

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	19
0.1	<i>Begriff der Automatisierung</i>	19
0.2	<i>Fachinhalt</i>	19
1	Strukturen	22
1.1	<i>Automatisierung technischer Prozesse</i>	22
1.1.1	Grundbegriffe	22
1.1.1.1	Prozess und Prozesstechnik	22
1.1.1.2	Produktionstechnik	22
1.1.1.3	Informationstechnik	23
1.1.2	Strukturierung produktionstechnischer Prozesse	23
1.1.2.1	Prozessabschnitte	23
1.1.2.2	Prozessoperationen	24
1.1.2.3	Prozessschritte	25
1.1.3	Darstellungsformen für Prozesse	25
1.1.3.1	Grundfließbild	25
1.1.3.2	Formalisierte Prozessbeschreibungen	26
1.1.3.3	GRAF CET-Plan	28
1.1.3.4	Fertigungsablaufplan	29
1.1.4	Anlagenhierarchien	29
1.1.4.1	Produktionstechnische Anlagen	29
1.1.4.2	Teilanlage	30
1.1.4.3	Technische Einrichtung	31
1.1.5	Darstellung verfahrenstechnischer Anlagen	33
1.1.5.1	Fließbilder	33
1.1.5.2	Anlagen- und Apparatekennzeichen (AKZ)	35
1.1.6	Charakteristika technischer Prozesse	38
1.1.6.1	Kontinuierliche Verfahren	38
1.1.6.2	Diskontinuierliche Verfahren	38
1.1.6.3	Fertigungen	39
1.1.6.4	Mengen- und Zeitbegriffe	39
1.1.7	Anlagenkonzepte	40
1.1.7.1	Taxonomien nach NAMUR	40
1.1.7.2	Anlagen für den Fließbetrieb	41
1.1.7.3	Anlagen für den Absatzbetrieb	41
1.1.8	Anforderungen an die Leittechnik	42
1.1.8.1	Anlagentechnische Anforderungen	42
1.1.8.2	Anforderungen aus Sicht der Produktion	43
1.2	<i>Strukturen von Prozessleitsystemen</i>	45
1.2.1	Zielsetzung	45
1.2.2	Topologien	46
1.2.2.1	Parallele Technik	46
1.2.2.2	Zentrale Technik	47
1.2.2.3	Dezentrale Technik	47

1.2.3	Prozessnahe Komponenten (PNK)	49
1.2.3.1	Funktionen	49
1.2.3.2	Aufbau	49
1.2.4	Anzeige- und Bedienkomponenten (ABK)	50
1.2.4.1	Funktionen	50
1.2.4.2	Aufbau	51
1.2.5	Engineering Workstations (EWS)	52
1.2.6	Leitrechnerkomponenten (LRK)	52
1.2.7	Netzwerkkomponenten	53
1.2.7.1	Funktionen	53
1.2.7.2	Topologien und Technologien	53
1.3	<i>Aktuelle Entwicklungen</i>	54
2	Rechner	57
2.1	<i>Einführung</i>	57
2.2	<i>Rechnerkern</i>	58
2.2.1	Darstellung von Prozessgrößen	58
2.2.2	Grundstruktur eines Mikroprozessors	63
2.2.3	Basisfunktionen einer CPU	65
2.2.3.1	Befehlsarten	66
2.2.3.2	Adressierungsarten	68
2.2.3.3	Multitasking-Unterstützung	70
2.2.4	Busschnittstelle	73
2.2.5	Leistungserhöhung des Rechnerkerns	76
2.2.5.1	Parallelverarbeitung	76
2.2.5.2	Schneller Zwischenspeicher	78
2.2.5.3	Mehrkernprozessoren	79
2.3	<i>Eingabe- und Ausgabesystem</i>	80
2.3.1	Betriebsarten für die Ein- und Ausgabe	81
2.3.1.1	Programmierte Ein- und Ausgabe	81
2.3.1.2	Interruptgesteuerte Ein- und Ausgabe	82
2.3.1.3	Direkter Speicherzugriff	85
2.3.2	Prozessrechner-Schnittstellen	86
2.3.2.1	Bussysteme	87
2.3.2.2	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	89
2.4	<i>Spezielle Rechnerstrukturen</i>	91
2.4.1	Mikrocontroller	91
2.4.2	Signalprozessoren	94
2.4.3	Kundenspezifische Controller	95
2.5	<i>Prozessrechner-Peripherie</i>	95
2.5.1	Digitalausgabe	96
2.5.2	Digitaleingabe	96
2.5.3	Analogausgabe	98
2.5.4	Analogeingabe	99
2.5.5	Echtzeituhren	102

3	Komponenten	103
3.1	<i>Sensoren</i>	103
3.1.1	Einführung in die Sensortechnik	103
3.1.1.1	Sensoreigenschaften	104
3.1.1.2	Physikalische Effekte für Sensoren	105
3.1.1.3	Signalauswertung	108
3.1.2	Sensoren und Messverfahren	110
3.1.2.1	Temperatur	110
3.1.2.2	Kraft, Masse	116
3.1.2.3	Druck	117
3.1.2.4	Drehmoment	121
3.1.2.5	Länge, Winkel	122
3.1.2.6	Position, Lage	124
3.1.2.7	Drehzahl	125
3.1.2.8	Beschleunigung	126
3.1.2.9	Durchfluss	127
3.1.2.10	Füllstand	132
3.1.2.11	Feuchte	136
3.1.2.12	Gassensoren	139
3.2	<i>Aktoren</i>	141
3.2.1	Einführung in die Aktorik	141
3.2.2	Stellglieder für Masseströme	142
3.2.2.1	Übersicht	143
3.2.2.2	Eigenschaften und Kennlinien	143
3.2.2.3	Auswahl von Stellgliedern	146
3.2.3	Stellantriebe	147
3.2.3.1	Eigenschaften	147
3.2.3.2	Elektrische Stellantriebe	148
3.2.3.3	Pneumatische Stellantriebe	149
3.2.3.4	Hydraulische Stellantriebe	150
3.2.3.5	Thermische Stellantriebe	151
3.2.4	Ansteuereinrichtungen	153
3.3	<i>Automatisierungseinrichtungen</i>	154
3.3.1	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) – Aufbau und Wirkungsweise	156
3.3.1.1	Zentralbaugruppe	158
3.3.1.2	Peripheriebaugruppen	158
3.3.1.3	Hardwarekonfiguration	159
3.3.1.4	Einbindung des Anwendungsprogramms	160
3.3.2	PC-basierte Steuerungen (Soft-SPS)	161
3.3.3	Programmierbare Automatisierungs-Controller (Programmable Automation Controller, PAC)	162
3.4	<i>Steuerungen</i>	162
3.4.1	Einführung in die Steuerungstechnik	162
3.4.1.1	Stetige Steuerungen	162
3.4.1.2	Binäre Steuerungen	163
3.4.2	Technische Realisierung	164

3.5	<i>Regelungen</i>	165
3.5.1	Einführung in die Regelungstechnik	166
3.5.2	Berechnungsmethoden für Regelkreise	167
3.5.2.1	Linearisierung	168
3.5.2.2	Differenzialgleichung	169
3.5.2.3	Laplace-Transformation	169
3.5.2.4	Test-/Antwort-Funktionen	170
3.5.2.5	Frequenzgang	171
3.5.3	Elementare Übertragungsglieder	172
3.5.3.1	Typische Regelstrecken	172
3.5.3.2	Typische Regler	176
3.5.4	Regelkreis	179
3.5.4.1	Systemverhalten	180
3.5.4.2	Auswahl geeigneter Regler	180
3.5.4.3	Statisches Regelverhalten	180
3.5.4.4	Stabilität von Regelkreisen	181
3.5.4.5	Regelgüte	184
3.5.4.6	Einstellregeln	185
3.5.5	Technische Realisierung von Reglern	189
3.5.5.1	Elektronische Regler	189
3.5.5.2	Digitale Regler	190
3.5.5.3	Pneumatische Regler	191
3.5.5.4	Regler ohne Hilfsenergie	191
3.5.6	Ergänzende Regelverfahren	191
3.5.6.1	Störgrößenaufschaltung	192
3.5.6.2	Hilfsgrößenaufschaltung	193
3.5.6.3	Kaskadenregelung	194
3.5.6.4	Adaptive Regler	194
3.5.6.5	Schaltende Regler	196
3.5.6.6	Zweipunktregler ohne Rückführung	196
3.5.6.7	Zweipunktregler mit Rückführung	197
3.5.6.8	Dreipunktregler	198
3.5.7	Fuzzy-Regler	198
4	Modelle	202
4.1	<i>Einführung</i>	202
4.1.1	Modellbildung	202
4.1.2	Modellnutzung	203
4.2	<i>Prozessmodelle</i>	204
4.2.1	Theoretische Prozessanalyse	205
4.2.1.1	Ablauf der theoretischen Modellbildung	205
4.2.1.2	Methode der Bilanzgleichungen	206
4.2.2	Experimentelle Prozessanalyse	208
4.2.2.1	Modellgüte	208
4.2.2.2	Testsignale	209
4.3	<i>Steuer- und Ablaufmodelle</i>	210
4.3.1	Überblick	210
4.3.2	Programmablaufplan	213

4.3.3	Zustands- und Automatengraph	217
4.3.3.1	Zustandsgraph	217
4.3.3.2	Automatengraph	218
4.3.4	Steuernetz	223
4.3.5	SPS-Modelle	226
4.3.5.1	Einordnung	226
4.3.5.2	Der SPS-Standard IEC 61 131	227
4.3.5.3	Software-Modell des Standards IEC 61 131-3	228
4.3.5.4	SPS-Modelle nach IEC 61 131-3	230
4.3.5.5	Zum Umfeld der IEC 61 131-3	238
4.4	<i>Informationstechnische Modelle</i>	239
4.4.1	Software-Entwicklung	239
4.4.2	Strukturierte Methoden	241
4.4.2.1	Systementwicklung und strukturierte Methoden	241
4.4.2.2	Strukturierte Analyse	244
4.4.2.3	Real-Time-Analyse	246
4.4.3	Objektorientierte Methoden	249
4.4.3.1	Objektorientierte Analyse	249
4.4.3.2	Unified Modeling Language	250
4.4.3.3	Webbasierte Methoden	251
5	Programme	254
5.1	<i>Betriebssysteme</i>	254
5.1.1	Begriffe	254
5.1.1.1	Programmsystem	254
5.1.1.2	Betriebssystem	254
5.1.1.3	Anwendungs-Software	255
5.1.1.4	Ebenenmodell der Programmsysteme	255
5.1.1.5	Aufträge und Rechenprozesse	255
5.1.1.6	Betriebsarten	256
5.1.2	Betriebssystemkern	257
5.1.2.1	Komponenten	257
5.1.2.2	Unterbrechungsbearbeitung	259
5.1.2.3	Prozessverwaltung	260
5.1.2.4	Zeitverwaltung	268
5.1.2.5	Speicherverwaltung	269
5.1.2.6	Geräteverwaltung	271
5.1.2.7	Dateiverwaltung	273
5.1.3	Betriebssystemschale	277
5.1.3.1	Komponenten	277
5.1.3.2	Betriebssprachen	278
5.1.3.3	Grafische Bedienoberflächen	278
5.1.3.4	Programme zur Systempflege	280
5.1.4	Realzeitbetrieb	280
5.1.4.1	Begriffe und Voraussetzungen	280
5.1.4.2	Realzeitprozesse im Singletask-Betrieb	281
5.1.4.3	Realzeitprozesse im Multitask-Betrieb	282
5.1.4.4	Realzeitmöglichkeiten marktüblicher Betriebssysteme	283

5.2	<i>Programmiersprachen</i>	284
5.2.1	Genealogie	284
5.2.2	Prozessprogrammiersprachen	285
5.2.2.1	Allgemeine Kriterien	285
5.2.2.2	C als Prozessprogrammiersprache	285
5.2.3	SPS-Programmierung nach DIN EN 61 131-3	286
5.2.3.1	Softwaremodell	286
5.2.3.2	Grafische Programmiersprachen	287
5.2.3.3	Textuelle Programmiersprachen	290
5.2.3.4	Ablaufsprache	291
5.2.4	Programmierungsumgebung	293
5.2.4.1	Editoren	293
5.2.4.2	Übersetzer	294
5.2.4.3	Testhilfen	295
5.3	<i>Objektorientiertes Programmieren</i>	296
5.3.1	Grundlagen	296
5.3.1.1	Objekte und Klassen	296
5.3.1.2	Beziehungen zwischen Objekten	297
5.3.1.3	Beziehungen zwischen Klassen	298
5.3.2	Objektorientierte Programmiersprachen	299
5.3.2.1	Anforderungen	299
5.3.2.2	Eigenschaften objektorientierter Programmiersprachen	299
5.3.2.3	Beispiele objektorientierter Sprachen	300
5.4	<i>Komponentenbasiertes Programmieren</i>	303
5.4.1	Grundlagen	303
5.4.1.1	Technische Motivation	303
5.4.1.2	Anforderungen an Komponentenmodelle	303
5.4.2	Architekturen und Komponentenmodelle	304
5.4.2.1	CORBA	304
5.4.2.2	DCOM	306
5.4.2.3	Realisierte Komponentenmodelle	306
6	Kommunikation	309
6.1	<i>Dezentrale Automatisierung</i>	309
6.1.1	Ziel und Grundlagen	309
6.1.2	Informationsaustausch	311
6.1.3	Schnittstellen	312
6.2	<i>Datenübertragungssysteme</i>	315
6.2.1	Synchronisationsarten	316
6.2.2	Übertragungssicherung	319
6.2.3	Verbindungsformen	320
6.2.4	Übertragungsmedien	321
6.2.4.1	Koaxialkabel	322
6.2.4.2	Twisted Pair-Kabel	324
6.2.4.3	LWL-Kabel	325
6.2.4.4	Drahtlose Kommunikation	326
6.2.5	Industrielle Installationstechnik	334
6.3	<i>Kommunikationsmodelle</i>	336
6.3.1	Kommunikation über TCP/IP	336

6.3.2	Das OSI-Referenzmodell	339
6.3.2.1	Schicht 1: Physical Layer – Bitübertragungsschicht	340
6.3.2.2	Schicht 2: Data Link Layer – Sicherungsschicht	341
6.3.2.3	Schicht 3: Network Layer – Vermittlungsschicht	341
6.3.2.4	Schicht 4: Transport Layer – Transportschicht	342
6.3.2.5	Schicht 5: Session Layer – Kommunikationsschicht	343
6.3.2.6	Schicht 6: Presentation Layer – Darstellungsschicht	343
6.3.2.7	Schicht 7: Application Layer – Anwendungsschicht	344
6.3.2.8	Anmerkungen zum OSI-Modell	345
6.3.3	Topologien	345
6.3.4	Buszugriffsverfahren	348
6.3.5	Netzverbindungselemente	350
6.4	<i>Industriernetze</i>	354
6.4.1	Feldbussysteme	356
6.4.1.1	Anforderungen an Feldbussysteme	356
6.4.1.2	HART-Protokoll	356
6.4.1.3	AS-Interface (AS-i-Bus)	362
6.4.1.4	Anwendungseigenschaften von Feldbussystemen	364
6.4.1.4.1	INTERBUS	364
6.4.1.4.2	P-NET	365
6.4.1.4.3	CAN	366
6.4.1.4.4	PROFIBUS	368
6.4.1.4.5	PROFIBUS-FMS	368
6.4.1.4.6	PROFIBUS-DP	369
6.4.1.4.7	PROFIBUS-PA	371
6.4.2	LAN – Lokale Netzwerke	373
6.4.2.1	Ethernet	375
6.4.2.2	Industrial-Ethernet	376
6.4.2.3	PROFINET	378
6.4.3	Weitbereichsnetzwerke	381
6.4.3.1	Backbone-Netze	381
6.5	<i>Internetkommunikation</i>	382
6.5.1	Grundlagen	382
6.5.2	Machine-to-Machine-(M2M-)Kommunikation	383
6.6	<i>Multimediakommunikation</i>	385
6.6.1	Technik und Technologie	385
6.7	<i>Informationssicherheit</i>	387
6.7.1	Ziele und Grundlagen	387
6.7.2	Bedeutung der Informationssicherheit	388
6.7.3	Bedrohungen	389
6.7.4	Vorgehensweise bei der Durchsetzung eines Sicherheitskonzeptes	390
6.7.5	Strafrechtliche Aspekte	392
7	Mensch-Maschine-Systeme	394
7.1	<i>Einführung</i>	394
7.2	<i>Mensch-Maschine-Kommunikation</i>	396
7.2.1	Aufgaben- und Tätigkeitssituationen	396
7.2.2	Bedien- und Benutzerfreundlichkeit	397

7.2.3	Mensch-Rechner-Schnittstelle	398
7.2.4	Kommunikationsformen	398
7.3	<i>Grafische Benutzerschnittstellen</i>	399
7.3.1	Grundlagen	399
7.3.2	Grafische Systeme und Schnittstellen	400
7.3.3	Fenstertechnik	402
7.3.3.1	X-Window-System	403
7.3.3.2	MS Windows	403
7.3.4	Interaktion und Dialog	404
7.3.5	Gestaltung	405
7.4	<i>Informationsvisualisierung</i>	410
7.4.1	Grafische Datenanalyse	411
7.4.1.1	Datenmatrixen	411
7.4.1.2	Datenbanken	412
7.4.2	Prozessvisualisierung	413
7.4.2.1	Bildobjekte für technische Prozesse	414
7.4.2.2	Erzeugung der Bilddynamik	416
7.4.2.3	Prozessvisualisierungssysteme	418
7.4.2.4	Prozessvisualisierung im Internet	420
7.4.3	Neue Techniken der MMK	423
7.4.3.1	Virtual Reality	423
7.4.3.2	Computer Augmented Reality	425
7.4.3.3	Multimedia	425
8	Anwendungen	427
8.1	<i>Rezeptsteuerung und Verfahrensllogistik</i>	427
8.1.1	Grundbegriffe	427
8.1.2	Funktionenmodelle und Aufgabenbereiche	428
8.1.2.1	Funktionenmodell nach NE 33	428
8.1.2.2	Aufgabenbereiche nach DIN EN 61 512-1	430
8.1.3	Produktunabhängige Steuerungskomponenten für Produktionsprozesse	430
8.1.3.1	Steuerfunktionselemente	430
8.1.3.2	Steuerfunktionen	431
8.1.4	Rezepte	433
8.1.4.1	Rezeptausprägungen und -hierarchien (nach NAMUR NE 33)	433
8.1.4.2	Rezeptausprägungen und -hierarchien nach DIN EN 61 512-1	436
8.1.4.3	Aufbau von leittechnischen Grundoperationen und Steueroperationen	438
8.1.4.4	Darstellungsformen	439
8.1.5	Steuerungskomponenten für die Rezeptfahrweise und Verfahrensllogistik	441
8.1.5.1	Teilanlagensteuerung	441
8.1.5.2	Anlagensteuerung	442
8.1.6	Rezeptausführung	443
8.1.6.1	Bearbeitungsstände von Chargen	443
8.1.6.2	Zustände von Steuerungskomponenten	443

8.1.7	Bedienkonzepte	445
8.1.7.1	Betriebsarten von Steuerungskomponenten	445
8.1.7.2	Bedienen und Beobachten	447
8.1.8	Chargendokumentation	447
8.1.9	Erstellen und Pflegen von Rezepten	447
8.1.9.1	Implementierung von Ausprägungen	447
8.1.9.2	Erzeugung von Rezeptausprägungen	448
8.2	<i>NC-Technik</i>	449
8.2.1	NC-Maschinen	449
8.2.2	Grundlagen der Werkstoffbearbeitung	450
8.2.3	Koordinatensysteme in Werkzeugmaschinen	451
8.2.4	Numerische Steuerungen	453
8.2.4.1	CNC-Systeme	453
8.2.4.2	Aufbau einer CNC-Steuerung	455
8.2.4.3	Programmiersprachen	456
8.2.5	Fertigungssysteme	459
8.2.6	Fertigungsintegration	461
8.2.7	Die digitale Fabrik	463
8.2.8	Ziel und Aufgaben der digitalen Fabrik	464
8.3	<i>Industrieroboter</i>	465
8.3.1	Struktur von Industrierobotern	465
8.3.2	Steuerung eines Roboters	469
8.3.2.1	Allgemeine Bewegungssteuerung	469
8.3.2.2	Berechnung der Bewegungsbahn	469
8.3.2.3	Koordinatentransformation	471
8.3.2.4	Regelung der Bewegungsbahn	471
8.3.3	Programmierung von Robotern	473
8.3.4	Sensorführung	475
8.3.5	Industrielle Bildverarbeitung	477
8.3.6	Anwendungsbeispiele	481
8.4	<i>Intelligente Rechnersysteme</i>	483
8.4.1	Einleitung	483
8.4.2	Intelligente Maschinen	484
8.4.3	Fuzzy-Logik	485
8.4.3.1	Fuzzy-Sets	486
8.4.3.2	Zugehörigkeitsfunktionen	487
8.4.3.3	Fuzzy-Steuerungssystem	488
8.4.4	Expertensysteme	490
8.4.4.1	Fuzzy-Expertensysteme	491
8.4.5	Neuronale Netze	491
8.4.5.1	Aufbau von neuronalen Netzen	492
8.4.5.2	Eigenschaften	493
8.4.5.3	Lerntypen	493
8.4.5.4	Datendarstellung	494
8.4.5.5	Typen von neuronalen Netzen	495
8.4.6	Genetische Algorithmen	495

9	Projekte	497
9.1	<i>Projektmanagement</i>	497
9.1.1	Ziele	497
9.1.2	Begriffe	497
9.1.3	Abwicklungsphasen	500
9.1.3.1	Vorgehensweise im Projekt	500
9.1.3.2	Grundlagenermittlung	501
9.1.3.3	Vorplanung	502
9.1.3.4	Basisplanung	502
9.1.3.5	Ausführungsplanung	503
9.1.3.6	Errichtung	506
9.1.3.7	Inbetriebsetzung	506
9.1.3.8	Projektabschluss	507
9.1.4	Qualitätssicherung in der Prozessleittechnik	507
9.1.4.1	Begriffe	507
9.1.4.2	Qualitätssicherung in der Produktion	509
9.1.4.3	Validierung von Prozessen	509
9.2	<i>Verfügbarkeit und Sicherheit von PLS-Komponenten</i>	512
9.2.1	Begriffe zur Verfügbarkeit und Sicherheit	512
9.2.2	Erhöhung der Verfügbarkeit von PLS-Komponenten	513
9.2.2.1	Eigenüberwachung von PLS-Komponenten	513
9.2.2.2	Backup- und Redundanzkonzepte	515
9.2.3	Sicherung von Daten auf Rechnern	517
9.2.3.1	Backup-Medien	517
9.2.3.2	Organisatorische Maßnahmen für Backups	518
9.2.3.3	RAID-Technologie	519
9.2.4	Schutz gegen unautorisierten Zugang	520
9.2.5	Schutz gegen feindliche Software (Malware)	521
9.2.5.1	Malware	521
9.2.5.2	Viren	522
9.2.5.3	Würmer und Trojanische Pferde	522
9.2.5.4	Gegenmaßnahmen	523
9.3	<i>Sicherheit</i>	525
9.3.1	Begriffe	525
9.3.1.1	Sicherheit und Verfügbarkeit	525
9.3.1.2	Wertebereiche von Prozessgrößen	525
9.3.1.3	Erhöhung der Anlagensicherheit	527
9.3.1.4	Sicherheitsanalysen	528
9.3.2	Einteilung der PLT-Einrichtungen	529
9.3.2.1	Klassifizierung nach VDI/VDE und NAMUR	529
9.3.2.2	Darstellung der Funktionalität	530
9.3.3	Überwachungseinrichtungen	531
9.3.4	Schutz- und Schadensbegrenzungseinrichtungen	532
9.3.4.1	Allgemeine Kriterien	532
9.3.4.2	PLT-Schutzeinrichtungen	533
9.3.4.3	PLT-Schadensbegrenzungseinrichtungen	537

10 Anhang	538
10.1 <i>Normen und Richtlinien</i>	538
10.1.1 Normen-Auskunftscentren	538
10.1.2 Normungsinstitutionen	538
10.1.3 Bezeichnungen von Normen und Standards	538
10.1.4 DIN-Normen	539
10.1.5 VDI/VDE-Richtlinien	541
10.1.6 NAMUR-Richtlinien	544
10.1.7 Internationale Standards	544
10.2 <i>Gremien und Verbände</i>	545
10.3 <i>Messen, Ausstellungen und Veranstaltungen</i>	546
10.4 <i>Abkürzungen</i>	547
Literaturverzeichnis	553
Sachwortverzeichnis	568