 6	342
	Lösungen der Selbsttestaufgaben zu Kapitel 7	344
	Literaturverzeichnis	348
	Literatur zu Kapitel 1	348
	Literatur zu Kapitel 2	349
	Literatur zu Kapitel 3	349
	Literatur zu Kapitel 4	350
	Literatur zu Kapitel 5	351
	Literatur zu Kapitel 6	351
	Literatur zu Kapitel 7	352
	Sachwortverzeichnis	354