

Rolf Birkhofer

**Modellbasierte Beschreibung zur offenen Integration
intelligenter Feldgeräte der Automatisierungstechnik**

Herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender
Technische Universität München

in der Reihe

Informationstechnik im Maschinenwesen



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft
München 2001

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2001

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2001

ISBN 3-8316-0081-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München

Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

1	EINLEITUNG	1
1.1	Umfeld und Motivation	1
1.1.1	Automatisierung der industriellen Produktion	1
1.1.2	Automatisierungssystemtechnik	3
1.1.3	Komplexität moderner Automatisierungssysteme	3
1.2	Aufbau der Arbeit	4
2	OFFENE AUTOMATISIERUNGSSYSTEME	7
2.1	Architekturwandel der Automatisierungstechnik	8
2.1.1	Parallelverdrahtung und zentrale Architektur	8
2.1.2	Dezentrale Architektur	9
2.1.3	Die offene Systemarchitektur	11
2.2	Rollenverteilung in der offenen Automatisierungstechnik	14
2.2.1	Rolle des Endanwenders	15
2.2.2	Rolle des Systemintegrators	16
2.2.3	Rolle des Komponentenlieferanten	18
2.3	Feldgeräte	19
2.3.1	Sensorik	20
2.3.2	Aktorik	21
2.3.3	Intelligente Feldgeräte	22
2.4	Fortschritt der Feldgerätetechnik	24
2.4.1	Technologietreiber der Automatisierungstechnik	24
2.4.2	Innovationsstrategien der Komponentenhersteller	26
2.5	Problemstellung in offenen Systemarchitekturen	32
2.5.1	Ökonomisches Problem	32
2.5.2	Technische Problemstellung	34
2.5.3	Zusammenfassung	36
3	ENGINEERING-LIFECYCLE DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK	39
3.1	Allgemeines Lebensphasen-Modell	39
3.2	Lifecycle der Automatisierungstechnik	43
3.2.1	Planung	44
3.2.2	Montage/Errichtung	44
3.2.3	Inbetriebnahme	45
3.2.4	Bedienung/Monitoring	46
3.2.5	Diagnose	47
3.2.6	Außerbetriebnahme/Abfahren	48
3.2.7	Instandsetzung	48
3.2.8	Wiederinbetriebnahme/Wiederanfahren	48
3.3	Einzelprozesse im Engineering	49

3.3.1	Lokale Konfiguration, Parametrierung und Programmierung.....	49
3.3.2	Konfiguration des Kommunikationsmasters	50
3.3.3	Zentrale Parametrierung der Feldgeräte	52
3.3.4	Integration in die Leit- und Steuerapplikationen	57
3.3.5	Integration in Diagnosesysteme	59
3.3.6	Engineering-Muster	60
3.4	Komplexitätsraum des Engineering	61
3.4.1	Basisszenario	62
3.4.2	Erweitertes Szenario	64
3.5	Zusammenfassung	68
4	LÖSUNGSKONZEPT	69
4.1	Bedarf nach Standardisierung	69
4.2	Bedarf nach Modellierung und Beschreibung	70
4.3	Lösungsarchitektur	71
4.3.1	Beschreibung des Modellierungskonzepts in Ebene M2	73
4.3.2	Beschreibung der Feldgerätemodelle	74
4.3.3	Beschreibungen in der Instanzebene	74
4.3.4	Vorgehensweise und Randbedingungen	75
4.3.5	Betrachtung der Meta-Meta-Ebene	76
4.4	Festlegung des Modellierungskonzeptes	77
4.4.1	Das NOAH-Meta-Modell	78
4.4.2	Die DeKOS-Referenzarchitektur (DRA)	85
4.4.3	Das STEP-Applikationsprotokoll 212.....	91
4.4.4	Vergleich der analysierten Referenzmodellansätze	95
4.5	Klassenmodell der DRA.....	96
4.5.1	Bedienfunktionen	96
4.5.2	Gesamtgerät	98
4.5.3	Generische Parameter	99
4.5.4	Funktionsabläufe	99
4.5.5	Defizite der DRA	100
5	REALPARAMETER-ERWEITERUNG (RPE).....	103
5.1	Schnittstelle	103
5.2	Analyse der Eigenschaften realer Parameter.....	104
5.2.1	Analyse der Electronic Device Description Language (EDDL)	106
5.2.2	Profibus-GSD.....	110
5.2.3	CANOpen-EDS.....	112
5.3	Modellierungskonzept der RPE.....	114
5.4	Kopplung der RPE mit der DRA.....	117

6	FORMALE BESCHREIBUNG DER ARCHITECTURELEMENTE	119
6.1	Anforderungen an die formale Beschreibung	120
6.1.1	Spezielle Anforderungen	120
6.1.2	Allgemeine Anforderungen	121
6.1.3	Diskussion der Anforderungen	123
6.2	Die deklarative Metasprache XML	124
6.2.1	Grundelemente der XML	124
6.2.2	Erfüllung der speziellen Anforderungen	127
6.2.3	Erfüllung der allgemeinen Anforderungen	130
6.2.4	Zusammenfassung und weitere Vorgehensweise	133
6.3	XML Schema für das Partialmodell DRA	134
6.3.1	Namensraum-Deklarationen	134
6.3.2	Abbildung der DRA-Klassen	135
6.3.3	Festlegung der Namen	138
6.3.4	Schnittstelle zur RPE	139
6.3.5	Wurzelement	140
6.4	XML Schema für das Partialmodell RPE	141
6.4.1	Namensraum-Deklarationen	141
6.4.2	Klassen und Typen der RPE	142
6.4.3	Datentypen von ParamObject	143
6.4.4	Wurzelement	145
7	ANWENDUNG DES MODELLIERUNGSKONZEPTE	147
7.1	Anwendungsbeispiel Transmitter	147
7.1.1	Vorgehensweise	147
7.1.2	RPE-Partialmodell des Transmitters	148
7.1.3	DRA-Partialmodell des Transmitters	151
7.2	Adressierung für Profibus-DPV1	155
7.2.1	XML Schema für Profibus	156
7.2.2	Nutzung des XML Schemas	157
8	ZUSAMMENFASSUNG UND BEWERTUNG	159
8.1	Zusammenfassung	159
8.2	Bewertung der Lösung	161
	LITERATUR	163
	ANHANG A, NAMENSRAUM DER DRA	177
	ANHANG B, KLASSENDIAGRAMM DER DRA	185
	ANHANG C, XML SCHEMA DER DRA	187
	ANHANG D, XML SCHEMA DER RPE	195

1 EINLEITUNG

Der Einsatz von Automatisierungstechnik zur Gewährleistung des wirtschaftlichen Produktionsablaufes ist zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor in den Unternehmen der Industrienationen geworden [SCK98]. Die Planung und Gestaltung der Automatisierungssysteme ist daher eine wichtige Unternehmensaufgabe.

Die vorliegende Arbeit stellt Vor- und Nachteile moderner Systemkonzepte der Automatisierung einander gegenüber, bewertet diese und leitet daraus einen Handlungsbedarf ab. Ein entsprechend gestaltetes Lösungskonzept bietet das Gerüst für die konkreten Implementierungen, deren Ziel die Verstärkung der Vorteile sowie die Neutralisierung einiger Nachteile und damit insgesamt die Verbesserung des Nutzen-/Kostenverhältnisses moderner Automatisierungssysteme ist.

Einer Darstellung des industriellen Umfeldes der Automatisierungstechnik folgt eine einleitende Beschreibung der konkreten Problematik, die diese Arbeit zu lösen anstrebt, sowie eine Zieldefinition. Im Anschluss daran stellt eine Übersicht den logischen Aufbau der Arbeit vor und gibt eine kurze Inhaltsangabe der einzelnen Kapitel.

1.1 Umfeld und Motivation

Dieser Abschnitt ordnet die Automatisierung in das produzierende Unternehmen ein und erläutert den Begriff der *Automatisierungssystemtechnik*. Die Offenheit der damit abgedeckten Systemkonzepte einerseits, ihre stetig ansteigende Komplexität andererseits stellen das Spannungsfeld dar, aus dem sich die Problemstellung ergibt.

1.1.1 Automatisierung der industriellen Produktion

Das wesentliche Kennzeichen von Industriebetrieben hinsichtlich ihrer Sachaufgabe ist die Produktion von Gütern. Die Kombination der verschiedenen Produktionsfaktoren, wie etwa Maschinen, Arbeitskraft, Rohstoffe und Information dient der Erzeugung von am Markt absetzbaren Produkten.

Forschungs- und Entwicklungsleistungen münden in die Ausgestaltung der Produktion, deren Ergebnisse, also die produzierten Güter, wiederum durch Marketing und Vertriebsleistungen einen *Return On Investment* erbringen. Die Art der Produktion beeinflusst den Umfang und die Zusammensetzung der Produktionsfaktoren. In gewissen Grenzen variabel, jedoch wechselseitig abhängig sind in diesem

Zusammenhang die Auswahl und der Einsatz der Betriebsmittel wie Maschinen und Anlagen, die menschliche Arbeitsleistung sowie der Bedarf an Hilfs- und Betriebsstoffen. Nach [HEI91, S. 408ff] kann die Produktion als *Input-Output-Modell* dargestellt werden:



Bild 1-01: Generisches Input-Output-Modell der Produktion

Die Planung und Gestaltung der Fertigung und Montage ist ein entscheidender Faktor zur Erreichung der Produktionsziele hinsichtlich Kosten, Qualität und Lieferzeit. Gerade in Industriebetrieben in den sogenannten Hochlohnländern konnte und kann ein Wandel in der Zusammensetzung der Produktions- oder Input-Faktoren beobachtet werden: Von einer mechanisierten Produktion über die maschinelle Produktion, beispielsweise realisiert durch die Fließbandfertigung, herrscht in den heutigen Unternehmen eine teil- oder vollautomatisierte Produktion vor.

Dies bedeutet, dass der Produktionsprozess nach einem festgelegten Programm abläuft und beliebig oft wiederholbar ist. Elektronische Komponenten überwachen und steuern den unmittelbaren Prozess; die menschliche Arbeitsleistung besteht in der Überwachung der Steuerungssysteme und in der Erstellung und Anpassung der Programme.

Es ist die Automatisierung, die es Unternehmen ermöglicht, durch die Verbesserung und Gewährleistung von Qualität, Leistung, Lieferzeit und Verfügbarkeit auch in der heutigen Zeit und in der Zukunft wirtschaftlich arbeitende Fertigungs- und Montagestätten in Hochlohnländern [FRÜ97] zu erhalten und aufzubauen¹. Weiterhin sorgt die Prozessautomatisierung für die Verbesserung der Sicherheit, des Umweltschutzes (vgl. [WIL95]) und trägt zur Verbesserung der menschlichen Arbeitsbedingungen bei.

¹ Der Einsatz von Automatisierungstechnik zur Beherrschung eines Produktionsprozesses im allgemeinen und der *Grad der Automatisierung* [LAG99A, S. 15f] im speziellen muß dabei stets unter dem Aspekt der Rentabilität betrachtet werden [ScK98, S. 35]. Es kann beobachtet werden, dass durch die Verfügbarkeit neuer Informationstechnologien (z. B. Mikrorechner, Personal Computer, Internet etc.) und den darauf aufbauenden Innovationen im Bereich der Automatisierung einerseits, sowie dem allgemeinen Trend des Anstiegs der Kosten für die Produktionsfaktoren Personal, Energie und Rohstoffe andererseits, die *Amortisationszeit*, ab der ein Einsatz von Automatisierungstechnik wirtschaftlich ist, sich bis in die heutige Zeit stetig verkürzt hat.

1.1.2 Automatisierungssystemtechnik

Automatisierung im allgemeinen wird z. B. in [JAK96] als „Einsatz von Rechnern zum selbsttätigen Betrieb technischer Prozesse“ definiert, und durch die Beschreibung einer Automatisierungseinrichtung als einer „Entität, die Informationen in Form physikalischer Größen aufnimmt, anhand eines vorgegebenen Algorithmus verarbeitet und die Ergebnisse als Stellsignale an den Prozess, als Meldungen an den Benutzer oder an andere Automatisierungseinrichtungen ausgibt“, konkretisiert.

Waren diese Entitäten in den Anfängen der Automatisierung noch monolithisch aufgebaut, so kann man in der Zwischenzeit, dem allgemeinen Trend in der Informationstechnik (Modularisierung, Flexibilisierung, Spezialisierung) folgend, von einem Baukasten sprechen, aus dem Komponenten entnommen und zu einer dedizierten Automatisierungsinfrastruktur zusammengesetzt werden.

Dies bringt mit sich, dass immer stärker die Systemaspekte solcher Lösungen betrachtet werden müssen. Man ersetzt daher den Begriff der Automatisierungsinfrastruktur mit dem der *Automatisierungssystemtechnik*. Sie übernimmt immer stärker die Rolle einer *enabling technology* für den weiteren Fortschritt auf dem Anwendungsfeld der industriellen Produktion. Sie profitiert dabei unter anderem von den Ergebnissen anderer Fachdisziplinen, wie etwa der Informatik (z. B. die Objektorientierung) und hat sich als eigenständige Forschungs- und Entwicklungsdisziplin etabliert.

1.1.3 Komplexität moderner Automatisierungssysteme

Die Fortschritte der Mikroelektronik bilden das technische Fundament für die moderne, industrielle Automatisierungs- und Kommunikationstechnik sowie die damit einhergehende Dezentralisierung von Automatisierungsfunktionen. Darin liegen nach [RAV97] „tiefgreifende Veränderungen der Geräte- und Herstellerlandschaft“ begründet: „Die Wertschöpfung liegt (...) zunehmend bei den „intelligenten“ Feldgeräten. Die aufkommende digitale Kommunikation auf Feldebene wirkt dabei als Katalysator“.

Die Anwender dieser Feldtechnik profitieren dabei von Herstellerunabhängigkeit, größerer Komponentenauswahl und einem günstigeren Preis/Leistungsverhältnis. Untersuchungen, wie etwa in [WEH98], haben darüber hinaus gezeigt, dass der Einsatz solcher Komponenten und Systeme u. a. zu einem verringertem Installationsaufwand, einfacherer Störungssuche, höherer Anlagenverfügbarkeit und -flexibilität, reduzierten Instandhaltungskosten sowie höherer Sicherheit und besseren Prozessinformationen führt.

Um die beschriebenen Vorteile zu realisieren, also die Potenziale der intelligenten Feldgeräte und der offenen Kommunikation auszuschöpfen, ist vom Anwender jedoch ein nicht unerheblicher *Engineering*-Aufwand in Form von Integrations-, Konfigurations-, Einstellungs-, Programmier- und Wartungsleistung zu investieren. Berichte aus der betrieblichen Praxis, z. B. in [DRT96], [SCH98B] oder [SEM99], weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass dies in der Betrachtung über die gesamte Lebensdauer einer Anlage oder Maschine zu einer teilweisen Neutralisierung der erreichten Einsparungen führt. Dieser, auch als *Cost of Ownership* bezeichnete Kostenblock kann von erheblichem Umfang sein und ist sehr schwer *a priori*, also während der Planung, mit hinreichender Genauigkeit kalkulierbar.

Die Ursachen dieser Problematik liegen in der großen Komplexität, Vielfalt und Vielzahl der Funktionalität heutiger offener Automatisierungssysteme und -geräte begründet. Eine weitere Komplexitätsdimension ergibt sich durch die Vielfalt der Hilfsmittel zur Durchführung der Engineering-Aufgaben in Form von Software-Werkzeugen und Gerätebeschreibungstechnologien.

Die Reduktion dieser Vielfalt, ohne die Vorteile der *offenen Feldtechnik*² einzuschränken, ist Inhalt und Ziel dieser Arbeit.

1.2 Aufbau der Arbeit

Um das beschriebene Problemfeld wirkungsvoll bearbeiten zu können, wird in Kapitel 2 zunächst die ökonomische Problemstellung eingehend analysiert und auf die zugrundeliegenden technischen Defizite abgebildet. Es zeigt sich dabei, dass der durch die Offenheit entstandene Systembaukasten der Automatisierungstechnik zu einer Veränderung der Rollen der beteiligten Unternehmen geführt hat.

Mit Hilfe der Betrachtung der technologischen Prinzipien intelligenter Feldgeräte kann gefolgert werden, dass die Komponentenhersteller, als Lieferanten des Baukastens, zu stetiger technologischer Innovation gezwungen sind, um am Markt erfolgreich zu sein. Besonders der verstärkte Einsatz von Informationstechnik sowie die Gestaltung neuer Systemkonzepte, wie etwa Modularität und Flexibilität, in den Feldgeräten sorgen dabei für die notwendigen Alleinstellungsmerkmale. Diese wiederum führen jedoch, über viele Komponenten betrachtet, zur Problemstellung der für den Benutzer unüberschaubaren Vielfalt und Komplexität der Gerätefunktionalität.

Eine genauere Untersuchung dieser Vielfalt ergibt, dass die Gerätehersteller ihre Produkte, also die Feldgeräte, vor allem hinsichtlich der Betriebsphase optimieren. Kapitel 3 orientiert daher die Darstellung des Standes der Technik hinsichtlich des Engineering und Betriebs intelligenter Feldgeräte an einem Lifecycle-Modell für

² Der Begriff offene Feldtechnik subsumiert offene Lösungen der Feldebene [HHD95].

Anlagen und Maschinen. Die zu durchlaufenden Phasen werden aus Sicht der Feldgeräte identifiziert, die zum Einsatz kommenden Engineering-Hilfsmittel in ihren unterschiedlichen Ausprägungen vorgestellt.

Anhand von Szenarien wird gezeigt, dass die in Kapitel 2 identifizierte Problemstellung nicht mit den heute vorhandenen Hilfsmitteln lösbar ist, da diese wiederum auf vielfältige Weise gestaltet sind.

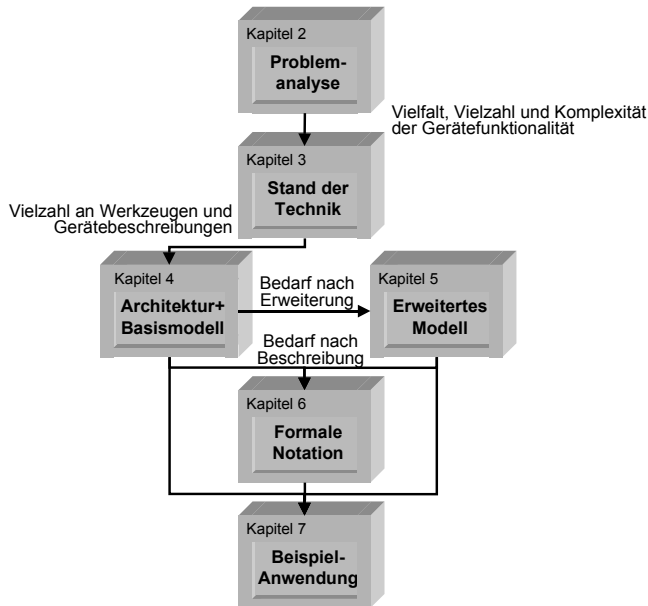


Bild 1-02: Aufbau der Arbeit

Kapitel 4 formuliert daher zunächst den Bedarf nach der Verfügbarkeit plattform-unabhängiger, offener Modelle für intelligente Feldgeräte. Der Vielschichtigkeit des in den Kapitel 2 und 3 beschriebenen Problemraumes entsprechend, findet zunächst eine logische Einordnung solcher Modelle in eine Lösungsarchitektur statt, deren Ebenen unterschiedlichen Abstraktionsgraden entsprechen. Daraus entstehen Forderungen nach einem einheitlichen Modellierungskonzept sowie nach einer formalen Notation dazu konformer Modelle.

Auf der Basis der Entscheidung für den Einsatz eines objektorientierten Modellierungskonzeptes werden anhand verschiedener Kriterien bereits existierende, offene Konzepte der Automatisierungstechnik untersucht und bewertet. Das Ergebnis von Kapitel 4 bildet die die Entscheidung für eine abstrakte Referenzarchitektur als

Basis-Modellierungskonzept. Eine Schwachstellenanalyse ergibt den Bedarf nach einer rückwirkungsfreien Erweiterung dieser Referenzarchitektur, welche in Kapitel 5 basierend auf einer Analyse existierender Gerätebeschreibungssprachen durchgeführt wird.

Die durch die Lösungsarchitektur geforderte formale Notation der Feldgerätemodelle, die gemäß des erarbeiteten Modellierungskonzeptes erzeugt worden sind, wird in Kapitel 6 unter Nutzung der Auszeichnungssprache XML (Extensible Markup Language) spezifiziert. Die so entstehende, plattformunabhängige Gerätebeschreibungssprache ADML (Automation Devices Markup Language) bildet das Modellierungskonzept ab und liegt zum Abschluß dieses Kapitel als formale Vorschrift vor.

In Kapitel 7 werden die spezifizierten Komponenten der Lösungsarchitektur anhand eines realen Feldgerätes zum Einsatz gebracht. Es wird ein Gerätemodell erstellt, das in XML gemäß den spezifizierten Vorlagen notiert ist. Eine Bewertung der erreichten Spezifikationen sowie ein Ausblick schließen die Arbeit ab.