

K. F. Früh, U. Maier, D. Schaudel (Hrsg.)

Handbuch der Prozess- automatisierung

Prozessleittechnik für
verfahrenstechnische Anlagen

4. Auflage



Oldenbourg
Industrieverlag

ISBN 978-3-8356-3142-7



9 783835 631427





Handbuch der Prozessautomatisierung

Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen

Herausgegeben von K. F. Früh · U. Maier · D. Schaudel

mit Beiträgen von

Prof. Dr.-Ing. W. Ahrens	Dr.-Ing. D. Huhnke
Dipl.-Ing. W. Albert	Dr. C. Koppermann
Dr.-Ing. G. Bandow	Dipl.-Inform. (FH) K.-P. Lindner
Dipl.-Phys. H. Bernard	Prof. Dr.-Ing. U. Maier
Dr. A. Brucker	Dipl.-Ing. N. Matalla
Prof. Dr. C. Diedrich	Dr.-Ing. B. Möckel
Prof. Dr.-Ing. R. Dittmar	Dr.-Ing. G. Nöth
Dipl.-Ing. (FH) H.-J. Dorn	Dr.-Ing. S. Ochs
Dipl.-Ing. Phys. Dr. rer. nat. H. Dornauf	Dr. D. Reinhold
Dr.-Ing. D. Drechsel	Ph.D., Dipl.-Ing. F. Rubner
Dipl.-Ing. H. Fittler	Dr.-Ing. F.-W. Schaefer
Dipl.-Phys. H.-P. Fuß	Prof. Dr.-Ing. H. Schuler
Dipl.-Ing. (BA) K. H. Gutmann	Dr.-Ing. A. Schumann
Dipl.-Ing. F. Grunert	Dr. rer. nat. G.-U. Spohr
Dipl.-Ing. M. Gölz	Dr. S. Stieler
Dipl.-Ing. D. Hablawetz	Dr.-Ing. Th. Tauchnitz
Dr.-Ing. M. J. Heim	Dipl.-Ing. F. Vetter
Dr. phil. nat. R. Herbrich	Prof. Dr.-Ing. B. Vogel-Heuser
Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) F. Hils	Dipl.-Ing. (FH) R. Weber
Dipl.-Ing. F. Hofmann	Dipl.-Ing. (FH) D. H. Wichmann

4., überarbeitete Auflage

Oldenbourg Industrieverlag München

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

© 2009 Oldenbourg Industrieverlag GmbH
Rosenheimer Straße 145, D-81671 München
Telefon: (089) 45051-0
www.oldenbourg-industrieverlag.de

Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Lektorat: Elmar Krammer
Herstellung: Karl Heinz Pantke
Satztechnik: abavo GmbH, Buchloe
Druck/Bindung: Offsetdruck Heinzelmann
Gedruckt auf säure- und chlorfreiem Papier

ISBN 978-3-8356-3142-7

Einführung und Vorwort zur 1. Auflage

Die Planung automatisierungstechnischer Einrichtungen für verfahrenstechnische Anlagen erfordert umfangreiches Wissen, das – über die gesamte Breite des Spektrums – mental nicht bereitgehalten werden kann. Hier soll das „Handbuch der Prozessautomatisierung“ Unterstützung leisten. Als Nachschlagewerk vermittelt es das für die Planung benötigte aktuelle Kernwissen und bietet darüber hinaus viele Hinweise auf weiterführende praxisnahe Spezialliteratur, auf Empfehlungen, Vorschriften, Normen und Richtlinien sowie auch auf nutzbare Computerprogramme.

Aus diesem Konzept ergibt sich die Zielgruppe des Handbuches. Das sind Ingenieure, die sich auf der Anwenderseite mit der Planung, mit der Errichtung und mit dem Betrieb automatisierungstechnischer Einrichtungen in verfahrenstechnischen Anlagen befassen. Ebenso gehören der Zielgruppe Ingenieure an, die in Consulting-Unternehmen und auf der Herstellerseite auftragsgebunden solche Einrichtungen planen und mit der Systemkonfigurierung befasst sind. Nicht zuletzt werden diejenigen Ingenieure angesprochen, die auf der Herstellerseite Produktplanung und Entwicklung betreiben und denen mit dem Handbuch Informationen über die Markt- und Anforderungssituation gegeben werden.

Um das Nachschlagewerk durchgehend übersichtlich zu gestalten, wurde der Geräte- und Systemteil – mit geringen Modifikationen – in weitgehend einheitlicher Systematik wie folgt strukturiert:

1. Ein Übersichtsbeitrag vermittelt jedesmal einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik – so z.B. über die Funktionalität der Geräte und Systeme, über Bauformen, über anwendbare Methoden (z.B. Messmethoden) – und über die sich abzeichnenden Entwicklungstrends.
2. In einem folgenden Beitrag oder Abschnitt werden dann konkret Hinweise für den Einsatz der Geräte und Systeme sowie für die Anwendung der Methoden (z.B. Messmethoden) gegeben. Anwendungs-, auch Auswahlkriterien werden angegeben und erforderlichenfalls diskutiert.

3. Eine Marktübersicht, in der die anwendungsrelevanten Eigenschaften der am Markt befindlichen Geräte und Systeme tabellarisch aufgelistet sind, vermittelt schließlich einen zum Vergleich geeigneten Überblick über das aktuelle Marktangebot. Die Erstellung einer Marktübersicht war zwar für die meisten, aber nicht für alle Geräte- und Systemgruppen sinnvoll.

Wert und Nutzen dieses Handbuches sind stark von zwei Faktoren abhängig: zum einen von der Aktualität und zum anderen von der Qualität und Praxisnähe der Darstellung.

Für Aktualität zum Zeitpunkt des Erscheinens und auch mit einem gewissen „Vorhalt“ für die nahe Zukunft ist gesorgt. Wir haben jedoch vorgesehen, das Werk in zeitlich angemessenen Zyklen zu aktualisieren und in Neuauflage herauszubringen. Der jeweilige Zyklus der Aktualisierung wird zwangsläufig vom Tempo der Entwicklung unseres Fachgebietes abhängig sein.

Für die Qualität und Praxisnähe der Darstellung steht das Team von 22 Autoren, ausgewiesenen und bekannten Experten auf ihren Arbeitsfeldern. Als Herausgeber freue ich mich, diese Autoren zur Mitarbeit gewonnen zu haben, obwohl das Mitmachen für manchen von ihnen angesichts der außerordentlichen beruflichen Belastung sehr schwer war. So gilt mein besonderer Dank den Autoren als den wichtigsten Akteuren beim Zustandekommen dieses Werkes. Dank auch für manch guten Rat zum Handbuchkonzept von ihrer Seite.

Dank gebührt nicht zuletzt dem R. Oldenbourg Verlag, denn ohne kräftige Unterstützung seitens des Verlages, z.B. bei der Erstellung der Marktübersichten, hätte das Handbuch in dieser Form nicht realisiert werden können. Persönlich danke ich Herrn *Johannes Oldenbourg* für intensive Ermutigung zu diesem Projekt und Herrn *Elmar Krammer* – er war am stärksten in Anspruch genommen – für sein engagiertes Mitwirken bei dessen Durchführung.

Ich hoffe sehr, dass wir mit diesem Handbuch unserem Fachgebiet der Prozessautomatisierung und den auf diesem Feld Tätigen einen wertvollen Dienst leisten.

Ettlingen im März 1997

K. F. Früh

Vorwort zur 3. Auflage

Nach dem Erscheinen der 2. Auflage im Jahr 2000 hat der bisherige Herausgeber, Herr K. F. Früh, aus Altersgründen seine Redaktionsarbeit für das Handbuch beendet. Herr Früh und Herr Dr. Dieter Hohm, der Geschäftsführer des Oldenbourg Industrieverlags, haben mich gebeten, die Herausgabe der neuen Auflage zu übernehmen. Da Herr K. F. Früh der geistige Vater des Handbuchs ist und weil das Handbuch unter seinem Namen bekannt geworden ist, soll er weiterhin als Herausgeber an erster Stelle genannt werden.

Das grundsätzliche Konzept des Handbuchs ist unverändert: Es dient als Nachschlagewerk für Ingenieure, die sich in verschiedenen Tätigkeitsbereichen mit Fragen der Automatisierung verfahrenstechnischer Anlagen auseinandersetzen müssen.

Einige Themen wurden neu aufgenommen – wegen ihrer Aktualität und zur Abrundung des Themenspektrums. Folgende Kapitel sind völlig neu oder mit neuen Autoren wesentlich erweitert:

- Internet-/Intranettechnologien
- Übersicht über prozessnahe Funktionen
- Industrielle Regelung: Probleme und Problemlösungen
- Modellgestützte prädiktive Regelung (MPC)
- Meldearchivanalyse
- Control Loop Performance Monitoring (CPM)
- Automatisierungsstrukturen
- Explosionsschutz
- Remote-I/O
- Integration intelligenter Feldgeräte in PLS
- Wäge- und Abfülltechnik
- Anlagensicherheit
- Ganzheitliche Instandhaltung – Strukturen und Strategien

Die übrigen Kapitel wurden aktualisiert und teilweise auch wesentlich überarbeitet.

In der zweiten Auflage waren noch fast alle Kapitel der Prozessmesstechnik und der Prozessstelltechnik von Herrn Dr. Günther Strohrmann verfasst, einem engagierten Autor und erfahrenen Praktiker, der leider verstorben ist. Für jedes seiner Kapitel sowie für die genannten neuen bzw. wesentlich erweiterten Kapitel gibt es neue Autoren. Das Autorenteam besteht nun aus mehr als 40 praxiserfahrenen Personen.

Die früheren im Handbuch enthaltenen Marktübersichten sind separat in Form von Excel-Tabellen auf einer CD beigelegt. Hinweise zur Benutzung enthält der Anhang C. Diese Form bietet die Möglichkeit, auf die Daten mit Such- und Sortierkriterien zuzugreifen. Damit enthält das gedruckte Buch keine schnell veraltenden Herstellerdaten mehr. Die Marktübersichten können nun unabhängig von einer Neuauflage des Handbuchs aktualisiert werden.

Für das Zustandekommen dieser Auflage danke ich vor allem den Autoren, die trotz ihrer beruflichen Belastung bereit waren, ihre Beiträge zu verfassen. Mein Dank gilt auch dem Oldenbourg Industrieverlag und seinem Geschäftsführer Dr. Dieter Hohm für die Unterstützung des Projekts und allen im Verlag beteiligten Mitarbeitern, vor allem Herrn Elmar Krammer (Lektorat Automatisierungstechnik), für ihre engagierte Mitwirkung.

Alle Leser möchte ich bitten, erkannte Fehler, Kritik und Verbesserungsvorschläge direkt an mich zu senden, unter der E-Mail-Adresse „uwe.maier@uni-duisburg.de“, bitte mit dem Betreff „Handbuch“.

Duisburg, im April 2004

Uwe Maier

Vorwort zur 4. Auflage

Für die vierte Auflage konnte Dieter Schaudel, eine in Fachkreisen bekannte Persönlichkeit mit langjährigen Erfahrungen in der automatisierungstechnischen Industrie, als Mitherausgeber gewonnen werden. Uwe Maier und Dieter Schaudel teilen sich nun die Herausgeberschaft.

Das grundsätzliche Konzept des Handbuchs ist unverändert: Es dient als fachlich fundiertes Nachschlagewerk für Ingenieure, Physiker und Chemiker, die sich mit der Automatisierung verfahrenstechnischer Anlagen und mit den dafür notwendigen Geräten, Systemen und Architekturen beschäftigen. Angesichts der besonderen Herausforderung in Mitteleuropa, die Produktionseffizienz der verfahrenstechnischen Prozesse und Anlagen zu verbessern, Energie und Rohstoffe noch sparsamer einzusetzen und dabei besonders umweltverträglich zu produzieren, ist der Zugriff auf die aktuellen Grundlagen, Ausprägungen und Anwendungen der Prozessautomatisierung wichtiger denn je geworden; dem zu dienen ist eine Aufgabe dieses Handbuchs.

Gegenüber der dritten Auflage wurden alle Kapitel sorgfältig durchgesehen und – wo erforderlich – aktualisiert oder neu verfasst. Letzteres gilt besonders für jene, bei denen die Technologie der Prozessautomatisierung Schritt halten muss mit den rasanten Veränderungen in der In-

formations- und Kommunikationstechnik. Neu erschienene Normen und Richtlinien wurden aufgenommen, der Überblick über einschlägige Verbände, Vereinigungen und Organisationen ergänzt.

Auf die in den früheren Auflagen als CD beigelegten Marktübersichten konnte verzichtet werden, da nun mit Prolist International eine eigenständige Organisation standardisierte Merkmalleisten für Geräte aus dem Bereich der Prozessleittechnik entsprechend der NAMUR-Empfehlung NE 100 „Nutzung von Merkmalleisten im PLT-Engineering-Workflow“ erarbeitet und publiziert.

Für das Zustandekommen dieser Auflage danken wir den vielen Autoren, die trotz ihrer beruflichen Belastung bereit waren, ihre Beiträge zu leisten. Unser Dank gilt auch dem Oldenbourg Industrieverlag und seinen beteiligten Mitarbeitern, vor allem Herrn Elmar Krammer.

Kritik, Verbesserungsvorschläge und Fehlerkorrekturen sind willkommen unter der E-Mail-Adresse uwe.maier@uni-due.de oder dieter.schaudel@schaudelconsult.de und können zur weiteren Verbesserung zukünftiger Auflagen beitragen.

Duisburg und Freiburg,
im November 2008

Uwe Maier und
Dieter Schaudel

Inhalt

Einführung und Vorwort zur 1. Auflage	V
Vorwort zur 3. Auflage	VI
Vorwort zur 4. Auflage	VII
<hr/>	
1 Situation der Prozessautomatisierung	1
<hr/>	
1.1 Marktsituation und Markttrends	2
1.1.1 Zusammenfassung: Der Weltmarkt für Prozessautomatisierung bis zum Jahre 2014	2
1.1.2 Weltmarkt für Prozessautomatisierung im Überblick	2
1.1.3 Wachstumsfaktoren für die Märkte	3
1.1.4 Marktentwicklung nach Industriesektoren	4
1.1.5 Marktentwicklung nach Regionen	5
1.1.6 Marktentwicklung nach Produkten und externen Dienstleistungen	6
1.1.7 Erfolgsfaktoren für Anbieter	7
1.1.8 Erfolgsfaktoren für Betreiber	8
1.2 Trends der Technik und des Engineering	10
1.2.1 Allgemeines	10
1.2.2 Erfolgsfaktoren für Anbieter	12
1.2.3 Erfolgsfaktoren für Betreiber	13
<hr/>	
2 Höhere Ebenen: Informationsverbund und MES	15
<hr/>	
2.1 Prozessleittechnik im Informationsverbund des Unternehmens .	16
2.1.1 Triebkräfte für die Integration der Prozessleittechnik	16
2.1.1.1 Öffnung der Prozessleitsysteme zu den Standards der Informationstechnik	16
2.1.1.2 Veränderungen im Geschäft der Anwender von Automatisierungstechnik	17
2.1.2 Integrationskonzepte	17
2.1.2.1 Integration des operativen Geschäftsprozesses, d.h. der Wertschöpfungskette	18
2.1.2.2 Die Qualität als integrierender Faktor	21
2.1.2.3 Die Integration des technischen Gestaltungsprozesses, d.h. des Engineering-Life-Cycles	22

2.1.2.4	Integration der technischen Disziplinen	25
2.1.2.5	Integration der Verfahrens- und Automatisierungstechnik – das Konzept der Prozessführung	27
2.1.2.6	Integrationskoordinaten	29
2.1.3	Die Prozessleittechnik im Produktionsverbund	29
2.1.3.1	Die Prozessleittechnik in der vertikal integrierten Wertschöpfungskette	29
2.1.3.2	Die Prozessleittechnik in der horizontal integrierten Wertschöpfungskette	30
2.1.3.3	Die Prozessleittechnik im integrierten technischen Gestaltungsprozess	31
2.1.3.4	Die Prozessleittechnik im Zusammenspiel mit anderen technischen Disziplinen	31
2.1.4	Allgemeine Aussagen zur Integration	32
2.1.5	Zusammenfassung	33
2.2	Manufacturing Execution Systems (MES)	34
2.2.1	Einleitung	34
2.2.1.1	Begriffe	34
2.2.1.2	Standards zur Betriebsleittechnik	35
2.2.2	Methodische Grundlagen der integrierten Betriebsleittechnik	35
2.2.2.1	Betriebstypen in der chemischen Industrie	35
2.2.2.2	Produktionsstrukturen	37
2.2.2.3	Betriebliche Geschäftsprozesse	37
2.2.2.4	Zur Notwendigkeit der Integration	38
2.2.3	Funktionen der integrierten Betriebsleittechnik	39
2.2.3.1	Betriebliche Materialwirtschaft	39
2.2.3.2	Produktionssteuerung	40
2.2.3.3	Qualitätskontrolle	42
2.2.3.4	Produktion	43
2.2.3.5	Besonderheiten abweichender Betriebstypen	43
2.2.4	Ansätze zur Integration der Funktionsebenen	44
2.2.4.1	Horizontale Integration	44
2.2.4.2	Vertikale Integration mit der Prozessleitebene	45
2.2.4.3	Vertikale Integration mit der Unternehmensleitebene	47
2.2.5	Softwarelösungen für die Betriebsleittechnik	49
2.2.5.1	Klassifizierung von Anwendungssystemen für die Betriebsleittechnik	49
2.2.5.2	Software-Konzepte zum Einsatz von Standard-Software	50
2.2.5.3	Bedeutung von SAP-R/3	51
2.2.6	Zusammenfassung und Ausblick	53

3 Funktionen der Prozesselebene	55
3.1 Übersicht über prozessnahe Funktionen	56
3.1.1 Allgemeines	56
3.1.2 Messen	56
3.1.3 Stellen	57
3.1.4 Steuern	57
3.1.5 Regeln und Rechnen	59
3.1.6 Überwachen und Diagnose	60
3.1.7 Höhere Prozessleitfunktionen	61
3.2 Rezeptfahrweise, Führung von Chargenprozessen	63
3.2.1 Funktionen und Standards der Rezeptfahrweise	63
3.2.1.1 Motivation und Anforderungen	63
3.2.1.2 Anlagenstrukturen von Chargenprozessen	64
3.2.1.3 Begriffe und Modelle zur Strukturierung und Automation	66
3.2.2 Realisierung der Rezeptfahrweise	84
3.2.2.1 Analyse und Entwurf modularer Strukturen	84
3.2.2.2 Projektimplementierung und Bedienung	92
3.2.2.3 Bedeutung funktioneller Standards	97
3.2.3 Auswahl und Nutzen von Standard-Software zur Rezeptfahrweise	100
3.2.3.1 Aspekte der Bewertung	100
3.2.3.2 Auswahlkriterien	101
3.2.3.3 Nutzen-Potenziale durch Standard-Software für Rezeptfahrweise ..	104
3.3 Industrielle Regelung	106
3.3.1 Einleitung	106
3.3.2 Problemverursachende Randbedingungen für den Einsatz von Regelungen ..	106
3.3.3 Techniken zur Problemlösung	112
3.3.4 Reglereinstellung	113
3.3.5 Ergänzungen zur Verbesserung der Prozessführung	116
3.3.6 Veränderungen und Erweiterungen der Regelungsstruktur	117
3.3.7 Zusammenfassung	118
3.4 Modellbasierte prädiktive Regelung (MPC)	120
3.4.1 Grundprinzip modellprädiktiver Regelungen für Eingrößensysteme	120
3.4.2 Erweiterung auf Mehrgrößensysteme und Berücksichtigung von Beschränkungen für die Steuer- und Regelgrößen	123
3.4.3 Nichtquadratische und zeitvariante Struktur des Mehrgrößenregelungssystems	124
3.4.4 Über- und unterspezifizierte Systeme, integrierte Arbeitspunktoptimierung ..	125
3.4.5 Erweiterung von MPC-Regelungen auf nichtlineare Systeme	127

3.4.6	Projektablauf und Entwicklungsumgebung	128
	Übersicht	128
3.4.7	Anwendungsbeispiel: Regelung des Kolonnensystems einer Gaszerlegungsanlage [28]	132
3.4.8	Anbieter von MPC-Programmsystemen	136
3.4.9	Pros und Contras der Anwendung von MPC-Regelungen	137
3.5	Control Performance Monitoring (CPM)	142
3.5.1	Motivation	142
3.5.2	Einfache statistische Maßzahlen zur Bewertung des Regelkreisverhaltens	144
3.5.3	Benchmarktests und Performance-Indizes	145
3.5.4	Stiktionserkennung und Oszillationsanalyse	148
3.5.5	Anforderungen an CPM-Systeme aus der Sicht der Anwender	152
3.5.6	CPM-Programmsysteme und Dienstleistungen	154
3.5.7	Schlussbemerkung	155
3.6	Meldearchiv-Analyse	158
3.6.1	Einleitung	158
3.6.2	Wesentliche Inhalte einer Meldearchiv-Analyse	160
3.6.3	Ziele einer Meldearchiv-Analyse	162
3.6.4	Kosten-/Nutzen-Aspekte	163
3.6.5	Datenbasis für die Begründung von Verbesserungsvorhaben	163
3.6.6	Benchmarkings	163
3.6.7	Weitergehender Nutzen	163
3.6.8	Zusammenfassung	163
3.7	Prozessführung mittels Bildschirmen in Prozessleitwarten	165
3.7.1	Gestaltung der Prozessleitwarte	165
	3.7.1.1 Lage und Abmessung	165
	3.7.1.2 Bauliche Ausstattung	166
3.7.2	Arbeitsplätze	167
3.7.3	Allgemeines zur Prozessführung mit Bildschirmen	168
	3.7.3.1 Formen der Prozessdarstellung auf dem Bildschirm	168
	3.7.3.2 Leserlichkeit	169
	3.7.3.3 Bediengeräte und Bedienverfahren	170
	3.7.3.4 Anzahl Bildschirme / Leitstationen	170
	3.7.3.5 Prozessübersicht	172
	3.7.3.6 Lenkung der Aufmerksamkeit des Operators	172
3.7.4	Fließbilder	172
	3.7.4.1 Arten von Fließbildern	173
	3.7.4.2 Fließbildhierarchie	173
	3.7.4.3 Gestaltungsmerkmale	173

3.7.5	Meldungen	174
3.7.6	Kurvenbilder	176
3.7.7	Faceplates	176
3.7.8	Checkliste zur Erarbeitung des Bedienkonzeptes	176
3.7.8.1	Arbeitsplätze	177
3.7.8.2	Fließbilder	177
3.7.8.3	Meldungen	177
3.7.8.4	Pflichtenheft	177
<hr/>		
4	Geräte der Prozesselebene	179
<hr/>		
4.1	Automatisierungsstrukturen	180
4.1.1	Einführung	180
4.1.2	Rechnerarchitektur	180
4.1.2.1	Ein- und Mehrprozessorrechner	180
4.1.2.2	Typische Hardware und Software von ABK, PNK und ABPNK ..	182
4.1.3	Zentrale und dezentrale Automatisierungssysteme	183
4.1.4	Kommunikation mit Sensoren und Aktoren	184
4.1.5	Verfügbarkeit	186
4.1.5.1	Fehler und mögliche Gegenmaßnahmen	186
4.1.5.2	Redundanz	186
4.1.5.3	Rekonfigurierung	188
4.1.6	Zeitverhalten	189
4.1.7	Ausblick	189
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)	194
4.2.7	Engineering-Komponente und Engineering-Werkzeuge	196
4.2.8	Offener Betriebs-/Werksbus	197
4.2.9	Gehobene Methoden der Prozessautomatisierung	197
4.2.10	Rezeptfahrweise nach NAMUR	198
4.2.11	Unterstützung von Qualitätssicherung, Qualifizierung, Validierung	198
4.2.12	Lebenszyklus der PLS	199
4.2.13	Die Zukunft des PLS	199
4.2.14	Alternativen zum PLS	200
4.2.15	Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	201

4.3 Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	205
4.3.1 Überblick	205
4.3.2 Hardware und System-Software	206
4.3.2.1 Aufbau und Stromversorgung	206
4.3.2.2 CPU und Arbeitsspeicher	206
4.3.2.3 Prozess- und Kommunikationsperipherie	206
4.3.2.4 System-Software	207
4.3.2.5 Hochverfügbare und sicherheitsgerichtete SPS	209
4.3.3 Programmierung	209
4.3.3.1 Programmiersprachen und Funktionsbausteine	209
4.3.3.2 Programmentwicklung	209
4.3.4 Trends	210
4.3.5 Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	211
4.3.6 SPS-basierte Prozessleitsysteme (SPS-Systeme)	211
4.3.6.1 Grundsätzliches zu SPS-basierten Prozessleitsystemen	211
4.3.6.2 Mindestvoraussetzungen	212
4.3.6.3 Auswahlkriterien für SPS-Systeme	213
4.3.6.4 SPS-System oder PLS?	214
4.4 Kompaktregler	216
4.4.1 Einleitung	216
4.4.2 Industrieregler und Prozessregler	216
4.4.3 Stand der Technik bei den Kompaktreglern	218
4.4.4 Entwicklungstrends	220
4.4.5 Auswahlkriterien und Hinweise für die Anwendung	221
<hr/>	
5 Feldgeräte: Allgemeine Eigenschaften und Kommunikation ..	223
<hr/>	
5.1 Explosionsschutz	224
5.1.1 Beurteilung möglicher Explosionsgefahren, Zoneneinteilung	224
5.1.2 Gerätekategorien	227
5.1.3 Überblick über die Zündschutzarten	228
5.1.4 Sicherheitstechnische Kenngrößen	233
5.1.5 Kriterien für die Geräteauswahl und Regeln für die Installation	235
5.1.6 Instandhaltung	239
5.2 Konventionelle Signalübertragung	242
5.2.1 Allgemeines	242
5.2.2 Analoge Stromsignale (4...20 mA)	243
5.2.3 Binäre Stromsignale für Näherungssensoren (NAMUR)	245

5.2.4	Binäre Spannungssignale (0/24 V)	245
5.2.5	Sonstige Signale	246
5.3	HART-Protokoll	247
5.3.1	Einführung	247
5.3.2	Technik des HART-Protokolls	247
5.3.2.1	Datenübertragung	247
5.3.2.2	Kommandoklassen	247
5.3.2.3	Gerätebeschreibungssprache DDL	248
5.3.2.4	Verbindungsstrukturen	248
5.3.2.5	Verbindung ins Internet	250
5.3.3	Anwendererfahrungen	251
5.3.3.1	Inbetriebnahme	251
5.3.3.2	Gerätediagnose	251
5.3.3.3	Systemintegration	251
5.3.3.4	Kosten-Nutzen-Verhältnis	252
5.3.4	Weiterentwicklungen	253
5.4	Remote I/O	255
5.4.1	Stand der Technik	255
5.4.2	Anwendungswissen und Auswahlkriterien	256
5.4.2.1	Systemcharakteristika	259
5.4.2.2	Vielfalt der Ein-/Ausgangsbaugruppen und Kommunikation	259
5.4.2.3	Engineering und Projektierung	261
5.4.2.4	Wartung und Inbetriebnahme	261
5.4.2.5	Referenzinstallationen und Service	262
5.4.3	Anwendungsbeispiel und Wirtschaftlichkeits-betrachtung	262
5.4.4	Zukünftige Entwicklungen	263
5.5	Feldbus	265
5.5.1	Architekturen	265
5.5.2	Nutzen der Feldbustechnik	267
5.5.2.1	Kosteneinsparung	267
5.5.2.2	Qualitätsverbesserung und Anlagensicherheit	272
5.5.2.3	Praxiserfahrung	273
5.5.3	Feldbusse für die Prozessautomatisierung	273
5.5.3.1	RS-485-Übertragungstechnik	274
5.5.3.2	MBP Übertragungstechnik	274
5.5.3.3	Lichtwellenleiter (LWL)	275
5.5.3.4	PROFIBUS für die Prozessautomatisierung	276
5.5.3.5	FOUNDATION Fieldbus	280

5.5.4	Weitere digitale Bussysteme	281
5.5.4.1	AS-Interface	282
5.5.4.2	ControlNet	282
5.5.4.3	Interbus	282
5.5.4.4	LON	282
5.5.4.5	CAN, DeviceNet und CANOpen	282
5.5.4.6	PROFINET für die Prozessautomatisierung	283
5.5.5	Feldbus-Engineering	284
5.5.5.1	Problemstellung	284
5.5.5.2	Ziele	284
5.5.6	Entwicklungstrends der Kommunikation von Feldgeräten	285

5.6 Feldgeräte-Instrumentierungstechnologien:

	Integration intelligenter Feldgeräte in PLS	290
5.6.1	Einleitung	290
5.6.2	Technologische Schritte bei Feldgeräten	290
5.6.3	Aufgaben der Feldgeräteinstrumentierung	293
5.6.3.1	Überblick	293
5.6.3.2	Beispiel-Architektur eines Automatisierungssystems	293
5.6.3.3	Kommunikationskonfigurierung	294
5.6.3.4	Feldgeräte-Parametrierung	294
5.6.3.5	Integration in die PNK-Software	295
5.6.3.6	Diagnose und Wartung	296
5.6.4	Instrumentierungstechnologien	296
5.6.4.1	Überblick	296
5.6.4.2	Kommunikationskonfigurierung und GSD	298
5.6.4.3	Parametrierung der Feldgeräte-Funktionen: Gerätebeschreibung, DDL und EDDL	300
5.6.4.4	Feldgeräteintegration in die PNK-Software: Proxy	303
5.6.4.5	Systemintegration von Feldgeräten	303
5.6.5	Feldbus-Profile	311
5.6.6	Modell für das Engineering und die Instrumentierung	314
5.6.6.1	Das Gerätemodell	314
5.6.6.2	Beschreibungs- und Realisierungsbeispiel	319
5.6.7	Zusammenfassung	320

6 Prozessmesstechnik (Sensorik) 323

6.1 Druckmesstechnik 324

6.1.1	Allgemeines, Messgrößen und Einheiten	324
-------	---	-----

6.1.2	Messmethoden	324
6.1.2.1	Übersicht	324
6.1.2.2	Druckmessgeräte mit Sperrflüssigkeit	324
6.1.2.3	Federelastische Druckmessgeräte	325
6.1.2.4	Elektrische Messumformer für Druck und Differenzdruck	326
6.1.2.5	Pneumatische Messumformer für Druck und Differenzdruck	334
6.1.2.6	Druckmittler	334
6.1.2.7	Grenzsinalgeber für Druck	336
6.1.3	Entwicklungstrends	336
6.1.3.1	Entwicklungen bei Membrandruckmittlern	336
6.1.3.2	Aufbau und Ausstattungsmerkmale moderner Messumformer	339
6.1.3.3	Multifunktionale Messumformer	341
6.1.3.4	Signalverarbeitung	341
6.1.4	Normung	342
6.1.5	Kalibrieren	344
6.1.6	Elektronische Messbereichswahl (Turn-down, TD)	345
6.1.7	Sicherheitsaspekte	346
6.1.8	Zu beachtende Einflüsse auf Messunsicherheit und Zuverlässigkeit	346
6.1.8.1	Temperatureinfluss	346
6.1.8.2	Einfluss des statischen Druckes	347
6.1.8.3	Betriebsmäßig bedingte Überlastungen	347
6.1.8.4	Berstsicherheit	348
6.1.8.5	Druckschwankungen	348
6.1.8.6	Korrosion durch aggressive Flüssigkeiten oder Gase	348
6.1.8.7	Beeinträchtigung der Messungen durch Messstoffe, die bei Umgebungstemperaturen fest sind	348
6.1.9	Auswahlkriterien	350
6.2	Temperaturmesstechnik	351
6.2.1	Allgemeines	351
6.2.2	Grundlagen der Temperaturmesstechnik	351
6.2.2.1	Die Temperaturskala	351
6.2.2.2	Thermometerarten	353
6.2.3	Technische Temperatur-Messmethoden in der Verfahrenstechnik	355
6.2.3.1	Berührungsthermometer	355
6.2.3.2	Strahlungsthermometer (Pyrometer)	360
6.2.4	In der Praxis zu beachtende Einflüsse auf die Messunsicherheit	363
6.2.4.1	Einflüsse bei Berührungsthermometern	364
6.2.4.2	Einflüsse auf die Messfehler bei Pyrometern	367
6.2.5	Temperaturmessumformer	367
6.2.6	Kalibrieren von Thermometern	368

6.2.7	Sicherheitsaspekte	368
6.2.8	Auswahlkriterien	369
6.2.8.1	Berührungsthermometer	369
6.2.8.2	Strahlungsthermometer	370
6.2.8.3	Messumformer für Temperaturen	370
6.3	Durchfluss- und Mengenmesstechnik	371
6.3.1	Allgemeines	371
6.3.2	Grundlagen, Messgrößen und Einheiten	372
6.3.3	Messmethoden	373
6.3.3.1	Übersicht	373
6.3.3.2	Wirkdruckverfahren	373
6.3.3.3	Durchflussmessung aus der Kraft auf angeströmte Körper	384
6.3.3.4	Magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID)	388
6.3.3.5	Ultraschall-Durchflussmesser (USD)	396
6.3.3.6	Strömungszähler	404
6.3.3.7	Unmittelbare Volumendurchflussmesser: Verdrängerzähler	411
6.3.3.8	Coriolis-Massedurchflussmesser (CMM)	414
6.3.3.9	Thermische Massedurchflussmesser	420
6.3.4	Entwicklungstrends	422
6.3.5	Normung	423
6.3.6	Kalibriereinrichtungen	428
6.3.6.1	Allgemeines zu Kalibriereinrichtungen	428
6.3.6.2	Kalibrieranlagen für Flüssigkeitsströme	428
6.3.6.3	Kalibrieranlagen für Gasströme	431
6.3.7	Sicherheitsaspekte	432
6.3.8	Zu beachtende Einflüsse auf die Messunsicherheit und Zuverlässigkeit	433
6.3.8.1	Übersicht	433
6.3.8.2	Einfluss der Temperatur	434
6.3.8.3	Einfluss des statischen Drucks	435
6.3.8.4	Pulsationen	435
6.3.8.5	Dichteeinfluss	435
6.3.8.6	Korrosion durch aggressive Messstoffe	436
6.3.8.7	Beeinträchtigung durch Fluide, die bei Umgebungstemperatur fest sind	436
6.3.9	Auswahlkriterien	437
6.4	Füllstandmesstechnik	443
6.4.1	Allgemeines	443
6.4.2	Kontinuierliche Messverfahren	443
6.4.2.1	Übersicht	443

6.4.2.2	Örtliche Füllstandmesseinrichtungen	444
6.4.2.3	Laufzeitverfahren	445
6.4.2.4	Schwimmergeräte	452
6.4.2.5	Verdrängergeräte	456
6.4.2.6	Messung des hydrostatischen Drucks (Bodendruckmessung)	458
6.4.2.7	Kapazitive Füllstandmessung	462
6.4.2.8	Konduktive Füllstandmessung	468
6.4.2.9	Radiometrische Füllstandmessung	469
6.4.2.10	Elektromechanische Lotsysteme	472
6.4.2.11	Gravimetrische Füllstandmessung	472
6.4.3	Grenzsignalgeber für Füllstände	472
6.4.3.1	Allgemeines	472
6.4.3.2	Schwimmerschalter	473
6.4.3.3	Grenzsignale aus Bodendruckmessungen	473
6.4.3.4	Kapazitive und konduktive Grenzsignalgeber	473
6.4.3.5	Vibrationsgrenzsignalgeber	473
6.4.3.6	Ultraschall Grenzsignalgeber	474
6.4.3.7	Optoelektronische Grenzsignalgeber und Mikrowellenschranken	475
6.4.3.8	Kaltleiterüberfüllsicherung	476
6.4.4	Tankstandmessung („Tank Gauging“)	477
6.4.5	Entwicklungstrends	480
6.4.6	Richtlinien und Normen	481
6.4.7	Sicherheitsaspekte	483
6.4.8	Zu berücksichtigende Einflüsse auf Messunsicherheit und Zuverlässigkeit	484
6.4.8.1	Temperatureinfluss	485
6.4.8.2	Druckeinfluss	485
6.4.8.3	Dichteeinfluss	485
6.4.8.4	Überlastungseinfluss	486
6.4.8.5	Einfluss durch Schwankungen der Messgröße	486
6.4.8.6	Beeinträchtigung der Messungen durch Messstoffe, die bei Umgebungstemperatur fest sind	486
6.4.9	Auswahlkriterien	488
6.5	Wägetechnik	490
6.5.1	Grundlagen der Wägetechnik	490
6.5.1.1	Physikalische Größe „Masse“	490
6.5.1.2	Aufgabe der Wägetechnik	491
6.5.2	Messmethoden	493
6.5.2.1	Mechanische Waagen	493
6.5.2.2	Elektromechanische Waagen	493
6.5.2.3	Elektronische Waagen	501

6.5.2.4	Hybride Waagen	503
6.5.2.5	Einsatzbereiche der verschiedene Messprinzipien	504
6.5.3	Aufbau und Aufstellung wägetechnischer Einrichtungen	504
6.5.3.1	Konstruktive Maßnahmen für den Einbau von Wägezellen	504
6.5.3.2	Planungs- und Installationshinweise für Behälterwaagen	509
6.5.4	Waagenapplikationen	512
6.5.4.1	Diskontinuierliche Waagen	512
6.5.4.2	Kontinuierliche Waagen	524
6.5.5	Messgenauigkeit und Dosiergenauigkeit	538
6.5.6	Eichrechtliche Bestimmungen	542
6.5.6.1	Eichgesetz und EU-Richtlinie	542
6.5.6.2	Messtechnische Begriffe	545
6.5.6.3	Eichung	545
6.6	Prozessanalysenmesstechnik – eine Übersicht	549
6.6.1	Definition und Aufgaben der Prozessanalysenmesstechnik	549
6.6.2	Messverfahren und Gerätetechnik	550
6.6.3	Planung und Errichtung von Analysenmessanlagen	552
6.6.4	Betreuung von Analysenmessanlagen	554
6.6.4.1	Ingenieurbetreuung	554
6.6.4.2	Instandhaltung	555
6.6.5	Aspekte zur Organisationsstruktur der Prozessanalysenmesstechnik an größeren Produktionsstandorten	556
7	Prozessstelltechnik (Aktorik)	565
7.1	Stellventile	566
7.1.1	Allgemeines	566
7.1.2	Hubventile	568
7.1.2.1	Ventilgehäuse und Anschlüsse	568
7.1.2.2	Ventilgarnitur	570
7.1.2.3	Abdichtung	572
7.1.2.4	Sonderausführungen	573
7.1.3	Membranventile	574
7.1.4	Drehkegelventile	574
7.1.4.1	Drehkegelventilgehäuse	575
7.1.4.2	Stellelemente von Drehkegelventilen	575
7.1.4.3	Wellenlagerung und -abdichtung	576
7.1.4.4	Sonderausführungen	577

7.1.5	Klappen	577
7.1.5.1	Klappengehäuse	580
7.1.5.2	Stellelemente von Klappen	580
7.1.5.3	Lagerung und Abdichtung der Klappenwelle	581
7.1.5.4	Sonderausführungen	582
7.1.6	Hähne	582
7.1.6.1	Hahngehäuse	583
7.1.6.2	Stellelemente von Kugelhähnen	583
7.1.6.3	Stellelemente von Kükenhähnen	583
7.1.6.4	Abdichtung der Wellendurchführungen	584
7.1.6.5	Sicherheitsbetrachtungen	584
7.1.7	Schieber	584
7.1.7.1	Schiebergehäuse	585
7.1.7.2	Stellelemente von Schiebern	585
7.1.7.3	Abdichtung der Schieberstange	585
7.1.8	Auswahlkriterien und Anwendungshinweise	585
7.1.8.1	K_V -Wert und Stellverhältnis	585
7.1.8.2	Berechnung des erforderlichen K_V -Werts	586
7.1.8.3	Inhärente Kennlinien	588
7.1.8.4	Einsatzgrenzen	589
7.1.8.5	Werkstoffe	590
7.1.8.6	Leichte und schwere Baureihen	590
7.1.8.7	Umweltverträglichkeit, Arbeits- und Betriebssicherheit	590
7.1.8.8	Geräuscentwicklung	591
7.1.8.9	Berechnungsverfahren	593
7.1.8.10	Entscheidungstabelle	594
7.2	Stellantriebe	595
7.2.1	Allgemeines	595
7.2.2	Pneumatische Membranantriebe	595
7.2.2.1	Allgemeines und einfach wirkende Membran-Hubantriebe	595
7.2.2.2	Membran-Schwenkantriebe	598
7.2.2.3	Doppelt wirkende Membranantriebe	598
7.2.3	Pneumatische Kolbenantriebe	599
7.2.3.1	Einfache Kolbenantriebe	599
7.2.3.2	Doppelkolbenantriebe	600
7.2.3.3	Drehflügelantriebe	601
7.2.4	Elektrische Stellantriebe	602
7.2.5	Hydraulische Stellantriebe	604
7.2.6	Stellkräfte und Stellgeschwindigkeiten	604
7.2.7	Auswahlkriterien	604

7.3 Stellungsregler und Stellventilzubehör	605
7.3.1 Aufgaben eines Stellungsreglers	605
7.3.2 Pneumatische Stellungsregler	606
7.3.3 Analoge elektropneumatische Stellungsregler	607
7.3.4 Digital arbeitende i/p-Stellungsregler	609
7.3.5 Ventildiagnose	611
7.3.6 Stellventilzubehör	611
7.3.6.1 Stelumformer	612
7.3.6.2 Magnetventile	612
7.3.6.3 Grenzsinalgeber	612
7.3.6.4 Stellungsrückmelder	613
7.3.6.5 Pneumatische Zusatzgeräte	613
7.3.7 Künftige Entwicklung	614
7.4 Drehzahlveränderbare elektrische Antriebe	616
7.4.1 Einsatz drehzahlveränderbarer Antriebe	616
7.4.1.1 Allgemeines	616
7.4.1.2 Verfahrens- und produktionsbedingte Gründe für den Einsatz	616
7.4.1.3 Technische Gründe für den Einsatz	617
7.4.1.4 Kostengründe für den Einsatz	617
7.4.2 Technik und Entwicklungstrends	617
7.4.2.1 Motoren	617
7.4.2.2 Frequenzumrichter	617
7.4.2.3 Entwicklungstrends	618
7.4.3 Anforderungen und Anwendungshinweise	618
7.4.3.1 Allgemeine Anforderungen an Motoren	618
7.4.3.2 Allgemeine Anforderungen an Frequenzumrichter	619
7.4.3.3 Projektierung von Frequenzumrichter-Antrieben mit Beispiel	620
7.4.3.4 Betrieb mit übersynchroner Drehzahl	621
7.4.4 Einsatz von Frequenzumrichter-Antrieben an typischen Arbeitsmaschinen	621
7.4.4.1 Lastkennlinien von Arbeitsmaschinen	621
7.4.4.2 Pumpen	622
7.4.4.3 Lüfter	625
7.4.4.4 Rührwerke	627
7.4.4.5 Zentrifugen	627
7.4.4.6 Extruder	629
7.4.5 Ausblick	629

8 Planen, Errichten und Betreiben automatisierungstechnischer Einrichtungen 631

8.1 CAE-Systeme für die Planung verfahrens- und leittechnischer Anlagen 632

- 8.1.1 Hardware-Ausstattung 633
 - 8.1.1.1 Der Rechner 633
 - 8.1.1.2 Der Bildschirm 633
 - 8.1.1.3 Externspeicher 635
 - 8.1.1.4 Ein- und Ausgabegeräte 636
 - 8.1.1.5 Das Netz 637
 - 8.1.1.6 Client/Server-Architekturen 637
- 8.1.2 Software-Ausstattung 638
 - 8.1.2.1 Das Betriebssystem 638
 - 8.1.2.2 Das Datenbanksystem 639
 - 8.1.2.3 Die Applikationssoftware 639
- 8.1.3 CAx-Methoden 640
- 8.1.4 CAD/CAE-Systeme im Vorgehensmodell 640
 - 8.1.4.1 Das Vorgehensmodell 640
 - 8.1.4.2 CAE-Systeme für die Verfahrensauslegung 642
 - 8.1.4.3 CAE-Systeme für die Fließbilderstellung 642
 - 8.1.4.4 CAE-Systeme für die Aufstellungsplanung 644
 - 8.1.4.5 CAE-Systeme für die Apparate- und Rohrleitungskonstruktion ... 644
 - 8.1.4.6 CAE-Systeme für das PLT-Engineering 646
 - 8.1.4.7 CAE-Systeme für Infrastruktur und Logistik 651
 - 8.1.4.8 CAE-Systeme für Beschaffung, Montage und Inbetriebsetzung ... 651
 - 8.1.4.9 CAE-Systeme für die Instandhaltung 652
- 8.1.5 Die Funktionalität eines CAD-Systems 653
 - 8.1.5.1 2D-Paletten 653
 - 8.1.5.2 3D-Paletten 654
 - 8.1.5.3 Sachdaten 654
 - 8.1.5.4 Bemaßungen, Textbeschriftungen 654
 - 8.1.5.5 Arbeiten mit Zellen 654
 - 8.1.5.6 Referenzdateien 654
 - 8.1.5.7 Drucken und Plotten 655
- 8.1.6 Das Datenmodell eines CAE-Systems 655
- 8.1.7 Integration der Systeme 657
 - 8.1.7.1 Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) 657
 - 8.1.7.2 Integration von CAD/CAE in die SAP-Welt 658

8.1.7.3	Integration mittels Data Warehouse	660
8.1.7.4	Unterstützung kooperativen Arbeitens, Integration der Geschäftsprozesse	660
8.1.7.5	Internet und das World Wide Web	661
8.1.7.6	WEB-Technologie als Integrationsplattform, WEB-Services	663
8.1.7.7	Integration via Middleware-Architekturen	665
8.1.8	Einführung und Betrieb von CAD/CAE-Systemen	669
8.1.8.1	Das Auswahlprojekt	670
8.1.8.2	Das Einführungsprojekt	672
8.1.8.3	Aufbau einer Supportmannschaft	673
8.1.9	Zusammenfassung und Ausblick	674
8.2	Qualitäts- und Projektmanagement	678
8.2.1	Grundsätze des Qualitätsmanagements	678
8.2.1.1	Qualitätsnormen	678
8.2.1.2	Projektrealisierung – Planung	679
8.2.1.3	Projektrealisierung – kundenbezogene Prozesse	680
8.2.1.4	Projektrealisierung – Entwicklung	680
8.2.1.5	Projektrealisierung – Beschaffung	680
8.2.1.6	Projektrealisierung – Produktion und Dienstleistungserbringung ..	681
8.2.1.7	Projektrealisierung – Lenkung von Überwachungs- und Messmitteln	681
8.2.2	Qualitätsmanagement in der Prozessleittechnik (PLT)	682
8.2.2.1	Grundsätze des Projektmanagements	682
8.2.2.2	Qualitätsmanagement von PLT-Geräten (Hardware)	688
8.2.2.3	Qualitätsmanagement bei der Softwareerstellung	692
8.2.2.4	Qualitätsorientierte Betriebsbetreuung	696
8.2.3	Validierung und Qualifizierung im Pharmabereich	697
8.2.3.1	Prospektive Qualifizierung im PLT-Bereich	698
8.2.3.2	Retrospektive Validierung im PLT-Bereich	704
8.2.3.3	Arbeitsanweisungen für das Betreiben und Betreuen validierter Anlagen	705
8.2.3.4	Validierungsunterstützung beim Einsatz von Leit- bzw. Automatisierungssystemen	706
8.2.3.5	Einige erfahrungsbasierte Hinweise für die Praxis	707
8.3	Anlagensicherheit	710
8.3.1	Einleitung	710
8.3.2	Lebenszyklusmodell	710
8.3.3	Sicherheitsmanagement	711
8.3.4	Risiko, Sicherheitsbetrachtung	712
8.3.5	Klassifizierung der PLT-Einrichtungen gemäß VDI/VDE 2180	714
8.3.6	Anforderungen an PLT-Schutzeinrichtungen	715

8.3.7	Auslegung von PLT-Schutzeinrichtungen	716
8.3.8	Geräte für PLT-Schutzeinrichtungen	718
8.3.9	Betrieb und Instandhaltung von PLT-Schutzeinrichtungen	723
8.3.10	Änderungen an PLT-Schutzeinrichtungen	725
8.3.11	Zukünftige Trends	725
8.4	Ganzheitliche Instandhaltung – Strukturen und Strategien	727
8.4.1	Einführung	727
8.4.2	Begriffe und Definitionen	729
8.4.3	Ziele	734
8.4.4	Strategien und Konzepte	737
8.4.4.1	Strategien	737
8.4.4.2	Konzepte	739
8.4.5	Strukturen	742
8.4.6	Methoden	746
8.4.7	Zusammenfassung	750
8.5	Asset-Management	752
8.5.1	Was ist Asset-Management?	752
8.5.2	Asset-Management aus Sicht der NAMUR	752
8.5.3	Was soll Asset-Management leisten?	755
8.5.4	Voraussetzungen für den Einsatz von Asset-Management-Systemen	755
8.5.5	Anlagennahes Asset-Management	756
8.5.6	Asset-Optimization	757
Anhang	759
A	Fachorganisationen und Nutzerorganisationen	760
A.1	Die VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) e.V.	760
A.2	NAMUR	765
A.3	Interessengemeinschaft Regelwerke Technik (IGR)	767
A.4	ZVEI	770
A.5	FDT Group AISBL	773
A.6	HART Communication Foundation	773
A.7	PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO)	773
B	Autoren	774
Register	779

1 Situation der Prozess- automatisierung

1.1 Marktsituation und Markttrends

Norbert Schröder

1.1.1 Zusammenfassung: Der Weltmarkt für Prozessautomatisierung bis zum Jahre 2014

In einem Satz: Deutlicher Wachstumsanstieg des Weltmarktes für Prozessautomatisierung von 2004 bis 2009, leichte Abschwächung des Wachstums von 2009 bis 2014

Der Weltmarkt für Prozessautomatisierung wächst gemäß einer aktuellen Hochrechnung der INTECHNO CONSULTING, Basel von 58,3 Mrd. EUR im Jahr 2004 auf voraussichtlich 79,9 Mrd. EUR im Jahr 2009 und auf 107,3 Mrd. EUR bis zum Jahr 2014. Dies entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 6,5% zwischen 2004 und 2009 sowie von 6,1% im Zeitraum von 2009 bis 2014. Das durchschnittliche jährliche Wachstum für den Gesamtzeitraum beträgt 6,3%. Bei diesen Zahlen ist ein Wechselkurs von 1.00 EUR = 1.20 USD zugrunde gelegt.

Der Begriff der Prozessautomatisierung innerhalb dieser Analyse bezieht sich auf alle Automatisierungsaspekte, welche innerhalb der prozesstechnischen Industrien von Relevanz sind. Die hier diskutierten Marktzahlen umfassen daher gleichermaßen Automatisierungsaktivitäten von verfahrenstechnischen wie auch von fertigungstechnischen Teilprozessen (z.B. Verpackungsmaschinen) innerhalb der Prozessindustrien. Grob geschätzt lässt sich sagen, dass etwa 90% des Weltmarktes für Prozessautomatisierung auf die Automatisierung von verfahrenstechnischen Teilprozessen und 10% auf die Automatisierung von fertigungstechnischen Teilprozessen entfallen. Darüber hinaus werden in den Zahlen auch alle Sensoren, Messgeräte und Aktoren berücksichtigt, die für die Überwachungs- und Sicherheitstechnik, übergeordnete Instandhaltungskonzepte (Asset Management Systems) und übergeordnete IT-Systeme (MES; ERP) von Relevanz sind.

Die anbei diskutierten prozesstechnischen Industrien umfassen die verfahrenstechnisch orientierten Industrien bis hin zu Kraftwerken. Die verfahrenstechnischen Industrien umschließen zum einen die Sektoren Steine und Erden inklusive Glas- und Keramikindustrie, die Eisen- und Stahl- sowie die NE-Metallerzeugung einschließlich der Walzwerke für Stahl- und Aluminiumbleche. Ferner gehören die chemische Industrie, die Pharma- und Petroindustrie, die Zellstoff, Papier und Pappe erzeugende Industrie sowie die Nahrungsmittelindustrie und der Umweltsektor (Trinkwasserversorgung, Kläranlagen, Müllverbrennungsanlagen u.a.) dazu. Doch auch der Bergbau und die Öl- und Gasindustrie werden abgedeckt, und zwar alle Prozesse von der Förderung über den Transport bis hin zur Aufbereitung der Mineralien. Dagegen werden Mess- und Automatisierungstechniken für den Ferntransport in Pipelines sowie auch solche für die Exploration nicht dazugezählt. Jede dieser Branchen stellt unterschiedliche Anforderungen an die zu automatisierenden Prozesse und Einrichtungen.

Von den 58,3 Mrd. EUR, welche im Jahre 2004 an Produkten und externen Dienstleistungen der Mess- und Automatisierungstechnik nachgefragt wurden, entfielen zirka 74,1% auf die Kernprozesse, 5,1% auf Abfüllanlagen und Verpackungsmaschinen, 6,2% auf Lagereinrichtungen, und 14,6% auf Nebenanlagen und End-of-pipe-Umweltanlagen innerhalb der jeweiligen Prozessindustrien. Für das Jahr 2014 wird der Anteil der Kernprozesse am Gesamtmarkt für Prozessautomatisierung auf 75,4% prognostiziert.

1.1.2 Weltmarkt für Prozessautomatisierung im Überblick

Der Weltmarkt für „Prozessautomatisierung“ wächst von 58,3 Mrd. EUR im Jahre 2004 auf

voraussichtlich 107,3 Mrd. EUR im Jahre 2014. Unter „Prozessautomatisierung“ werden in diesem Artikel alle Arten von Mess- und Automatisierungstechniken verstanden, welche für die Anlagenbetreiber innerhalb der Prozessindustrien von Relevanz sind.

Innerhalb der Prozessindustrien nachgefragte Automatisierungstechniken beziehen sich in erster Linie auf die prozessnahen Techniken, welche dazu dienen, die diversen verfahrenstechnischen Prozessabläufe der oben erwähnten Branchen zu steuern und zu überwachen. Doch auch nicht-prozessnahe Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen werden berücksichtigt wie solche zur Überwachung von Lagertanks und Nebenanlagen. Desgleichen werden elektronische Sicherheitstechniken für den Untertage-Bergbau, für Ölplattformen und für die Petroindustrie dazugerechnet.

Darüber hinaus aber werden auch Sensor-, Mess- und Automatisierungstechniken berücksichtigt, welche direkt seitens der Maschinenbauer nachgefragt und in die Maschinen integriert werden, um sie dann im Gesamtpaket an die Betreiberfirmen zu liefern. Produkte, Systeme und Dienstleistungen der Prozessautomatisierung werden somit gleichermaßen von den Endanwendern, also den Betreibern von Anlagen nachgefragt als auch von den Ausrüsterfirmen: Anlagenbauer, Maschinenbauer und Systemintegratoren. Vor allem die Nachfrage seitens der Systemintegratoren ist deutlich steigend. Gleiches gilt auch für die Anbieter sogenannter Units. Units sind Anlagenteile von der Stange. Die Lieferanten von (Package) Units bieten durch Spezialisierung auf ein Verfahrenssegment ausgearbeitete Teillösungen an. In dem vermehrten Einsatz von Units sehen Anlagenplaner eine Lösung zur Verminderung von Terminproblemen und zur Reduzierung von Kosten. Sie entsprechen dem Trend zur Modularisierung der Gesamtanlage.

Von den 58,3 Mrd. EUR, welche im Jahre 2004 an Produkten, Systemen und externen Dienstleistungen der Prozessautomatisierung seitens der End-Anwender, also der Betreiber von Anlagen der diversen Prozessindustrien direkt oder indirekt nachgefragt wurden, entfielen zirka 43,0 Mrd. EUR auf die Projekt- bzw. Erstellungsphase der Automatisierungssysteme und -lösungen und etwa 15,3 Mrd. EUR auf die Betriebsphase der Automatisierungstechnik. Der Anteil der

Projektphase steigt von 74% im Jahre 2004 auf voraussichtlich 77% im Jahre 2014.

Alle in diesem Artikel aufgeführten Marktzahlen sind Marktzahlen aus Sicht der Betreiberfirmen. Sie stellen konsolidierte Marktzahlen dar in dem Sinne, dass sie keine Doppelzählungen enthalten. Berücksichtigt man auch die intern erbrachten Dienstleistungen (geschlossener Markt) für die Projekt- und Betriebsphase, so wächst der Weltmarkt für Prozessautomatisierung von 84,0 Mrd. EUR im Jahre 2004 auf voraussichtlich 156,0 Mrd. EUR im Jahre 2014.

1.1.3 Wachstumsfaktoren für die Märkte

Die Wachstumsfaktoren für die Märkte der Prozessautomatisierung sind vielfältig: Hierzu gehören zum einen die Fundamentalfaktoren einer stetig wachsenden Weltbevölkerung und eines weltweit weiterhin ansteigenden Bruttoinlandsprodukts in den wichtigsten Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern, gekoppelt mit einem ständig steigenden Energie- und Rohstoffbedarf dieser Länder. Dies führt zu stetig wachsenden Märkten für prozesstechnische Anlagen, angefangen vom Kohlebergbau über die Öl- und Gasförderung, die Flüssiggaserzeugung (LNG), Raffinerien und Biokraftstoffe bis hin zu Kraftwerken aller Art. Je schwerer Kohleflöße und Ölreservoirs zu erschließen sind, umso größer wird der Bedarf an moderner Automatisierungstechnik. Ähnliches gilt hinsichtlich der Forderung nach immer energieeffizienteren und umweltfreundlicheren Kraftwerken.

Ferner sind die ständig sich weiterentwickelnden Kundenanforderungen seitens der Betreiber und der Ausrüster prozesstechnischer Anlagen ein ganz maßgeblicher Wachstumsmotor für die Automatisierungsmärkte innerhalb der Prozessindustrien. Diese Kundenanforderungen implizieren den Einsatz von Technologien zur Verringerung der Gesamtkosten sowie zur Erhöhung der Rohstoff- und Produktqualität. Hieraus ergeben sich Anforderungen an eine Erhöhung der Verfügbarkeit und des Durchsatzes der Gesamtanlage sowie eine Verringerung der Lagerkosten. Diese Anforderungen sind nur durch den gezielten Einsatz moderner Automatisierungstechniken erreichbar.

Darüber hinaus steigen die Anforderungen an die Prozess- und Logistikgeschwindigkeit stetig an. Die gesamte Materialflussskette, angefangen von der Durchsatzgeschwindigkeit bei den einzelnen Teilprozessen über die innerbetriebliche Materialflusstechnik bis hin zur Optimierung der Lagerhaltung und Logistik bedarf der ständigen Weiterentwicklung und Optimierung. Ohne adäquate Automatisierungs- und Informationstechniken ist dies nicht möglich.

Die Instandhaltung gewinnt über das Thema Condition Monitoring für Anwender und Hersteller immer mehr an Gewicht. Über ein Condition Monitoring System (CMS) kann der Anlagenbetreiber erfahren, welches Bauteil er auswechseln soll, beziehungsweise ob er die Wartung vorziehen muss, damit kein Totalausfall erfolgt. Komplexe Überwachungssysteme mit Internetfunktionalität für die Fernwartung sind auf dem Vormarsch, allerdings unter Beachtung strengster IT-Sicherheitsbestimmungen. Im Mittelpunkt der Bestrebungen stehen immer mehr vorbeugende (preventive maintenance) und vorausschauende Instandhaltungskonzepte (predictive maintenance). Hierbei werden Daten aus dem laufenden Betrieb der Anlagen übermittelt, um aussagekräftige Informationen über den Zustand der Anlage und kritischer Komponenten zu gewinnen, auf deren Basis sinnvolle, präventive Wartungsmaßnahmen initiiert werden können. Diese Tendenz bewirkt eine verstärkte Nachfrage nach Temperatur- und Vibrationssensoren für die Überwachung von Pumpen und Kompressoren, ferner nach Sensoren zur Überwachung der Qualität von Schmiermitteln und Kühlflüssigkeiten sowie nach IR-Thermografiesystemen zur Überwachung von Starkstromkomponenten.

Prozesssensoren sind somit nicht nur für die Automatisierungstechnik im engeren Sinne von Relevanz, sondern zunehmend auch für übergeordnete Systeme wie Manufacturing Execution Systems (MES) und Asset Management Systeme (AMS). Asset Management Systeme sind Informationssysteme zur werterhaltenden Verwaltung von Anlagegütern und stehen in engem Zusammenhang mit intelligenten Instandhaltungskonzepten. Aufgrund des Vordringens intelligenter Sensoren und Aktoren fällt schon heute umfangreiches Datenmaterial in allen Ebenen der Automatisierungspyramide an. Diese Informationen können gleichermaßen für Automatisierungs-, Instandhaltungs- und MES-

Zwecke verwendet werden, was umgekehrt wiederum zu einer Nachfragerhöhung von intelligenten Feldgeräten und Feldbussystemen führt.

1.1.4 Marktentwicklung nach Industriesektoren

Insgesamt wurden für die Abschätzung der hier aufgeführten Marktzahlen 11 Prozessindustrien analysiert und prognostiziert. In Bild 1 ist die Entwicklung der Prozessautomatisierung nach aggregierten Anwendungssektoren dargestellt. Hiernach dominieren die Prozessindustrien im engeren Sinne mit 29,3 Mrd. EUR im Jahre 2004 und 53,7 Mrd. EUR im Jahre 2014. Das mittlere jährliche Wachstum beträgt 6,2%. Zu den Prozessindustrien im engeren Sinne zählen die chemische und pharmazeutische Industrie, die Petroindustrie (Raffinerien und Petrochemie) sowie die Nahrungsmittel- und Getränkeindustrie. In der chemischen Industrie führt ein immer härter werdender globaler Wettbewerb zu immer komplexeren Anlagen mit hohem Automatisierungsgrad, die stark in logistische Gesamtkonzepte der Standorte und Unternehmen eingebunden sind. Flexibilität und Verfügbarkeit der Anlagen steigen tendenziell weiter an.

Der Automatisierungsbedarf für den Rohstoffsektor steigt von 7,1 Mrd. EUR im Jahre 2004 auf zirka 12,4 Mrd. EUR im Jahre 2014, entsprechend einem mittleren jährlichen Wachstum von 5,7%. Dieser Sektor umfasst die Bereiche Bergbau (Kohle, Uran, Erze, Salze, Baumaterialien) sowie Rohöl- und Erdgasproduktion. Der Bergbau in hochindustrialisierten Staaten kann nur erfolgreich sein bei stetig steigender Rationalisierung und dem Übergang zu immer höherwertigeren Veredelungsstufen. Beim Abbau und beim Transport ist ein Trend zur Fernsteuerung zu erkennen.

Der Grundstoffsektor umfasst die Sektoren Steine und Erden inklusive Glas und Keramik, Metallherzeugung (Verhüttung bis Walztechnik) sowie die Zellstoff- und Papierindustrie. Der Automatisierungsbedarf für diesen Sektor steigt von 9,8 Mrd. EUR im Jahre 2004 auf zirka 16,3 Mrd. EUR im Jahre 2014, entsprechend einem mittleren jährlichen Wachstum von 5,2%. Automatisierungstechniken in diesen Sektoren tragen dazu bei, die Produktivität weiter zu erhöhen,