

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung	17
0.1	<i>Begriff der Automatisierung</i>	17
0.2	<i>Fachinhalt</i>	17
1	Strukturen	20
1.1	<i>Automatisierung technischer Prozesse</i>	20
1.1.1	Grundbegriffe	20
1.1.1.1	Prozess und Prozesstechnik	20
1.1.1.2	Produktionstechnik	20
1.1.1.3	Informationstechnik	21
1.1.2	Strukturierung produktionstechnischer Prozesse	21
1.1.2.1	Prozessabschnitte	21
1.1.2.2	Prozessoperationen	22
1.1.2.3	Prozessschritte	23
1.1.3	Darstellungsformen für Prozesse	23
1.1.3.1	Grundfließbild	23
1.1.3.2	Formalisierte Prozessbeschreibungen	24
1.1.3.3	GRAFCET-Plan	26
1.1.3.4	Fertigungsablaufplan	27
1.1.4	Anlagenhierarchien	27
1.1.4.1	Produktionstechnische Anlagen	27
1.1.4.2	Teilanlage	28
1.1.4.3	Technische Einrichtung	29
1.1.5	Darstellung verfahrenstechnischer Anlagen	31
1.1.5.1	Fließbilder	31
1.1.5.2	Anlagen- und Apparatekennzeichen (AKZ)	33
1.1.6	Charakteristika technischer Prozesse	36
1.1.6.1	Kontinuierliche Verfahren	36
1.1.6.2	Diskontinuierliche Verfahren	36
1.1.6.3	Fertigungen	37
1.1.6.4	Mengen- und Zeitbegriffe	37
1.1.7	Anlagenkonzepte	38
1.1.7.1	Taxonomien nach NAMUR	38
1.1.7.2	Anlagen für den Fließbetrieb	39
1.1.7.3	Anlagen für den Absatzbetrieb	39
1.1.8	Anforderungen an die Leittechnik	40
1.1.8.1	Anlagentechnische Anforderungen	40
1.1.8.2	Anforderungen aus Sicht der Produktion	41
1.2	<i>Strukturen von Prozessleitsystemen</i>	43
1.2.1	Zielsetzung	43
1.2.2	Topologien	44
1.2.2.1	Parallele Technik	44
1.2.2.2	Zentrale Technik	45
1.2.2.3	Dezentrale Technik	45

1.2.3	Prozessnahe Komponenten (PNK)	47
1.2.3.1	Funktionen	47
1.2.3.2	Aufbau	47
1.2.4	Anzeige- und Bedienkomponenten (ABK)	48
1.2.4.1	Funktionen	48
1.2.4.2	Aufbau	49
1.2.5	Engineering Workstations (EWS)	50
1.2.6	Leitrechnerkomponenten (LRK)	50
1.2.7	Netzwerkkomponenten	51
1.2.7.1	Funktionen	51
1.2.7.2	Topologien und Technologien	51
1.3	<i>Aktuelle Entwicklungen</i>	52
2	Rechner	55
2.1	<i>Einführung</i>	55
2.2	<i>Rechnerkern</i>	56
2.2.1	Darstellung von Prozessgrößen	56
2.2.2	Grundstruktur eines Mikroprozessors	61
2.2.3	Basisfunktionen einer CPU	63
2.2.3.1	Befehlsarten	64
2.2.3.2	Adressierungsarten	66
2.2.3.3	Multitasking-Unterstützung	68
2.2.4	Busschnittstelle	71
2.2.5	Leistungserhöhung des Rechnerkerns	74
2.2.5.1	Parallelverarbeitung	74
2.2.5.2	Schneller Zwischenspeicher	76
2.2.5.3	Mehrkernprozessoren	77
2.3	<i>Eingabe- und Ausgabesystem</i>	78
2.3.1	Betriebsarten für die Ein- und Ausgabe	79
2.3.1.1	Programmierte Ein- und Ausgabe	79
2.3.1.2	Interruptgesteuerte Ein- und Ausgabe	80
2.3.1.3	Direkter Speicherzugriff	83
2.3.2	Prozessrechner-Schnittstellen	84
2.3.2.1	Bussysteme	85
2.3.2.2	Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	87
2.4	<i>Spezielle Rechnerstrukturen</i>	89
2.4.1	Mikrocontroller	89
2.4.2	Signalprozessoren	92
2.4.3	Kundenspezifische Controller	93
2.5	<i>Prozessrechner-Peripherie</i>	93
2.5.1	Digitalausgabe	94
2.5.2	Digitaleingabe	94
2.5.3	Analogausgabe	96
2.5.4	Analogeingabe	97
2.5.5	Echtzeituhren	100
3	Komponenten	101
3.1	<i>Aufbau eines automatisierten Systems</i>	101
3.2	<i>Sensoren</i>	103

3.2.1	Einführung in die Sensortechnik	103
3.2.1.1	Sensoreigenschaften	104
3.2.1.2	Physikalische Effekte für Sensoren	105
3.2.1.3	Signalauswertung	108
3.2.2	Sensoren und Messverfahren	110
3.2.2.1	Temperatur	110
3.2.2.2	Kraft, Masse	116
3.2.2.3	Druck	117
3.2.2.4	Drehmoment	121
3.2.2.5	Länge, Winkel	122
3.2.2.6	Position, Lage	124
3.2.2.7	Drehzahl	125
3.2.2.8	Beschleunigung	126
3.2.2.9	Durchfluss	127
3.2.2.10	Füllstand	132
3.2.2.11	Feuchte	136
3.2.2.12	Gassensoren	139
3.3	<i>Aktoren</i>	141
3.3.1	Einführung in die Aktorik	141
3.3.2	Stellglieder für Masseströme	142
3.3.2.1	Übersicht	143
3.3.2.2	Eigenschaften und Kennlinien	143
3.3.2.3	Auswahl von Stellgliedern	146
3.3.3	Stellantriebe	147
3.3.3.1	Eigenschaften	147
3.3.3.2	Elektrische Stellantriebe	148
3.3.3.3	Pneumatische Stellantriebe	149
3.3.3.4	Hydraulische Stellantriebe	150
3.3.3.5	Thermische Stellantriebe	151
3.3.4	Ansteuereinrichtungen	153
3.4	<i>Automatisierungseinrichtungen</i>	154
3.4.1	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) – Aufbau und Wirkungsweise	156
3.4.1.1	Zentralbaugruppe	158
3.4.1.2	Peripheriebaugruppen	158
3.4.1.3	Hardwarekonfiguration	158
3.4.1.4	Einbindung des Anwendungsprogramms	159
3.4.2	PC-basierte Steuerungen (Soft-SPS)	160
3.4.3	Programmierbare Automatisierungs-Controller (Programmable Automation Controller, PAC)	161
3.5	<i>Steuerungen</i>	162
3.5.1	Einführung in die Steuerungstechnik	162
3.5.1.1	Stetige Steuerungen	162
3.5.1.2	Binäre Steuerungen	163
3.5.2	Technische Realisierung	164
3.6	<i>Regelungen</i>	165
3.6.1	Einführung in die Regelungstechnik	166

3.6.2	Berechnungsmethoden für Regelkreise	167
3.6.2.1	Linearisierung	168
3.6.2.2	Differenzialgleichung	169
3.6.2.3	Laplace-Transformation	169
3.6.2.4	Test-/Antwort-Funktionen	170
3.6.2.5	Frequenzgang	171
3.6.3	Elementare Übertragungsglieder	172
3.6.3.1	Typische Regelstrecken	172
3.6.3.2	Typische Regler	176
3.6.4	Regelkreis	179
3.6.4.1	Systemverhalten	180
3.6.4.2	Auswahl geeigneter Regler	180
3.6.4.3	Statisches Regelverhalten	180
3.6.4.4	Stabilität von Regelkreisen	181
3.6.4.5	Regelgüte	184
3.6.4.6	Einstellregeln	185
3.6.5	Technische Realisierung von Reglern	189
3.6.5.1	Elektronische Regler	189
3.6.5.2	Digitale Regler	190
3.6.5.3	Pneumatische Regler	191
3.6.5.4	Regler ohne Hilfsenergie	191
3.6.6	Ergänzende Regelverfahren	191
3.6.6.1	Störgrößenaufschaltung	192
3.6.6.2	Hilfsgrößenaufschaltung	193
3.6.6.3	Kaskadenregelung	194
3.6.6.4	Adaptive Regler	194
3.6.6.5	Schaltende Regler	196
3.6.6.6	Zweipunktregler ohne Rückführung	196
3.6.6.7	Zweipunktregler mit Rückführung	197
3.6.6.8	Dreipunktregler	198
3.6.7	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	Betriebssystemschaale	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	Programmierumgebung	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>Kommunikationstechnik im industriellen Umfeld</i>	309
6.1.1	Zweck der industriellen Kommunikationstechnik	309
6.1.2	Anforderungen an industrielle Kommunikationstechnologien	310
6.2	<i>Referenzmodelle für Kommunikationssysteme</i>	311
6.2.1	OSI-Referenzmodell	313
6.2.2	TCP/IP-Referenzmodell	317
6.3	<i>Kommunikationstechnologien</i>	320
6.3.1	Kommunikation auf der physikalischen Ebene	321
6.3.2	Netzwerktopologien	334
6.3.3	Medienzugriff	339
6.3.4	Ethernet	353
6.3.5	Funktechnologien	363
6.4	<i>Paketübertragung auf der Netzwerkschicht</i>	382
6.4.1	IP Version 4 (IPv4)	384
6.4.2	IP Version 6 (IPv6)	390
6.5	<i>Industrielle Kommunikationstechnik</i>	394
6.5.1	Einfache digitale Schnittstellen	394

6.5.2	Feldbusse	400
6.5.3	Industrielles Ethernet	416
7	Mensch-Maschine-Systeme	422
7.1	<i>Einführung</i>	422
7.2	<i>Mensch-Maschine-Kommunikation</i>	424
7.2.1	Aufgaben- und Tätigkeitssituationen	424
7.2.2	Bedien- und Benutzerfreundlichkeit	425
7.2.3	Mensch-Rechner-Schnittstelle	426
7.2.4	Kommunikationsformen	426
7.3	<i>Grafische Benutzerschnittstellen</i>	427
7.3.1	Grundlagen	427
7.3.2	Grafische Systeme und Schnittstellen	428
7.3.3	Fenstertechnik	430
7.3.3.1	X-Window-System	431
7.3.3.2	MS Windows	431
7.3.4	Interaktion und Dialog	432
7.3.5	Gestaltung	433
7.4	<i>Informationsvisualisierung</i>	438
7.4.1	Grafische Datenanalyse	439
7.4.1.1	Datenmatrixen	439
7.4.1.2	Datenbanken	440
7.4.2	Prozessvisualisierung	441
7.4.2.1	Bildobjekte für technische Prozesse	442
7.4.2.2	Erzeugung der Bilddynamik	443
7.4.2.3	Prozessvisualisierungssysteme	446
7.4.2.4	Prozessvisualisierung im Internet	447
7.4.3	Neue Techniken der MMK	450
7.4.3.1	Virtual Reality	451
7.4.3.2	Computer Augmented Reality	452
7.4.3.3	Multimedia	453
8	Anwendungen	454
8.1	<i>Rezeptsteuerung und Verfahrenslogistik</i>	454
8.1.1	Grundbegriffe	454
8.1.2	Funktionenmodelle und Aufgabenbereiche	455
8.1.2.1	Funktionenmodell nach NE 33	455
8.1.2.2	Aufgabenbereiche nach DIN EN 61 512-1	457
8.1.3	Produktunabhängige Steuerungskomponenten für Produktionsprozesse	457
8.1.3.1	Steuerfunktionselemente	457
8.1.3.2	Steuerfunktionen	458
8.1.4	Rezepte	460
8.1.4.1	Rezeptausprägungen und -hierarchien (nach NAMUR NE 33)	460
8.1.4.2	Rezeptausprägungen und -hierarchien nach DIN EN 61 512-1	463

8.1.4.3	Aufbau von leittechnischen Grundoperationen und Steueroperationen	465
8.1.4.4	Darstellungsformen	466
8.1.5	Steuerungskomponenten für die Rezeptfahrweise und Verfahrensl Logistik	468
8.1.5.1	Teilanlagensteuerung	468
8.1.5.2	Anlagensteuerung	469
8.1.6	Rezeptausführung	470
8.1.6.1	Bearbeitungsstände von Chargen	470
8.1.6.2	Zustände von Steuerungskomponenten	470
8.1.7	Bedienkonzepte	472
8.1.7.1	Betriebsarten von Steuerungskomponenten	472
8.1.7.2	Bedienen und Beobachten	474
8.1.8	Chargendokumentation	474
8.1.9	Erstellen und Pflegen von Rezepten	474
8.1.9.1	Implementierung von Ausprägungen	474
8.1.9.2	Erzeugung von Rezeptausprägungen	475
8.2	<i>Motion Control, Bahnsteuerungen</i>	476
8.2.1	Einführung, Begriffe	476
8.2.2	Geregelte elektrische Antriebssysteme	478
8.2.2.1	Grundlagen Regelung elektrischer Antriebe	478
8.2.2.1.1	Dynamisches Verhalten elektrischer Antriebe	478
8.2.2.1.2	Regelkonzepte elektrischer Antriebe	481
8.2.2.2	Gerätetechnische Ausführung von Umrichtern für Drehstromantriebe	483
8.2.2.3	Übersicht Umrichterfunktionalität	484
8.2.2.3.1	Reglergrundfunktionen	486
8.2.2.3.2	Kommunikations- und Schnittstellenfunktionen	487
8.2.2.3.3	Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen	488
8.2.3	Motion Control – Anwendungen	489
8.2.3.1	Positioniersteuerung	490
8.2.3.2	Synchronisierte Antriebe	491
8.2.4	Grundlagen Bahnsteuerungen	493
8.2.4.1	Teileprogramm und Steuerdatenaufbereitung	494
8.2.4.2	Geometriedatenerzeugung	495
8.2.4.3	Bahninterpolator – Trajektoriengenerierung	495
8.2.4.4	Kinematische Transformationen	497
8.3	<i>NC-Technik</i>	497
8.3.1	NC-Maschinen	497
8.3.2	Grundlagen der Werkstoffbearbeitung	498
8.3.3	Koordinatensysteme in Werkzeugmaschinen	499
8.3.4	Numerische Steuerungen	501
8.3.4.1	NC-Systeme	501
8.3.4.2	Programmiersprachen	503
8.3.5	Fertigungssysteme	505
8.3.6	Fertigungsintegration	507

8.3.7	Die digitale Fabrik	509
8.3.8	Ziel und Aufgaben der digitalen Fabrik	510
8.4	<i>Industrieroboter</i>	512
8.4.1	Struktur von Industrierobotern	512
8.4.2	Programmierung von Robotern	515
8.4.3	Sensorführung	517
8.4.4	Industrielle Bildverarbeitung	520
8.4.5	Anwendungsbeispiele	524
8.5	<i>Intelligente Rechnersysteme</i>	526
8.5.1	Einleitung	526
8.5.2	Intelligente Maschinen	527
8.5.3	Fuzzy-Logik	528
8.5.3.1	Fuzzy-Sets	529
8.5.3.2	Zugehörigkeitsfunktionen	530
8.5.3.3	Fuzzy-Steuerungssystem	531
8.5.4	Expertensysteme	532
8.5.4.1	Fuzzy-Expertensysteme	534
8.5.5	Neuronale Netze	534
8.5.5.1	Aufbau von neuronalen Netzen	534
8.5.5.2	Eigenschaften	535
8.5.5.3	Lerntypen	536
8.5.5.4	Datendarstellung	537
8.5.5.5	Typen von neuronalen Netzen	537
8.5.6	Genetische Algorithmen	538
9	Projekte	539
9.1	<i>Projektmanagement</i>	539
9.1.1	Ziele	539
9.1.2	Begriffe	539
9.1.3	Abwicklungsphasen	542
9.1.3.1	Vorgehensweise im Projekt	542
9.1.3.2	Grundlagenermittlung	543
9.1.3.3	Vorplanung	544
9.1.3.4	Basisplanung	544
9.1.3.5	Ausführungsplanung	545
9.1.3.6	Errichtung	548
9.1.3.7	Inbetriebsetzung	548
9.1.3.8	Projektabschluss	549
9.1.4	Qualitätssicherung in der Prozessleittechnik	549
9.1.4.1	Begriffe	549
9.1.4.2	Qualitätssicherung in der Produktion	551
9.1.4.3	Validierung von Prozessen	551
9.2	<i>Verfügbarkeit und Sicherheit von PLS-Komponenten</i>	554
9.2.1	Begriffe zur Verfügbarkeit und Sicherheit	554
9.2.2	Erhöhung der Verfügbarkeit von PLS-Komponenten	555
9.2.2.1	Eigenüberwachung von PLS-Komponenten	555
9.2.2.2	Backup- und Redundanzkonzepte	557
9.2.3	Sicherung von Daten auf Rechnern	559
9.2.3.1	Backup-Medien	559

9.2.3.2	Organisatorische Maßnahmen für Backups	560
9.2.3.3	RAID-Technologie	561
9.2.4	Schutz gegen unautorisierten Zugang	562
9.2.5	Schutz gegen feindliche Software (Malware)	563
9.2.5.1	Malware	563
9.2.5.2	Viren	564
9.2.5.3	Würmer und Trojanische Pferde	564
9.2.5.4	Gegenmaßnahmen	565
9.3	<i>Sicherheit</i>	567
9.3.1	Begriffe	567
9.3.1.1	Sicherheit und Verfügbarkeit	567
9.3.1.2	Wertebereiche von Prozessgrößen	567
9.3.1.3	Erhöhung der Anlagensicherheit	569
9.3.1.4	Sicherheitsanalysen	570
9.3.2	Einteilung der PLT-Einrichtungen	571
9.3.2.1	Klassifizierung nach VDI/VDE und NAMUR	571
9.3.2.2	Darstellung der Funktionalität	572
9.3.3	Überwachungseinrichtungen	573
9.3.4	Schutz- und Schadensbegrenzungseinrichtungen	574
9.3.4.1	Allgemeine Kriterien	574
9.3.4.2	PLT-Schutzeinrichtungen	575
9.3.4.3	PLT-Schadensbegrenzungseinrichtungen	579
10	Anhang	580
10.1	<i>Normen und Richtlinien</i>	580
10.1.1	Normen-Auskunftscentren	580
10.1.2	Normungsinstitutionen	580
10.1.3	Bezeichnungen von Normen und Standards	580
10.1.4	DIN-Normen	581
10.1.5	VDI/VDE-Richtlinien	583
10.1.6	NAMUR-Richtlinien	586
10.1.7	Internationale Standards	586
10.2	<i>Gremien und Verbände</i>	587
10.3	<i>Messen, Ausstellungen und Veranstaltungen</i>	588
10.4	<i>Abkürzungen</i>	589
	Literaturverzeichnis	595
	Sachwortverzeichnis	611