
Inhalt

Vorwort zur 1. Auflage	XXIII
Vorwort zur 5. Auflage	XXIV
1 Situation der Prozessautomatisierung	1
 1.1 Marktsituation und Markttrends	2
1.1.1 Zusammenfassung: Marktentwicklung und -trends für die Prozessautomatisierung bis zum Jahre 2019	2
1.1.2 Weltmarktentwicklung Prozessautomatisierung	3
1.1.3 Entwicklung von Weltproduktion und Weltmarkt nach Regionen	4
1.1.4 Weltmarktbetrachtung nach industriellen Branchen	6
1.1.5 Markttrends und -treiber	6
1.1.5.1 Fracking treibt Investitionen in Prozessautomatisierung	6
1.1.5.2 Energiewende benötigt mehr Energieeffizienz durch Prozessautomatisierung	7
1.1.5.3 Lebenszykluskosten-Betrachtung zeigt Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Prozessautomatisierung	8
1.1.5.4 Modularisierung der verfahrenstechnischen Produktion verändert Anforderungen an Prozessautomatisierung	9
1.1.5.5 „Wireless“ erhöht den Kundennutzen	10
1.1.5.6 „Industrie 4.0“: Geschäftsmodell für die Produktion in Hochpreisländern	10
 1.2 Trends der Technik und des Engineering	12
1.2.1 Allgemeines	12
1.2.2 Modularisierung	12
1.2.3 Technology Push vs. Market Pull: „Industrie 4.0“	13
1.2.3.1 Integration: in Erwartung auf FDI	13
1.2.3.2 Usability	13
1.2.3.3 „Wireless“ und Ethernet im Feld	14
1.2.3.4 „Industrie 4.0“ und Prozessautomatisierung	14
1.2.3.5 Horizontale und vertikale Konvergenz	15
1.2.4 Prozesssensoren	16
2 Höhere Ebenen: Informationsverbund und MES	19
 2.1 Ebenenmodell des Informationsverbunds	20
2.1.1 Funktionshierarchie des Informationsverbunds	20
2.1.2 Integrationskonzepte im Informationsverbund	22
2.1.2.1 Integration entlang von Geschäftsprozessen	22
2.1.2.2 Die Qualität als integrierender Faktor	23
2.1.3 Zusammenfassung	24

2.2 Manufacturing Execution Systems (MES)	26
2.2.1 Einleitung	26
2.2.1.1 Produktionstypen in der Prozessindustrie	26
2.2.1.2 Motivation für die Entwicklung von MES	27
2.2.1.3 Definition von MES und Literaturüberblick	28
2.2.2 MES-Funktionsumfang	29
2.2.2.1 MES-Funktionen nach IEC 62264	29
2.2.2.2 Betriebliche Kennzahlen	32
2.2.3 Typische Arbeitsprozesse und systemtechnische Ausprägungen	32
2.2.3.1 Typische Arbeitsprozesse der Betriebsführung	32
2.2.4 Planung und Projektabwicklung von MES-Projekten	41
2.3 Industrie 4.0	44
2.3.1 Vorteile von Industrie 4.0 für die Prozessindustrie	44
2.3.1.1 Was sind Cyber-Physical Systems (CPS)?	44
2.3.1.2 Industrie 4.0 auf Basis von CPS	45
2.3.1.3 Was bedeutet I4.0 für die Prozessindustrie?	46
2.3.2 Szenarien	48
2.3.2.1 Flexible Produktions- und Logistikplanung	48
2.3.2.2 Wartung und Diagnose	49
2.3.3 Technologien	50
2.3.3.1 Vernetzungsarchitekturen und Austauschformate	50
2.3.3.2 Fehlerdetektion, Datenanalyse und Datenaufbereitung	52
2.3.3.3 Human-Maschine-Interface	53
2.3.4 Security	54
2.4 IT-Sicherheit in der Automatisierung (Automation Security)	58
2.4.1 Einführung	58
2.4.1.1 Office IT vs. Automatisierung	58
2.4.1.2 Generisches Vorgehen in Bezug auf die IT-Security von Automatisierungssystemen	59
2.4.2 Management der IT-Security	60
2.4.2.1 Abgrenzung	60
2.4.2.2 Umsetzung von IEC 62443 und VDI/VDE 2182	60
2.4.3 Strukturierter Ansatz zur Ermittlung der Security-Anforderungen	61
2.4.3.1 Definitionen nach IEC 62443	61
2.4.3.2 Erfassen der Assets	62
2.4.3.3 Ermittlung der Schutzziele	66
2.4.3.4 Risikoanalyse	66
2.4.4 Umgang mit speziellen Funktionen	70
2.4.4.1 Malwareschutz	70
2.4.4.2 Wartungseingriffe	70
2.4.4.3 Funktionale Sicherheit	70
2.4.5 Auditierung der IT-Security	71
2.4.5.1 Wiederholungsraten der Audits	71
2.4.5.2 Planung der Audits	71
2.4.5.3 Durchführung der Audits	71
2.4.5.4 Umsetzung der Audit-Ergebnisse	71
2.4.6 Ausblick	71

3 Funktion der Prozessleitebene	75
 3.1 Übersicht über Prozessleitfunktionen	76
3.1.1 Ebenen und Funktionen	76
3.1.2 Messen	77
3.1.3 Stellen	78
3.1.4 Steuern	78
3.1.5 Rechnen und Regeln	79
3.1.6 Überwachung und Diagnose	80
3.1.6.1 Signalbasierte Überwachung des Prozesszustands	80
3.1.6.2 Modellbasierte Überwachung des Prozesszustands	80
3.1.6.3 Überwachung von Regelkreisen	81
3.1.6.4 Condition Monitoring	81
3.1.6.5 Fehlererkennung und Fehlerdiagnose	81
3.1.7 Höhere Prozessleitfunktionen	81
 3.2 Automatisierung von Chargenprozessen	83
3.2.1 Funktionen und Standards	83
3.2.1.1 Motivation und Anforderungen	83
3.2.1.2 Anlagenstrukturen von Chargenprozessen	84
3.2.1.3 Begriffe und Modelle zur Strukturierung und Automation	86
3.2.2 Realisierung der Rezeptfahrweise	95
3.2.2.1 Analyse und Entwurf modularer Strukturen	96
3.2.2.2 Projektimplementierung und Bedienung	102
3.2.2.3 Anwendung von Funktionsstandards in der Projektierung	107
3.2.3 Auswahl und Nutzen von Standard-Software zur Rezeptfahrweise	110
3.2.3.1 Aspekte der Bewertung	110
3.2.3.2 Selektionskriterien	111
3.2.3.3 Nutzenpotenziale einer Standardsoftware für die Chargenautomation	113
 3.3 Industrielle Regelung	115
3.3.1 Herausforderungen der Prozessregelung	115
3.3.2 Hierarchie der Regelungsfunktionen in der Prozessindustrie	116
3.3.3 PID-Basisregelungen	118
3.3.3.1 PID-Regelalgorithmus	118
3.3.3.2 PID-Reglereinstellung	121
3.3.4 Erweiterte Regelungsstrukturen	124
3.3.4.1 Kaskadenregelung	124
3.3.4.2 Verhältnisregelung	125
3.3.4.3 Störgrößenaufschaltung	127
3.3.4.4 Totzeitkompensation	127
3.3.4.5 Split-Range-Regelung	128
3.3.4.6 Override-Regelung	129
3.3.4.7 Gain Scheduling	129
3.3.4.8 Ausgleichende Füllstandregelung	130
3.3.4.9 Entkopplung	131
 3.4 Modellbasierte prädiktive Regelung (MPC)	134
3.4.1 MPC in der Automatisierungshierarchie	135

3.4.1.1	Real Time Optimization (RTO)	136
3.4.1.2	MPC – statische Optimierung (MPC-SO)	137
3.4.2	Grundprinzip der prädiktiven Regelung	137
3.4.2.1	Prädiktion	138
3.4.2.2	Schätzung nicht gemessener Stör- und Zustandsgrößen	139
3.4.2.3	Dynamische Optimierung	139
3.4.2.4	Bestimmung zulässiger stationärer Zielwerte durch Arbeitspunktoptimierung	140
3.4.2.5	Prinzip des gleitenden Horizonts	140
3.4.2.6	Bestimmung der aktuellen Struktur des Mehrgrößensystems	141
3.4.2.7	Zusammenfassung der Abarbeitungsschritte	142
3.4.3	Projektabwicklung und MPC-Programmsysteme	143
3.4.4	Aktuelle Entwicklungstrends	145
3.4.4.1	Verkürzung der Zeit für Anlagentests und Modellbildung	145
3.4.4.2	Anwendung auf nichtlineare und zeitvariante Systeme	145
3.4.4.3	Integration von MPC in Prozessleitsysteme	146
3.4.4.4	Control Performance Monitoring (CPM) für MPC	146
3.4.4.5	Bessere Integration von RTO und MPC	146
3.4.5	Zusammenfassung	147
3.5	Control Performance Monitoring (CPM)	149
3.5.1	Einführung	149
3.5.2	Bewertung der Regelgüte, Benchmarking	152
3.5.3	Erkennung oszillierender Regelkreise	153
3.5.4	Erkennung von Nichtlinearitäten	154
3.5.5	Erkennung von Aktorproblemen – Ventilstktion	155
3.5.6	Erkennung von zu konservativer bzw. zu aggressiver Reglereinstellung	158
3.5.7	Anwendung von CPM-Systemen in der Prozessindustrie	160
3.6	Mensch-Prozess-Kommunikation	164
3.6.1	Einleitung	164
3.6.2	Aufgabenbezogene Strukturierung	165
3.6.3	Informationskodierung	167
3.6.3.1	Informationsdarstellung	167
3.6.3.2	Verteilung	167
3.6.3.3	Füllgrad	167
3.6.3.4	Kodierung	167
3.6.3.5	Auffälligkeit	168
3.6.3.6	Konsistenz	168
3.6.4	Gestaltung von Bedienbildern	168
3.6.4.1	Grundstruktur	168
3.6.4.2	Bedienfließbild	168
3.6.4.3	Verlaufsanzeigen	170
3.6.4.4	Kurvenbild	171
3.6.5	Faceplates	172
3.6.6	Gestaltung von Meldungen	172
3.6.6.1	Konfiguration von Meldungen	173
3.6.6.2	Alarmmanagement	173
3.6.7	Gestaltung von Leitwarten	174

4 Automatisierungssysteme und -strukturen	177
 4.1 Automatisierungsstrukturen	178
4.1.1 Einführung und Begriffe	178
4.1.2 Komponenten von Automatisierungssystemen	179
4.1.2.1 Prozessnahe Komponente (PNK, SPS)	179
4.1.2.2 Anzeige-/Bedienkomponente (ABK)	179
4.1.2.3 Anzeige-/Bedien- und prozessnahe Komponente (ABPNK)	180
4.1.3 Zentrale und dezentrale Strukturen	181
4.1.3.1 Zentrale Automatisierungssysteme	181
4.1.3.2 Dezentrale Automatisierungssysteme	181
4.1.3.3 Dezentralisierung unter Beteiligung intelligenter Feldgeräte	183
4.1.4 Kommunikation mit Sensoren und Aktoren	184
4.1.5 Verfügbarkeit	185
4.1.5.1 Fehler und mögliche Gegenmaßnahmen	185
4.1.5.2 Redundanz	186
4.1.5.3 Rekonfigurierung	188
4.1.6 Zeitverhalten	188
 4.2 Prozessleitsysteme (PLS)	191
4.2.1 Übersicht	191
4.2.2 Wesentliche Eigenschaften	191
4.2.3 Struktur dezentraler Prozessleitsysteme	192
4.2.4 Prozessnahe Komponente (PNK)	193
4.2.5 Systembus	194
4.2.6 Anzeige- und Bedienkomponente (ABK)	195
4.2.7 Engineering-Komponente und Engineering-Werkzeuge	196
4.2.8 Server, Firewall und Betriebs-/Werksbus	197
4.2.9 Sicherheitsgerichtete Komponente, SSPS	198
4.2.10 Rezeptfahrweise nach NAMUR/DIN EN 6152	198
4.2.11 Unterstützung von Qualitätssicherung, Qualifizierung, Validierung	199
4.2.12 Lebenszyklus und Migration der PLS	200
4.2.13 Anforderungen aus der Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen	201
4.2.14 Alternativen zum PLS	201
4.2.15 Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	202
4.2.15.1 Funktionalität	203
4.2.15.2 Offenheit	203
4.2.15.3 Engineering	203
4.2.15.4 Erweiterbarkeit, Skalierbarkeit, Strukturierbarkeit	204
4.2.15.5 Verfügbarkeit (auch langfristig)	204
4.2.15.6 Investitionskosten	204
4.2.15.7 Instandhaltungskosten	204
4.2.16 Die Zukunft des PLS	204
 4.3 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	206
4.3.1 Überblick	206
4.3.2 Hardware und Systemsoftware	207
4.3.2.1 Aufbau und Stromversorgung	207
4.3.2.2 CPU und Arbeitsspeicher	207

4.3.2.3	Prozess- und Kommunikationsperipherie	208
4.3.2.4	Systemsoftware	208
4.3.2.5	Hochverfügbare und sicherheitsgerichtete SPS	210
4.3.3	Programmierung	210
4.3.3.1	Programmiersprachen und Funktionsbausteine	210
4.3.3.2	Programmentwicklung	211
4.3.4	Trends	212
4.3.5	Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	212
4.3.6	SPS-basierte Prozessleitsysteme (SPS-Systeme)	213
4.3.6.1	Grundsätzliches zu SPS-basierten Prozessleitsystemen	213
4.3.6.2	Mindestvoraussetzungen	214
4.3.6.3	Auswahlkriterien für SPS-Systeme	214
4.3.6.4	SPS-System oder PLS?	216
5	Feldgeräte: Allgemeine Eigenschaften und Kommunikation	219
5.1	Explosionsschutz	220
5.1.1	Beurteilung möglicher Explosionsgefahren, Zoneneinteilung	220
5.1.2	Gerätekategorien	223
5.1.3	Überblick über die Zündschutzzarten	224
5.1.4	Sicherheitstechnische Kenngrößen	228
5.1.4.1	Untere und obere Explosionsgrenze (UEG und OEG)	228
5.1.4.2	Flammpunkt	228
5.1.4.3	Zündtemperatur	230
5.1.4.4	Mindestzündenergie	230
5.1.4.5	Mindestzündstrom	230
5.1.4.6	Grenzspaltweite	230
5.1.4.7	Gerätegruppen	231
5.1.4.8	Zündtemperatur eines Staub-Luft-Gemisches	231
5.1.4.9	Glimmtemperatur brennbarer Stäube	231
5.1.5	Kriterien für die Geräteauswahl und Regeln für die Installation	231
5.1.6	Instandhaltung	234
5.1.7	Internationaler Explosionsschutz (IECEx-Schema)	236
5.1.7.1	Nordamerikanischer Raum	236
5.1.7.2	Errichtungsbestimmungen	237
5.2	Signalübertragung	239
5.2.1	Konventionelle Signalübertragung	239
5.2.1.1	Allgemeines	239
5.2.1.2	Analoge Stromsignale (4...20 mA)	240
5.2.1.3	Binäre Stromsignale für Näherungssensoren (NAMUR)	242
5.2.1.4	Binäre Spannungssignale (0/24 V)	243
5.2.1.5	Temperatursignale	243
5.2.1.6	Sonstige Signale	244
5.2.2	Remote I/O	244
5.2.2.1	Aufbau	245
5.2.2.2	E/A-Module	246
5.2.2.3	Redundanz und Verhalten im Fehlerfall	246
5.2.2.4	Montage im Feld	247

5.2.2.5	Ex-Schutz	247
5.2.2.6	Engineering und Projektierung	248
5.2.2.7	Inbetriebnahme und Wartung	249
5.2.2.8	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	250
5.2.3	HART-Protokoll	250
5.2.3.1	Einführung	250
5.2.3.2	Technik des HART-Protokolls	250
5.2.3.3	HART-IP – das „HART over Ethernet“	254
5.2.3.4	Anwendererfahrungen	254
5.2.3.5	Weiterentwicklungen	256
5.2.4	Feldbus	257
5.2.4.1	Architekturen	258
5.2.4.2	Nutzen der Feldbustechnik	260
5.2.4.3	Feldbusse für die Prozessautomatisierung	265
5.2.4.4	Feldbus-Engineering	274
5.2.5	Ethernet für die Prozessautomatisierung	275
5.2.5.1	PROFINET für die Prozessautomatisierung [1]	275
5.2.5.2	EtherNet/IP für die Prozessautomatisierung [3]	278
5.2.5.3	EtherNet/IP für Geräte der Prozessautomation	279
5.2.6	Drahtlose Übertragungstechnik	280
5.2.6.1	Drahtlose Sensornetzwerke	280
5.2.6.2	Datenübertragung	281
5.2.6.3	Netzwerktopologie	281
5.2.6.4	Medienzugang	282
5.2.6.5	Netzwerk-Management	282
5.2.6.6	Sicherheit	283
5.2.6.7	Stromversorgung	283
5.2.6.8	Planung und Errichtung	283
5.2.6.9	Regulierung in Europa	284
5.2.6.10	Standards	284
5.2.6.11	Weiterentwicklung	284
5.2.7	Entwicklungstrends der Kommunikation von Feldgeräten	285
5.3	Integration intelligenter Feldgeräte in PLS	288
5.3.1	Einleitung	288
5.3.2	Technologische Schritte bei Feldgeräten	288
5.3.3	Aufgaben der Feldgeräteinstrumentierung	291
5.3.3.1	Überblick	291
5.3.3.2	Beispielarchitektur eines Automatisierungssystems	292
5.3.3.3	Kommunikationskonfigurierung	292
5.3.3.4	Feldgeräteparametrierung	293
5.3.3.5	Integration in die PNK-Software	294
5.3.3.6	Diagnose und Wartung	294
5.3.3.7	HMI-Integration	295
5.3.3.8	Feldgeräte im Lebenszyklus von Anlagen	295
5.3.4	Instrumentierungstechnologien	295
5.3.4.1	Überblick	295
5.3.4.2	Kommunikationskonfigurierung und GSD	298
5.3.4.3	Parametrierung der Feldgeräte-Funktionen: Gerätbeschreibung, DDL und EDDL	299

5.3.4.4	Feldgeräteintegration in die PNK-Software: Proxy	302
5.3.4.5	Systemintegration von Feldgeräten	303
5.3.5	Feldbus-Profile	311
5.3.6	Modell für das Engineering und die Instrumentierung	313
5.3.6.1	Das Gerätemodell	314
5.3.6.2	Beschreibungs- und Realisierungsbeispiel	318
5.3.7	Zusammenfassung	320
6	Prozessmesstechnik (Sensorik)	321
6.1	Druckmesstechnik	322
6.1.1	Allgemeines, Messgrößen und Einheiten	322
6.1.2	Messmethoden	322
6.1.2.1	Übersicht	322
6.1.2.2	Druckmessgeräte mit Sperrflüssigkeit	323
6.1.2.3	Federelastische Druckmessgeräte	323
6.1.2.4	Elektrische Messumformer für Druck und Differenzdruck	324
6.1.2.5	Pneumatische Messumformer für Druck und Differenzdruck	331
6.1.2.6	Druckmittler	331
6.1.2.7	Grenzsignalgeber für Druck	332
6.1.3	Entwicklungstrends	333
6.1.3.1	Entwicklungen bei Membrandruckmittlern	333
6.1.3.2	Aufbau und Ausstattungsmerkmale moderner Messumformer	336
6.1.3.3	Multifunktionale Messumformer	339
6.1.3.4	Messumformer mit Master-Slave-Funktion	339
6.1.3.5	Digitale Gerätelängenbücher	340
6.1.3.6	Kabellose Messtechnik (Wireless)	340
6.1.4	Normung	340
6.1.4.1	Begriffe	341
6.1.4.2	Messbereich	341
6.1.4.3	Messgenauigkeit	341
6.1.4.4	Langzeitstabilität von Nullsignal und Spanne	341
6.1.4.5	Total error (Gesamtabweichung)	341
6.1.5	Kalibrieren	342
6.1.6	Elektronische Messbereichswahl (Turndown, TD)	342
6.1.7	Sicherheitsaspekte	343
6.1.8	Zu beachtende Einflüsse auf die Messabweichung und die Zuverlässigkeit	344
6.1.8.1	Temperatureinfluss	344
6.1.8.2	Einfluss des statischen Druckes	344
6.1.8.3	Betriebsmäßig bedingte Überlastungen	345
6.1.8.4	Berstsicherheit	345
6.1.8.5	Druckschwankungen	347
6.1.8.6	Korrosion durch aggressive Flüssigkeiten oder Gase	348
6.1.8.7	Beeinträchtigungen der Messungen durch Messstoffe, die bei Umgebungstemperaturen fest sind	348
6.1.9	Auswahlkriterien	348
6.2	Temperaturmesstechnik	350
6.2.1	Allgemeines	350

6.2.2	Grundlagen der Temperaturmesstechnik	351
6.2.2.1	Die Temperaturskala	351
6.2.2.2	Thermometerarten	352
6.2.3	Temperaturmessmethoden in der Verfahrenstechnik	355
6.2.3.1	Berührungsthermometer	355
6.2.3.2	Strahlungsthermometer (Pyrometer)	364
6.2.3.3	Signalverarbeitung	367
6.2.4	In der Praxis zu beachtende Einflüsse auf die Messunsicherheit	367
6.2.4.1	Einflüsse bei Berührungsthermometern	367
6.2.4.2	Einflüsse auf die Messfehler bei Pyrometern	371
6.2.5	Temperaturmessumformer	372
6.2.6	Kalibrieren von Thermometern	372
6.2.7	Eichfähigkeit	373
6.2.8	Sicherheitsaspekte	373
6.2.9	Auswahlkriterien	374
6.2.9.1	Berührungsthermometer	374
6.2.9.2	Strahlungsthermometer	375
6.2.9.3	Messumformer für Temperaturen	375
6.3	Füllstandmesstechnik	376
6.3.1	Allgemeines	376
6.3.2	Kontinuierliche Messverfahren	376
6.3.2.1	Übersicht	376
6.3.2.2	Stand der Technik	377
6.3.2.3	Örtliche Füllstandmesseinrichtungen	378
6.3.2.4	Schwimmergeräte	378
6.3.2.5	Verdrängergeräte	379
6.3.2.6	Messung des hydrostatischen Drucks (Bodendruckmessung)	379
6.3.2.7	Laufzeitverfahren	383
6.3.2.8	Störeinflüsse auf Laufzeitmessungen	389
6.3.2.9	Kapazitive Füllstandmessung	391
6.3.2.10	Konduktive Füllstandmessung	397
6.3.2.11	Radiometrische Füllstandmessung	397
6.3.2.12	Elektromechanische Lotsysteme	400
6.3.2.13	Gravimetrische Füllstandmessung	401
6.3.3	Grenzsignalgeber für Füllstände	401
6.3.3.1	Allgemeines	401
6.3.3.2	Aktueller Stand der Technik	402
6.3.3.3	Schwimmerschalter	402
6.3.3.4	Grenzsignale aus Bodendruckmessungen	402
6.3.3.5	Kapazitive und konduktive Grenzsignalgeber	402
6.3.3.6	Vibrationsgrenzsignalgeber	403
6.3.3.7	Ultraschallgrenzsignalgeber	404
6.3.3.8	Optoelektronische Grenzsignalgeber und Mikrowellenschranken	405
6.3.3.9	Kaltleiterüberfüllsicherung	406
6.3.3.10	Entwicklungstrends	406
6.3.4	Richtlinien und Normen	407
6.3.4.1	Begriffe	408
6.3.4.2	Messbereiche	408
6.3.4.3	Genaugigkeit	408

6.3.5	Sicherheitsaspekte	408
6.3.6	Zu berücksichtigende Einflüsse auf Messunsicherheit und Zuverlässigkeit	410
6.3.6.1	Temperatureinfluss	410
6.3.6.2	Druckeinfluss	410
6.3.6.3	Dichteeinfluss	411
6.3.6.4	Überlastfestigkeit	411
6.3.6.5	Einfluss durch Schwankungen der Messgröße	411
6.3.6.6	Beeinträchtigung der Messungen durch Messstoffe, die bei Umgebungstemperatur fest sind	412
6.3.7	Auswahlkriterien	412
6.4	Durchfluss- und Mengenmesstechnik	414
6.4.1	Allgemeines	414
6.4.2	Grundlagen, Messgrößen und Einheiten	415
6.4.3	Messmethoden	416
6.4.3.1	Übersicht	416
6.4.3.2	Wirkdruckverfahren	417
6.4.3.3	Durchflussmessung aus der Kraft auf angeströmte Körper	428
6.4.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID)	432
6.4.3.5	Ultraschalldurchflussmesser (USD)	440
6.4.3.6	Strömungszähler	449
6.4.3.7	Unmittelbare Volumendurchflussmesser: Verdrängerzähler	455
6.4.3.8	Coriolis-Massedurchflussmesser (CMM)	457
6.4.3.9	Thermische Massedurchflussmesser	464
6.4.4	Entwicklungstrends	466
6.4.5	Normung	468
6.4.5.1	Begriffe	468
6.4.5.2	Messbereiche	468
6.4.5.3	Genauigkeit von Durchflussmesseinrichtungen	470
6.4.5.4	Angaben über die Kennlinienabweichungen	470
6.4.5.5	Geräteklassifizierung nach DIN EN 14341	471
6.4.5.6	Genauigkeit von Mengenmessgeräten	471
6.4.5.7	Messbeständigkeit	472
6.4.6	Kalibriereinrichtungen	473
6.4.6.1	Allgemeines zu Kalibriereinrichtungen	473
6.4.6.2	Kalibrieranlagen für Flüssigkeitsströme	474
6.4.6.3	Kalibrieranlagen für Gasströme	476
6.4.6.4	Neuere Kalibrier- bzw. Verifikationsmethoden	477
6.4.7	Sicherheitsaspekte	477
6.4.8	Zu beachtende Einflüsse auf die Messunsicherheit und Zuverlässigkeit	478
6.4.8.1	Übersicht	478
6.4.8.2	Einfluss der Temperatur	479
6.4.8.3	Einfluss des statischen Drucks	479
6.4.8.4	Pulsationen	480
6.4.8.5	Dichteeinfluss	480
6.4.8.6	Korrosion durch aggressive Messstoffe	480
6.4.8.7	Beeinträchtigung durch Fluide, die bei Umgebungstemperatur fest sind	481
6.4.9	Auswahlkriterien	484

6.5 Wägetechnik	487
6.5.1 Grundlagen der Wägetechnik	487
6.5.1.1 Physikalische Größe „Masse“	487
6.5.1.2 Aufgabe der Wägetechnik	487
6.5.2 Messmethoden	488
6.5.2.1 Mechanische Waagen	488
6.5.2.2 Elektromechanische Waagen	489
6.5.2.3 Elektromagnetische Kraftkompensation	495
6.5.2.4 Hybride Waagen	498
6.5.2.5 Aufgaben moderner Waagenelektroniken	499
6.5.3 Aufbau und Aufstellung wägetechnischer Einrichtungen	500
6.5.3.1 Konstruktive Maßnahmen für den Einbau von Wägezellen	500
6.5.3.2 Planungs- und Installationshinweise für Behälterwaagen	503
6.5.4 Waagenapplikationen	507
6.5.4.1 Diskontinuierliche Waagen	508
6.5.4.2 Kontinuierliche Waagen	523
6.5.5 Eichrechtliche Bestimmungen	530
6.5.5.1 Mess- und Eichgesetz, EU-Richtlinie	530
6.5.5.2 Eichung	531
6.5.5.3 Waagenarten	535
6.5.5.4 Messtechnische Begriffe	536
6.5.5.5 Kennzeichnung und Stempelung	537
6.5.5.6 Verstöße gegen das Eichgesetz	538
6.6 Prozessanalysenmesstechnik – eine Übersicht	539
6.6.1 Prozessanalysenmesstechnik – Einsatz und Nutzen	539
6.6.2 Messverfahren und Gerätetechnik	542
6.6.3 Planen und Errichten von Analysenmessanlagen	545
6.6.4 Betreuung von Analysenmessanlagen	546
6.6.4.1 Ingenieurbetreuung	546
6.6.4.2 Instandhaltung	547
6.7 Entwicklungen im deutschen Eichrecht und internationale Harmonisierung des gesetzlichen Messwesens	556
7 Prozessstelltechnik (Aktorik)	559
7.1 Ventile	562
7.1.1 Hubventile	563
7.1.1.1 Ventilgehäuse und Anschlüsse	563
7.1.1.2 Ventilgarnitur	567
7.1.1.3 Abdichtung (innere und äußere Dichtheit)	568
7.1.1.4 Sonderausführungen	570
7.1.2 Membranventile	570
7.1.3 Drehkegelventile	571
7.1.3.1 Drehkegelventilgehäuse	572
7.1.3.2 Stellelemente von Drehkegelventilen	572
7.1.3.3 Wellenlagerung und -abdichtung	574
7.1.3.4 Sonderausführungen	574

7.1.4	Klappen	575
7.1.4.1	Klappengehäuse	576
7.1.4.2	Stellelemente von Klappen	576
7.1.4.3	Lagerung und Abdichtung der Klappenwelle	578
7.1.4.4	Sonderausführungen	578
7.1.5	Hähne	579
7.1.5.1	Hahngehäuse	580
7.1.5.2	Stellelemente von Kugelhähnen	580
7.1.5.3	Stellelemente von Kükenhähnen	581
7.1.5.4	Abdichtung der Wellendurchführungen	581
7.1.5.5	Sicherheitsbetrachtungen	581
7.1.6	Schieber	581
7.1.6.1	Schiebergehäuse	581
7.1.6.2	Stellelemente von Schiebern	582
7.1.6.3	Abdichtung der Schieberstange	582
7.1.7	Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	582
7.1.7.1	K_v -Wert und Stellverhältnis	582
7.1.7.2	Berechnung des erforderlichen K_v -Werts	583
	Inhärente Kennlinien	587
7.1.7.3	Einsatzgrenzen	588
7.1.7.4	Werkstoffe	588
7.1.7.5	Leichte und schwere Baureihen	589
7.1.7.6	Umweltverträglichkeit, Arbeits- und Betriebssicherheit	589
7.1.7.7	Geräuschentwicklung	589
7.1.8	Berechnungsverfahren	591
7.2	Antriebe	594
7.2.1	Pneumatische Membranantriebe	594
7.2.1.1	Allgemeines und einfach wirkende Membran-Hubantriebe	594
7.2.1.2	Membran-Schwenkantriebe	597
7.2.1.3	Doppelt wirkende Membranantriebe	598
7.2.2	Pneumatische Kolbenantriebe	598
7.2.2.1	Einfache Kolbenantriebe	598
7.2.2.2	Doppelkolbenantriebe	599
7.2.3	Elektrische Antriebe	600
7.2.4	Hydraulische Antriebe	602
7.2.5	Stellkräfte und Stellgeschwindigkeiten	603
7.2.6	Auswahlkriterien	603
7.3	Anbaugeräte	604
7.3.1	Aufgaben eines Stellungsreglers	604
7.3.2	Pneumatische Stellungsregler	605
7.3.3	Analoge elektropneumatische Stellungsregler	606
7.3.4	Digital arbeitende i/p-Stellungsregler	607
7.3.5	Ventildiagnose	609
7.3.6	Stellventilzubehör	611
7.3.6.1	Stellumformer	611
7.3.6.2	Magnetventile	611
7.3.6.3	Grenzsignalgeber	612
7.3.6.4	Stellungsrückmelder	612

7.3.6.5	Pneumatische Zusatzgeräte	613
7.3.7	Anbau des Stellungsreglers	613
7.3.8	Automatisierung großer Antriebe	615
7.3.9	Künftige Entwicklung	615
7.4	Weitere Prozessstelltechnik	617
7.4.1	Regelkonzepte für Fluidströme	617
7.4.1.1	Drosselregelung	619
7.4.1.2	Bypassregelung	619
7.4.1.3	Drehzahlregelung	620
7.4.1.4	Veränderung der Schaufelgeometrie	620
7.4.2	Arbeitsmaschinen	620
7.4.3	Antriebe für Arbeitsmaschinen	623
7.4.4	Verwendung von Arbeitsmaschinen zur Prozessregelung	625
8	Planen, Errichten und Betreiben	631
8.1	Engineering	632
8.1.1	Einleitung	632
8.1.1.1	Planung einer Neuanlage, bekanntes Verfahren auf der grünen Wiese:	633
8.1.1.2	Planung einer Neuanlage, neues Verfahren auf der grünen Wiese:	633
8.1.1.3	Erweiterung, Umbau oder Erneuerung einer bestehenden Anlage:	633
8.1.2	Aufgaben der PLT-Planung	633
8.1.3	PLT-Planungsumfang einer typischen prozesstechnischen Anlage mittlerer Größe	634
8.1.4	Planungsphasen	634
8.1.4.1	Konzeptionsplanung (KP)	634
8.1.4.2	Erweiterte Konzeptionsplanung (EKP)	634
8.1.4.3	Detailplanung (DP)	635
8.1.5	Dokumente für die PLT-Planung	635
8.1.5.1	EMR-Stellenverzeichnis	635
8.1.5.2	Informationen über das Medium	637
8.1.5.3	Informationen über Einbauart und Einbauort	637
8.1.5.4	Funktionspläne	638
8.1.5.5	EMR-Stellenplan (Loop-Darstellung) (Bild 5)	638
8.1.6	Weitere Planungsschwerpunkte	640
8.1.6.1	Schalträume und Analysenräume	640
8.1.6.2	Leitwarte	640
8.1.6.3	Grenzwertliste	640
8.1.6.4	Elektrische Heizungen u. Sonderheizungen	640
8.1.6.5	Technische Gebäudeausrüstung	640
8.1.6.6	Spezielle Einrichtungen der Elektrotechnik (Trafo, Schaltanlagen, MCC, USV)	640
8.1.6.7	Automatisierungssystem, Konzeption, Beschaffung, Grafikbildvorgaben	640
8.1.6.8	Installationspläne	641
8.1.6.9	Prüfblätter für PLT-Schutzeinrichtungen	641
8.1.6.10	Projektabschlussdokumentation	641
8.1.7	Werkzeuge des Engineering	641

8.1.8	Automatisierungskonzepte	643
8.1.9	Visualisierungskonzepte	644
8.1.10	Automatisierungssysteme	644
8.1.10.1	Aufbau und Strukturierung der prozessnahen Komponenten (PNK)	644
8.1.11	PLT-Detailengineering	649
8.1.12	2D - 3D Planung	649
8.1.13	Zusammenfassung	650
8.2	Merkmalleisten-Technik	651
8.2.1	Einführung	651
8.2.2	Standardisierte Schnittstelle zur Datenübertragung	651
8.2.2.1	Merkmale und Merkmalleisten	652
8.2.2.2	Übertragung der Struktur- und der Transaktionsdaten	654
8.2.3	Workflow des Datenaustausches	655
8.2.4	Existierende Schnittstellen und Werkzeuge	656
8.2.5	Zusammenfassung	656
8.3	Funktionale Sicherheit	658
8.3.1	Einleitung	658
8.3.2	Lebenszyklusmodell	659
8.3.3	Sicherheitsmanagement	659
8.3.4	Risiko und Sicherheitsbetrachtung	661
8.3.5	Abgrenzung von PLT-Schutzeinrichtungen zu anderen PLT-Einrichtungen	662
8.3.5.1	PLT-Betriebseinrichtungen	663
8.3.5.2	PLT-Überwachungseinrichtungen	663
8.3.5.3	PLT-Überwachungseinrichtungen mit sicherheitstechnischer Aufgabenstellung	663
8.3.5.4	PLT-Schutzeinrichtungen	663
8.3.5.5	PLT-Schutzeinrichtungen mit ereignisverhindernder Wirkung	663
8.3.5.6	PLT-Schutzeinrichtungen mit auswirkungsbegrenzender Wirkung	664
8.3.6	Anforderungen an PLT-Schutzeinrichtungen	664
8.3.7	Auslegung von PLT-Schutzeinrichtungen	665
8.3.7.1	Fehler und Ausfälle	665
8.3.7.2	Fehlervermeidung	666
8.3.7.3	Fehleraufdeckung	666
8.3.7.4	Fehlerbeherrschung	667
8.3.7.5	Ausfallwahrscheinlichkeit	667
8.3.8	Geräte für PLT-Schutzeinrichtungen	667
8.3.9	Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung von PLT-Schutzeinrichtungen	671
8.3.10	Änderungen an PLT-Schutzeinrichtungen	672
8.3.11	Zukünftige Trends	673
8.4	Montage	675
8.4.1	Allgemeines zur Elektromontage	675
8.4.2	Baustelleneinrichtung	677
8.4.3	Dokumente / Dokumentation	677
8.4.4	Montage-Vergabearten	681
8.4.5	Potentialausgleich	684
8.4.6	Schaltraum	686
8.4.7	Kabelschott	688
8.4.8	Verlegearten nach MBO (Musterbauordnung)	690

8.4.9	Kabelträgersysteme	690
8.4.10	Schutzrohre / Elektroinstallationsrohrsystem	692
8.4.11	Klemmkästen / Verteileranlagen	694
8.4.12	Reinräume	694
8.4.13	Luftverteiler	696
8.4.14	Prüfung nach der Montage	697
8.4.15	Montage der Feldbusse	698
8.5	Trainingssimulatoren (OTS)	703
8.5.1	Einleitung	703
8.5.2	Aufbau eines Trainingssimulators	704
8.5.2.1	Prozessmodell	704
8.5.2.2	Leitsystem	704
8.5.2.3	Trainerbedienstation	705
8.5.2.4	Feldbedienstation	706
8.5.2.5	Simulation der sicherheitsgerichteten Steuerung	706
8.5.3	Nutzen und Aufwand	706
8.5.3.1	Nutzen	706
8.5.3.2	Aufwand	707
8.5.4	Planung und Durchführung von OTS-Projekten	708
8.5.5	Lebenszyklus und Wartung des Trainingssimulators	709
8.5.6	Zukünftige Trends im Bereich der Trainingssimulatoren	710
8.6	Inbetriebnahme	711
8.6.1	Einleitung	711
8.6.2	Funktionsprüfung	712
8.6.2.1	Funktionsprüfung des Prozessleitsystems	712
8.6.2.2	Hardware (Loop-Checks, Stellenprüfung)	712
8.6.3	Herstellen der Betriebsbereitschaft	712
8.6.3.1	Montagekontrolle	712
8.6.3.2	Reinigen der Anlage	713
8.6.4	Inbetriebnahme	713
8.6.5	Weitere Aufgaben	713
8.6.5.1	Ausbildung des Personals	713
8.6.5.2	Revision der Dokumentation	713
8.6.5.3	Übergabe der Dokumentation	714
8.6.6	Virtuelle Inbetriebnahme	714
8.7	Ganzheitliche Instandhaltung – Strukturen und Strategien	717
8.7.1	Einführung	717
8.7.2	Begriffe und Definitionen	719
8.7.2.1	Instandhaltung nach DIN EN 13306	719
8.7.2.2	Instandhaltungsarten nach DIN EN 13306	720
8.7.2.3	Instandhaltung nach DIN 31051	720
8.7.2.4	Abnutzungsvorrat, Abnutzungsgrenze und Abnutzung	720
8.7.2.5	Verbesserungsvorrat	721
8.7.2.6	Total Cost of Ownership	722
8.7.2.7	Total Value of Ownership	722
8.7.2.8	Ganzheitliche Instandhaltung	723
8.7.3	Ziele	724
8.7.3.1	Sicherheit	725

8.7.3.2	Verfügbarkeit	725
8.7.3.3	Qualität	725
8.7.3.4	Umwelt.....	726
8.7.3.5	Gesundheit	726
8.7.4	Strategien und Konzepte.	726
8.7.4.1	Strategien.....	726
8.7.4.2	Konzepte	729
8.7.5	Strukturen.....	732
8.7.5.1	Fachspezifische Instandhaltung	733
8.7.5.2	Fachübergreifende Instandhaltung	734
8.7.5.3	Integrierte Produktion.....	735
8.7.5.4	Eigen-/Fremdinstandhaltung	736
8.7.6	IT-Systeme für die Instandhaltung	736
8.7.6.1	Bausteine von IPS-Systemen.....	737
8.7.6.2	Weiterentwicklungstrends der IT-gestützten Instandhaltung	739
8.7.7	Zusammenfassung.....	740
8.8	Plant Asset Management.....	742
8.8.1	Einführung.....	742
8.8.2	Aufgaben und Ziele von PAM	742
8.8.3	Kernfunktionen von PAM	743
8.8.4	Anforderungen an PAM-Systeme und -Komponenten	744
Anhang.		747
A1 Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA)		748
A1.1 Aufgaben der GMA.....		748
A1.2 Mitgliedschaft in der GMA		749
A1.3 Struktur der GMA		749
A1.4 Informationen aus der Arbeit der GMA.....		749
A1.5 VDI/VDE-Richtlinien		750
A1.6 Ehrungen und Preise		750
A1.7 Nationale und internationale Kooperationen		750
A1.8 Geschäftsstelle.....		750

A2 NAMUR – Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der Prozessindustrie	751
A2.1 Der Verband	751
A2.2 Vision/Mission	751
A2.3 Mitgliedschaft	751
A2.4 Tätigkeiten	752
A2.5 NAMUR-Empfehlungen und -Arbeitsblätter	752
A2.6 Arbeitsfelder der NAMUR	752
2.6.1 Arbeitsfeld 1 „Planung und Errichtung“:	752
2.6.2 Arbeitsfeld 2 „Prozess- und Betriebsführungssysteme“:	752
2.6.3 Das Arbeitsfeld 3 „Feldgeräte“:	752
2.6.4 Das Arbeitsfeld 4 „Betrieb und Instandhaltung“:	752
A2.7 Wichtige Partner	752
A3 ZVEI	754
A3.1 Überblick	754
A3.2 Aufgaben	754
A3.3 Organisation	754
A3.4 Fachverband Automation	754
3.4.1 Technische Arbeit	754
3.4.2 FB Messtechnik und Prozessautomatisierung	755
A4 Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR) e. V.	756
A4.1 Wandel in Chemie- und Pharmaunternehmen	756
A4.2 Wahrnehmung der Betreiberverantwortung	756
A4.3 Struktur der Interessengemeinschaft Regelwerke Technik	756
A4.4 Ein Resümee aus heutiger Sicht	757

A5 DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik im DIN und VDE	758
A5.1 Arbeitsweise.	758
A5.2 Ziele der DKE	758
A5.3 Organisation	758
A5.4 Automatisierungstechnik in der DKE	759
A6 PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.	760
A6.1 Technologieentwicklung	760
A6.2 Technischer Support	760
A6.3 Zertifizierung	760
A6.4 Ausbildung.	760
A6.5 Informationen.	761
A7 AMA Verband für Sensorik und Messtechnik: Innovatoren verbinden	761
A7.1 Ziele: Vernetzung im Innovationsdialog	761
A7.2 Mission: Hersteller, Anwenderindustrie und Wissenschaft verbinden	761
A8 HART Communication Foundation.	762
A8.1 Services für Mitglieder und nicht Mitglieder	762
A8.2 Aktivitäten der HART Communication Foundation	762
A8.3 Normen:	762
Kurzvorstellung	763
Register	770
Inserentenverzeichnis	781