

Adaptive Internetanbindung von Feldbussystemen

Von der Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Stephan Eberle
aus Stuttgart

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. Georg Färber
Tag der Einreichung:	28. Oktober 2004
Tag der mündlichen Prüfung:	22. April 2005

Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik
der Universität Stuttgart

2005

IAS-Forschungsberichte

Band 1/2005

Stephan Eberle

**Adaptive Internetanbindung
von Feldbussystemen**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag
Aachen 2005

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2005

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4088-8

ISSN 1610-4781

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik (IAS) der Universität Stuttgart.

Mein herzlicher Dank gilt

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. P. Göhner für den großen Freiraum bei der Auswahl des Dissertationsthemas, die fortwährende Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit, die zahlreichen wertvollen Anregungen und kritischen Fragen sowie die Übernahme des Hauptberichts,

Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Färber für das entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Mitberichts,

Thomas Wagner und Rainer Maier für die kritische und gründliche Durchsicht des Manuskripts, allen Kolleginnen und Kollegen am Institut für die gute Zusammenarbeit und das angenehme Arbeitsklima,

den zahlreichen Studierenden, die im Rahmen ihrer Studien- oder Diplomarbeiten einen großen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben,

meinen Eltern für die langjährige Unterstützung während meiner gesamten Ausbildungszeit,

und schließlich meiner Frau Brigitte für ihr Verständnis, ihre Geduld und ihren Zuspruch, die sie mir während meiner gesamten Doktorandenzeit entgegenbrachte.

Stuttgart, im Oktober 2004

Stephan Eberle

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	vi
Abkürzungsverzeichnis	vii
Begriffsverzeichnis	x
Zusammenfassung	xiii
Abstract	xiv
1 Einführung	1
1.1 Globalisierung der Feldbustechnik	1
1.2 Problematik der fehlenden Interoperabilität	2
1.3 Ziel der adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen	3
1.4 Ausklammerung des Sicherheitsaspektes	5
1.5 Gliederung der Arbeit	6
2 Grundlagen der Feldbustechnik	8
2.1 Kommunikation in Automatisierungssystemen.....	8
2.1.1 Kommunikation in der Prozess- und Betriebsebene	10
2.1.2 Kommunikation in der Feldebene.....	12
2.2 Feldbusse	13
2.2.1 Vorteile der Feldbustechnik	14
2.2.2 Arten und Anwendungsbereiche von Feldbussen.....	17
2.3 Handhabung von Feldbussystemen	18
2.3.1 Feldbuswerkzeuge	18
2.3.2 Internetanbindung von Feldbussystemen.....	19
2.4 Herstellerübergreifende Integrierbarkeit von Feldgeräten.....	23
2.4.1 ISO/OSI-Referenzmodell.....	24
2.4.2 Kommunikations- und Geräteprofile	26
2.5 Systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen	27
2.5.1 Voraussetzungen für die systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen	29
2.5.2 Typische Anwendungsschichten und Geräteprofile	30
2.5.3 Bewertung und Vergleich der Anwendungsschichten und Geräteprofile	35
3 Grundlagen zum Begriff der Information	39
3.1 Information	39
3.2 Informationstheorie nach Shannon.....	40
3.3 Ebenen der Information	41
3.3.1 Syntax und Semantik	41
3.3.2 Pragmatik	42

4	Informationsaustausch mit Feldbussystemen	45
4.1	Kommunikation und Informationsaustausch.....	45
4.1.1	Kommunikation	45
4.1.2	Dualität der Information	46
4.1.3	Subjektivität der Information.....	47
4.1.4	Informationsaustausch	50
4.2	Stand der Technik bei der Standardisierung des Informationsaustausches	52
4.2.1	Definition einer einheitlichen Feldbusanwendungsschicht	53
4.2.2	Anwendung von Internettechnologien.....	54
4.3	Bewertung der Ansätze zur Standardisierung des Informationsaustausches.....	60
4.3.1	Analyse der zu Grunde liegenden Informationsmodelle	60
4.3.2	Ursache für das Standardisierungsdilemma.....	62
4.4	Anforderungen an einen flexibleren Informationsaustausch.....	64
5	Konzept des adaptiven Informationsaustausches	67
5.1	Informationsaustausch mit unterschiedlichen Informationsmodellen.....	67
5.2	Adaptiver Informationsaustausch	69
5.2.1	Adaptive Interpretation	70
5.2.2	Adaptive Übersetzung.....	72
5.3	Bewertung und Vergleich der adaptiven Informationsaustauschverfahren.....	73
6	Zusammensetzung transformierbarer Feldbusnachrichten	76
6.1	Voraussetzungen für die Nutzung von Transformationsvorschriften.....	76
6.2	Untersuchung der Transformierbarkeit von Feldbusnachrichten	77
6.3	Realisierung transformierbarer Feldbusnachrichten mit XML	80
6.4	Bewertung der XML-basierten Nachrichtendarstellung.....	82
7	Aufbau von Transformationsvorschriften für Feldbusnachrichten	84
7.1	Teilaufgaben von Transformationsvorschriften	84
7.2	Realisierung von Transformationsvorschriften mit XSLT	85
7.3	Erhöhung der Übersichtlichkeit von Transformationsvorschriften	91
7.3.1	Analyse der Transformationsregeln aus dem Blickwinkel der Objektorientierung.....	91
7.3.2	Optimierte Realisierung mit Transformationsregeln und -tabellen	93
7.4	Bewertung XMD-basierter Transformationsvorschriften	99
8	Werkzeugunterstützung für den adaptiven Informationsaustausch	101
8.1	Werkzeug zum Entwurf von Transformationsvorschriften	101
8.1.1	Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln	102
8.1.2	Entwurfsansicht für XCR-Transformationstabellen	104
8.2	Realisierung des Transformationservers.....	105
8.3	Realisierung adaptiver Feldbus-Gateways	106
8.3.1	Feldbus-Gateway für die adaptive Interpretation	107
8.3.2	Feldbus-Gateway für die adaptive Übersetzung.....	109
8.4	Bewertung der Werkzeugunterstützung	111

9 Anwendung des adaptiven Informationsaustausches zur Ferndiagnose und Fernkonfiguration von Feldbussystemen.....	113
9.1 Adaptive Ferndiagnose einer Steer-by-Wire Lenkung in Kraftfahrzeugen.....	113
9.1.1 Funktionsweise und Aufbau der Steer-by-Wire Lenkung	114
9.1.2 Adaptiver Informationsaustausch mit anwendungs- bzw. feldbus-spezifischem Diagnosewerkzeug	115
9.2 Adaptive Fernkonfiguration einer Schwebekörperregelung.....	118
9.2.1 Funktionsweise und Aufbau der Schwebekörperregelung	118
9.2.2 Adaptiver Informationsaustausch mit industriellem Konfigurationswerkzeug	119
9.3 Ergebnisse und Erfahrungen aus den Anwendungsbeispielen	123
9.3.1 Aufwand für die Realisierung.....	123
9.3.2 Erzielte Antwortzeiten im Betrieb	124
10 Zusammenfassung und Ausblick.....	127
10.1 Ergebnisse und Bewertung	127
10.2 Voraussetzungen und Grenzen	130
10.3 Erkenntnisse und Ausblick	131
Literaturverzeichnis.....	132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Automatisierungspyramide und Anforderungen an die Kommunikation.....	9
Abbildung 2.2:	Analoge Signalübertragung zwischen Steuerung, Sensoren und Aktoren	13
Abbildung 2.3:	Serielle Feldbuskommunikation zwischen Steuerung, Sensoren und Aktoren	14
Abbildung 2.4:	Direkter (a) und indirekter Zugang (b) von Feldbuswerkzeugen zu Feldbussystemen.....	19
Abbildung 2.5:	Zugang von Feldbuswerkzeugen zu Feldbussystemen unter Nutzung von Standard-Internetdiensten	22
Abbildung 2.6:	ISO/OSI-Referenzmodell für Kommunikationssysteme	24
Abbildung 2.7:	Feldbussysteme in Kraftfahrzeugen.....	28
Abbildung 2.8:	Systemarchitektur eines CANopen-Geräts	30
Abbildung 2.9:	Aufbau des Interface File Systems (IFS).....	32
Abbildung 4.1:	Kommunikation entsprechend dem ISO/OSI-Referenzmodell	46
Abbildung 4.2:	Repräsentation, Kommunikation und Interpretation	47
Abbildung 4.3:	Verschiedene Anwendungsbereiche der Diagnose von elektronischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen.....	49
Abbildung 4.4:	Beschreibung des Informationsaustausches durch Kommunikations- und Informationsmodelle.....	51
Abbildung 4.5:	Informationsaustausch entsprechend dem ISO/OSI-Referenzmodell	51
Abbildung 4.6:	Informationsaustausch im Allgemeinen	52
Abbildung 4.7:	Wiederverwendung einer vorhandenen Feldbusanwendungsschicht für Ethernet.....	56
Abbildung 4.8:	Definition einer feldbusunabhängigen Anwendungsschicht für Ethernet	57
Abbildung 4.9:	XML-Dokument mit zwei Variablen eines TTP/A-Knotens.....	57
Abbildung 4.10:	Nutzung von XML zum Datenaustausch zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen.....	59
Abbildung 4.11:	Unterschiedliche Anforderungen an eine einheitliche Feldbusanwendungsschicht	61
Abbildung 5.1:	Transformation der ausgetauschten Informationen im Zuge der Interpretation.....	68
Abbildung 5.2:	Transformation der ausgetauschten Informationen im Zuge der Repräsentation	68
Abbildung 5.3:	Transformation der ausgetauschten Informationen durch Übersetzung	69
Abbildung 5.4:	Prinzip des adaptiven Informationsaustausches	70
Abbildung 5.5:	Ablauf der adaptiven Interpretation	71
Abbildung 5.6:	Ablauf der adaptiven Übersetzung	73
Abbildung 6.1:	Feldbusnachricht mit Daten	77
Abbildung 6.2:	Feldbusnachricht mit Daten und Trennzeichen	78
Abbildung 6.3:	Feldbusnachricht mit Daten und Markierung	78
Abbildung 6.4:	Interpretationsvorschrift für o.g. Feldbusnachricht	79
Abbildung 6.5:	XML-basierte Feldbusnachricht	81
Abbildung 6.6:	XSLT-basierte Informationsvorschrift	82
Abbildung 7.1:	Einsatz von Interpretations- (a) bzw. Übersetzungsvorschriften (b).....	84
Abbildung 7.2:	Anfragenachricht zur Tanküberwachung und zurück erwartete Antwortnachricht	87
Abbildung 7.3:	Gerüst einer Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen.....	88
Abbildung 7.4:	Transformationsregel für Wurzelement der Tanküberwachungsanfrage	89

Abbildung 7.5:	Transformationsregel für Kindelement der Tanküberwachungsanfrage	89
Abbildung 7.6:	Vollständige Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen	90
Abbildung 7.7:	XCR-Cross-Referenz zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen.....	95
Abbildung 7.8:	Gerüst eines XSLT-Stylesheets zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen	96
Abbildung 7.9:	XSLT-Transformationsregel für Kindelemente der Tanküberwachungs- anfrage	97
Abbildung 7.10:	Vollständiges XSLT-Stylesheet zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen	98
Abbildung 8.1:	Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln	103
Abbildung 8.2:	Entwurfsansicht für XCR-Transformationstabellen	104
Abbildung 8.3:	Systemarchitektur des Transformationservers	106
Abbildung 8.4:	Systemarchitektur eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation.....	108
Abbildung 8.5:	Systemarchitektur eines Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung	109
Abbildung 8.6:	Mikrocontroller-Board für eingebettete Feldbus-Gateways (<i>IAS-WebBoard</i>).....	110
Abbildung 9.1:	Fahrzeugmodell IAS-Kart und Webbrowser-gestütztes Ferndiagnose- werkzeug.....	113
Abbildung 9.2:	Systemmodell der IAS-Kart Steer-by-Wire Lenkung	114
Abbildung 9.3:	Systemarchitektur der IAS-Kart Steer-by-Wire Lenkung	115
Abbildung 9.4:	Systemarchitektur einer Webbrowser-gestützten Diagnosewebseite	116
Abbildung 9.5:	Anwendungsspezifische Diagnosenachricht zur Ermittlung des Lenkwinkels.....	116
Abbildung 9.6:	Verarbeitung derselben Diagnoseanfrage in unterschiedlichen Feldbussystemen.....	117
Abbildung 9.7:	KWP2000-spezifische Diagnosenachricht zur Ermittlung des Lenkwinkels.....	117
Abbildung 9.8:	Verarbeitung unterschiedlicher Diagnoseanfragen im selben Feldbus- system	118
Abbildung 9.9:	Laborversuch <i>Schwebende Kugel</i> und Konfigurationswerkzeug <i>CANsetter</i>	118
Abbildung 9.10:	Systemmodell des Laborversuchs <i>Schwebende Kugel</i>	119
Abbildung 9.11:	Systemarchitektur von <i>CANsetter</i> in herkömmlicher (a) und erweiterter Ausführung (b).....	120
Abbildung 9.12:	CANopen-basierte DomainDownload-Anfrage zur Veränderung der Sollschwebhöhe	122
Abbildung 9.13:	IFS-basierte Write-Anfrage zur Veränderung der Sollschwebhöhe	122

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Aufgaben bzw. Tätigkeiten in den Ebenen der Automatisierungspyramide	9
Tabelle 2.2:	Schichten und Aufgaben des ISO/OSI-Referenzmodells für Kommunikationssysteme	25
Tabelle 2.3:	Vergleich existierender Anwendungsschichten und Geräteprofile	37
Tabelle 7.1:	Tags und Attribute bzw. Schlüsselwörter der Markup-Sprache XCR	94
Tabelle 9.1:	Mittlere Antwortzeiten beim Abfragen der Sollschwebehöhe aus dem Laborversuch Schwebende Kugel	125

Abkürzungsverzeichnis

AConML	A utomatic C ontrol M arkup L anguage
ACPLT	Aa Chener P rozess L eit T echnik
ACPLT/KS	ACPLT K ommunikations S ystem
ASCII	A merican S tandard C ode for I nformation I nterchange
ASP	A ctive S erver P ages
CAN	C ontroller A rea N etwork
CAN/CMS	CAN CAN -based M essage S pecification
CIP	C ontrol I nformation P rotocol
CNC	C omputer N umeric C ontrol
COM	C ommon O bject M odel
DCOM	D istributed C OM
DLL	D ynamic L ink L ibrary
ECU	E lectronic C ontrol U nit
FTP	F ile T ransfer P rotocol
GPRS	G eneral P acket R adio S ervices
GSM	G lobal S ystem for M obile communication
HTML	H yper T ext M arkup L anguage
HTTP	H yper T ext T ransfer P rotocol
IDA	I nterface for D istributed A utomation
IFS	I nterface F ile S ystem
IFSML	IFS M arkup L anguage
Interbus/PMS	I nter bus P eripherals M essage S pecification
IPC	I ndustrie- P C
KWP2000	Key Word P rotocol 2000
LAN	L ocal A rea N etwork
LON	L ocal O peration N etwork
MAP	M anufacturing A utomation P rotocol

MMS	M anufacturing M essage S pecification
MOST	M edia O riented S ystems T ransport
NOAH	N etwork O riented A pplication H armonization
OLE ¹	O bject L inking and E MBEDding
ONC	O pen N etwork C omputing
OPC	O LE for P rocess C ontrol
OPC AE	OPC A larms & E vents
OPC DA	OPC D ata A ccess
OPC DX	OPC D ata eX change
OPC HDA	OPC H istorical D ata A ccess
OSI	O pen S ystems I nterconnection
PC	P ersonal C omputer
PDA	P ersonal D igital A ssistant
PDO	P rocess D ata O bject
POP3	P ost O ffice P rotocol 3
PROFIBUS	PRO cess F ield BUS
PROFIBUS/DP	PROFIBUS D ezentrale P eripherie
PROFIBUS/FMS	PROFIBUS F ieldbus M essage S pecification
PROFIBUS/PA	PROFIBUS P rozess A utomatisierung
RACKS	R eusable A pplication I nterface for C ommunication R eal-Time K ernels
RAM	R andom A ccess M emory
ROM	R ead O nly M emory
RPC	R emote P rocedure C all
RTU	R emote T erminal U nit
SCADA	S upervisory C ontrol A nd D ata A cquisition
SDO	S ervice D ata O bject
SMTP	S imple M ail T ransfer P rotocol
SOAP	S imple O bject A ccess P rotocol

¹ Der Begriff OLE ist heute eigentlich veraltet. Er bezeichnet eine Technologie von Microsoft® zur Übertragung und Verknüpfung von Daten zwischen verschiedenen Windows-Anwendungen, die inzwischen durch COM abgelöst wurde.

SPS	S peicher- P rogrammierbare S teuerungen
TCP/IP	T ransmission C ontrol P rotocol/ I nternet P rotocol
TTP	T ime- T riggerted P rotocol
TTP/A	T ime- T riggerted P rotocol/ C onformance C lass A
TTP/C	T ime- T riggerted P rotocol/ C onformance C lass C
TTSB	T ime- T riggerted S ensor B us
UART	U niversal A synchronous R eceiver and T ransmitter
URI	U niversal R esource I dentifier
WLAN	W ireless L ocal A rea N etwork
WWW	W orld W ide W eb
XCR	eX tensible C ross R eference
XMD	X ML M essage D ictionary
XML	eX tensible M arkup L anguage
XSLT	eX tensible S tylesheet L anguage/ T ransformation

Begriffsverzeichnis

Adaptiver Informationsaustausch: Verfahren zum Informationsaustausch zwischen einem Sender und einem Empfänger, die auf unterschiedlichen Informationsmodellen beruhen. Die Transformation der ausgetauschten Informationen vom senderseitigen in das empfängerseitige Informationsmodell erfolgt mit Hilfe austauschbarer Transformationsvorschriften und kann dementsprechend an beliebige Sender und Empfänger angepasst werden.

Aktor: Einheit zur Umsetzung der von einem Automatisierungssystem ausgegebenen elektrischen oder optischen Stellsignale in physikalische oder chemische Stellgrößen, die zur Beeinflussung des vom Automatisierungssystem gesteuerten technischen Prozesses dienen.

Feldbus: Medium zur Kommunikation zwischen den Sensoren, Aktoren und Steuerungen eines Automatisierungssystems. Typischerweise werden sowohl ein zyklischer und echtzeitfähiger Datenaustausch innerhalb des Feldbussystems (datenorientierte Kommunikation) als auch sporadische Eingriffe und Meldungen von bzw. nach außen unterstützt (nachrichtenorientierte Kommunikation).

Feldbuswerkzeug: Softwareanwendung zur Handhabung von Feldbussystemen. Mit ihrer Hilfe können Anwender entweder einzelne Feldgeräte oder gesamte Feldbussysteme beobachten und beeinflussen. Die Interaktion zwischen Feldbuswerkzeugen und Feldbussystemen erfolgt mittels nachrichtenorientierter Kommunikation.

Gateway: Übergangspunkt zwischen zwei technologisch verschiedenen Kommunikationssystemen, wobei die Weiterleitung der übertragenen Nachrichten vom einen in das andere Kommunikationssystem auf Höhe der Schicht 7 (Anwendungsschicht) des ISO/OSI-Referenzmodells erfolgt.

Geräteprofil: Herstellerübergreifende Vereinbarung über die gemeinsamen anwendungsbezogenen Merkmale von Feldgeräten eines bestimmten Typs. Zu den wichtigsten Bestandteilen gehören die jeweils zu unterstützenden Variablen, Parameter und Funktionen, deren Eigenschaften und Abhängigkeiten sowie die Kommunikationsdienste, die beim Zugriff darauf anzuwenden sind.

Information: Kenntnis über bestimmte Sachverhalte und Vorgänge in einem Teil der wahrgenommenen Realität. Oftmals handelt es sich dabei um mitgeteilte und aufgenommene Wissensbestandteile.

Informationsaustausch: Übermittlung von Informationen zwischen einem Sender und einem Empfänger. Im Gegensatz zur Kommunikation werden hier neben der Übertragung von

Nachrichten auch der Übergang von Informationen zu Nachrichten (Repräsentation) und umgekehrt (Interpretation) mitberücksichtigt.

Informationsmodell: Beschreibung des Informationshaushalts eines Systems, aus der hervorgeht, welche Sichtweise dem System zu Grunde liegt (Pragmatik), mit welchen Informationen das System umzugehen weiß (Semantik) und auf welche Weise die systemeigenen Informationen dargestellt werden (Syntax).

Informationstransformation: Vorgang, bei dem Informationen, die ausgehend vom Informationsmodell eines Senders gebildet wurden, in äquivalente Informationen überführt werden, die konform zum Informationsmodell eines Empfängers sind.

Internetanbindung: Schaffung einer Möglichkeit zum Zugriff auf Feldbus- bzw. Automatisierungssysteme über das Internet unter der Nutzung von Standard-Internetdiensten.

Interoperabilität: Fähigkeit eines Systems oder Produkts mit anderen Systemen oder Produkten zusammenzuarbeiten, ohne dass hierzu ein besonderer Aufwand seitens des Benutzers erforderlich ist.

ISO/OSI-Referenzmodell: Architekturmodell für die Kommunikation zwischen Computersystemen, das die verschiedenen funktionalen Aspekte einer solchen Kommunikation in sieben aufeinander aufbauende Schichten einteilt und beschreibt.

Kommunikation: Übertragung von Nachrichten bzw. Daten zwischen räumlich verteilten Systemen über ein physikalisches Medium. Abhängig von der Übertragungsrichtung nehmen die betreffenden Systeme entweder die Rolle des Senders oder des Empfängers ein.

Kommunikationsprofil: Herstellerübergreifende Vereinbarung über die gemeinsamen kommunikationsspezifischen Belange von Feldgeräten eines bestimmten Typs. Dies sind im Wesentlichen die jeweils zu unterstützenden Kommunikationsdienste sowie deren Aufrufparameter und Rückgabewerte.

Offenheit: Tatsache, dass die einem System oder Produkt zu Grunde liegenden Kommunikationsprotokolle und Programmierschnittstellen öffentlich zugänglich und einsehbar sind, sodass es möglich ist, andere Systeme oder Produkte in entsprechender Weise auszulegen bzw. darauf abzustimmen.

Pragmatik: Beeinflussung von Sprache durch die gegenwärtige Situation und der persönlichen Intension des Sprechenden. In analoger Weise verkörpert sie die Abhängigkeit einer Information von der individuellen Sichtweise ihres Urhebers.

Semantik: Summe der Bezüge zwischen Sprache bzw. Informationen und der durch sie beschriebenen Wirklichkeit. Hieraus ergeben sich die Bedeutungen, die durch die Elemente und die Struktur von Sätzen bzw. Ausdrücken wiedergegeben werden.

Sensor: Einheit zur Umsetzung von physikalischen oder chemischen Messwerten aus einem technischen Prozess in elektrische oder optische Messsignale, die als Eingabe für das den technischen Prozess steuernde Automatisierungssystem dienen.

Syntax: Struktur der wohlgeformten Sätze einer Sprache bzw. wohlgeformter informationstragender Ausdrücke. Dabei wird festgelegt, welche Elemente (Zeichen und Worte bzw. Symbole) in einem Satz bzw. Ausdruck vorkommen dürfen und in welchen Sequenzen diese Elemente angeordnet sein müssen.

Transformationsvorschrift: Nachschlagewerk, das die Entsprechungen zwischen den Informationen eines senderseitigen und eines empfängerseitigen Informationsmodells wiedergibt.

Zusammenfassung

Feldbusse sind spezialisierte Netzwerke, um automatisierungstechnische Geräte wie Sensoren, Aktoren und Steuerungen miteinander zu verbinden. In der letzten Zeit wird immer mehr nach Möglichkeiten gesucht, um mit Hilfe des Internets von entfernten Orten aus an Informationen zu gelangen, die in feldbusvernetzten Systemen verarbeitet werden. Die Verfügbarkeit dieser Informationen verleihen Teleservices, wie z.B. der Ferndiagnose, oder der vertikalen Integration automatisierungstechnischer Anlagen mit kaufmännischen Geschäftsbereichen von Unternehmen einen enormen Auftrieb und versprechen Effizienzsteigerungen und Kosteneinsparungen beträchtlichen Ausmaßes. Nichtsdestotrotz erweist sich die fehlende Interoperabilität zwischen Feldbussystemen und darauf zugreifenden Softwarewerkzeugen und -anwendungen nach wie vor als schwer überwindbares Hindernis. Dass zur Beseitigung dieser Schwierigkeiten standardisierte Anwendungsschnittstellen und Datenaustauschformate notwendig sind, darüber ist man sich weitgehend einig. Die Meinungen über deren Gestaltung liegen jedoch weit auseinander und trotz zahlloser Anstrengungen ist keine Einigung absehbar.

Mit der adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen wird die Frage der Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen aus einer völlig neuen Richtung angegangen. Nicht der Anwender soll gezwungen sein, sich nach den Begebenheiten des Feldbussystems zu richten. Stattdessen soll die Technik, sprich das Feldbussystem, in die Lage versetzt werden, sich in flexibler Weise an die jeweilige Werkzeuginfrastruktur des Anwenders anzupassen. Die Verwirklichung dieser Idee erfolgt mit Hilfe von Transformationsvorschriften, die an einem bekannten Ort im Internet bereitgestellt werden. Sobald ein Feldbuswerkzeug und -system miteinander in Verbindung treten, werden die zwischen ihnen ausgetauschten Nachrichten mit Hilfe der passenden Transformationsvorschrift übersetzt, sodass sie von der jeweiligen Gegenseite verstanden und ordnungsgemäß verarbeitet werden können. Auf diese Weise kann die Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen erstmals auch dann hergestellt werden, wenn keine einheitliche Form des Informationsaustausches vereinbart werden kann und beide Seiten im herkömmlichen Sinne inkompatibel sind.

Abstract

Field busses are specialized networks to link up automation devices such as sensors, actuators and controllers. Since recently, there is an increasing demand for integrating field busses with the Internet so that information processed within field bus systems can be accessed at distant locations. The availability of such information enables many kinds of remote diagnostics and maintenance as well as a vertical integration of automation plants with business departments in companies. In a word, it promises to increase efficiency and to reduce costs at a considerable extent. However, the lack of interoperability between field bus systems and the software tools or applications used for accessing them still causes many problems and inconveniences. In order to overcome these difficulties, most people agree that standardized application interfaces and data exchange formats must be established. Nevertheless, the opinions of what such a standard should look like are most different and in spite of tremendous efforts no agreement is in sight.

The adaptive Internet integration of field bus systems represents a completely new approach towards ensuring the interoperability of field bus systems and tools. It is no longer the duty of the user to conform to standards or conventions implemented at field bus side. Rather, the technology, i.e. the field bus system, must be so designed that it can adapt itself flexibly to the user's tool environment. The realization of this idea is based on transformation dictionaries which are made available at a known location on the Internet. When a field bus tool and a field bus system get in touch the messages exchanged between them are translated using the suitable transformation dictionary so that both sides are able to understand and process them as expected. Consequently, interoperability of field bus systems and tools can be achieved even when no common manner of information exchange can be arranged and both sides would be incompatible in the traditional sense.

1 Einführung

„Denn es ist gut, wenn uns die verrinnende Zeit nicht als etwas erscheint, das uns verbraucht und zerstört wie eine Handvoll Sand, sondern als etwas, das uns vollendet.“

(Antoine de Saint-Exupéry)

1.1 Globalisierung der Feldbustechnik

Nachdem sich das Internet während der letzten fünfzehn Jahre mit atemberaubendem Tempo in Büros und Privathaushalten verbreitet hat, ist es derzeit im Begriff, die industrielle Automation zu erobern. Die Welten der Automatisierungstechnik und der Informationstechnik wachsen mehr und mehr zusammen und Informationen aus dem Innern von Anlagen, Maschinen und Geräten werden je nach Wunsch entweder unternehmensweit oder weltweit zugänglich. Unter den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten, die sich im Zuge dieser Entwicklung abzeichnen, haben sich in der Zwischenzeit zwei bedeutende Innovationskerne herausgebildet: die vertikale Integration und die Realisierung von Teleservices.

Die vertikale Integration zielt auf eine nahtlose Zusammenführung des vorwiegend technisch geprägten Produktionsbereichs mit den übrigen, eher kaufmännisch orientierten Geschäftsbereichen eines Unternehmens ab [Reiß02], [VDE00]. Auf diese Weise soll der bereichsübergreifende Austausch von Planungsvorgaben, Produktionsständen und Qualitätszahlen automatisiert und beschleunigt werden. Man verspricht sich hierdurch eine Einsparung von Produktionskosten, verkürzte Durchlaufzeiten, mehr Flexibilität bezüglich individueller Kundenwünsche und qualitativ hochwertigere Ergebnisse. Unter Teleservice wird ein Kundendienst für technische Einrichtungen durch Fachpersonal aus der Ferne verstanden [Gröp02]. Diese Form der Dienstleistung kann sowohl für Inbetriebnahme- als auch für Instandhaltungszwecke genutzt werden. Für den Teleserviceanbieter ergibt sich der Vorteil, dass eine geringere Anzahl hochqualifizierter Mitarbeiter vor Ort benötigt wird und sich die damit verbundenen Reisekosten und Arbeitszeitausfälle auf ein Minimum reduzieren lassen. Der Teleservicenutzer profitiert von einer schnellen und effektiveren Unterstützung bei Störungen und Fehlerfällen und kann mit verkürzten Stillstandzeiten der betreffenden Geräte, Maschinen oder Anlagenteile rechnen.

Das Internet bringt zwei wichtige Merkmale mit sich, die im Rahmen dieser Bestrebungen von hoher Bedeutung sind: Offenheit und Durchgängigkeit. So handelt es sich nicht um eine mit Schutzrechten belegte Technologie eines bestimmten Herstellers, sondern um einen öffentlichen Kommunikationsstandard, der von jedermann kostenfrei eingesehen und genutzt werden kann. Des Weiteren ist dieser Kommunikationsstandard weltweit anerkannt und akzeptiert, sodass das Internet überall in einheitlicher Weise zur Verfügung steht. Betrachtet man dagegen die her-

kömmlichen Kommunikationsinfrastrukturen von Automatisierungssystemen, so stellt man fest, dass genau diese Merkmale bisher meist fehlen. Dies gilt insbesondere für die sog. Feldbusse, die zur Vernetzung automatisierungstechnischer Geräte wie Sensoren, Aktoren und Steuerungen dienen. Für gewöhnlich sind Feldbusse das wohlbehütete Gut bestimmter Automatisierungstechnikhersteller oder der durch sie ins Leben gerufenen Nutzerorganisationen. Die zu Grunde liegenden Spezifikationen können meist erst nach Entrichtung staatlicher Gebühren eingesehen werden. Zusätzliche Schwierigkeiten ergeben sich, sobald innerhalb eines Automatisierungssystems unterschiedliche Arten von Feldbussen parallel zum Einsatz kommen. Typischerweise sieht jeder von ihnen hoch spezialisierte Kommunikationsmechanismen vor, die untereinander nicht kompatibel sind. Dies macht Feldbusse zu schwer überwindbaren Barrieren, sobald sich die Informationsflüsse über die Grenzen eines einzelnen Feldbussystems hinaus erstrecken sollen. Nichtsdestotrotz haben Feldbusse auch handfeste Vorteile aufzuweisen, die sich mit Hilfe des Internets nur schwierig darstellen lassen. Hierzu zählen insbesondere die Echtzeitfähigkeit und die Effizienz der Kommunikation sowie ihre Sicherheit und Verfügbarkeit. Angesichts der kurzen Reaktionszeiten und hohen Zuverlässigkeitsanforderungen sind diese speziellen Merkmale beim Datentransfer innerhalb von Automatisierungssystemen zwingend erforderlich und werden auch in Zukunft unverzichtbar sein.

In Anbetracht dieser Situation wird das Internet wohl einen zunehmenden Einfluss auf Automatisierungssysteme haben, aber nicht zum Verschwinden der bisherigen Kommunikationsinfrastrukturen führen. Vielmehr strebt die Mehrheit der Hersteller und Anwender eine Koexistenz von Feldbussen und Internet an, um so von den Vorteilen beider Kommunikationssysteme zu profitieren [Reiß02]. Es geht daher primär darum, eine geeignete Form der Internetanbindung von Feldbussystemen zu finden. Dabei müssen einerseits die spezifischen Merkmale beim Datentransfer innerhalb von Automatisierungssystemen erhalten bleiben. Andererseits soll ein unbehinderter und ortsunabhängiger Informationsaustausch mit Automatisierungssystemen ermöglicht werden.

1.2 Problematik der fehlenden Interoperabilität

Mögliche Lösungskonzepte zur Internetanbindung von Feldbussystemen wurden bereits in großer Anzahl und Vielfalt hervorgebracht. So bieten heute fast alle namhaften Feldbushersteller spezielle Gateways an, über die sich ihre Feldbusse mit einem unternehmensweiten Intranet oder dem weltweiten Internet verbinden lassen [ODVA01a], [Volz02], [IEC61158]. Auf diese Weise kann man mit Hilfe passender Softwarewerkzeuge von übergeordneten Geschäftsbereichen oder entfernten Standorten aus auf Informationen in Innern der Feldbussysteme zugreifen. Für sich allein betrachtet funktionieren solche Lösungen recht gut. Probleme erheblichen Ausmaßes zeigen sich jedoch beim Zusammenspiel verschiedener Lösungen. Nach wie vor ist es kaum möglich, dasselbe Softwarewerkzeug zur Handhabung unterschiedlicher Feldbussysteme zu benutzen. Umgekehrt kann ein gegebenes Feldbussystem meist nur mit einer eigens dafür vorgesehe-

nen Werkzeugumgebung bedient werden, aber nicht mit der möglicherweise leistungsfähigeren, jedoch inkompatiblen Werkzeuglösung eines Konkurrenzanbieters. Trotz Internetanbindung sind die Schnittstellen zwischen Feldbussystemen und Werkzeuganwendungen herstellerspezifisch geblieben, oder anders gesagt, es fehlt an Interoperabilität zwischen den verschiedenen Arten von Feldbussystemen und -werkzeugen. Auf Grund dessen gestaltet sich der Umgang mit der Feldbustechnik nach wie vor recht umständlich. Anwender müssen trotz ähnlicher Aufgabenstellungen mehrere unterschiedliche Feldbuswerkzeuge bereithalten und beherrschen. Dies verursacht einen beträchtlichen organisatorischen Mehraufwand, beschert unnötig langwierige Einarbeitungszeiten und schmälert nicht zuletzt auch die Wirtschaftlichkeit von Feldbuslösungen.

Um dieser Problematik entgegen zu wirken, sind zahlreiche Bemühungen im Gange, den Informationszugriff auf die Feldbussysteme zu standardisieren [OPC98], [IDA00]. Bei ausreichend marktbeherrschender Stellung versuchen manche Hersteller auch die eigene Vorstellung von einer einheitlichen Feldbusanwendungsschnittstelle zum De-facto-Standard zu erheben [PROF03]. Diese Erscheinung ist nicht neu, vergleichbare Bemühungen hat es bereits gegeben, bevor das Internet in der Automatisierungstechnik eine Rolle zu spielen begann [IEC61158]. Damals wie heute verläuft die Diskussion um Standardisierungen im Feldbusbereich äußerst kontrovers – während der Neunzigerjahre hatte man in Anbetracht dessen sogar von den sog. Feldbuskriegen gesprochen [Reiß02] – und noch immer ist keine Einigung absehbar. Die Gründe hierfür sind sehr vielfältig und nicht immer rein technischer Art. Allzu oft werden unter dem Deckmantel der Standardisierung Interessenskonflikte ausgetragen, hinter denen handfeste strategische Überlegungen und das Ringen um Marktanteile stehen. Die Benachteiligten dieses Konflikts sind in erster Linie die Anwender. Obwohl sich die Aufgaben im Umgang mit Feldbussystemen im Kern stets ähnlich sind, müssen sie mit einer geradezu babylonischen Vielfalt an unterschiedlichen Feldbusanwendungsschnittstellen und darauf spezialisierten Feldbuswerkzeugen zurechtkommen. Ob mit Internet oder ohne – weder der Wunsch nach Interoperabilität noch der unbehinderte Informationsaustausch mit Feldbussystemen konnte bis heute zufrieden stellend verwirklicht werden.

1.3 Ziel der adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen

In der vorliegenden Arbeit wird ein Lösungskonzept ausgearbeitet, das die Frage der Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen aus einer völlig neuen Richtung angeht. Es soll nicht mehr in der Pflicht des Anwenders liegen, sich an bestimmte Feldbusstandards oder Feldbusanwendungsschnittstellen zu halten. Vielmehr muss die Technik, sprich das Feldbussystem, in die Lage versetzt werden, sich in flexibler Weise an die jeweilige Werkzeuginfrastruktur des Anwenders anzupassen. Das Ziel besteht in der Schaffung einer adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen, sodass Feldbuswerkzeuge und Feldbussysteme unabhängig von ihrer Art

und ihrem Hersteller sowohl über ein Intranet als auch das Internet Informationen austauschen und in gewünschter Weise zusammenwirken können. Innerhalb dieser Zielsetzung wird folgenden Aspekten ein besonderer Stellenwert beigemessen:

Untersuchung der Rolle der Information

Die wesentliche Motivation für die Internetanbindung von Feldbussystemen ist der unbehinderte Informationsaustausch mit Automatisierungssystemen. Die Begriffe Information und Informationsaustausch sind daher auch in der vorliegenden Arbeit von grundlegender Bedeutung. Gleichwohl handelt es sich um vergleichsweise vage Begriffe, die nicht selten lediglich als Synonyme für Nachricht bzw. Kommunikation aufgefasst werden. Durch eine eingehende Auseinandersetzung mit dem Wesen der Information soll zunächst ein präziseres Verständnis dieser Begriffe geschaffen werden. Darauf aufbauend soll gezeigt werden, welchen Einfluss das Wesen der Information auf die Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen hat und weshalb eine Standardisierung des Informationsaustausches mit Feldbussystemen trotz jahrelanger Anstrengungen nie gelungen ist.

Neuer Weg zur Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen

Um die Interoperabilität zwischen verschiedenartigen Feldbussystemen und -werkzeugen herzustellen, soll die bisherige Strategie der Vereinheitlichung und Standardisierung der Feldbusanwendungsschnittstelle nicht weiterverfolgt werden. Stattdessen soll ein grundlegend neuer Weg beschritten werden, indem die Existenz unterschiedlicher Feldbusanwendungsschnittstellen nicht länger niedergehalten, sondern als gegeben hingenommen wird. Um trotz dieses Umstandes ihre Interoperabilität sicherstellen zu können, soll nach einer Möglichkeit gesucht werden, wie sich der Informationsaustausch zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen in flexibler und transparenter Weise an unterschiedliche Feldbusanwendungsschnittstellen anpassen lässt.

Allgemeine Anwendbarkeit des Konzepts

Das in dieser Arbeit entstehende Lösungskonzept zur adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen soll in seiner Anwendbarkeit nicht auf bestimmte Feldbussysteme oder -werkzeuge eingeschränkt bleiben. Vielmehr soll es sich prinzipiell in Verbindung mit beliebigen Feldbusarten einsetzen lassen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass für den Zugang zu Feldbussystemen nicht grundsätzlich eine PC-Plattform, sondern oftmals nur ein eingebettetes System auf Mikrocontrollerbasis zur Verfügung steht. Nichtsdestotrotz soll das in dieser Arbeit entstehende Internetanbindungskonzept in beiden Fällen zu vertretbaren Kosten genutzt werden können.

Schaffung einer Werkzeugunterstützung

Der Aufwand für Anwender, die das Lösungskonzept zur adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen in der Praxis einsetzen möchten, soll so niedrig wie möglich bleiben. Aus diesem Grund schließt diese Arbeit die Schaffung einer auf das Konzept abgestimmten Werkzeug-

unterstützung mit ein, die dem Anwender als Arbeiterleichterung an die Hand gegeben werden kann.

1.4 Ausklammerung des Sicherheitsaspektes

Die Frage nach dem Sicherheitsrisiko bzw. einem dem entgegenwirkenden Zugriffsschutz gehört zu den Standardbeiträgen in fast jeder Diskussion über die Internetanbindung von Automatisierungssystemen. Zu Recht, denn obwohl sich Experten wie Laien gleichermaßen über den Stellenwert dieser Frage bewusst sind, konnte bis heute keine zufrieden stellende Antwort darauf gefunden werden. Dieser Umstand ist gleichzeitig auch eine der maßgeblichen Ursachen dafür, dass sich Internet-basierte Teleservices für Automatisierungssysteme entgegen der anfänglichen Erwartung nicht explosionsartig verbreiten konnten, sondern erst jetzt und nur sehr langsam Fuß zu fassen beginnen.

Die Brisanz dieses Sicherheitsaspektes rührt daher, dass das Internet ein öffentliches Kommunikationsmedium ist, das jedermann uneingeschränkt zur Verfügung steht und von allen Beteiligten gemeinsam genutzt wird. Informationen, die im Internet verbreitet werden, können daher prinzipiell von beliebigen Personen eingesehen und manipuliert werden. Informationen aus Automatisierungssystemen möchte man dagegen meist nur einem bestimmten Kreis berechtigter Personen zugänglich machen. Die Internetanbindung von Automatisierungssystemen birgt daher grundsätzlich die Gefahr in sich, dass sich neben berechtigten auch unbefugte Personen einen Zugang zu Automatisierungssystemen verschaffen und diese ungehindert ausspionieren oder sabotieren können [Schn00]. Zwar wurden bereits eine Reihe von Konzepten und Technologien hervorgebracht, um Informationsflüsse im Internet vor unberechtigten Zugriffen zu schützen. Doch gemessen am Ausmaß der Schäden, die im Falle eines missbräuchlichen Informationsaustausches mit Automatisierungssystemen drohen, gelten diese nach wie vor als völlig unzureichend.

Die Schaffung eines erweiterten Zugriffsschutzes, der dem Sicherheitsrisiko bei der Internetanbindung von Automatisierungssystemen in hinreichendem Maße gerecht wird, stellt ein umfangreiches Unterfangen dar und wird derzeit im Rahmen eigenständiger Forschungsarbeiten behandelt [Gutb05], [Naed03]. In der vorliegenden Arbeit wird der Themenkomplex Sicherheitsrisiko und Zugriffsschutz daher bewusst ausgeklammert. Es wird davon ausgegangen, dass die damit verbundenen offenen Fragen in Zukunft gelöst sein und geeignete Zugriffsschutzkonzepte zur Verfügung stehen werden, sodass dann auch die Sicherheitsbelange des hier entstehenden Internetanbindungskonzepts für Feldbussysteme abgedeckt werden können.

1.5 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in insgesamt zehn Kapitel untergliedert. In Kapitel 2 werden zunächst die erforderlichen Grundlagen der Feldbustechnik zusammengetragen. Dabei wird vor allem auf die Handhabung und die Internetanbindung von Feldbussystemen eingegangen. Darüber hinaus wird gezeigt, inwieweit die Handhabung von Feldbussystemen durch Interoperabilität begünstigt wird, und welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um eine solche Interoperabilität zu ermöglichen.

In Kapitel 3 folgt eine grundlegende Auseinandersetzung mit dem Informationsbegriff. Eine exakte Definition dieses Begriffs gibt es nicht. Dennoch lässt sich aus existierendem Wissen und allgemeinen Erfahrungen ein relativ präzises Bild vom Wesen der Information gewinnen. Dieses dient als Ausgangsbasis für die nachfolgende Untersuchung des Informationsaustausches mit Feldbussystemen.

Auf Grundlage des in Kapitel 3 erarbeiteten Informationsverständnisses werden in Kapitel 4 einige grundsätzliche Betrachtungen zum Begriff des Informationsaustausches angestellt. Dabei wird sich zeigen, dass die seitherige Auffassung dieses Begriffs, nach der Informationsaustausch und Kommunikation als mehr oder weniger gleichwertig angesehen werden, in mancherlei Hinsicht zu kurz greift und infolgedessen verallgemeinert werden muss. Aufbauend auf den hierbei gewonnenen Erkenntnissen werden anschließend die verschiedenen Lösungsansätze durchleuchtet, mit denen bisher versucht wurde, die Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen herzustellen. Gleichzeitig wird ergründet, weshalb die Strategie der Standardisierung des Informationsaustausches, die diesen Lösungsansätzen zu Grunde liegt, nie aufgehen konnte und sie dies aller Voraussicht nach auch niemals wird.

Anschließend wird in Kapitel 5 das Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches vorgestellt, mit Hilfe dessen das Ziel der adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen verwirklicht werden kann. Neben der zu Grunde liegenden Lösungsidee wird auf zwei alternative Möglichkeiten zur Umsetzung des Konzepts eingegangen.

In Kapitel 6 und 7 wird das Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches ausgebaut und verfeinert. Dazu wird einerseits untersucht, wie die zwischen Feldbussystem und -werkzeug ausgetauschten Nachrichten beschaffen sein müssen, damit ein adaptiver Informationsaustausch überhaupt möglich wird. Andererseits wird erläutert, auf welche Weise die in den Nachrichten übermittelten Inhalte der jeweils anderen Seite verständlich gemacht werden können.

Kapitel 8 stellt eine Werkzeugunterstützung vor, mit dem sich das Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches auf einfache und zügige Weise in die Praxis umsetzen lässt. Sie besteht aus einem Entwurfswerkzeug sowie einer Reihe von Infrastrukturkomponenten, die zur Laufzeit benötigt werden.

In Kapitel 9 wird auf die praktische Anwendung und Erprobung des adaptiven Informationsaustausches eingegangen. Um beide möglichen Varianten des adaptiven Informationsaustausches demonstrieren zu können, werden zwei verschiedene Anwendungsbeispiele herangezogen. Anschließend werden die dabei gewonnenen Erfahrungen zusammengetragen und diskutiert.

Zuletzt werden in Kapitel 10 nochmals alle wesentlichen Aspekte dieser Arbeit zusammengefasst und mögliche künftige Anwendungen und Erweiterungen aufgezeigt.

2 Grundlagen der Feldbustechnik

Feldbusse dienen zur Vernetzung von Sensoren, Aktoren und Steuerungen und bilden das Rückgrat der prozessnahen Bereiche von Automatisierungssystemen. Sie sind Wegbereiter für die Dezentralisierung der Feldebene und schaffen eine Ausgangsbasis für die vertikale Integration von Automatisierungssystemen [Reiß02]. In diesem Kapitel wird ausgehend von der Kommunikation im gesamten Automatisierungssystem die Rolle der Feldbustechnik dargestellt und erläutert. Neben ihren wichtigsten Eigenschaften und Vorteilen werden dabei insbesondere die Handhabung von Feldbussystemen mit Hilfe von Feldbuswerkzeugen sowie die Internetanbindung von Feldbussystemen betrachtet. Damit sich beides für den Anwender möglichst einfach gestaltet, ist ein systemübergreifendes Zusammenspiel zwischen verschiedenen Arten von Feldbussystemen unabdingbar. Vor diesem Hintergrund wird zum einen auf die hierfür notwendigen Voraussetzungen eingegangen und zum anderen untersucht, inwieweit diese Voraussetzungen durch heute im Einsatz befindliche Feldbussysteme erfüllt werden.

2.1 Kommunikation in Automatisierungssystemen

Die Kommunikation in Automatisierungssystemen ist sehr vielschichtig und komplex. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass Automatisierungssysteme in unterschiedlichen Branchen entwickelt werden und zum Einsatz kommen. So sind Automatisierungssysteme unter anderem in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie (z.B. Hochofenanlagen zur Eisenerzgewinnung), in der Fertigungstechnik (z.B. Produktionslinien zur Herstellung von Kunststoffgehäusen), in der Gebäudetechnik (z.B. Heizungs-, Klimatisierungs- oder Beleuchtungssteuerungen), in der Fahrzeugtechnik (z.B. Motor- oder Getriebesteuerung) sowie in verschiedensten, technischen Geräten (z.B. Kaffeeautomaten, Waschmaschinen, usw.) zu finden. Zum anderen sind Automatisierungssysteme in verschiedene organisatorische Bereiche untergliedert, in denen sehr unterschiedliche Aufgaben abgewickelt werden. Dies sind die sog. Ebenen eines Automatisierungssystems, die mit Hilfe hierarchischer Abstraktionsmodelle beschrieben werden.

Das bekannteste Abstraktionsmodell für Automatisierungssysteme ist die Automatisierungspyramide. In ihrer allgemeinsten Form, die in Abbildung 2.1 dargestellt ist, unterscheidet sie zwischen der Betriebsebene, der Prozessebene und der Feldebene von Automatisierungssystemen [LaGö99]. Die Aufgaben bzw. Tätigkeiten, die diesen Ebenen zugeordnet sind, gehen aus Tabelle 2.1 hervor. Je nach Branche gibt es unterschiedliche, verfeinerte Ausprägungen der Automatisierungspyramide mit weiteren Ebenen und abweichenden Benennungen [SHW99], [Tauc97]. Auch kommt es oft vor, dass in Automatisierungssystemen nicht alle Ebenen vollständig ausgeprägt sind. Die höheren Ebenen können teilweise oder insgesamt wegfallen. Charakteristisch ist jedoch, dass die Feldebene stets in einem gewissen Mindestumfang bestehen

bleibt. Typische Beispiele hierfür sind komplexe Automatisierungssysteme (z.B. Kraftfahrzeuge) oder automatisierte Geräte (z.B. industrielle Kaffeeautomaten). In beiden Fällen sind lediglich die Feldebene und Teile der Prozessebene vertreten.

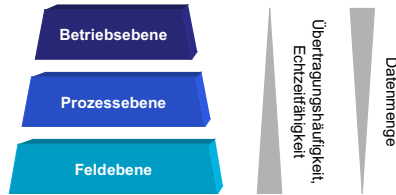


Abbildung 2.1: Automatisierungspyramide und Anforderungen an die Kommunikation

Tabelle 2.1: Aufgaben bzw. Tätigkeiten in den Ebenen der Automatisierungspyramide

Ebene der Automatisierungspyramide	Zugeordnete Aufgaben bzw. Tätigkeiten
Betriebsebene	<ul style="list-style-type: none"> • Unternehmensleitung (Enterprise Resource Planning) • Produktionsleitung (Manufacturing Execution System)
Prozessebene	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessvisualisierung und Prozessführung • Steuerung und Regelung • Ablaufüberwachung und Alarmmeldung
Feldebene	<ul style="list-style-type: none"> • Messwerterfassung und -vorverarbeitung • Stellwertausgabe, Stellwertbegrenzung • Digitale und analoge Signalein-/ausgabe • Signalüberwachung und Alarmauslösung • Betriebsdatenerfassung

Kommunikation tritt in Automatisierungssystemen sowohl innerhalb der Ebenen als auch ebenenübergreifend auf. Beispielsweise müssen Geräte der Prozessebene untereinander kommunizieren, wenn die Ablaufüberwachung einen sicherheitskritischen Zustand erkennt, der einen Eingriff in die Steuerung erforderlich macht. Zur Kommunikation zwischen Betriebsebene und Prozessebene kommt es z.B. immer dann, wenn neue Zielvorgaben für einen Produktionsprozess eingestellt werden.

Auf Grund der verschiedenen Arten und Ebenen von Automatisierungssystemen muss die Kommunikation völlig unterschiedlichen Ansprüchen gerecht werden. Wie aus Abbildung 2.1 hervorgeht, sind bezüglich der zu transportierenden Datenmengen, der Übertragungshäufigkeit und der Echtzeitfähigkeit charakteristische Tendenzen erkennbar [LaGö99], [Reiß02], [SHW99], [Buss96]. Die Datenmenge nimmt im Durchschnitt gesehen von der Betriebsebene

bis zur Feldebene hin kontinuierlich ab. Während in der Betriebsebene Dateien im Bereich von einigen Kilobytes bis zu mehreren Megabytes zu übermitteln sind, so werden in der Feldebene im Wesentlichen Messdaten und Stellwerte kommuniziert, die lediglich einige Bytes, manchmal sogar nur einzelne Bits belegen. Umgekehrt verhalten sich die Übertragungshäufigkeit und die Echtzeitfähigkeit, beide nehmen im Mittel von der Betriebsebene zur Feldebene hin signifikant zu. In der Feldebene dominiert die zyklische Übertragung, um die Mess- und Stellwerte in möglichst schneller Abfolge erfassen und ausgeben zu können. Da die Steuerungen und Regelungen in Automatisierungssystemen zum großen Teil in Echtzeit ablaufen, muss auch die Kommunikation in der Feldebene Echtzeitbedingungen genügen, d.h. Daten innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne übermitteln können. Demgegenüber findet in der Betriebsebene die Datenübertragung nur sporadisch statt, wenn z.B. Produktionszahlen abgefragt werden sollen oder neue Produktionsvorgaben anstehen. Auch das Echtzeitverhalten der Kommunikation steht hier nicht im Vordergrund. Zwar muss sichergestellt sein, dass die Datenübermittlung erfolgreich stattfinden kann, jedoch ist die Übermittlungsdauer an keine engen Zeitvorgaben gebunden.

Abgesehen von Datenmenge, Übertragungshäufigkeit und Echtzeitfähigkeit bestehen weitere Anforderungen an die Kommunikation, die ebenfalls je nach Art und Ebene des Automatisierungssystems unterschiedlich stark ins Gewicht fallen. Als wichtigste sind eine möglichst hohe Übertragungsgeschwindigkeit, die Vorhersagbarkeit des Übertragungszeitpunktes, eine hohe Sicherheit und Verfügbarkeit der Kommunikation, die Kompatibilität zu vorhandenen Kommunikationssystemen, die einfache Handhabbarkeit und nicht zuletzt auch niedrige Investitions-, Installations- und Instandhaltungskosten zu nennen.

Betrachtet man die Kommunikationssysteme, die heute in der Automatisierungstechnik Verwendung finden, so können diese trotz der enormen Anforderungsvielfalt auf zwei Arten der Kommunikation in Automatisierungssystemen zurückgeführt werden [LaGö99]: die Kommunikation in der Feldebene und die Kommunikation in den darüber liegenden Ebenen.

2.1.1 Kommunikation in der Prozess- und Betriebsebene

In der Betriebsebene finden zum einen die organisatorischen und verwaltungstechnischen Tätigkeiten im Umfeld der Produktion statt. Darin eingeschlossen sind unter anderem die Planung der Arbeitsabläufe, das Qualitäts- und Wartungsmanagement sowie die Dokumentenverwaltung. Zum anderen bildet sie die Nahtstelle zwischen dem Automatisierungssystem und den kaufmännischen Geschäftsbereichen eines Unternehmens. Während früher jeder dieser Geschäftsbereiche für sich organisiert war und der geschäftsbereichsübergreifende Informationsaustausch vielfach mit Hilfe von Papierformularen abgewickelt wurde, ist man heute verstärkt bestrebt, beide Seiten zu integrieren. Vom Auftragseingang und der Materialbeschaffung über die Produktionsleitung bis hin zur Lieferung und Rechnungserstellung sollen möglichst alle Geschäftsbereiche eines Unternehmens miteinander vernetzt werden. Somit kann der Informationsaustausch elektronisch erfolgen und die Mehrfacheingabe von Daten entfällt. Unnötige Fehler werden vermie-

den und die Vorbereitungs- und Durchlaufzeiten bei der Produktion verringern sich um bis zu 35% [VDE00]. Da dies auf eine durchgängige Verbindung des Automatisierungssystems mit den übergeordneten Bereichen des Unternehmens hinausläuft, wird in diesem Zusammenhang oft von der sog. vertikalen Integration gesprochen [Reiß02]. Die Kommunikation in der Betriebsebene steht damit vor der Herausforderung, dass eine Vielzahl verschiedener Computer- und Gerätesysteme mit einzubeziehen ist und die Bedürfnisse unterschiedlichster Personengruppen zu berücksichtigen sind. Abgesehen von den hohen Datenmengen, die kommuniziert werden müssen, spielt hier somit vor allem der Kompatibilitätsfaktor eine wichtige Rolle. Computer und Geräte verschiedener Hersteller müssen bezüglich ihrer Kommunikationsschnittstellen aufeinander abgestimmt sein und sich im gleichen Kommunikationssystem integrieren lassen. Daher findet man in der Betriebsebene zum überwiegenden Teil dieselben Kommunikationstechnologien wie im Bürobereich wieder, wo ganz ähnliche Anforderungen bestehen. Die Kommunikation erfolgt über lokale Netzwerke, sog. LAN, die auf der Basis des Datenübertragungsprotokolls Ethernet und einem darauf aufbauenden Netzwerkprotokoll, zumeist TCP/IP, arbeiten [Reiß02], [Buss96].

Die Kommunikation in der Prozessebene verknüpft die Anzeige- und Bedienterminals zur Prozessvisualisierung und -führung mit den unterlagerten Steuerungen einerseits und der übergeordneten Produktionsleitung andererseits. Für diesen Bereich wurden früher automatisierungstechnikspezifische Systembusse eingesetzt, die speziell auf die Aufgaben bzw. Tätigkeiten zwischen Betriebsebene und Feldebene zugeschnitten waren (z.B. MAP [ISO9506], PROFIBUS/FMS [IEC61158], [EN50170]) [Reiß02], [Buss96]. Unter den in der Prozessebene eingesetzten Computersystemen dominierten gesondert angefertigte Prozessrechner und Prozessleitsysteme sowie SPS-, CNC- und mikrocontrollerbasierte Steuerungen aus der Hand etablierter Automatisierungstechnikhersteller [Tauc97], [LaGö99]. Sie alle werden heute zunehmend durch Industrie-PCs verdrängt, die als Massenware verfügbar und somit wesentlich preiswerter sind [Dums02], [Albe97]. Derzeit beläuft sich der Industrie-PC-Anteil am Weltmarkt für Steuerungen auf 15% bis 17%, Tendenz steigend [Thom03]. In Erwartung nochmals sinkender Kosten sowie einer verbesserten Kompatibilität – nicht zuletzt auch im Hinblick auf die vertikale Integration – liegt es nahe, neben den Computerplattformen auch die Kommunikationstechnologie aus dem PC-Bereich in die Automatisierungstechnik zu übernehmen [Dums02]. Dies bringt zwar Einbußen im Bereich der Echtzeitfähigkeit der Kommunikation mit sich, was jedoch zu verkraften ist, da in der Prozessebene Echtzeitfähigkeit im automatisierungstechnischen Sinne ohnehin nur bedingt erforderlich ist. Somit ist zu beobachten, dass auch in der Prozessebene mehr und mehr Kommunikationssysteme auf der Basis von lokalen Netzwerken mit Ethernet und TCP/IP Einzug halten [Reiß02].

Es bleibt hervorzuheben, dass der Wandel, dem die Prozessebene derzeit unterworfen ist, nicht nur einen Wechsel der Kommunikationstechnologie in dieser Ebene zur Folge hat, sondern gleichzeitig eine horizontale Integration der Automatisierungspyramide einleitet. In Betriebs-

und Prozessebene wird die Kommunikation zunehmend auf der Grundlage von Ethernet und TCP/IP vereinheitlicht. Somit sind Betriebs- und Prozessebene physikalisch gesehen im Begriff, zu einer Ebene zu verschmelzen, und bleiben nur noch im logischen Sinne bestehen.

2.1.2 Kommunikation in der Feldebene

Die Kommunikation in der Feldebene bildet die „letzte Meile“ zwischen einem Automatisierungssystem und dem durch ihn gesteuerten technischen Prozess. Elektronische Sensoren erfassen das Geschehen in der Umgebung durch Messung der relevanten physikalischen Größen, wie z.B. Temperatur, Druck, Füllstand, Durchfluss, Drehzahl, usw. Die resultierenden Messwerte und -signale werden an die übergelagerten Steuerungen kommuniziert. Umgekehrt müssen die von den Steuerungen errechneten Stellsignale und -werte an elektromechanische bzw. elektronische Aktoren, wie z.B. Relais, Ventile, Stellmotoren, Elektromagnete, Piezoelemente, usw., übermittelt werden. Diese setzen sie in entsprechende physikalische Größen um und ermöglichen so eine Beeinflussung des Geschehens in der Umgebung. Im Laufe der Zeit haben sich zwei bedeutende Kommunikationstechnologien herausgebildet, mit denen sich der Informationsaustausch zwischen Sensoren und Aktoren – den sog. Feldgeräten – auf der einen Seite und den Steuerungen auf der anderen Seite bewerkstelligen lässt: zuerst die analoge Signalübertragung und später die Feldbustechnik.

Bei der analogen Signalübertragung werden sämtliche Sensoren und Aktoren per Parallelverdrahtung mit den Steuerungen verbunden, d.h. von jedem Feldgerät führt eine eigene Punkt-zu-Punkt-Leitung zur betreffenden Steuerung (vgl. Abbildung 2.2) [Hemp97]. Auf diesen Leitungen wird ein elektrisches Nutzsignal mit einem kontinuierlichen Wertebereich übertragen. Typischerweise werden Stromsignale verwendet, da diese im Vergleich zu Spannungssignalen eine verbesserte Störsicherheit bieten. Am weitesten verbreitet ist die sog. 4...20 mA-Technik. Hier steht ein normierter Stromstärkebereich mit den festen Grenzen von 4 mA und 20 mA zur Nutzsignalübertragung zur Verfügung. Die ursprünglichen, physikalischen Wertebereiche der Mess- und Stellgeräte werden auf diesen Nutzsignalbereich normiert, d.h. sie werden linear auf ihn abgebildet. Mit den 4 mA unterhalb des Nutzsignalbereichs wird die Stromversorgung des Feldgeräts abgedeckt. Somit kann die Energieversorgung der Feldgeräte über dieselben Leitungen erfolgen wie die Signalübertragung und statt der ansonsten notwendigen Vierdrahtleitungen genügt eine Zweidrahtleitung pro Feldgerät. Insbesondere in großen Anlagen, wo oft mehrere tausend Feldgeräte und Steuerungen miteinander zu verknüpfen sind, macht dies die Verdrahtung der Feldgeräte deutlich kostengünstiger.

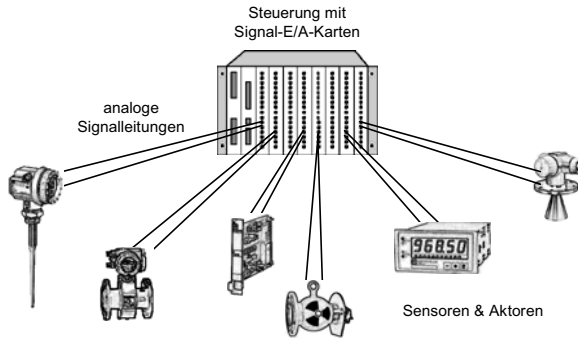


Abbildung 2.2: Analoge Signalübertragung zwischen Steuerung, Sensoren und Aktoren

Ähnlich wie in vielen anderen Bereichen werden auch in der Automatisierungstechnik analoge Systeme zunehmend durch digitale Lösungen verdrängt. So werden heute anstelle der konventionellen, analogen Signalübertragung verstärkt Feldbussysteme eingesetzt, um Sensoren, Aktoren und Steuerungen auf digitalem Wege zu vernetzen [Buss96], [Hemp97]. Auf diese speziell für die Automatisierungstechnik entwickelte Kommunikationstechnologie wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

2.2 Feldbusse

Feldbusse sind serielle Kommunikationsnetzwerke zum Austausch von Daten in der Feldebene von Automatisierungssystemen. Im Gegensatz zur Parallelverdrahtung der Feldgeräte bei der analogen Signalübertragung werden Sensoren, Aktoren und Steuerungen nicht über eine Vielzahl von Einzelleitungen, sondern über ein gemeinsames Buskabel miteinander verbunden (vgl. Abbildung 2.3) [HiLi97], [SHW99]. Somit können zwar alle an einen Feldbus angeschlossenen Geräte jederzeit Daten empfangen, jedoch darf zu einem gegebenen Zeitpunkt immer nur einer der Busteilnehmer Daten senden. Andernfalls würden die Daten auf der Busleitung kollidieren und verloren gehen. Daher arbeiten Feldbusse nach dem Zeitmultiplexprinzip [Reiß02], [Buss96]. Jedem Busteilnehmer steht die Busleitung nur vorübergehend zum Senden zur Verfügung, anschließend geht die Sendeberechtigung an einen anderen Busteilnehmer über. Welcher Busteilnehmer wann die Gelegenheit zum Senden erhält hängt vom Buszuteilungsverfahren ab, das für den betreffenden Feldbus definiert ist [LaG699].

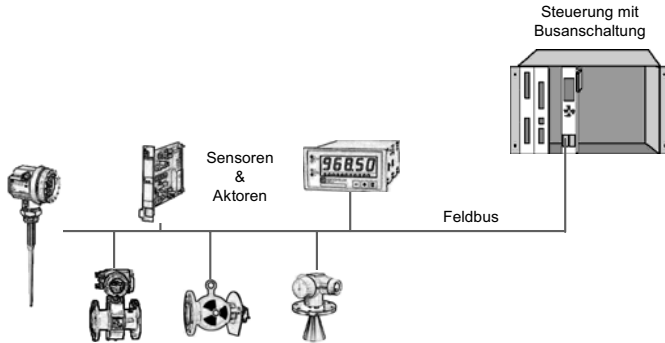


Abbildung 2.3: Serielle Feldbuskommunikation zwischen Steuerung, Sensoren und Aktoren

Die Möglichkeit zur Übertragung von Daten anstelle von Analogsignalen macht Feldbusse zu einem sehr flexiblen Kommunikationsmedium. Häufig erlauben sie gleichzeitig mehrere Formen der Datenübertragung, die für unterschiedliche Verwendungszwecke ausgelegt und optimiert sind. In erster Linie unterstützen Feldbusse den Austausch von Mess- und Stellwerten sowie Statusinformationen zwischen Feldgeräten und Steuerungen sowie auch zwischen Feldgeräten untereinander [LaGö99], [HiLi97]. Diese Datenübertragung wird zumeist zyklisch abgewickelt und weist eine hohe Effizienz auf, damit die Echtzeiteigenschaften der Steueranwendung nicht beeinträchtigt werden. Man spricht in diesem Zusammenhang üblicherweise von einer datenorientierten Kommunikation [Rei02]. Darüber hinaus unterstützen Feldbusse den wahlfreien Zugriff auf Feldgeräte durch den Anwender. Zur Konfiguration, Diagnose und Wartung können Prozessvariablen und Statusinformationen ausgelesen, Parameter abgefragt und gesetzt, oft sogar Software eingespielt und Programmroutinen gestartet werden. Umgekehrt können auch Feldgeräte die Initiative ergreifen und bei unerwarteten Vorkommnissen Alarm- bzw. Ereignismeldungen an übergeordnete Stellen absetzen. Diese Form des Datenaustausches wird als nachrichtenorientierte Kommunikation bezeichnet [Rei02]. Sie tritt meist nur sporadisch auf und unterliegt in aller Regel niedrigeren Echtzeitanforderungen. Daher bieten Feldbusse an dieser Stelle sehr komfortable und leistungsfähige Kommunikationsdienste an, um die Handhabung der Feldebene möglichst einfach zu gestalten.

2.2.1 Vorteile der Feldbustechnik

Durch den Einsatz von Feldbustechnik ergeben sich für den Anwender zahlreiche Vorzüge. Diese sind zum einen technischer Natur und wirken sich auf den Installationsaufwand aus. Zum anderen gibt es Vorteile funktioneller Art, die vor allem bei der Inbetriebnahme und Instandhaltung zu deutlichen Erleichterungen führen.

Zu den wichtigsten technischen Vorteilen, die die Verwendung von Feldbussystemen mit sich bringt, zählen [Reiß02], [HiLi97]:

- *Reduzierter Verdrahtungsaufwand:* Das Verlegen und Anschließen armdicker Vieladerleitungen, die zur Parallelverdrahtung der Feldgeräte bei der analogen Signalübertragung erforderlich waren, entfällt. Stattdessen muss lediglich die gemeinsam genutzte Busleitung an die Feldgeräte herangeführt werden, die meist ein einfaches Zweidrahtkabel ist.
- *Verringerter Installationsaufwand:* Als Folgeeffekt des reduzierten Verdrahtungsaufwandes vereinfachen sich die Installationsarbeiten in der Feldebene und können in kürzerer Zeit durchgeführt werden. So sind unter anderem weniger Kabeltrassen und Mauerdurchbrüche erforderlich bzw. deren Abmessungen werden kleiner. Die Steuerungen in den Schaltschränken bzw. die Anzeige- und Bedientafeln in den Warten müssen lediglich mit einer Busanschlussschaltung und nicht mehr mit vielkanaligen Signalein-/ausgabekarten ausgestattet werden. Damit reduzieren sich an diesen Stellen das Bauvolumen und der Platzbedarf sowie auch die Klimatisierungskosten.
- *Vereinfachte Inbetriebnahme und Umbau des Leitungsnetzes:* Die drastisch verringerte Anzahl von Leitungen und Anschlüssen in der Feldebene macht die Leitungsprüfung und die ggf. erforderliche Störungsbehebung bei der Inbetriebnahme von Feldbussystemen sehr einfach. Auch kann das Busleitungsnetz vergleichsweise leicht um- bzw. ausgebaut werden. Zusätzliche Feldgeräte können unmittelbar an der bereits liegenden Busleitung aufgeschaltet werden und es ist mit überschaubarem Aufwand möglich, das Busleitungsnetz zu erweitern, falls Feldgeräte außerhalb seiner bisherigen Ausdehnung mit einzubeziehen sind.

Abgesehen hiervon ergeben sich durch den Einsatz von Feldbussystemen folgende funktionellen Vorteile [Reiß02], [HiLi97], [Hemp97]:

- *Qualitätsverbesserung der übertragenen Signale:* Bei der analogen Signalübertragung sind die Auflösung und die Genauigkeit der übertragenen Mess- bzw. Stellwerte von vornherein begrenzt. Durch die Normierung auf einen vorgegebenen Nutzsinalbereich muss mit einem Genauigkeitsverlust von 0,5% bis 1% des jeweiligen physikalischen Wertebereichs gerechnet werden. Hinzukommt, dass die Mess- bzw. Stellwerte häufig in den Sensoren und Aktoren vor- bzw. nachbearbeitet werden. Dies geschieht meist mit Hilfe von Mikrocontrollern und impliziert, dass die betreffenden Signale in digitaler Form vorliegen. Als Konsequenz dessen müssen die Signale auf dem Weg zwischen den Messwertaufnehmern bzw. Stellwertgebern der Feldgeräte und den Steuerungen mehrfach digitalisiert und wieder in analoge Signale zurückgewandelt werden, was zusätzliche Genauigkeitsverluste mit sich bringt. All diese Nachteile fallen beim Einsatz von Feldbussystemen weg. Die Mess- und Stellwerte werden lediglich einmal im Feldgerät A/D- bzw. D/A-gewandelt. Da sie auf der Busleitung im jeweiligen, physikalischen Wertebereich sowie in digitaler Form übertragen werden kön-

nen, fallen zwischen den Feldgeräten und Steuerungen keine weiteren Qualitätsverluste mehr an.

- *Einsatz multivariabler Feldgeräte:* Feldbusse erlauben die Entwicklung und Verwendung von Sensoren, die mehr als nur einen einzelnen Messwert liefern. Beispielsweise kann man von einem Drucksensor abgesehen vom aktuellen Druck auch die Dichte und Temperatur des umgebenden Mediums sowie die momentanen Änderungstendenzen abfragen. Außerdem wird zu jedem Messwert auch ein Status geliefert, anhand dessen sich der Messwert validieren, d.h. auf seine Gültigkeit überprüfen lässt. Während solche multivariablen Feldgeräte bei der analogen Signalübertragung eine entsprechende Anzahl von Einzelleitungen erforderlich gemacht hätten, können im Feldbusbetrieb sämtliche Messwerte über die gemeinsam genutzte Busleitung abgerufen werden.
- *Verlagerung von Steuer- und Regelfunktionen in die Feldebene:* Mit Feldbussen wird die Realisierung von sog. intelligenten Feldgeräten und der Aufbau dezentraler Steuerungen und Regelungen möglich. Dabei werden Teile der Steuer- und Regelfunktionen, angefangen von der Messwertvorverarbeitung bis hin zu Regelungen für Antriebe und Ventile, in die Sensoren oder Aktoren integriert. Der Austausch der erforderlichen Regelgrößen erfolgt mittels direkter Kommunikation von Feldgerät zu Feldgerät, dem sog. Querverkehr. Die überlagerten Steuerungen geben nur noch die jeweiligen Sollwerte vor.
- *Konfiguration, Diagnose und Wartung über die Busleitung:* In Feldbussystemen sind nicht nur die Mess- und Stellwerte, sondern auch sämtliche Parameter zur Konfiguration der Feldgeräte über die Busleitung zugänglich. Außerdem können ohne Beeinträchtigung des übrigen Busverkehrs feldgeräteinterne Kalibrier- und Diagnosefunktionen aktiviert oder Softwareaktualisierungen heruntergeladen werden. Durch diese Möglichkeiten ergeben sich im Vergleich zur analogen Signalübertragung enorme Erleichterungen bei der Inbetriebnahme und Instandhaltung. Statt die erforderlichen Einstellungen manuell an jedem einzelnen Feldgerät über entsprechende Bedienelemente vorzunehmen, was häufig durch die Anbringung der Feldgeräte an schwer zugänglichen Stellen zusätzlich behindert wird, können die Eingriffe auf elektronischem Wege von zentraler Stelle aus erfolgen.

Insgesamt betrachtet führen die genannten technischen und funktionellen Vorzüge, die die Verwendung von Feldbussen mit sich bringt, zu beachtlichen Kosteneinsparungen bei der Entwicklung und beim Betrieb von Automatisierungssystemen. So konnte z.B. in der chemischen Industrie nachgewiesen werden, dass die Gesamtkosten für die Entwicklung von Automatisierungssystemen, in denen Feldbustechnik zum Einsatz kommt, um bis zu 30% niedriger liegen als bei Verwendung konventioneller, analoger Übertragungstechniken [HiLi97].

2.2.2 Arten und Anwendungsbereiche von Feldbussen

So wie Automatisierungssysteme kommen auch Feldbussysteme in einer Vielzahl von unterschiedlichen Branchen und Anwendungsbereichen zum Einsatz. Dementsprechend sind auch die Anforderungen an die Feldbuskommunikation von Fall zu Fall höchst verschieden [Rath97]. Dies betrifft zum einen die allgemeinen Anforderungen an die Kommunikation, wie Übertragungsgeschwindigkeit, Echtzeitfähigkeit, Sicherheit, usw., die das eine Mal mehr und das andere Mal weniger im Vordergrund stehen. Zusätzlich sind oft spezielle Anforderungen des jeweiligen Anwendungsbereichs zu berücksichtigen.

In der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie zählen vor allem die Sicherheit der Datenübertragung, der sog. eigensichere Betrieb von Feldbussystemen, d.h. die Einsatzmöglichkeit in explosionsgefährdeten Umgebungen und die Energieversorgung von Feldgeräten über die Busleitung. Die räumliche Ausdehnung der Feldbussysteme kann oftmals mehrere Kilometer erreichen. Da 90% der Zykluszeiten im Bereich von 100 ms bis 1 s liegen, spielt die Übertragungsgeschwindigkeit keine dominierende Rolle [HiLi97]. Die Fertigungstechnik stellt typischerweise eher durchschnittliche Anforderungen an die Feldbussysteme. Die Zykluszeiten variieren zwischen 5 ms und 1 min, die räumliche Ausdehnung ist auf bis zu 50 m begrenzt [Buss96]. In der Gebäudetechnik müssen Feldbusse große räumliche Ausdehnungen, eine hohe Feldgerätezahlsowie das Austauschen von Feldgeräten während des Betriebs unterstützen. Außerdem ist die Möglichkeit zur Mitbenutzung vorhandener Leitungsnetze, wie z.B. das Stromnetz, wünschenswert. Die Fahrzeugtechnik stellt mit Zykluszeiten von unter 1 ms sehr hohe Echtzeitansprüche an die Feldbussysteme. Zudem sind eine weitgehende Sicherheit gegen Störeinstrahlung sowie eine hohe mechanische Festigkeit der Feldgeräte unabdingbar. Die räumliche Ausdehnung ist hingegen auf wenige Meter begrenzt [Buss96], [Reiß02]. In Gebäude- und Fahrzeugtechnik und vor allem auch in der Geräteautomatisierung kommen vielfach eingebettete Feldgeräte auf der Basis von Mikrocontrollern zum Einsatz. Daher sind nicht zuletzt auch eine maßvolle Inanspruchnahme von Systemressourcen wie Speicherplatz und Prozessorleistung sowie die Einfachheit des Feldbussystems von hoher Bedeutung.

Die zahlreichen und zum Teil auch widersprüchlichen Anforderungen an die Feldbuskommunikation haben dazu geführt, dass sich viele unterschiedliche Feldbusse am Markt etabliert haben. In Deutschland sind dies in erster Linie der PROFIBUS PA (PROcess FieldBUS ProcessAutomatisierung) [IEC61158], [EN50170] und der Foundation Fieldbus [IEC61158] in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie [HiLi97] und der PROFIBUS DP (PROcess FieldBUS Dezentrale Peripherie) [IEC61158] sowie der Interbus-S [IEC61158], [EN50254] in der Fertigungstechnik. CAN (Controller Area Network) [ISO11898] hat sich im Bereich der Fahrzeugtechnik und LON (Local Operation Network) [LON04] in der Gebäudetechnik durchgesetzt [Reiß02]. Weltweit sind mehr als 50 verschiedene Feldbusvarianten entstanden [Färb94]. Viele von ihnen sind schon nach kurzer Zeit wieder bedeutungslos geworden, nichtsdestotrotz sind weiterhin neue Feldbusarten im Entstehen begriffen (z.B. TTP/C [TTP03], FlexRay [Flex04]).

Meist sind bei Entscheidungen zur Entwicklung eines neuen bzw. bei Auswahl des am besten geeigneten Feldbusses nicht allein technische Merkmale ausschlaggebend. Vielmehr sind oft auch unternehmenspolitische und wirtschaftliche Interessen mit im Spiel, nicht selten nehmen diese sogar eine dominierende Rolle ein.

Lange Zeit wurde versucht dieser Dynamik in der Feldbuslandschaft Einhalt zu gebieten. Den vorläufigen Höhepunkt dieser Bestrebung bildet die internationale Feldbusnorm IEC 61158 [IEC61158], die erst nach 15-jähriger, kontroverser Normierungsarbeit verabschiedet werden konnte. Ihrem ursprünglichen Ziel, einen einheitlichen Feldbus für die Automatisierungstechnik zu schaffen, konnte sie allerdings nicht gerecht werden. Stattdessen wurden in ihr die wichtigsten Vertreter altgedienter Feldbusse in einer Art gleichberechtigtem Nebeneinander festgeschrieben. Die Vielfalt der Feldbussysteme ist somit nahezu unverändert erhalten geblieben und wurde allenfalls in etwas geordnetere Bahnen gelenkt.

2.3 Handhabung von Feldbussystemen

Feldbusse ermöglichen sehr flexible Formen der Kommunikation in der Feldebene von Automatisierungssystemen. Oft bergen sie jedoch ein nicht zu unterschätzendes Maß an Komplexität in sich. Für den Anwender hingegen sind Feldbusse lediglich ein Mittel zum Zweck. Er erwartet, dass er die Aufgaben und Tätigkeiten, die bei der Inbetriebnahme, während des Betriebs und bei der Instandhaltung eines Automatisierungssystems anfallen, mit möglichst geringem Aufwand erledigen kann. Hinzu kommt, dass aus Kostengründen viele dieser Tätigkeiten von weniger hoch qualifizierten Personen durchgeführt werden, die meist nur mit den Grundzügen der betreffenden Feldbustechnik vertraut sind. Daher muss sichergestellt werden, dass dem Anwender eine möglichst umfassende Unterstützung zur Handhabung von Feldbussystemen geboten wird [LaGö99].

2.3.1 Feldbuswerkzeuge

Feldbuswerkzeuge sind Softwareanwendungen zur Handhabung von Feldbussystemen. Meist verfügen sie über eine komfortable grafische Benutzungsoberfläche, über die der Anwender entweder einzelne Feldgeräte oder das gesamte Feldbussystem beobachten und beeinflussen kann. Die hierzu erforderlichen Interaktionen mit dem Feldbussystem, wie z.B. Lesen und Schreiben von Feldgerätevariablen und -parametern, Einspielen von Softwareaktualisierungen oder Starten von Programmroutinen, werden per nachrichtenorientierter Kommunikation zwischen dem Feldbuswerkzeug und dem Feldbussystem abgewickelt. Abhängig von den Aufgaben bzw. Tätigkeiten, denen die Feldbuswerkzeuge letztendlich zugeordnet sind, können sie sich in Ausführung und Umfang stark voneinander unterscheiden. Das Spektrum reicht von einfachen Kommandozeilenprogrammen zur Einstellung der Übertragungsgeschwindigkeit bis hin zu mächtigen SCADA-Lösungen (Supervisory Control and Data Acquisition).

Für den Betrieb von Feldbuswerkzeugen werden stationäre oder mobile Computerplattformen, wie z.B. spezielle Handbediengeräte, Notebooks oder PCs benutzt. Der Zugang zum Feldbus-system kann entweder direkt oder indirekt erfolgen (vgl. Abbildung 2.4). Im erstgenannten Fall ist die Feldbuswerkzeugplattform über eine entsprechende Schnittstellenkarte unmittelbar an den Feldbus angeschlossen und fungiert somit selbst als ein Feldgerät. Im anderen Fall steht die Feldbuswerkzeugplattform über ein Zubringerkommunikationssystem und ein passendes Gateway mit dem Feldbussystem in Verbindung. Häufig sind dies lokale Netzwerke oder spezielle Bussysteme aus der Prozess- bzw. Betriebsebene von Automatisierungssystemen (vgl. 2.1.1 Kommunikation in der Prozess- und Betriebsebene). Alternativ kommen klassische Tele-service-Infrastrukturen, d.h. Modemverbindungen über Wähl- bzw. Standleitungen des Telefon-netzes, in Frage. Seit kurzem wird in diesem Zusammenhang auch zunehmend über drahtlose Netzwerke, wie z.B. WLAN oder Bluetooth, bzw. über mobilfunkgestützte Datenverbindungen basierend auf GSM (Global System for Mobile communication) oder GPRS (General Packet Radio Services) nachgedacht [Witz04], [Walt04]. Auf diese Weise können mobile Endgeräte wie PDAs bzw. Mobilfunkgeräte als Feldbuswerkzeugplattform eingesetzt werden, die auf Grund ihres Massenproduktcharakters verhältnismäßig kostengünstig erhältlich sind. Schließlich kann auch das öffentliche Internet als Zubringerkommunikationssystem zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen dienen. Die Einzelheiten dieser Möglichkeit werden im folgenden Abschnitt ausführlich beschrieben.

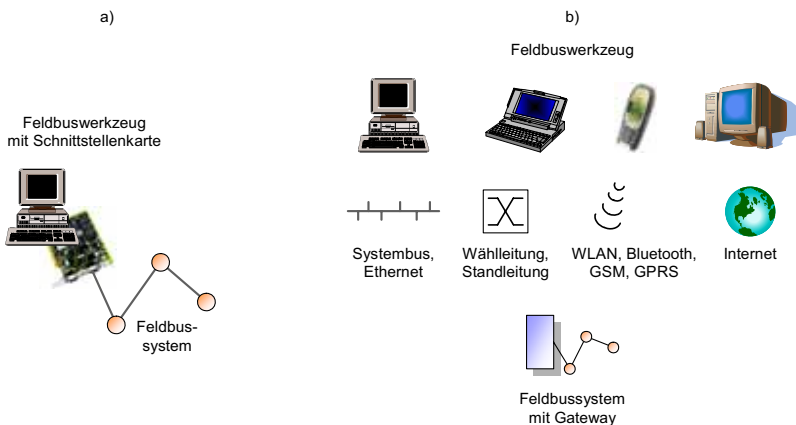


Abbildung 2.4: Direkter (a) und indirekter Zugang (b) von Feldbuswerkzeugen zu Feldbussystemen

2.3.2 Internetanbindung von Feldbussystemen

Während Feldbusse der Kommunikation in der Feldebene von Automatisierungssystemen dienen, ermöglicht das Internet die weltweite Kommunikation zwischen Computern bzw. ihren

Anwendern. Durch Kombination beider, d.h. mit der Internetanbindung von Feldbussystemen, kann eine weltweite Kommunikation zwischen Feldbussystemen und den Feldbuswerkzeugen der Anwender verwirklicht werden. Als Resultat ergeben sich eine Reihe von interessanten Vorteilen und Vereinfachungen bei Handhabung von Feldbussystemen:

- *Unbeschränkte Verfügbarkeit des Feldbuswerkzeugs:* Das Feldbuswerkzeug braucht nicht mehr auf dem Computer des Anwenders installiert zu werden. Stattdessen werden lediglich die Bordmittel benötigt, die heute auf so gut wie jeder Computerplattform standardmäßig vorhanden sind. Das Feldbuswerkzeug selbst wird auf einem Webserver im Internet bereitgestellt und kann bei Bedarf heruntergeladen und im Webbrowser ausgeführt werden. Alternativ können auch die vorhandenen Standard-Internetwerkzeuge für E-Mail (elektronische Post), FTP (Dateitransfer) oder Telnet (Fernbedienung auf Kommandozeilenebene) benutzt werden, um Interaktionen mit dem Feldbussystem abzuwickeln. Auf diese Weise kann das Feldbuswerkzeug auf nahezu jeder gängigen Computerplattform mit Internetzugang eingesetzt werden, ohne dass diese zuvor entsprechend vorbereitet oder eingerichtet werden muss.
- *Einfache Benutzbarkeit des Feldbuswerkzeugs:* Die Nutzung des Internets ist inzwischen in einem solchen Maß verbreitet, dass die Fähigkeit, damit umzugehen, fast ebenso zur Allgemeinbildung einer modernen Gesellschaft gehört wie Lesen und Schreiben. Infolgedessen macht die Abstützung auf bekannte und geläufige Internetwerkzeuge die Handhabung von Feldbussystemen einfacher und intuitiver. Der Einsatz von Spezialgeräten und -anwendungen, das Hinzuziehen von teurem Fachpersonal oder die Inkaufnahme kostspieliger Schulungs- und Einarbeitungszeiten können auf ein Minimum beschränkt oder gänzlich vermieden werden [Tauc01], [EbGö01].
- *Vertikale Integration von Feldbussystemen:* Da das Internet heute an nahezu jedem Büroarbeitsplatz verfügbar ist, bietet die Internetanbindung von Feldbussystemen gleichzeitig eine einfache Möglichkeit zur Realisierung der vertikalen Integration (vgl. 2.1.1 Kommunikation in der Prozess- und Betriebsebene). Auf diese Weise sind die kaufmännischen Geschäftsbereiche eines Unternehmens nicht länger auf regelmäßige Rückmeldungen aus der Produktion angewiesen. Stattdessen können sie von sich aus und zu beliebigen Zeitpunkten auf diejenigen Informationen in der Feldebene zugreifen, die sie im Rahmen ihrer Arbeitsabläufe benötigen. Infolgedessen verkürzen sich die Kommunikationswege und die anstehenden Aufgaben und Tätigkeiten können um ein Vielfaches effizienter erledigt werden.
- *Realisierung von Feldbus-Teleservices:* Dank der globalen Verfügbarkeit des Internets besteht die Möglichkeit, von nahezu jedem Ort der Welt aus und über beliebige Distanzen hinweg auf Feldbussysteme zuzugreifen. Damit lassen sich sog. Teleservices für Feldbussysteme leicht verwirklichen, so z.B. die Fernüberwachung und die Ferndiagnose durch Fernabfragen von Feldgerätevariablen und -parametern oder die Fernbedienung und die Fernwartung durch Setzen neuer Parameterwerte, Einspielen von Softwareaktualisierungen oder

Starten von Programmroutinen aus der Ferne. Hierdurch wird die Handhabung von Feldbussystemen in fast allen Bereichen wesentlich flexibler und effizienter. In der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie lassen sich so z.B. Systeme zur Fernüberwachung und -bedienung von Anlagenteilen realisieren, die umgangssprachlich gerne als „PC am Bett“ bezeichnet werden [Tauc01]. Der Betriebsleiter kann sich bei nächtlichen Störfällen einen Einblick in das aktuelle Geschehen verschaffen und die erforderlichen Maßnahmen mit dem Schichtpersonal abstimmen, ohne ins Werk fahren zu müssen. In der Fahrzeugtechnik wird die Ferndiagnose von elektronischen Steuergeräten in liegen gebliebenen Kraftfahrzeugen möglich [EbGö02]. Auf diese Weise kann mit der Fehlersuche bereits begonnen werden, während der Pannendienstleister noch unterwegs ist. Im Anschluss kann die Fehlerbehebung sehr gezielt und vor allem deutlich schneller durchgeführt werden, als dies gemäß herkömmlichem Procedere der Fall ist. Insgesamt betrachtet lässt sich sagen, dass durch den Einsatz von Teleservices die Qualität der Dienstleistungen im Umfeld von Feldbussystemen gesteigert und die dafür aufgewendeten Kosten gesenkt werden können, Untersuchungen zufolge sogar um bis zu 30% [Gröp02].

Trotz der viel versprechenden Chancen darf nicht vergessen werden, dass die Internetanbindung von Feldbussystemen auch einige Einschränkungen und Risiken in sich birgt, die berücksichtigt bzw. durch entsprechende Maßnahmen entschärft werden müssen:

- *Begrenzte Übertragungsgeschwindigkeit:* Bekanntermaßen ist die im Internet zur Verfügung stehende Bandbreite begrenzt, abhängig von der Art des Internetzugangs und überdies noch zeitlich variabel. Es muss daher damit gerechnet werden, dass Interaktionen mit Feldbussystemen über das Internet gewissen Latenzzeiten unterworfen sind. Meist bewegen sich diese in einer Größenordnung, die Eingriffe unter Echtzeitbedingungen nahezu gänzlich ausschließen. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Datenmengen, die bei der Handhabung von Feldbussystemen typischerweise anfallen, hinreichend klein sind. Infolgedessen können selbst bei einem Internetzugang über ein Analogmodem mit 56 kBit/s Antwortzeiten im Bereich von 500 ms bis 1 s erreicht werden [Eber02]. Dies ist für die meisten Teleservice-Anwendungen, die ohnehin lediglich per nachrichtenorientierte Kommunikation mit dem Feldbussystem in Kontakt treten und vergleichsweise geringe Ansprüche an das Echtzeitverhalten stellen, völlig ausreichend.
- *Unzufriedenstellender Zugriffsschutz:* Die Frage nach einem ausreichenden Schutz vor ungewollten oder unbefugten Zugriffen ist eines der Themen, die im Zusammenhang mit der Internetanbindung von Feldbus- bzw. Automatisierungssystemen grundsätzlich zur Sprache kommen. Zwar kann dieser Herausforderung durch Nutzung bestehender Authentifizierungs- und Verschlüsselungsverfahren aus anderen Bereichen oder mit Hilfe von Firewalls in begrenztem Umfang begegnet werden. Maßgeschneiderte Konzepte für die Zugriffssicherheit bei der Internetanbindung von Automatisierungssystemen sind derzeit jedoch ledig-

lich in ihren Grundzügen erkennbar [Naed03], [Gutb04] und bieten ein bedeutendes Feld für künftige Forschungsarbeiten.

Zur Verwirklichung der Internetanbindung von Feldbussystemen im Speziellen sowie auch der von Automatisierungssystemen im Allgemeinen können dieselben Lösungskonzepte herangezogen werden. Der Zugang zum Feldbussystem erfolgt über das Internet und unter Nutzung von Standard-Internetdiensten. An der Übergangsstelle zwischen Internet und Feldbussystem wird ein Gateway benötigt, das einerseits die jeweils verwendeten Internetdienste unterstützt und andererseits über eine den Erfordernissen entsprechende Schnittstelle zum Feldbussystem verfügt (vgl. Abbildung 2.5). Hierfür kann entweder auf PC-basierte Serverlösungen, wie z.B. Microsoft® Internet Information Server, Apache HTTP Server, usw., zurückgegriffen werden oder auch auf sog. eingebettete Webserver, die klein genug sind, um in mikrocontrollerbasierte Feldbussysteme integriert zu werden.



Abbildung 2.5: Zugang von Feldbuswerkzeugen zu Feldbussystemen unter Nutzung von Standard-Internetdiensten

Als Internetdienst wird in den häufigsten Fällen das WWW [Cai195] mit dem ihm zu Grunde liegenden HTTP-Protokoll [RFC2616] verwendet. Im einfachsten Fall besteht das Feldbuswerkzeug dann aus einer Reihe von Webseiten im HTML- [W3C99a] oder XML-Format [W3C04], die über das WWW abgerufen und im Webbrowser der Werkzeugplattform betrachtet werden können [Thei00], [EbGö01], [Jazd03]. Als Besonderheit können zum Zeitpunkt des Abrufs aktuelle Prozessvariablen und Parameter des Feldbussystems dynamisch in die Werkzeugwebseiten eingeblendet werden. Auch beeinflussende Eingriffe, wie z.B. das Verändern von Parametern oder das Ausführen von Programmroutinen im Feldbussystem, sind möglich. Eine Alternative hierzu bietet die Internetanbindung von Feldbussystemen mit Hilfe von XML-Messaging [Eber00], [WBjG01]. Die Prozessvariablen und Parameter des Feldbussystems sind in diesem Fall nicht mehr direkt in die Werkzeugwebseiten eingebettet. Stattdessen enthalten die Werkzeugwebseiten Skriptcode, der im Webbrowser ausgeführt wird. Dieser kommuniziert durch Austauschen von XML-Nachrichten über das WWW mit dem Feldbussystem und aktualisiert anschließend die in den Werkzeugwebseiten angezeigten Daten. Der Aufbau der XML-Anfrage- und -Antwortnachrichten orientiert sich an der jeweiligen Anwendung bzw. Anwendungsdomäne und legt fest, auf welche Prozessvariable, Parameter oder Programmfunktionen zugegriffen wird. Eine dritte Möglichkeit zur Internetanbindung von Feldbussystemen besteht in der Verwendung von sog. Webservices [Stro03], [KuWo03], die entfernte Prozeduraufrufe über das WWW ermöglichen. Letztere werden dabei in XML-Nachrichten verpackt, die in der standardi-

sierten, middlewareorientierten XML-Sprache SOAP (Simple Object Access Protocol) kodiert sind [W3C03a]. Daraufhin werden sie über das Internet zum Feldbussystem transportiert, um dort schließlich dekodiert und ausgeführt zu werden. Auf entsprechende Weise wird anschließend das Ergebnis der Prozeduraufrufe an das aufrufende Anwenderwerkzeug zurückgeleitet.

Abgesehen von den genannten WWW- bzw. HTTP-basierten Ansätzen sind viele Aktivitäten im Gange, um auch die anderen Standard-Internetdienste, wie z.B. FTP, E-Mail (SMTP bzw. POP3) oder Telnet, zur Internetanbindung von Feldbussystemen heranzuziehen [Walt02], [Buch01a]. In diesen Fällen können gewöhnliche FTP-Clients, E-Mail-Programme bzw. Telnet-Terminals als Anwenderwerkzeug eingesetzt werden.

2.4 Herstellerübergreifende Integrierbarkeit von Feldgeräten

Automatisierungssysteme besitzen im Allgemeinen einen sehr heterogenen Aufbau, d.h. sie setzen sich aus vielen Komponenten unterschiedlichen Ursprungs zusammen. So treten in großen Prozessleitsystemen der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie oft mehr als 10.000 binäre und analoge Ein- und Ausgangssignale auf. Deren Erfassung bzw. Bereitstellung macht typischerweise mehrere hundert unterschiedliche Feldgerätetypen von über 10 verschiedenen Herstellern erforderlich [HiLi97]. In der Fahrzeugtechnik herrschen ähnliche Verhältnisse. Moderne Personenkraftwagen sind mit nicht weniger als 80 Steuergeräten ausgestattet, die über Feldbusse miteinander vernetzt sind und von einer Vielzahl unterschiedlicher Zulieferer stammen [CZ03].

Damit trotz dieser enormen Vielfalt an Bestandteilen eine wirtschaftliche Nutzung der betreffenden Automatisierungssysteme möglich ist, müssen sich sämtliche eingesetzten Komponenten herstellerübergreifend integrieren lassen. Bezogen auf den Feldbusanteil von Automatisierungssystemen ergeben sich in diesem Zusammenhang folgende Anforderungen [HiLi97], [Reið02]:

- das einfache und schnelle Austauschen von Feldgeräten gegen vergleichbare Exemplare eines anderen Herstellers ohne Auswirkungen auf die Umgebung sowie
- das durchgängige und konsistente Projektieren, Inbetriebsetzen, Betreiben und Instandhalten von Feldgeräten verschiedener Hersteller mit Hilfe desselben Feldbuswerkzeugs.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine solche herstellerübergreifende Integrierbarkeit von Feldgeräten ist die Erfüllung der Qualitätsmerkmale Offenheit und Interoperabilität:

Offenheit: Die einem System oder Produkt zu Grunde liegenden Kommunikationsprotokolle und Programmierschnittstellen müssen öffentlich zugänglich und einsehbar sein, sodass es möglich ist, andere Systeme oder Produkte in entsprechender Weise auszulegen bzw. darauf abzustimmen [Tauc97], [SMB01].

Interoperabilität: Ein System oder Produkt ist in der Lage, mit anderen Systemen oder Produkten zusammenzuarbeiten, ohne dass hierzu ein besonderer Aufwand seitens des Benutzers erforderlich ist [Tauc97], [sWS03].

Zur Umsetzung dieser Qualitätsmerkmale müssen bei der Entwicklung von Feldbussystemen und -geräten geeignete Modelle und Vorgehensweisen angewendet werden. Im Falle der Offenheit ist dies das ISO/OSI-Referenzmodell, bei der Interoperabilität handelt es sich um die sog. Geräte- und Kommunikationsprofile. Beide werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

2.4.1 ISO/OSI-Referenzmodell

Das ISO/OSI-Referenzmodell (Open Systems Interconnection) [ISO7498], auch unter der Bezeichnung ISO/OSI-Schichtenmodell bekannt, ist ein abstraktes Architekturmodell für die Kommunikation zwischen offenen Computersystemen, die über ein physikalisches Übertragungsmedium miteinander verbunden sind (vgl. Abbildung 2.6). Es liefert somit ein allgemeingültiges Verständnis von Kommunikation und Offenheit gleichermaßen und ist weltweit anerkannt und gebräuchlich. Offene Systeme bestehen demnach zum einen aus der in ihnen ablaufenden Anwendung, die für die Datenverarbeitung zuständig ist und durch das ISO/OSI-Referenzmodell nicht näher beschrieben wird. Zum anderen besitzen sie ein Kommunikationssystem, das sämtliche Belange der Datenübertragung regelt und in sieben aufeinander aufbauende funktionale Schichten unterteilt ist (vgl. Tabelle 2.2).

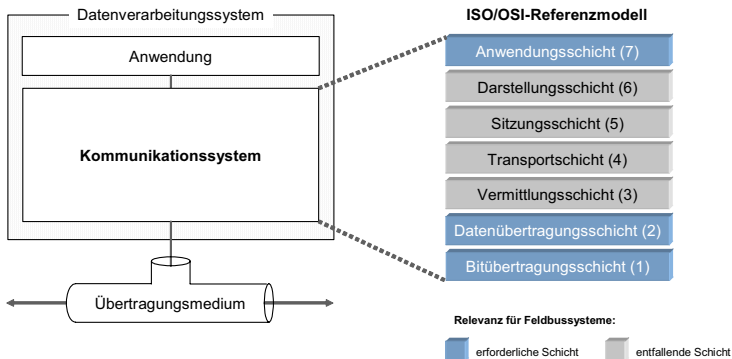


Abbildung 2.6: ISO/OSI-Referenzmodell für Kommunikationssysteme

Tabelle 2.2: Schichten und Aufgaben des ISO/OSI-Referenzmodells für Kommunikationssysteme

Name der Schicht	Aufgaben der Schicht
Anwendungsschicht (Application Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittstelle zum Anwendungsprogramm • Anwendungsspezifische Kommunikationsdienste • Aufbau, Bedeutung und Zweck der übertragenen Daten
Darstellungsschicht (Presentation Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Kodierung zur Darstellung der Daten während der Übertragung • Konvertierung der Daten aus/in andere Darstellungsformen
Sitzungsschicht (Session Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Verbindungsauf- und -abbau bei Sitzungsbeginn und -ende • Verwaltung von Sitzungsparametern, die während der gesamten Sitzung verfügbar bleiben müssen • Steuerung des Sitzungsablaufs
Transportschicht (Transport Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Segmentieren/Zusammensetzen großer Datenblöcke in/aus transportierbaren Einheiten • Fehlerkorrektur durch Übertragungswiederholung
Vermittlungsschicht (Network Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Aufteilung/Zusammenführen der Daten auf/von unterschiedlichen Übertragungswegen • logische Adressierung
Datenübertragungsschicht (Data Link Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • gesicherte Datenübertragung zwischen Systemen am gleichen Übertragungsabschnitt • Fehlererkennung • physikalische Adressierung • Vergabe der Zugriffsberechtigung auf das Übertragungsmedium
Bitübertragungsschicht (Physical Layer)	<ul style="list-style-type: none"> • Pegel und Modulationsverfahren auf dem Übertragungsmedium • Art des Übertragungsmediums und der Anschlussstecker

Die konkrete Realisierung der jeweiligen Schichten wird vom ISO/OSI-Referenzmodell nicht vorgegeben, d.h. es werden keine Kommunikationsdienste oder -protokolle spezifiziert. Stattdessen ist das ISO/OSI-Referenzmodell eher als eine Art Anforderungsbeschreibung zu verstehen, durch die festgelegt wird, welche grundsätzlichen Kommunikationsfunktionen in den einzelnen Schichten zu implementieren sind. Es dient als generisches Entwurfsmuster und gemeinsamer Ausgangspunkt für die Entwicklung beliebiger Kommunikationssysteme in der nachrichten und Informationstechnik. Auf diese Weise fördert es gleichzeitig die Offenheit der aus ihm hervorgehenden Kommunikationssysteme.

Abgesehen von einigen Ausnahmen fußen die meisten der heute verbreiteten Feldbussysteme – und damit auch die zugehörigen Feldgeräte und Feldbuswerkzeuge – auf dem ISO/OSI-

Referenzmodell und erfüllen so gesehen auch das Kriterium der Offenheit. Aus Effizienzgründen sind typischerweise lediglich die Schichten 1 (Physikalische Schicht) und 2 (Datenübertragungsschicht) und 7 (Anwendungsschicht) ausgeprägt (vgl. Abbildung 2.6) [Reiß02], [Buss96]. Bei der echtzeitbetonten, datenorientierten Nutzung sind sogar nur die Schichten 1 und 2 von Belang, erst für die komfortable, nachrichtenorientierte Kommunikation wird zusätzlich die Schicht 7 benötigt. Die übrigen Schichten sind zumeist nicht relevant, in Ausnahmefällen kann man die betreffenden Kommunikationsfunktionen als Ergänzungen der Schicht 7 wieder finden.

2.4.2 Kommunikations- und Geräteprofile

Die Offenheit von Systemen ist zwar eine notwendige, jedoch keineswegs hinreichende Voraussetzung für ihre herstellertübergreifende Integrierbarkeit von Feldgeräten. Zusätzlich muss auch die Bedingung der Interoperabilität erfüllt sein. Sie stellt eine von mehreren Kompatibilitätsstufen dar, anhand derer sich der Grad der Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Systemen bemessen lässt [DiSi01]. Interoperabilität ist dabei an die Bedingung geknüpft, dass die betreffenden Systeme in der Lage sind, die zwischen ihnen ausgetauschten Daten auf zutreffende Weise zu interpretieren und zu verarbeiten. Dies impliziert zunächst, dass die betroffenen Systeme dieselben Kommunikationsdienste unterstützen. Abgesehen davon ist es jedoch auch erforderlich, dass die Kommunikationsdienste von allen beteiligten Systemen auf dieselbe Art und Weise verwendet werden. Die Interoperabilität wirkt sich somit zum einen auf das Kommunikationssystem aus, zum anderen aber auch auf die in den Systemen ablaufende Anwendung. Mit anderen Worten, sie beeinflusst sowohl das Geschehen innerhalb der Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells als auch außerhalb davon.

Um die Interoperabilität von Feldgeräten sicherzustellen, werden in der Feldbustechnik sog. Profile eingesetzt. Den Ausgangspunkt bildet die Beobachtung, dass in bestimmten Klassen oder Typen von Feldgeräten stets ähnliche, manchmal sogar übereinstimmende Variablen, Parameter und Funktionen vorkommen. Unter der Maßgabe, dass alle Feldgeräte eines Typs nach außen stets dasselbe Verhalten aufweisen und auf dieselbe Weise ansprechbar sind, lässt sich die Zusammenarbeit von Feldgeräten untereinander bzw. zwischen Feldgeräten und Feldbuswerkzeugen mit verhältnismäßig geringem Aufwand verwirklichen. Aus diesem Grund werden die Charakteristika gängiger Feldgerätetypen mit Hilfe von Profilen verbindlich festgeschrieben [HHD95]. Beispiele hierfür sind Profile für Ein-/Ausgabemodule, Antriebssteuerungen oder Messgeräte und regelungstechnische Steuerungen [CiA00], [EN50325-4]. Im Allgemeinen bestehen Profile aus zwei Teilen, dem Kommunikations- und dem Geräteprofil.

Dabei legt ersteres die gemeinsamen kommunikationsspezifischen Belange von Feldgeräten eines bestimmten Typs fest. Dies sind im Wesentlichen die jeweils zu unterstützenden Kommunikationsdienste sowie deren Aufrufparameter und Rückgabewerte [Reiß02]. Beispielsweise muss für Temperatursensoren, die nur einen Mess- und einen Statuswert liefern, ein Dienst zum Lesen dieser Variablen definiert werden. Auf Dienste zum Schreiben von Parametern kann man hinge-

gen verzichten. Abgesehen davon müssen auch gewisse Kommunikationsparameter, so z.B. die bei der Datenübertragung verwendbaren Baudraten, vereinbart werden. Die im Kommunikationsprofil getroffenen Festlegungen betreffen somit in erster Linie die Anwendungsschicht, zum Teil aber auch die anderen Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells.

Das Geräteprofil bestimmt die anwendungsbezogenen Merkmale eines bestimmten Feldgerätyps. Es gibt die zu unterstützenden Variablen, Parameter und Funktionen vor, beschreibt deren Eigenschaften und Abhängigkeiten und besagt darüber hinaus, welche Kommunikationsdienste beim Zugriff auf die einzelnen Feldgerätedaten und -funktionen anzuwenden sind [DiSi01]. Da diese Art von Vereinbarungen deutlich über die vorhandenen sieben Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells hinausgeht, werden Geräteprofile manchmal auch als dessen achte Schicht betrachtet und mit dem Namen „User Layer“ bezeichnet.

Sobald mehrere Feldgeräte dasselbe Kommunikations- und Geräteprofil unterstützen, kann davon ausgegangen werden, dass sie bezüglich der darin festgelegten Eigenschaften und Verhaltensweisen identisch sind und das Kriterium der Interoperabilität erfüllen. Somit stellen Kommunikations- und Geräteprofile eine geeignete Maßnahme dar, um die herstellerübergreifende Integrier- und Austauschbarkeit von Feldgeräten zu ermöglichen.

2.5 Systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen

Es bleibt hervorzuheben, dass die bereits angesprochene Heterogenität der Automatisierungssysteme keineswegs darauf beschränkt ist, dass sich Feldgeräte unterschiedlicher Hersteller im Einsatz befinden. Vielmehr sind in vielen Automatisierungssystemen darüber hinaus auch unterschiedliche Arten von Feldbussystemen unter einen Dach vereinigt. In Personenkraftwagen neuerer Bauart werden beispielsweise ein schneller (Class C) und ein langsamer CAN-Bus (Class B) parallel verwendet. Ersterer dient zur Realisierung der Motor- und Getriebesteuerung, zweiterer steht für die Komfortfunktionen des Innenraums, wie z.B. elektrischer Fensterheber, Zentralverriegelung oder Sitzverstellung, zur Verfügung (vgl. Abbildung 2.7) [Thur02]. Daneben gibt es meist noch einen MOST-Bus (Media Oriented Systems Transport) [MOST03], der verschiedene Unterhaltungs- und Telematikgeräte, wie z.B. Radio, CD-Wechsler und Navigationssystem, miteinander vernetzt. In naher Zukunft werden außerdem noch zeitgesteuerte Feldbussysteme Einzug in die Fahrzeugtechnik halten, zu den möglichen Kandidaten zählen der TTP/C-Bus (Time-Triggered Protocol) [TTP03] und der FlexRay-Bus [Flex04]. Diese werden für sicherheitskritische Fahrdynamikfunktionen, so z.B. das elektronische Lenken (*Steer-by-Wire*) und Bremsen (*Brake-by-Wire*), benötigt.

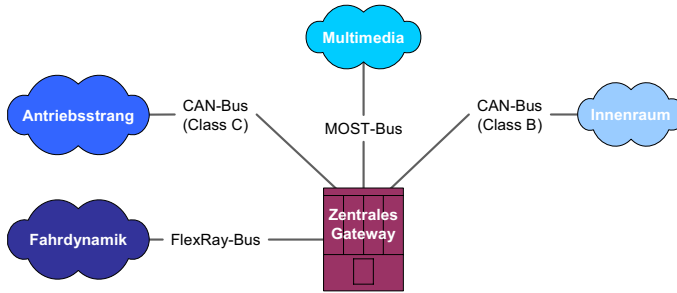


Abbildung 2.7: Feldbussysteme in Kraftfahrzeugen

Abgesehen hiervon wird es zunehmend zur Entwicklung und Verbreitung von Internet-basierten Feldbuswerkzeugen kommen, die über große Distanzen auf Feldbussysteme zugreifen. Auf Grund der zahlreichen, neuen Möglichkeiten, die sich im Zuge dessen ergeben, wird es gleichzeitig auch zu einer Verschiebung der Zielsetzung beim Umgang mit Feldbussystemen kommen. Es wird nicht mehr um die Handhabung bestimmter Feldgeräte in einzelnen Feldbussystemen gehen. Stattdessen wird die Aufgabe oder Dienstleistung im Vordergrund stehen, die an einer großen Zahl von Automatisierungssystemen mit beliebiger geografischer Verteilung zu erbringen ist. So könnte sich beispielsweise eines Tages eine Firma darauf spezialisieren, die Produktionsanlagen ihrer Kunden über das Internet auf die Einhaltung der erforderlichen Umweltauflagen zu überprüfen und ggf. individuell abgestimmte Maßnahmenkataloge zu erstellen. Zwingende Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die gewünschte Aufgabe oder Dienstleistung auch dann durchgeführt werden kann, wenn den betreffenden Automatisierungssystemen unterschiedliche Feldbussysteme zu Grunde liegen bzw. wenn gar nicht erst bekannt ist, welche Feldbusarten dort jeweils verwendet werden.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass mit der herstellerübergreifenden Integration von Feldgeräten allein keine ausreichende Basis für die wirtschaftliche Handhabung von Automatisierungssystemen geschaffen wird. Zusätzlich muss auch sichergestellt sein, dass Feldbussysteme und -werkzeuge systemübergreifend, d.h. unabhängig von der Art des jeweiligen Feldbusses, integrierbar sind.

Im Einzelnen ergeben sich dabei folgende Anforderungen:

- dasselbe Feldbuswerkzeug muss sich für die Handhabung von Feldgeräten in unterschiedlichen Feldbussystemen einsetzen lassen und
- die Handhabung desselben Feldbussystems einschließlich seiner Feldgeräte muss mit unterschiedlichen Feldbuswerkzeugen durchgeführt werden können.

2.5.1 Voraussetzungen für die systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen

Grundsätzlich gelten für die systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen dieselben Voraussetzungen wie bei der herstellerübergreifenden Integration von Feldgeräten: die Qualitätsmerkmale der Offenheit und der Interoperabilität müssen gegeben sein. Jedoch beziehen diese sich hier nicht mehr auf einzelne Feldgeräte innerhalb eines Feldbussystems. Stattdessen betreffen sie das Feldbussystem als Ganzes gesehen, das Feldbuswerkzeug sowie auch das Zubringerkommunikationssystem, über das beide Seiten miteinander in Verbindung stehen (vgl. 2.3.1 Feldbuswerkzeuge).

Einmal mehr erweist sich das Kriterium der Offenheit als unproblematisch, denn die meisten Feldbussysteme und -werkzeuge, die heute von Bedeutung sind, basieren auf offen gelegten Spezifikationen (vgl. 2.4.1 ISO/OSI-Referenzmodell). Gleiches gilt für die lokalen Netzwerke und die Kommunikationsprotokolle des Internets, die als Zubringerkommunikationssysteme genutzt werden, da anlässlich ihrer Entstehung die Idee der Offenheit überhaupt geboren wurde.

Die Frage der Interoperabilität ist hingegen nicht so leicht zu beantworten. Um zusammenarbeiten zu können, müssen das Feldbussystem und das Feldbuswerkzeug übereinstimmende Kommunikationsdienste bzw. Anwendungsschichten verwenden und auch das Zubringerkommunikationssystem muss sie unterstützen. Darüber hinaus müssen Feldbussystem und -werkzeug die Kommunikationsdienste auf dieselbe Art und Weise benutzen, d.h. beide Seiten müssen dieselben Geräteprofile kennen und sich danach richten.

Bisher definiert jede Feldbusart ihre eigene Anwendungsschicht sowie individuelle Geräteprofile, beide können von Fall zu Fall deutliche Unterschiede aufweisen. Die Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen ist folglich immer nur dann gegeben, wenn beide Seiten derselben Feldbusart angehören. Für den hier betrachteten Fall der systemübergreifenden Integrierbarkeit, die eine Zusammenarbeit von *beliebigen* Feldbussystemen und -werkzeugen möglich machen soll, ist diese Form der Interoperabilität allerdings unzureichend. Es müsste vielmehr sichergestellt werden, dass *alle* Feldbussysteme und -werkzeuge die *gleiche* Anwendungsschicht und *dieselben* Geräteprofile benutzen. Darüber hinaus müsste die betreffende Anwendungsschicht auch in den zwischen liegenden Zubringerkommunikationssystemen verfügbar sein.

Damit wird deutlich, dass die große Vielfalt und Uneinheitlichkeit der heute verbreiteten Anwendungsschichten und Geräteprofile der systemübergreifenden Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen abträglich ist und streng genommen drastisch reduziert werden müsste. Um abschätzen zu können, inwieweit ein solches Vorhaben realistisch ist, werden im Folgenden einige typische Anwendungsschichten und Geräteprofile vorgestellt, die in heutigen Feldbussystemen bzw. Zubringerkommunikationssystemen Verwendung finden. Anschließend wird untersucht, welche von ihnen die günstigsten Voraussetzungen für die systemübergreifende

Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen bietet und welche ihrer Eigenschaften hierfür besonders wichtig sind.

2.5.2 Typische Anwendungsschichten und Geräteprofile

Nachstehend werden zunächst diejenigen Anwendungsschichten und Geräteprofile näher erläutert, die als Grundlage für die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen und prototypischen Implementierungen dienten. Anschließend werden weitere, exemplarische Anwendungsschichten beschrieben, ohne jedoch dabei einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben.

2.5.2.1 CANopen

CANopen ist eine feldbusspezifische Anwendungsschicht für den CAN-Bus und definiert gleichzeitig eine Reihe von Geräteprofilen [EtSu93], [CiA00], [EN50325-4]. Es wird sowohl der Datenaustausch von CANopen-Geräten untereinander als auch der zwischen CANopen-Geräten und CANopen-Werkzeugen unterstützt. Die über den CAN-Bus auszutauschenden Daten werden als Applikationsobjekte bezeichnet. Jedes CANopen-Gerät besitzt ein Objektverzeichnis, in dem es die für sich relevanten Datentypen und Applikationsobjekte verwaltet und der geräteeigenen Applikation zugänglich macht (vgl. Abbildung 2.8). Applikationsobjekte können entweder einfache Variablen mit definierten Datentypen sein (z.B. Integer16, Real32, Visible_String, usw.) oder Strukturen, die sich aus mehreren Feldern zusammensetzen. Erstere belegen genau einen Eintrag (Index) im Objektverzeichnis, letztere sind mit einem Haupteintrag (Index) und mehreren Untereinträgen (Subindices) vertreten.

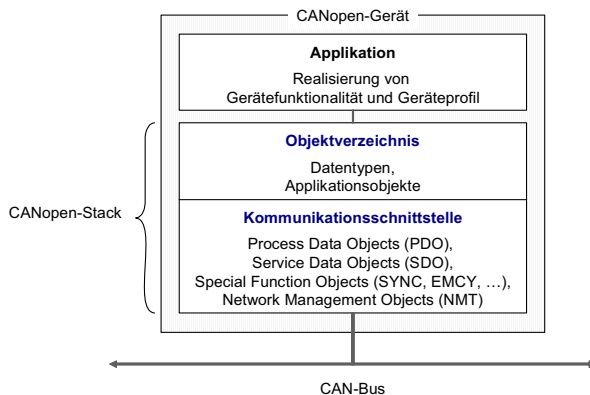


Abbildung 2.8: Systemarchitektur eines CANopen-Geräts

Für die Übertragung der Applikationsobjekte über den CAN-Bus sind entsprechende Kommunikationsdienste, auch Kommunikationsobjekte genannt, vorgesehen (vgl. Abbildung 2.8). Die

wichtigsten von ihnen sind die PDO-Dienste (Process Data Object) und die SDO-Dienste (Service Data Object). Die PDO-Kommunikation läuft nach dem Producer/Consumer-Prinzip ab und ermöglicht den schnellen, zyklischen Transfer kleinerer Applikationsobjekte zwischen CANopen-Geräten. Die SDO-Kommunikation ist hingegen Client/Server-basiert, erlaubt den segmentierten Transfer größerer Applikationsobjekte und kann sowohl zwischen CANopen-Geräten als auch zwischen CANopen-Geräten und CANopen-Werkzeugen eingesetzt werden. Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer Kommunikationsdienste, unter anderem für die Netzwerksynchronisation, die Übermittlung von Alarmmeldungen und das Netzwerkmanagement.

Abgesehen hiervon definiert CANopen auch einige Geräteprofile für häufig vorkommende Gerätetypen, darunter z.B. E/A-Geräte, Antriebssteuerungen, Mensch-Maschine-Schnittstellen, Messgeräte und regelungstechnische Steuerungen, Kodiergeräte oder Eisenbahntürsteuerungen. In diesen Geräteprofilen werden bestimmte Applikationsobjekte vereinbart, die von CANopen-Geräten des betreffenden Typs unterstützt werden müssen. Gleichzeitig ist für diese Applikationsobjekte ein fester Platz im Objektverzeichnis vorgesehen, sodass sie in allen Feldgeräten desselben Typs auf die gleiche Weise zugänglich sind. Nichtsdestotrotz steht weiterhin ein Teil des Objektverzeichnisses frei zur Verfügung, in dem zusätzliche, herstellerspezifische Applikationsobjekte abgelegt werden können.

2.5.2.2 Interface File System (IFS)

IFS ist eine Anwendungsschicht, die speziell für den zeitgesteuerten Feldbus TTP/A entwickelt wurde [TTP00]. Dabei wird ein TTP/A-System (*Cluster*) mit allen seinen Feldgeräten (*Nodes*) als verteiltes Dateisystem betrachtet (vgl. Abbildung 2.9). Jede Node eines Clusters kann über bis zu 64 Files verfügen. Jedes File kann wiederum bis zu 256 *Records* enthalten, wobei ein Record aus maximal 4 Datenbytes besteht. Das IFS fungiert als Quelle und Ziel für den zyklischen Datenaustausch zwischen den Nodes eines Clusters. Parallel dazu unterstützt es den sporadischen Zugriff auf Nodes mit Hilfe von TTP/A-Werkzeugen.

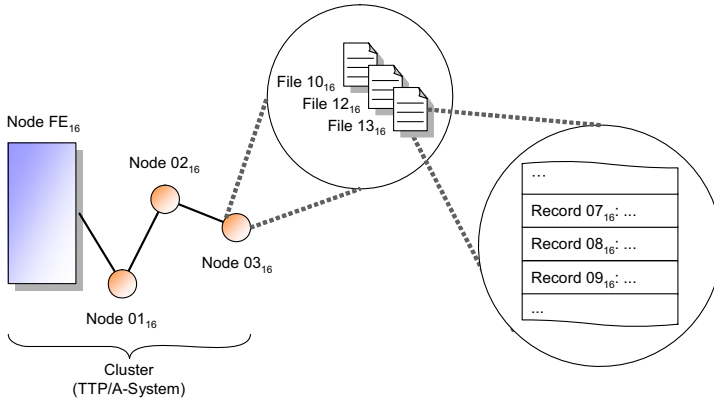


Abbildung 2.9: Aufbau des Interface File Systems (IFS)

Insgesamt sind drei Kommunikationsdienste (*Operations*) definiert, mit denen der Datenbestand des IFS eingesehen bzw. verändert werden kann: *Read* und *Write* zum Lesen bzw. Schreiben von Records sowie *Execute* zum Ausführen von Records. Die Verwendung dieser Operations erfolgt dabei für lokale Records, die zu derjenigen Node gehören, auf der die Operation initiiert wurde, sowie auch für entfernte Records, die sich auf den anderen Nodes eines Clusters befinden, in exakt derselben Weise. Im Gegensatz zur Read- und Write-Operation, deren Zweck offensichtlich ist, gibt es für die Execute-Operation keine allgemein festgelegte Wirkungsweise. Vielmehr kann bei der Entwicklung von TTP/A-Systemen für jede Node und für jeden Record individuell entschieden werden, ob diese Operation unterstützt werden soll und was infolgedessen zu geschehen hat.

2.5.2.3 Keyword Protocol 2000 (KWP2000)

Das KWP2000 ist ein herstellerübergreifender, internationaler Standard zur Diagnose von elektronischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen [ISO15765]. Bei Letzteren handelt es sich um mikrocontrollerbasierte Funktionseinheiten, die zur Steuerung und Regelung von Fahrzeugbaugruppen und Fahrfunktionen eingesetzt werden. Es gibt sie in einer Vielzahl unterschiedlicher Ausprägungen, unter anderem als Motor- oder Getriebesteuergeräte, Türsteuergeräte, Sitzsteuergeräte oder Airbag-Steuergeräte. In der Regel sind die Steuergeräte eines Kraftfahrzeugs über einen oder mehrere CAN-Busse miteinander vernetzt. Zur Diagnose wird ein entsprechendes Softwarewerkzeug – der sog. Diagnosetester – verwendet. Die Verbindung des Diagnosetesters mit dem zu untersuchenden Steuergerät erfolgt entweder über den CAN-Bus oder über eine separate Punkt-zu-Punkt-Verbindung, die typischerweise in Form einer ISO K-Leitung [ISO14230] vorliegt.

Der KWP2000-Standard gibt eine Reihe von Kommunikationsdiensten vor, mit Hilfe derer die Steuergerätediagnose und der dazu erforderliche Datenaustausch zwischen Diagnosetester und Steuergerät abgewickelt werden kann. Neben einigen eher allgemein gehaltenen Kommunikationsdiensten zum Lesen und Schreiben von Diagnosedatensätzen (*Records*), Übertragen größerer Datenblöcke und Ausführen von Programmroutinen sind auch verschiedene fahrzeugspezifische Kommunikationsdienste vorgesehen. Dazu zählen unter anderem das Lesen der Steuergeräteidentifikation, das Zurücksetzen eines Steuergeräts sowie das Auslesen und Verwalten des steuergeräteinternen Fehlerspeichers. KWP2000 stellt somit eine domänenspezifische Anwendungsschicht zur Diagnose von Fahrzeugelektronik dar, die bedarfsweise entweder über den CAN-Bus oder über die serielle ISO K-Leitung gefahren werden kann.

2.5.2.4 Weitere Konzepte

Manufacturing Machine Specification (MMS)

MMS ist die Anwendungsschicht des Kommunikationssystems MAP (Manufacturing Automation Protocol). Letzteres geht auf eine Initiative von General Motors im Jahre 1980 zurück und wurde später als internationaler Standard etabliert [Reiß02], [Buss96], [ISO9506]. MAP ist kein Feldbussystem im engeren Sinne, sondern eine Kommunikationsinfrastruktur für Automatisierungssysteme insgesamt. Sein primärer Anwendungsbereich ist die Fertigungstechnik.

MMS ist eine sehr universelle Anwendungsschicht. Sie deckt die gesamte Vielfalt der Kommunikationsdienste ab, die in industriellen Produktionsprozessen gebräuchlich sind. Auf diese Weise lässt sie sich sowohl für Automatisierungsgeräte unterschiedlicher Hersteller verwenden als auch für verschiedene Arten von Automatisierungsgeräten, wie z.B. Roboter, CNC-Maschinen oder SPS-Steuerungen. Allerdings ist MMS infolgedessen sehr umfangreich, insgesamt sind 86 verschiedene Kommunikationsdienste vorgesehen, die in 10 funktionale Gruppen untergliedert sind. Abgesehen vom breit gefächerten Spektrum an Kommunikationsdiensten zeigt sich die Vielseitigkeit von MMS noch in einem weiteren Punkt. So ist MMS keineswegs ausschließlich an MAP gebunden, sondern kann auch in anderen Kommunikationssystemen, wie z.B. TCP/IP, benutzt werden. Dies führte dazu, dass MMS wiederholt als Grundlage zur Definition von Feldbusanwendungsschichten herangezogen wurde, unter anderem für PROFIBUS/FMS (Fieldbus Message Specification), WorldFIP/SUB-MMS, Foundation Fieldbus/FMS, CAN/CMS (CAN-based Message Specification) und Interbus/PMS (Peripherals Message Specification) [Reiß02].

OLE for Process Control (OPC)

Hinter OPC verbirgt sich eine ganze Kollektion von Anwendungsschichten für die Kommunikation zwischen verteilten Automatisierungssystemen und -anwendungen [IwLa01], [OPC98]. Die Definition und die Pflege von OPC unterliegen einem herstellerübergreifenden Konsortium, der OPC-Foundation, in dem viele namhafte Automatisierungstechnikhersteller vertreten sind. Ursprünglich stützte sich OPC ausschließlich auf die Komponententechnologie COM (Common

Object Model) und das darin enthaltene Kommunikationssystem DCOM (Distributed COM). COM erlaubt die Interaktion zwischen eigenständigen Windows-Anwendungen auf derselben Computerplattform, DCOM befähigt sie zur Kommunikation über ein lokales Netzwerk unter Verwendung entfernter Prozeduraufrufe [Roge97]. Als Alternative hierzu kann die OPC-Kommunikation seit Kurzem jedoch auch per XML-Messaging, d.h. durch Übertragung von XML-Nachrichten, oder mit Webservices erfolgen. Für den Einsatz in Feldbussystemen selbst kommt OPC weniger in Frage. Sein Anwendungsbereich zielt eher auf die Prozess- und Betriebsebene von Automatisierungssystemen ab. Insofern spielt OPC als Zubringerkommunikationssystem, d.h. bei der Kommunikation zwischen Feldbus-Gateways und -werkzeugen, eine wichtige Rolle.

Die von OPC definierten Anwendungsschichten dienen in erster Linie zur Erfassung und Anzeige von Prozessdaten aus Automatisierungssystemen (OPC DA) sowie zum Austauschen von Prozessdaten zwischen verschiedenen Subsystemen innerhalb davon (OPC DX). Darüber hinaus unterstützt OPC die Behandlung von Alarmen und Ereignissen (OPC AE), den Zugriff auf historische Daten (OPC HDA) und andere. Die OPC-Anwendungsschichten sind durchweg objektorientiert aufgebaut. Anstelle von Kommunikationsdiensten im klassischen Sinne definieren sie problemorientierte Schnittstellen, die aus Methoden und Eigenschaften zusammengesetzt sind und mit entfernten Prozeduraufrufen angesprochen werden können. Automatisierungsgeräte, die über OPC angesprochen werden können, implementieren einen sog. OPC-Server. Darin werden sämtliche von außen zugängliche Daten und Funktionen des Automatisierungsgeräts auf entsprechende OPC-Schnittstellen abgebildet. Softwarewerkzeuge, die OPC-basiert auf Automatisierungssysteme zugreifen, benutzen hierfür einen sog. OPC-Client.

Aachener Prozessleittechnik/Kommunikationssystem (ACPLT/KS)

ACPLT/KS ist ein Kommunikationssystem für die Automatisierungstechnik mit einer objektorientierten Anwendungsschicht. Es bildet den Grundpfeiler des Infrastrukturmodells ACPLT, das an der RWTH Aachen entwickelt wurde und eine objektorientierte Entwicklung von Softwarekomponenten und -anwendungen für verteilte Automatisierungssysteme ermöglicht [AIMe99]. ACPLT/KS arbeitet mit entfernten Prozeduraufrufen auf der Basis von ONC RPC (Open Network Computing Remote Procedure Call) [RFC1831], die in TCP/IP-basierten, lokalen Netzen übertragen werden. Einmal mehr handelt es sich um ein Kommunikationssystem, das für die Prozess- und Betriebsebene von Automatisierungssystemen prädestiniert ist und als Zubringerkommunikationssystem für Feldbusse mitbenutzt werden kann.

Durch seinen objektorientierten Charakter und den weitgehend ähnlichen Anwendungsbereich bestehen zahlreiche Parallelen zwischen ACPLT/KS und OPC. Jedoch liegt APCLT/KS ein deutlich flexibleres und semantisch besser durchdachtes Objektmodellkonzept zu Grunde. Statt die Schnittstellen und Beziehungen der Objekte im Automatisierungssystem fest vorzugeben, definiert ACPLT/KS lediglich abstrakte Schnittstellen und Beziehungen (Meta-

Objektmodellebene). Die konkreten Objekttypen und Beziehungen für ein bestimmtes Automatisierungssystem (Objektmodellebene) werden daraus abgeleitet und lassen sich anschließend den jeweiligen Erfordernissen nach ausgestalten. Abgesehen vom Zugriff auf die Methoden und Eigenschaften der Objekte eines Automatisierungssystems kann mittels ACPLT/KS auch erkundet werden, welche Objekte darin überhaupt vorkommen und wie sie miteinander in Beziehung stehen. Abgesehen davon ist es möglich, zur Laufzeit neue Objekte und Beziehungen hinzuzufügen oder bestehende zu entfernen.

2.5.3 Bewertung und Vergleich der Anwendungsschichten und Geräteprofile

2.5.3.1 Kriterien und Bewertung

Die Bewertung der vorstehend beschriebenen Anwendungsschichten und Geräteprofile erfolgt auf Grundlage von Kriterien, mit denen sich ihre Handhabbarkeit durch den Anwender bemessen lässt. Im Folgenden werden die Bewertungskriterien jeweils kurz erläutert und auf die verschiedenen Anwendungsschichten und Geräteprofile angewendet.

Problemnähe

Das Kriterium der Problemnähe betrachtet, inwieweit die tatsächlichen Aufgaben und Tätigkeiten, die der Anwender im Umgang mit dem Feldbussystem zu erledigen hat, wiedergespiegelt werden. Dies ist daran zu erkennen, dass die Kommunikationsdienste und Datenobjekte einer Anwendungsschicht bzw. eines Geräteprofils sehr konkret ausgeprägt sind und mehr oder weniger direkt mit den vom Anwender benötigten Anwendungsfällen übereinstimmen (z.B. Seriennummer auslesen).

Weder CANopen und IFS noch MMS stellen besonders problemnahe Anwendungsschichten dar. Ihre Kommunikationsdienste sind eher allgemein gehalten, um auf möglichst viele verschiedene Feldgeräte – und im Falle von MMS auch auf unterschiedliche Feldbussysteme – anwendbar zu sein. Demgegenüber orientiert sich die Anwendungsschicht KWP2000 an den spezifischen Gepflogenheiten der Fahrzeugtechnik. Ihre Diagnosedienste decken relativ klar umrissene Anwendungsfälle ab (z.B. „ECUReset“ zum Zurücksetzen von Kfz-Steuergeräten) und können somit problemnah verwendet werden. Ähnliches gilt für die Geräteprofile, die genau die Datenobjekte der durch sie repräsentierten Feldgerätetypen wiedergeben. Bei den objektorientierten Anwendungsschichten kann von Problemnähe dagegen keine Rede sein. OPC ist für die Anwendung in der gesamten Automatisierungstechnik ausgelegt und ACPLT/KS definiert lediglich ein abstraktes Metamodell zur Ableitung konkreter Anwendungsschichten. Beide sehen dementsprechend allgemeine bzw. abstrakte Datenobjekte und Operationen vor.

Überschaubarkeit

Das Kriterium der Überschaubarkeit zielt auf einen möglichst geringen Aufwand bei der Einarbeitung und beim Einsatz einer Anwendungsschicht bzw. eines Geräteprofils ab. Dazu muss der Umfang der Kommunikationsdienste und Datenobjekte auf ein sinnvolles Maß beschränkt bleiben, außerdem müssen der jeweilige Zweck sowie die gegenseitigen Abhängigkeiten leicht zu erkennen sein.

Obwohl die Anzahl der Kommunikationsdienste in der Anwendungsschicht CANopen nicht sehr hoch ist, können sie sehr flexibel eingesetzt werden und erlauben den Aufbau ausgeklügelter Kommunikationsbeziehungen. Dies geht auf Kosten der Überschaubarkeit, da der Beherrschung dieser Mechanismen eine gewisse Eingewöhnungszeit vorausgeht. Bei der Anwendungsschicht IFS wurde dagegen der Aspekt der Einfachheit bewusst in den Vordergrund gestellt, bei lediglich drei Kommunikationsdiensten und Datenobjekttypen bietet sie eine hervorragende Überschaubarkeit. Gleiches gilt für die Anwendungsschicht KWP2000, deren Diagnosedienste zahlenmäßig begrenzt und auf Grund ihres Anwendungsbezugs leicht verständlich sind. Auf die Anwendungsschicht MMS trifft wiederum das Gegenteil zu, ihre Komplexität ist sogar derart hoch, dass immer nur Untermengen von ihr (z.B. PROFIBUS/FMS) tatsächlich eingesetzt wurden, sie selbst aber praktisch nie [Reiß02]. Geräteprofile sowie die objektorientierten Anwendungsschichten OPC und ACPLT/KS sind allesamt gut überschaubar. Erstere brauchen lediglich die Funktionalität eines einzelnen Feldgerätes wiederzugeben, im anderen Fall wird die Komplexität infolge des hohen Verallgemeinerungs- bzw. Abstraktionsgrads reduziert.

Universelle Anwendbarkeit

Das Kriterium der universellen Anwendbarkeit bemisst, in welchem Umfang sich eine Anwendungsschicht bzw. ein Geräteprofil für unterschiedliche Feldbussysteme und -werkzeuge sowie die damit verbundenen Aufgaben und Tätigkeiten wieder verwenden lässt. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist zum einen eine weitgehende Verallgemeinerung der Kommunikationsdienste und Datenobjekte, sodass sie für möglichst viele verschiedene Anwendungsfälle geeignet sind. Zum anderen muss eine Anwendungsschicht so ausgelegt sein, dass sie sich unabhängig von den spezifischen Kommunikationsmechanismen der verschiedenen Feldbusse und Zubringerkommunikationssysteme einsetzen lässt und nicht an ein bestimmtes Kommunikationssystem gebunden ist.

Die Anwendungsschichten CANopen und IFS sind jeweils nur für einen bestimmten Feldbus – nämlich CAN bzw. TTP/A – vorgesehen und verfügbar. Die Anwendungsschicht KWP2000 lässt sich zwar in verschiedenen Feldbussystemen wieder verwenden – unter anderem auf der ISO K-Leitung und dem CAN-Bus – allerdings ist das Anwendungsfeld auf die Diagnose von Kfz-Steuergeräten eingegrenzt. Keine der drei Anwendungsschichten erfüllt somit das Kriterium der universellen Anwendbarkeit. Anders verhält es sich mit der Anwendungsschicht MMS, sie wurde gezielt auf universelle Anwendbarkeit hin ausgelegt. Geräteprofile wiederum sind in ihrer

Anwendbarkeit eingeschränkt. Sie lassen sich nur für einen bestimmten Feldgerätetyp und oft auch nur in einem bestimmten Feldbussystem verwenden. Die objektorientierten Anwendungsschichten OPC und ACPLT/KS sind dank ihrer Allgemeinheit bzw. Abstraktion in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen einsetzbar. Allerdings setzen sie Kommunikationssysteme voraus, die entfernte Prozeduraufrufe unterstützen. Letztere sind in Zubringerkommunikationssystemen meist problemlos realisierbar, in Feldbussystemen hingegen kaum. Damit sind auch die objektorientierten Anwendungsschichten nicht uneingeschränkt anwendbar.

2.5.3.2 Vergleich und Folgerung

In Tabelle 2.3 werden die oben beschriebenen Anwendungsschichten und Geräteprofile einander gegenübergestellt und bezüglich der aufgestellten Handhabbarkeitskriterien verglichen. Dabei steht „+“ für die gute Erfüllung des jeweiligen Handhabbarkeitskriteriums, „-“ wird gesetzt, falls das Gegenteil zutrifft.

Tabelle 2.3: Vergleich existierender Anwendungsschichten und Geräteprofile

	Problem- nähe	Überschau- barkeit	Universelle Anwendbarkeit
Feldbusspezifische Anwendungsschichten (z.B. CANopen, IFS)	-	unterschiedlich	-
Domänenspezifische Anwendungsschichten (z.B. KWP2000)	+	+	-
Universelle Anwendungsschichten (z.B. MMS)	-	-	+
Geräteprofile (z.B. CANopen E/A-Geräte)	+	+	-
Objektorientierte Anwendungsschichten (z.B. OPC, ACPLT/KS)	-	+	-

Der Vergleich in Tabelle 2.3 zeigt, dass es weder Anwendungsschichten noch Geräteprofile gibt, die alle Handhabbarkeitskriterien gleichzeitig erfüllen. Auch lässt sich erkennen, dass sich die Handhabungskriterien gegenseitig ausschließen. Beispielsweise sind universell anwendbare Anwendungsschichten wie MMS durch mangelnde Problemnähe und eine schlechte Überschaubarkeit gekennzeichnet, wird hingegen wie bei KWP2000 auf Problemnähe und Überschaubarkeit Wert gelegt, so blüßt man die universelle Anwendbarkeit ein, usw.

Vor diesem Hintergrund wird zum einen deutlich, dass sich keine der existierenden Anwendungsschichten und Geräteprofile als alleinültige Grundlage für die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen etablieren lässt, ohne gleichzeitig auf einen oder mehrere Handhabungsvorteile verzichten zu müssen. Zum anderen sind Versuche, neue

Anwendungsschichten und Geräteprofile ohne diese Einschränkung zu finden, angesichts der Widersprüchlichkeit der Handhabungskriterien wenig Erfolg versprechend. Letztendlich liegt damit die Vermutung nahe, dass eine Vereinheitlichung der Anwendungsschichten und Geräteprofile schlichtweg nicht möglich ist und sich das Ziel der systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen auf diesem Wege nicht erreichen lässt.

In diesem Kapitel wurden die für die vorliegende Arbeit relevanten Grundlagen der Feldbus-technik zusammengetragen. Dabei hat sich herausgestellt, dass Feldbusse einen wichtigen Beitrag zur Kommunikation in Automatisierungssystemen leisten, auf Grund ihrer großen Vielfalt allerdings nicht immer ganz einfach zu handhaben sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn Anwender mit mehreren unterschiedlichen Feldbussystemen gleichzeitig umzugehen haben. Nicht selten müssen sie in solchen Fällen verschiedene feldbusspezifische Softwarewerkzeuge benutzen, obwohl stets dieselben Aufgaben bzw. Tätigkeiten durchzuführen sind. Um diesem Missstand entgegenzuwirken, muss die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen sichergestellt werden. Wie jedoch die Untersuchungen dieses Kapitels gezeigt haben, konnte genau dies bis heute nicht verwirklicht werden, da die hierfür erforderliche Voraussetzung, eine Vereinheitlichung der Feldbusanwendungsschichten und Geräteprofile, nicht machbar erscheint. Um die Ursachen dieser Problematik besser zu verstehen, wird im folgenden Kapitel die Essenz dessen in den Mittelpunkt gerückt, worauf es dem Anwender bei der Handhabung von Feldbussystemen eigentlich ankommt: Informationen über Feldbussysteme bzw. deren Arbeitsweisen.

3 Grundlagen zum Begriff der Information

Personen, die Feldbuswerkzeuge nutzen und auf Feldgeräte wie Sensoren und Aktoren zugreifen, tun dies in der Regel nicht, weil sie am Feldbussystem an sich interessiert sind. Primär geht es um das Automatisierungssystem als Ganzes und die Aufgaben, die es zu erfüllen hat. Feldbussysteme und -werkzeuge dienen dabei als Mittel und Weg, um sich ein Bild von Zustand und Verhalten des Automatisierungssystems zu machen oder diese zu beeinflussen. Mit anderen Worten, die Feldbustechnik bietet (unter anderem) eine Möglichkeit zur Gewinnung von Informationen aus dem Automatisierungssystem über seine Arbeitsweise bzw. zur Weitergabe von Informationen an das Automatisierungssystem, um auf seine Arbeitsweise einzuwirken. Diese Informationen sind der eigentliche Wert, den der Einsatz von Feldbuswerkzeugen und der Zugriff auf Feldbussysteme letztendlich hervorbringt. Mehr noch, sie sind nicht nur das Ergebnis, sondern bilden gleichzeitig auch den Ausgangspunkt für die Handhabung von Feldbussystemen und -werkzeugen. Um diesen Begebenheiten auf den Grund zu gehen, wird in diesem Kapitel das Wesen der Information näher untersucht. Die hieraus gewonnenen Erkenntnisse werden im nächsten Kapitel dazu dienen, um nach der Ursache für das Problem der systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen zu suchen.

3.1 Information

Auf den ersten Blick erscheint die Beantwortung der Frage „Was ist Information?“ trivial: eine Nachricht, ein akustisches Signal, die Seite eines Buches, die Nachrichten des Tages im Radio, Fernsehen oder Internet, das Ergebnis eines Messvorgangs, eine Auskunft aus dem Fremdenverkehrsbüro, usw. Dennoch können diese Beispiele aus dem alltäglichen Leben kein klares Bild von Information vermitteln.

In der Informationstechnik ist der Informationsbegriff naturgemäß von zentraler Bedeutung. Nichtsdestotrotz stellt man auch hier fest, dass sich das Verständnis von Information im Wesentlichen auf Umschreibungen stützt und nicht immer ganz einheitlich ist. Die Aussagen reichen von Veranschaulichungen wie „Information ist der Gegenstand, den die Sprache ausdrückt“ [Zema92] bis hin zu Versuchen einer mehr oder weniger präzisen Definition:

Information: Kenntnis über bestimmte Sachverhalte und Vorgänge in einem Teil der wahrgenommenen Realität. Informationen sind mitgeteilte und aufgenommene Wissensbestandteile. (...) [Schn91].

Information wird hier folglich als eine Teilmenge des Wissens aufgefasst. An verschiedenen anderen Stellen ist hingegen nachzulesen, dass Information nur dann eine Information ist, wenn sie demjenigen, an den sie gerichtet ist, zuvor unbekannt war [Capu87], [Hyvä70], [Ganz86]. Dem-

nach ist Information eine Art Gradient des Wissens und bewirkt einen Wissenszuwachs. Abgesehen davon wird darauf hingewiesen, dass Informationen nicht zwangsläufig an Personen gerichtet sein müssen. Auch eine Steueranweisung für ein Gerät oder eine Maschine stellt eine Information dar [Ganz86].

Neben der Informationstechnik setzen sich auch andere Wissenschaftszweige mit dem Informationsbegriff auseinander. In der Informatik und der Sprachwissenschaft gibt es komplexe Theorien über formale Strukturen, die Informationen zu Grunde liegen. Die Medientechnik befasst sich mit der gezielten Informationsverbreitung und in Medizin und Biochemie versucht man, die Informationen zu entschlüsseln, die in Genen gespeichert sind und durch Stoffwechselprozesse ausgetauscht und verarbeitet werden.

Die Bandbreite der Aussagen und Gedankenmodelle lässt erkennen, dass der Sachverhalt *Information* viel zu vielschichtig ist, als dass er sich im Rahmen dieser Arbeit erschöpfend abhandeln ließe. Im Folgenden werden daher lediglich einige grundlegende Aspekte herausgegriffen, die für den Informationsaustausch mit Feldbus- bzw. Automatisierungssystemen von Bedeutung sind.

3.2 Informationstheorie nach Shannon

Eine in der Nachrichten- und Informationstechnik viel beachtete Grundlage ist die sog. Shannon'sche Informationstheorie [Shan48]. Sie stellt eine Theorie der Zeichenübertragung dar. Wenn Nachrichten über einen Kommunikationskanal übertragen werden sollen, wird ein Code benötigt, um die Zeichen, aus denen die Nachrichten zusammengesetzt sind, während der Übertragung darzustellen. Meist wird dabei eine ökonomisch optimale Nachrichtenübertragung angestrebt, d.h. die Übermittlung der Nachrichten soll möglichst wenig Übertragungskapazität (Bandbreite) in Anspruch nehmen. Dazu muss der zur Nachrichtenübertragung verwendete Code einerseits so gestaltet sein, dass die Nachrichtenzeichen durch möglichst kompakte Codesequenzen wiedergegeben werden. Andererseits dürfen infolge der Nachrichtencodierung keine Informationen verloren gehen. Um dies zu gewährleisten, führt die Informationstheorie ein objektives Maß zur Bewertung des Informationsgehalts von Nachrichten ein. Darauf aufbauend lassen sich minimale Codes generieren, die dem Informationsgehalt der jeweiligen Nachrichten genau angepasst sind [Shan48], [Huff52], [Fano61]. Abgesehen davon kann die Informationstheorie für den Entwurf von Datenkomprimierungsverfahren angewendet werden und erlaubt eine formale Betrachtung von Störungen bei der Nachrichtenübertragung.

Der Informationstheorie zufolge entspricht der Informationsgehalt eines Zeichens dem Grad der Unsicherheit, die vor dem Empfang des Zeichens besteht und mit seinem Eintreffen beseitigt wird. Den Informationsgehalt einer Nachricht erhält man durch Aufsummieren der Informationsgehalte der in ihr enthaltenen Zeichen. Die Definition des Informationsgehaltes stützt sich demnach allein auf die Auftretenswahrscheinlichkeit bzw. -häufigkeit der übertragenen Zeichen.

Auf diese Weise erhält man zwar die benötigte Bemessungsgrundlage für die Optimierung des zur Zeichendarstellung verwendeten Codes. Jedoch können keinerlei Aussagen über die inhaltliche Bedeutung der Nachrichten getroffen werden. So ist es für den Informationsgehalt im Sinne der Informationstheorie völlig belanglos, ob eine Zeichenfolge eine sinnvolle Nachricht ergibt oder nicht. Im Gegenteil, eine zufällige Folge von Zeichen weist sogar den maximalen Informationsgehalt auf. Dieses quantitative Informationsverständnis ist folglich rein technischer Natur und hat mit Information im allgemeinen Sinne nichts zu tun [Rech03]. Mit anderen Worten, die Shannon'sche Informationstheorie ist keine Theorie der Information [Laub01]. Gestützt wird die Einschätzung von der Tatsache, dass die Bezeichnung *Informationstheorie* nicht auf Shannon selbst zurückgeht. Sie wurde entgegen seiner Bedenken von anderen Wissenschaftlern geprägt, die seine Erkenntnisse aufgegriffen und in ihren eigenen Arbeiten angewendet haben.

Diese Aussagen machen deutlich, dass die Shannon'sche Informationstheorie mit dem für diese Arbeit relevanten Verständnis vom Wesen der Information wenig gemeinsam hat. Sie wird daher bei den nachfolgenden Untersuchungen des Informationsaustausches zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen unberücksichtigt bleiben.

3.3 Ebenen der Information

Ein weiteres geläufiges Modell, das dem intuitiven Verständnis des Informationsbegriffs sehr nahe kommt, sind die sog. Ebenen der Information: Syntax, Semantik und Pragmatik [Hyvä70], [Zema92]. Im Gegensatz zur Informationstheorie nach Shannon betrachten diese nicht nur die Zusammensetzung von Nachrichten, sondern berücksichtigen auch die Bedeutung und die Wirkung von Information. Die Ebenen der Information stellen daher eine maßgebliche Grundlage für die Verarbeitung von Informationen dar.

Gleichwohl ist hervorzuheben, dass in der Informationstechnik bisher nicht allen Ebenen derselbe Stellenwert beigemessen wurde. Schwerpunktmäßig wird vor allem die Syntax und die Semantik behandelt, die Pragmatik hingegen kaum. Es ist einer der zentralen Aspekte der vorliegenden Arbeit, die Rolle der Pragmatik im Kontext der Informationstechnik darzustellen und die Konsequenzen aufzuzeigen, die sich daraus ergeben.

3.3.1 Syntax und Semantik

Ursprünglich stammen die Begriffe Syntax und Semantik aus dem Bereich der Sprachwissenschaften. Hier wird das Wesen natürlicher Sprachen betrachtet, die als Mittel zur Kommunikation zwischen Personen dienen. Sprachen nehmen jedoch auch in der Informationstechnik eine zentrale Stellung ein [Zema92]. Programmiersprachen, wie z.B. C/C++ oder Java, und Markierungssprachen, wie z.B. HTML oder XML, machen dies offensichtlich. Abgesehen davon sind Sprachen auch an zahlreichen anderen Stellen wieder zu finden, ohne dass der Begriff Sprache explizit genannt wird. So liegen beispielsweise Kommandozeilenbefehlen, Bedienfeldern von

Benutzungsoberflächen, Tabellen von Datenbanken sowie Interaktionsmechanismen von Kommunikationsprotokollen letztendlich jeweils eigene Formen von Sprache zu Grunde. Im Vergleich zu natürlichen Sprachen sind die Sprachen der Informationstechnik sehr einfach aufgebaut und verfügen über vergleichsweise eingeschränkte Ausdrucksmöglichkeiten. Im Gegenzug liegt ihnen stets ein streng systematisches Regelwerk zu Grunde, sodass sie sich in einfacher Weise auf maschinellm Wege verarbeiten lassen.

Unter Syntax wird im Allgemeinen die Struktur der wohlgeformten Sätze einer Sprache verstanden [Schn91]. Eine Syntax legt fest, welche Elemente (Zeichen und Worte) in einem Satz vorkommen dürfen und in welchen Sequenzen diese Elemente angeordnet sein müssen. Die Beschreibung einer Syntax heißt Grammatik. In der Informationstechnik wird anstelle von Syntax oft auch der Begriff Datenformat verwendet. Wie bei natürlichen Sprachen legt sie den strukturellen Aufbau von Sätzen fest, die in der Informationstechnik als Ausdrücke bezeichnet werden. Typischerweise kann die Syntax von Sprachen aus der Informationstechnik vollständig beschrieben und analysiert werden, ohne dass die Bedeutung der durch sie gebildeten Ausdrücke bekannt sein muss. Bei natürlichen Sprachen ist dies hingegen nur bedingt möglich, da hier die Syntax und der Inhalt der Sätze oft eng miteinander verwoben sind. Bei Feldbussystemen manifestiert sich die Syntax in den Rahmenformaten der Feldbusnachrichten. Ihre Beschreibung ist in der Anwendungsschicht des jeweiligen Feldbussystems (z.B. CANopen [CiA00], KWP2000 [ISO15765], MMS [ISO9506], usw.) bzw. in den verwendeten Kommunikations- und Geräteprofilen enthalten.

Eine Semantik legt allgemein die Summe der Bezüge zwischen Sprache und der durch sie beschriebenen Wirklichkeit fest. Sie gibt die Bedeutungen vor, die durch die Elemente und die Struktur von Sätzen zum Ausdruck gebracht werden. In der Informationstechnik wird eine Semantik auch Gegenstandsraum oder Datenmodell genannt [Schn91]. Im Gegensatz zu natürlichen Sprachen entwickelt sich die Semantik von Sprachen aus der Informationstechnik nicht zufällig. Vielmehr werden die Bedeutungen gezielt festgelegt und zum Teil auch mathematisch fundiert, damit sie möglichst präzise und eindeutig sind. Im Falle von Feldbussystemen beschreibt die Semantik die möglichen Bedeutungen der Feldbusnachrichten. Dies sind zum einen die Kommunikationsdienste, die durch die Anwendungsschicht des Feldbussystems bzw. das verwendete Kommunikationsprofil festgelegt werden. Zum anderen zählen hierzu aber auch die Variablen, Parameter und Funktionen, die mit Hilfe der Kommunikationsdienste in den Feldgeräten angesprochen werden können. Letztere sind manchmal durch Geräteprofile einheitlich vorgegeben. Oft werden sie jedoch auch speziell auf das jeweilige Feldgerät abgestimmt und sind infolgedessen anwendungsspezifisch.

3.3.2 Pragmatik

Die Pragmatik ist keine einheitliche Disziplin. Sie hat ihre Ursprünge in der Logik, der Sprachphilosophie und der Soziologie. Erst die „pragmatische Wende“ in den Anfängen der siebziger

Jahre führte dazu, dass sie auch zum festen Bestandteil der Sprachwissenschaften wurde [Aust84], [Sear70], [Wund70]. In der Informationstechnik ist die Pragmatik hingegen bis heute weitgehend unbeachtet geblieben. Dementsprechend ist das Verständnis von Pragmatik manchmal noch sehr wage („Die Pragmatik untersucht (...), kurz alles, was nicht der Semantik und Syntax angehört“ [Zema92]). Meist wird Pragmatik als individuelle Beziehung zwischen Informationen und der Person, die mit ihnen umgeht, angesehen [Schn91]. Es geht dabei vor allem um die Frage, welchen Wert bzw. Nutzen eine Information für die betreffende Person mit sich bringt [Hyvä70]. Abgesehen von solchen Begriffsdefinitionen wird jedoch nur selten näher auf die Pragmatik eingegangen. Es entsteht der Eindruck, dass sie etwas Nebensächliches ist und keine weiteren Auswirkungen auf die Informationstechnik hat.

Pragmatik im sprachwissenschaftlichen Sinne bezieht sich auf die Lehre vom sprachlichen Handeln [LNPW04], [Glüc00]. Man geht von der Grundvorstellung aus, dass Sprache kein purer Schematismus ist, sondern ein flexibel einsetzbares Instrument zur Umsetzung von Absichten bzw. Handlungen darstellt. Gegenstand der Pragmatik ist die Frage, wie Sprache abhängig von der gegenwärtigen Situation und der persönlichen Intension des Sprechenden verwendet wird bzw. zu verstehen ist. Beispielsweise beinhalten die Frage „Würden Sie bitte das Fenster schließen?“ und die Aufforderung „Nun schließen Sie doch endlich das Fenster!“ jeweils dieselbe Kernaussage. Die Verwendung der Sprache bzw. die Auffassung des Gesprochenen, eben die Pragmatik, sind jedoch beide Male stark unterschiedlich. Im ersten Fall kommt die Sprache in einer Form zur Anwendung, die den Respekt des Sprechenden vor seinem Gegenüber zum Ausdruck bringt. Das andere Mal wird hingegen die Missbilligung des Sprechenden darüber deutlich, dass die gewünschte Tätigkeit nicht schon längst durchgeführt wurde.

Es gibt Untersuchungen, die sich mit dem Stellenwert der Pragmatik innerhalb der Sprachwissenschaften auseinandersetzen [Schn75]. Demnach ist Sprache kein neutrales Mittel oder Werkzeug, das losgelöst von den Absichten bzw. Handlungen betrachtet werden kann, für die es eingesetzt wird. Vielmehr wird Sprache durch die jeweils umzusetzenden Absichten und Handlungen maßgeblich geformt. Mit anderen Worten, Sprache ist eine Funktion dessen, was geschehen soll. Eine konsequente Berücksichtigung dieser Überlegung hat grundlegende Auswirkungen auf das Verhältnis von Pragmatik zu Syntax und Semantik. Bisher wurde implizit immer von der Syntax ausgegangen, anschließend die Semantik betrachtet und zuletzt nach der Pragmatik gefragt. Rückt man allerdings den handlungsorientierten Charakter von Sprache in den Mittelpunkt, so bildet die Pragmatik das Fundament, auf dem zunächst die Semantik und schließlich die Syntax fußen. Die klassische Hierarchie Syntax – Semantik – Pragmatik, in der der jeweils umfassendere Teil oft lediglich den Charakter einer Ergänzung trägt, wird vereinfacht gesprochen umgekehrt.

In den Sprachwissenschaften ist Pragmatik somit weit mehr als nur eine ergänzende Fragestellung, der man unabhängig von Betrachtungen zu Semantik und Syntax nachgehen kann. Vielmehr steckt sie den Rahmen ab, innerhalb dessen die verschiedenen Gesetzmäßigkeiten, die

Semantik und Syntax zu Grunde liegen, jeweils gültig sind. Zweifelsohne sind die Auswirkungen von Pragmatik auf die Sprachwissenschaften für die vorliegende Arbeit von keiner weiteren Relevanz. Allerdings wird sich im weiteren Verlauf der Betrachtungen zeigen, dass der Pragmatik in der Informationstechnik eine nicht minder grundlegende Rolle zuteil wird. So ist analog zum Einfluss von Handlungen auf Sprache bei Informationen eine gewisse Abhängigkeit von der Sichtweise feststellbar, die vom Urheber der Information vertreten wird.

In diesem Kapitel wurden einige grundlegende Aspekte des Informationsbegriffs beleuchtet. Dabei wurde deutlich, dass Information einen sehr vielschichtigen Sachverhalt darstellt, der sich nicht in Form einer exakten Definition wiedergeben lässt. Dennoch liefern die Ebenen Syntax, Semantik und Pragmatik eine verwertbare Modellvorstellung über das Wesen der Information. Während man sich mit Syntax und Semantik in der Informationstechnik schon seit längerem auseinandersetzt, blieb die Pragmatik bisher weitgehend außen vor. Das folgende Kapitel wird zeigen, an welchen Stellen sich alle drei Ebenen beim Austausch von Informationen zwischen einem Sender und einem Empfänger widerspiegeln. Außerdem wird untersucht, welche Konsequenzen sich daraus für die bisher praktizierte Form des Informationsaustausches zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen ergeben.

4 Informationsaustausch mit Feldbussystemen

Feldbussysteme werden im Allgemeinen als Kommunikationssysteme eingestuft. Ausschlaggebend für ihre Interoperabilität ist jedoch die Fähigkeit zum Austauschen von Informationen. Dieses Kapitel zeigt daher zunächst den grundsätzlichen Zusammenhang zwischen Kommunikation und Informationsaustausch auf. Anschließend wird dargelegt, auf welche Weisen bisher versucht wird, die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen sicherzustellen, und welche typischen, ständig wiederkehrenden Schwierigkeiten dabei zu beobachten sind. Durch eine eingehende Untersuchung dieser Herangehensweisen aus dem Blickwinkel des Informationsaustausches wird sich eine plausible Erklärung finden, *weshalb* der lang gehegte Wunsch nach mehr Interoperabilität bisher nie zufrieden stellend erfüllt werden konnte. Schließlich werden Anforderungen an eine neue Form des Informationsaustausches abgeleitet, mit der die Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen spürbar verbessert werden kann.

4.1 Kommunikation und Informationsaustausch

Die Begriffe Kommunikation und Informationsaustausch werden oft mehr oder weniger synonym verwendet. Dennoch sind sie bei Weitem nicht dasselbe. Im Zusammenhang mit der Frage nach einer systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen ist ein präzises Verständnis der beiden Begriffe einschließlich ihrer Unterschiede von elementarer Bedeutung.

4.1.1 Kommunikation

Kommunikation im informationstechnischen Sinne dient zur Übertragung von Nachrichten bzw. Daten zwischen räumlich verteilten Systemen über ein physikalisches Medium [Schn91] (vgl. Abbildung 4.1). Abhängig von der Übertragungsrichtung nehmen die betreffenden Systeme entweder die Rolle des Senders oder des Empfängers ein. Die verschiedenen funktionalen Aspekte, die bei der Kommunikation zwischen Systemen zu berücksichtigen sind, werden durch das ISO/OSI-Referenzmodell beschrieben [ISO7498] (vgl. 2.4.1 ISO/OSI-Referenzmodell).

Bei der Kommunikation zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen entspricht das Übertragungsmedium dem Zubringerkommunikationssystem, über das beide Seiten miteinander verbunden sind. Je nach Anwendungsszenario kann dieses über die Bussysteme der Prozess- und Betriebsebene des Automatisierungssystems (vgl. 2.1.1 Kommunikation in der Prozess- und Betriebsebene), lokale oder drahtlose Netzwerke, Modem- oder Mobilfunkverbindungen oder das Internet verlaufen. Die Nachrichten, die zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen übertragen

werden können, werden durch die Anwendungsschicht des betreffenden Feldbussystems festgelegt.

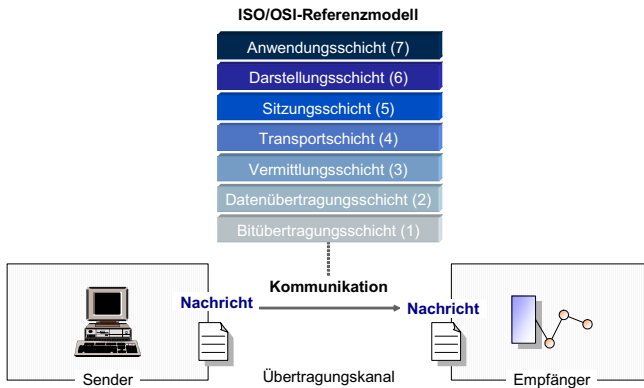


Abbildung 4.1: Kommunikation entsprechend dem ISO/OSI-Referenzmodell

Der Fokus des Kommunikationsbegriffs liegt hier demzufolge auf der Übertragung von Nachrichten bzw. Daten. Die Übermittlung von Informationen ist damit allerdings noch nicht in hinreichender Form beschrieben. Um den Unterschied zwischen Kommunikation und Informationsaustausch deutlich zu machen, muss zunächst der Zusammenhang zwischen Nachrichten und Informationen einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

4.1.2 Dualität der Information

Einer der maßgeblichen Sachverhalte in diesem Zusammenhang ist die sog. Dualität der Information [Laub01]. Auf der einen Seite ist Information weder Materie noch Energie. Sie kann auf keine anderen Elementargrößen oder Axiome zurückgeführt werden und ist nicht messbar [Zema92] [Rech03]. Information für sich betrachtet stellt daher ein nicht-physikalisches Phänomen dar. Auf der anderen Seite können Informationen mitgeteilt, übertragen, gespeichert und aufgenommen werden. Sie müssen dazu an einen physikalischen Träger gebunden, d.h. in Form einer materiellen oder energetischen Struktur dargestellt werden [Wend89]. Die Art des verwendeten Informationsträgers bzw. der gewählten Darstellungsform hat jedoch niemals eine Auswirkung auf die Information selbst.

Grundsätzlich lassen sich zwei Formen der Informationsdarstellung unterscheiden [Goos97]. Zum einen kann eine Information durch zeitliche Veränderung einer physikalischen Größe, wie z.B. der Amplitude einer Schallwelle oder der Frequenz einer Lichtwelle, wiedergegeben werden. Solchermaßen mitgeteilte Informationen heißen *Signale* und eignen sich zum Übertragen von Informationen. Zum anderen kann eine Information auch durch dauerhafte Veränderung

eines physikalischen Mediums, wie z.B. durch Schreiben auf Papier oder durch Brennen einer CD, abgebildet werden. Solche *Inschriften* dienen zum Speichern von Informationen. Wenn die Form der Informationsdarstellung nicht weiter von Belang ist, so wird eine mitgeteilte Information verallgemeinernd als *Nachricht* bezeichnet.

Die Dualität der Information bringt eine entscheidende Konsequenz mit sich: Bei der Übermittlung einer Information von einem Sender zu einem Empfänger stellt die Übertragung der Nachricht bzw. die Kommunikation nur einen von mehreren Teilvorgängen dar. Zunächst muss die Information, die auf der Seite des Senders vorliegt, in eine Nachricht überführt werden, die aus einer Folge von Zeichen (Bytes) zusammengesetzt ist. Dieser Vorgang heißt *Repräsentation*. Per *Kommunikation* wird die Nachricht anschließend vom Sender zum Empfänger übertragen. Dort angekommen, muss die von der Nachricht dargestellte Information zurückgewonnen werden. Dieser Vorgang wird als *Interpretation* bezeichnet. Abbildung 4.2 verdeutlicht den Gesamttablauf der Informationsübermittlung für ein beispielhaftes Feldbussystem, in dem die Stellgröße eines Aktuators auf einen bestimmten Wert einzustellen ist. Die dazu erforderliche Anweisung wird vom Feldbuswerkzeug durch eine Nachricht aus fünf Bytes in hexadezimaler Schreibweise repräsentiert und an das Feldbussystem kommuniziert. Das Feldbussystem interpretiert die Nachricht und tätigt infolgedessen einen Aufruf des *Write*-Dienstes aus seiner Anwendungsschicht, wobei der gewünschte Stellwert als Parameter übergeben wird.

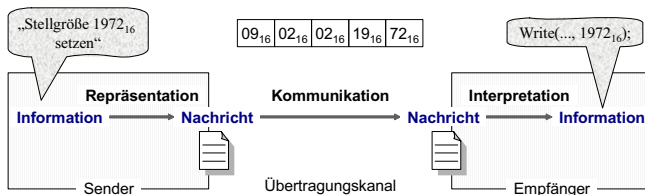


Abbildung 4.2: Repräsentation, Kommunikation und Interpretation

4.1.3 Subjektivität der Information

Wie bereits erläutert wurde, ist die Vielfalt an unterschiedlichen Feldbussystemen, die heute in der Automatisierungstechnik zum Einsatz kommen, sehr groß. Nicht minder zahlreich und verschiedenen sind die Anwendungsschichten, in denen die jeweils gültige Syntax und Semantik der Feldbusnachrichten festgelegt wird. Die Definition der feldbuseigenen Anwendungsschichten ist Sache der jeweiligen Hersteller oder unternehmensübergreifender Konsortien, in denen sich mehrere Hersteller und Anwender zu einer Interessengemeinschaft zusammengeschlossen haben. Die Nutzung von Feldbussystemen und ihrer Anwendungsschichten erfolgt durch Anwender, die Automatisierungssysteme errichten, betreiben und instand halten möchten. Für gewöhnlich wird auf der Herstellerseite die Zielsetzung verfolgt, dass Feldbussysteme für möglichst viele verschiedene Anwender und Automatisierungssysteme geeignet sein sollen. Diese

Bestrebung bestimmt nicht zuletzt auch die Gestaltung der Anwendungsschichten der Feldbusysteme. So wird stets versucht, deren Syntax und Semantik in möglichst allgemeiner und neutraler Form vorzugeben. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Anwender daraufhin überlegen, welche speziellen Aufgaben und Tätigkeiten sie mit Hilfe eines Feldbussystems erledigen möchten. Anschließend sind sie angehalten, die seitens der Anwendungsschicht des Feldbussystems vorgegebene Syntax und Semantik zu benutzen, um die geforderten Aufgaben und Tätigkeiten umzusetzen.

Die hierbei zu Grunde liegende Auffassung von Information deckt sich weitgehend mit dem klassischen Bild von Sprache. Syntax und Semantik werden als neutrales Werkzeug angesehen, das von den betreffenden Personen lediglich angewendet wird. Die Pragmatik, d.h. der Einfluss der Absichten bzw. Handlungen dieser Personen, bleibt unberücksichtigt. Wie bereits dargelegt wurde, hat man in den Sprachwissenschaften zwischenzeitlich jedoch erkannt, dass sich Sprache keineswegs losgelöst von den Absichten bzw. Handlungen des Sprechenden betrachten lässt, sondern bis zu einem gewissen Grad stets auch das Produkt derselben ist. Infolgedessen stellen Syntax und Semantik keine absolute Größe dar, sondern können erst im Kontext der jeweiligen Pragmatik beschrieben werden.

Vieles deutet darauf hin, dass Informationen aus dem Bereich der Feldbusysteme einem ähnlichen Zusammenhang unterliegen. Zwar geht es im Grunde genommen stets um dieselben Arten von Aufgaben und Tätigkeiten: Lesen und Schreiben von Feldgerätevariablen und -parametern, Einspielen von Softwareaktualisierungen oder Starten von Programmroutinen. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass es nicht *den* Anwender von Feldbusystemen, sondern viele Feldbusanwender gibt, die zudem sehr unterschiedlichen Branchen angehören (chemische und verfahrenstechnische Industrie, Fertigungstechnik, Gebäudetechnik, Fahrzeugtechnik, Gerätetechnik, usw.). Aber auch innerhalb der einzelnen Branchen weisen die Anwender kein einheitliches Profil auf, sondern gehören unterschiedlichen Geschäftsbereichen und Abteilungen an und setzen Informationen aus Feldbusystemen für zum Teil sehr verschiedene Zwecke ein. Dies zeigt sich beispielsweise bei der Diagnose feldbusverbundener elektronischer Steuergeräte in Kraftfahrzeugen (vgl. Abbildung 4.3) [EbG02]. Sie dient einerseits als Hilfsmittel während der Entwicklung und Erprobung andererseits zur Qualitätskontrolle in der Serienproduktion. Auch in Werkstätten kommt sie zum Einsatz, wo eine solche Handhabe angesichts des stetig steigenden Elektronikanteils im Kraftfahrzeug nicht mehr wegzudenken ist. Darüber hinaus ist absehbar, dass sich die elektronische Fahrzeugdiagnose künftig in zahlreichen weiteren Anwendungsbereichen wieder finden wird. Neben der bereits erwähnten Ferndiagnose liegen gebliebener Kraftfahrzeuge über das Internet durch Pannendienste kommen unter anderem eine automatische Schnellprüfung der Fahrtüchtigkeit als zusätzlicher Service an Tankstellen in Frage oder aber auch eine Kontrolle des Schadstoffgehalts im Abgasausstoß durch Ordnungskräfte.

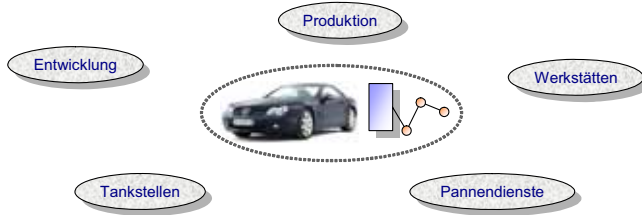


Abbildung 4.3: Verschiedene Anwendungsbereiche der Diagnose von elektronischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen

Abgesehen vom jeweiligen technischen Hintergrund sind Anwender von Feldbussystemen auch durch unterschiedliche strategische Interessen geprägt. Im Feldbusbereich ist hier vor allem der allseits bekannte Konflikt zwischen Herstellern und Anwendern zu erwähnen [Reiß02]. Hersteller legen großen Wert darauf, dass ihre Feldbusprodukte verkaufentscheidende Alleinstellungsmerkmale aufweisen, um sich von der Konkurrenz am Markt abzuheben. Auf diese Weise haben sie größere Freiheit bei der Preisgestaltung und können höhere Gewinne erzielen. Vonseiten der Anwender wird hingegen gefordert, dass sich die Feldbusprodukte verschiedener Hersteller möglichst ähnlich verhalten und leicht austauschen lassen. Andernfalls sind sie gezwungen, sich bei der Integration und Instandhaltung ihrer Automatisierungssysteme mit ständig wechselnden herstellerepezifischen Besonderheiten auseinanderzusetzen, wodurch ein höherer Zeitaufwand und vermehrte Kosten entstehen (vgl. 2.4 Herstellerübergreifende Integrierbarkeit von Feldgeräten).

Es ist folglich nicht von der Hand zu weisen, dass Feldbussysteme und die mit ihnen umzusetzenden Aufgaben und Tätigkeiten in den einzelnen Anwendergruppen von sehr unterschiedlichen Standpunkten betrachtet werden. Hinzukommt, dass jede Anwendergruppe über unterschiedliches fachspezifisches Vorwissen verfügt, verschiedene strategische Interessen verfolgt und individuelle persönliche Präferenzen pflegt. Zusammengenommen lassen sich diese Faktoren als Sichtweise bezeichnen und verkörpern die Pragmatik der jeweiligen Anwendergruppe. Die Unterschiedlichkeit der Sichtweisen führt dazu, dass die feldbusbezogenen Daten und Funktionen auf verschiedene Weise wahrgenommen, verallgemeinert, strukturiert und benannt werden. Dementsprechend definieren sich die Aufgaben und Tätigkeiten, die mit Hilfe von Feldbussystemen umzusetzen sind, jeweils aus einer spezifischen Begriffswelt heraus. Beim Anwender besteht daraufhin in der Tat *nicht* das Bedürfnis, die daraus hervorgehenden Informationen auf eine feststehende, neutrale Syntax und Semantik abzubilden, die im Sinne eines Werkzeugs angewendet wird. Stattdessen *schafft* sich jede Anwendergruppe unweigerlich eine individuelle Syntax und Semantik, die relativ zur von ihr vertretenen Pragmatik ist. Mit anderen Worten, ähnlich wie Sprachen sind auch Informationen nichts Absolutes. Vielmehr sind sie unauflösbar mit der individuellen Sichtweise des Betrachters verflochten und stellen somit eine subjektive Größe dar.

Die Subjektivität der Information stellt einen weiteren grundlegenden Sachverhalt dar, der bei der Übermittlung von Informationen von einem Sender an einen Empfänger eine maßgebliche Rolle spielt. Grundsätzlich sind mindestens zwei verschiedene informationsverarbeitende Parteien im Spiel, die sich im Allgemeinen unterschiedliche Sichtweisen zueigen machen. So ist im Beispiel aus Abbildung 4.2 die Semantik auf der Seite des Feldbuswerkzeugs deutlich anwendungsbezogen. Die Information setzt sich aus Begriffen zusammen, die der regelungstechnisch geprägten Sichtweise des Anwenders entsprechen. Demgegenüber beruht die Semantik des Feldbussystems auf der vom Hersteller definierten Anwendungsschicht. Da letzterer von einer funktionsorientierten Sichtweise ausgegangen ist, liegt die Information hier in Form eines mit Parametern versehenen Dienstaufrufs vor.

4.1.4 Informationsaustausch

Dualität und Subjektivität der Information haben zur Konsequenz, dass Nachrichten bzw. Daten und Informationen keineswegs gleichzusetzen sind. Infolgedessen sind auch Informationsaustausch und Kommunikation strikt auseinander zu halten. Kommunikation dient zur Übertragung von Nachrichten zwischen Systemen. Informationsaustausch heißt hingegen, dass die betreffenden Systeme darüber hinaus in der Lage sind, die Inhalte der übertragenen Nachrichten hervorzubringen bzw. zu verstehen. Er schließt somit neben der Übertragung von Nachrichten auch den Übergang von Informationen zu Nachrichten (Repräsentation) und umgekehrt (Interpretation) mit ein. Im Gegensatz zur Kommunikation spielt sich Informationsaustausch nicht nur zwischen den Systemen bzw. innerhalb ihrer Kommunikationssysteme ab, sondern reicht bis in die Anwendung der Systeme hinein.

Die Beschreibung eines Informationsaustausches muss neben kommunikativen auch informative Aspekte abdecken. Dies macht zum einen ein Kommunikationsmodell erforderlich, das die Belange der Übertragung von Nachrichten regelt. Zum anderen werden Informationsmodelle benötigt, die den Übergang zwischen Nachrichten und Informationen zum Gegenstand haben. Während die Kommunikation von Nachrichten einen weitgehend neutralen Vorgang darstellt, unterliegen die Repräsentation von Informationen sowie die Interpretation von Nachrichten den subjektiven Sichtweisen der jeweiligen Seite. Zur vollständigen Beschreibung eines Informationsaustausches gehören daher ein *gemeinsames* Kommunikationsmodell sowie die *individuellen* Informationsmodelle von Sender und Empfänger (vgl. Abbildung 4.4).

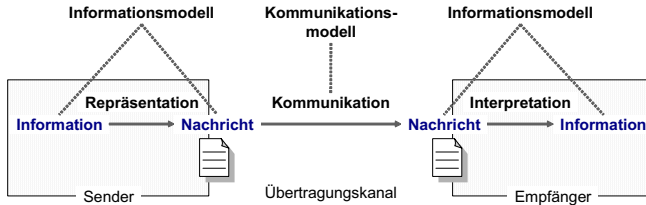


Abbildung 4.4: Beschreibung des Informationsaustausches durch Kommunikations- und Informationsmodelle

Ausgehend von diesen Überlegungen kann nun untersucht werden, inwieweit das ISO/OSI-Referenzmodell zur Beschreibung eines Informationsaustausches geeignet ist [ISO7498] (vgl. 2.4.1 ISO/OSI-Referenzmodell). Entscheidend ist in diesem Zusammenhang vor allem die Schicht 7 (Anwendungsschicht) (vgl. Abbildung 4.5). Durch sie werden sowohl der Aufbau als auch die Bedeutung der Nachrichten festgelegt, die zwischen beteiligten Systemen ausgetauscht werden können. Mit anderen Worten, es wird die von den kommunizierenden Systemen zu unterstützende Syntax und Semantik definiert. Folglich sind im ISO/OSI-Referenzmodell sowohl ein Kommunikationsmodell als auch ein Informationsmodell vereinigt. Es berücksichtigt neben der Übertragung von Nachrichten auch den Übergang zwischen Nachrichten und Informationen und erfüllt damit ein wichtiges Merkmal des Informationsaustausches. Allerdings sieht das ISO/OSI-Referenzmodell lediglich ein Informationsmodell vor, das für Sender und Empfänger in gleicher Weise gültig ist. Es schreibt somit feststehende und für alle beteiligten Systeme verbindliche Regeln zur Repräsentation von Informationen und Interpretation von Nachrichten vor. So gesehen stellt das ISO/OSI-Referenzmodell einen Spezialfall des Informationsaustausches dar, der implizit auf der Annahme beruht, dass auf Sender- und Empfängerseite dieselben Sichtweisen bestehen.

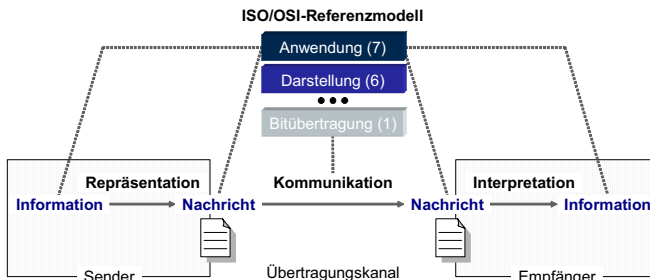


Abbildung 4.5: Informationsaustausch entsprechend dem ISO/OSI-Referenzmodell

Um diese Einschränkung aufzuheben, muss das ISO/OSI-Referenzmodell verallgemeinert werden. Als Ergebnis entsteht ein allgemeines Informationsaustauschmodell, in dem Kommunikati-

ons- und Informationsmodelle getrennt voneinander vorliegen (vgl. Abbildung 4.6). Das Kommunikationsmodell gilt für Sender und Empfänger gleichermaßen und umfasst die Schichten 1 (Bitübertragungsschicht) bis 6 (Präsentationsschicht) des ISO/OSI-Referenzmodells. Die Schicht 7 (Anwendungsschicht) kommt als solche nicht mehr vor. An ihrer Stelle treten separate Informationsmodelle auf Sender- und Empfängerseite. Analog zum Kommunikationsmodell setzen sich auch die Informationsmodelle aus mehreren Ebenen zusammen. Dies ist an oberster Stelle die Sichtweise (Pragmatik), die dem betreffenden System zu Grunde liegt. Abhängig von der Pragmatik ergeben sich die Informationen (Semantik), mit denen ein System umzugehen weiß. Aus der Semantik wiederum definieren sich schließlich die Nachrichten (Syntax) mit denen die systemeigenen Informationen dargestellt werden.

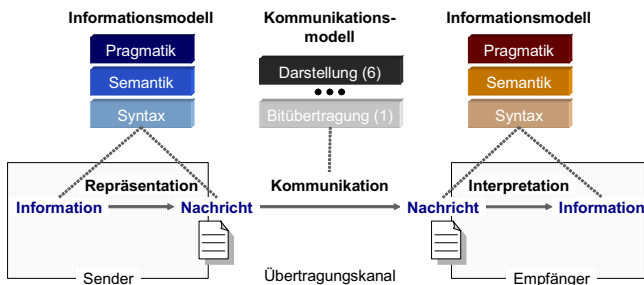


Abbildung 4.6: Informationsaustausch im Allgemeinen

4.2 Stand der Technik bei der Standardisierung des Informationsaustausches

Die Vision vieler Anwender und Hersteller von Feldbussystemen – und nicht zuletzt auch der vorliegenden Arbeit – ist ein unbehinderter Informationsaustausch mit Automatisierungssystemen. Im Rahmen dessen muss es ohne Mühe möglich sein, von beliebiger Stelle aus an Informationen über die Arbeitsweise von Feldbussystemen zu gelangen bzw. durch Vorgeben von Informationen auf ihre Arbeitsweise einzuwirken. Insbesondere darf diese Möglichkeit weder von der Art des eingesetzten Feldbuswerkzeugs noch von der des zu Grunde liegenden Feldbussystems abhängig sein oder eingeschränkt werden. Die Voraussetzungen hierfür sind einerseits eine geeignete Form der Internetanbindung von Feldbussystemen und andererseits die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen.

Wie bereits verdeutlicht wurde, beruhen Feldbussysteme auf dem ISO/OSI-Referenzmodell und implementierten in der Regel dessen Schichten 1 (Bitübertragungsschicht), 2 (Datenübertragungsschicht) und 7 (Anwendungsschicht). Sie sind daher nicht nur die Instanzen eines Kommunikationsmodells, sondern implementieren gleichzeitig auch ein feststehendes Informationsmodell. Letzteres definiert die Syntax und Semantik, die beim Informationsaustausch mit dem

betreffenden Feldbussystem zu verwenden ist. Sämtliche Feldbuswerkzeuge, mit denen auf ein Feldbussystem zugegriffen werden soll, müssen dessen Informationsmodell kennen und unterstützen. Dieser Umstand hat unweigerlich zur Folge, dass die systemübergreifende Interoperabilität von *beliebigen* Feldbussystemen und -werkzeugen nur dann möglich ist, wenn ausnahmslos *alle* Feldbushersteller und -anwender *dasselbe* Informationsmodell benutzen.

Vor diesem Hintergrund werden beachtliche Anstrengungen unternommen, um den Informationsaustausch mit Feldbussystemen zu standardisieren. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass dies ein sehr langwieriges und äußerst kontroverses Unterfangen darstellt.

4.2.1 Definition einer einheitlichen Feldbusanwendungsschicht

Ein nahe liegender und daher häufig verfolgter Ansatz zur Vereinheitlichung des Informationsaustausches sowie zur Herstellung der systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen ist die Definition einer standardisierten Anwendungsschicht für Feldbussysteme. Einige der hierfür in Frage kommenden Kandidaten wurden bereits vorgestellt und erläutert (vgl. 2.5.2 Typische Anwendungsschichten und Geräteprofile). So bildete das Kommunikationssystem MAP mit seiner Anwendungsschicht MMS eine der ersten großen Initiativen in diese Richtung [ISO9506]. Sein primärer Anwendungsbereich war die Automatisierung von Produktionsanlagen in der Fertigungstechnik. Aus ihr ging später unter anderem die Anwendungsschicht FMS hervor, für die darüber hinaus auch zahlreiche funktionsblockorientierte Geräteprofile definiert wurden. Beide werden heute als Anwendungsschicht für den PROFIBUS und den Foundation Fieldbus benutzt und sind vor allem in der chemischen und verfahrenstechnischen Industrie weit verbreitet [IEC61158]. Deutlich jüngeren Datums sind dagegen die Anwendungsschichten CANopen und KWP2000 für den CAN-Bus [CiA00], [ISO15765]. Erstere kommt vor allem in der Fertigungs- bzw. Gerätetechnik zum Einsatz, letztere dient zur Diagnose von Fahrzeugelektronik und kann abgesehen vom CAN-Bus auch über die serielle ISO K-Leitung betrieben werden [ISO14230]. Eine weitere Anwendungsschicht für den CAN-Bus ist CIP (Control Information Protocol). Sie besitzt einen strikt objektorientierten Aufbau und ist zusammen mit CAN auch unter dem Namen DeviceNet bekannt [ODVA01a], [EN50254-2]. Ihr hauptsächliches Anwendungsgebiet ist einmal mehr die Fertigungstechnik. Die Anwendungsschicht OPC fußt auf der Komponententechnologie COM und dem darin enthaltenen Kommunikationssystem DCOM [OPC98] bzw. auf SOAP und Webservices [OPC03]. Auf Grund des vergleichsweise hohen Systemressourcenbedarfs kommt OPC nicht als Anwendungsschicht für Feldbussysteme selbst in Frage, wohl aber zur Verwendung in der Prozess- und Betriebsebene von Automatisierungssystemen und damit auch in Zubringerkommunikationssystemen zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen. Das Kommunikationssystem APCLT/KS und die Anwendungsschicht IFS sind beide universitären Ursprungs [AIMe99], [TTP00]. APCLT/KS ist sehr allgemein gehalten, sodass es prinzipiell für alle Bereiche der Automatisierungstechnik geeignet ist, und wird vereinzelt auch industriell genutzt. IFS ist eine Anwendungsschicht für zeitgesteu-

erte Feldbussysteme, ließe sich jedoch auch leicht auf andere Feldbussysteme übertragen. Auch auf europäischer Ebene gab es Versuche, zu einer einheitlichen Anwendungsschicht für Feldbussysteme zu kommen. Hier wurden im Rahmen der EU-Projekte RACKS (Reusable Application Interface for Communication Real-Time KernelS) und NOAH (Network Oriented Application Harmonization) [PaQu97] gemeinsame Kommunikationsdienste und Geräteprofile für die drei Feldbusse P-NET, PROFIBUS und WorldFIP vorgeschlagen, die in der europäischen Norm EN 50170 enthalten sind [EN50170].

Es wird offensichtlich, dass allein die Anzahl der Ansätze zur Schaffung einer einheitlichen Anwendungsschicht für Feldbussysteme kaum noch überschaubar ist. Gleichzeitig ist zu unterstreichen, dass die Bemühungen hierzu seit inzwischen mehr als 15 Jahren im Gang sind. Bis heute haben sie jedoch weder zum entscheidenden Durchbruch geführt, noch ist ein solcher auch nur absehbar. Letztendlich bringt jeder neuerliche Versuch, die lang gesuchte gemeinsame Anwendungsschicht für Feldbussysteme schließlich doch noch zu finden, nur eine weitere proprietäre Alternative hervor und die Heterogenität in der Feldbustechnik wächst beständig weiter.

4.2.2 Anwendung von Internettechnologien

Während bei der Standardisierung des Informationsaustausches mit Feldbussystemen trotz unzähliger Anläufe kein Fortkommen absehbar ist, scheint diese Hürde im Bürobereich offenbar ohne jede Mühe genommen worden zu sein. Dort haben Internettechnologien wie Ethernet-Vernetzung, TCP/IP-Kommunikation, WWW- und E-Mail-Dienste einen beispiellosen Siegeszug angetreten. Obwohl ihre Entstehungsgeschichte kaum älter ist als die der Feldbussysteme, stellen sie heute unbestritten *den* weltweiten Standard zur Kommunikation zwischen Computersystemen und -netzwerken dar. Folglich stellt sich die nahe liegende Frage, inwieweit sich die hier verwendeten Standards und die damit erzielten Erfolge auf Feldbussysteme übertragen lassen. Für einen solchen Schritt sprechen neben der seit langem gewünschten systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen auch eine besonders leichte vertikale Integration von Feldbus- bzw. Automatisierungssystemen in die übergeordneten Geschäftsbereiche von Unternehmen. Des Weiteren verspricht man sich geringere Installationskosten im Feldbusbereich, da an vielen Stellen auf kostengünstige Standardhardware bzw. kostenlose Standardsoftware zurückgegriffen werden kann [Reiß02].

4.2.2.1 Ethernet und TCP/IP

In der anhaltenden Diskussion über die Anwendung von Internettechnologien zur Vereinheitlichung des Informationsaustausches in der Feldbus- bzw. Automatisierungstechnik spielt das Thema Ethernet eine zentrale Rolle. Es ist das De-facto-Standardnetzwerk im Bürobereich und bis vor kurzem herrschte eine Euphorie, dass es sich auch in der Automatisierungstechnik als universelles Standardnetzwerk durchsetzen würde. Manchenorts strebte man sogar an, Ethernet bis an die Sensoren und Aktoren hinunter zu führen, und begann die allzu „proprietären“ Feld-

busse als Auslaufmodell zu betrachten [Buch01b]. Inzwischen hat sich jedoch herausgestellt, dass Feldbussysteme insbesondere hinsichtlich Echtzeitverhalten und Ausfallsicherheit durchaus ihre Vorteile haben und man diese zugunsten einer vereinheitlichten Kommunikation nicht einfach fallen lassen kann. Die Mehrheit der Automatisierungstechnikhersteller und -anwender strebt daher eine Koexistenz von Ethernet- und Feldbustechnik an, sodass die Vorteile beider Kommunikationssysteme zur Verfügung stehen [Reiß02], [IDA00].

Ethernet selbst dient zur Kommunikation in lokalen Netzwerken und implementiert lediglich die Schichten 1 (Bitübertragungsschicht) und 2 (Datenübertragungsschicht) des ISO/OSI-Referenzmodells [IEEE802.3]. In den meisten Fällen wird es jedoch zusammen mit den Kommunikationsprotokollen IP und TCP verwendet, wodurch eine Kommunikation in lokalen Netzwerken und im weltweiten Internet gleichermaßen ermöglicht wird [RFC791], [RFC793]. Damit werden zusätzlich die Schichten 3 (Vermittlungsschicht) und 4 (Transportschicht) realisiert. Die verbleibenden Schichten 6 (Sitzungsschicht) bis 7 (Anwendungsschicht) werden im Bürobereich durch die heute verbreiteten Internetdienste, wie z.B. WWW, E-Mail, FTP, Telnet und Webservices, abgedeckt. In der Automatisierungstechnik können letztere vor allem im Bereich der Instandhaltung nützliche Dienste leisten (vgl. 2.3.2 Internetanbindung von Feldbussystemen), da hier häufig von außen auf Automatisierungssysteme zugegriffen werden muss. Innerhalb von Automatisierungssystemen selbst sind solche Internetdienste allerdings nur sehr bedingt einsetzbar. Infolgedessen haben sich einige alternative Anwendungsschichten herausgebildet, die besser auf die Erfordernisse der Automatisierungstechnik abgestimmt sind und außerdem einen kombinierten Einsatz von Ethernet- und Feldbustechnik erlauben [Pösc01].

Im einfachsten Fall wird zu diesem Zweck auf die Anwendungsschicht eines vorhandenen Feldbusses zurückgegriffen. Sie wird in mehr oder weniger unveränderter Form auf Ethernet- und TCP/IP-basierte Netzwerke übertragen (vgl. Abbildung 4.7). Damit gestaltet sich auch das Einbeziehen bestehender Feldbussysteme recht einfach, zumindest solange es sich um denjenigen Feldbus handelt, dessen Anwendungsschicht wieder verwendet wurde. Da auf Ethernet- und Feldbusseite dieselben Nachrichten benutzt werden, brauchen sie an den Übergangspunkten lediglich weitergeleitet zu werden. Die bekanntesten Vertreter dieser Denkrichtung sind EtherNet/IP [Simo00], [ODVA01b], Modbus-TCP [Volz02] und High Speed Ethernet [IEC61158]. Bei EtherNet/IP wird die Anwendungsschicht CIP aus DeviceNet verwendet. Modbus-TCP bildet die gemeinsame Anwendungsschicht von Modbus-RTU (Remote Terminal Unit) und Modbus-Plus auf Ethernet ab. High Speed Ethernet basiert dagegen auf einer leicht abgewandelten Form der Anwendungsschicht FMS sowie den Geräteprofilen des Foundation Fieldbus.

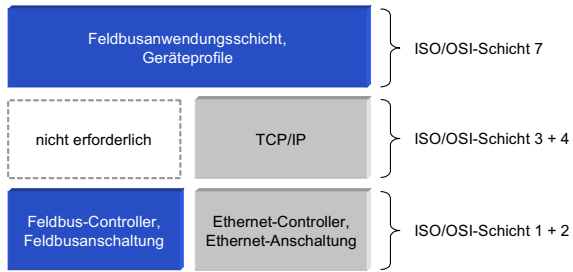


Abbildung 4.7: Wiederverwendung einer vorhandenen Feldbusanwendungsschicht für Ethernet

Als Alternative hierzu wurden auch einige feldbusunabhängige Anwendungsschichten zur Verwendung mit Ethernet und TCP/IP definiert (vgl. Abbildung 4.8). Die Einbindung vorhandener Feldbussysteme erfolgt in diesem Fall mit Hilfe von sog. Feldgerätstellvertretern bzw. -proxies. Diese setzen die über das Ethernet-Netzwerk eingehenden Nachrichten in entsprechende Nachrichten des Feldbussystems um und leiten sie an die betreffenden Feldgeräte weiter bzw. umgekehrt. Federführend sind in diesem Zusammenhang die Ansätze IDA (Interface for Distributed Automation) [Buch01a], [KoSc01], [Wrat01], [Abad01], [IDA00] und PROFInet [BiGi01], [FLB01], [BiFe01], [Wenz01], [KuWo03], [PROF03]. Allerdings verbirgt sich hinter beiden weit mehr als nur eine Anwendungsschicht. Vielmehr stellen sie ganzheitliche Architekturmodelle für verteilte Automatisierungssysteme dar. Auf diese Weise sollen die heute üblichen dezentralen Systemstrukturen, in denen aktive Steuerungen über Feldbusse mit mehr oder weniger passiven Sensoren und Aktoren kommunizieren, abgelöst werden. Stattdessen werden verteilte Systemstrukturen aus gleichberechtigten, aktiven Geräten angestrebt, die über Ethernet kommunizieren und zusammenwirken. Bezüglich der Anwendungsschicht für die Ethernet-basierte Kommunikation sieht IDA eine parallele Nutzung von Standard-Internetdiensten und einer eigens entworfenen objektorientierten Middleware vor, die zur Erzeugung einer systemweiten, einheitlichen Echtzeitdatenbasis dient. PROFInet geht dagegen noch einen Schritt weiter und ermöglicht einen komponentenbasierten Aufbau verteilter Automatisierungssysteme. Die Ethernet-basierte Kommunikation dient hier im Wesentlichen zur Interaktion der verteilten Automatisierungskomponenten untereinander. Aus diesem Grund wird als Anwendungsschicht DCOM verwendet, das ursprünglich zur Kommunikation zwischen verteilten COM-basierten Softwarekomponenten bzw. -applikationen entwickelt wurde. Zusätzlich können WWW-Dienste und Webservices genutzt werden, um die Geräte-, Verschaltungs- und Diagnoseinformationen der einzelnen Automatisierungskomponenten abzurufen.

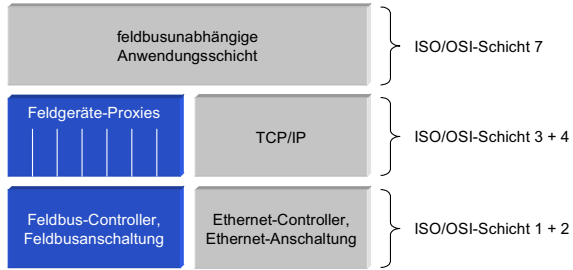


Abbildung 4.8: Definition einer feldbusunabhängigen Anwendungsschicht für Ethernet

4.2.2.2 eXtensible Markup Language (XML)

Abgesehen von Ethernet und TCP/IP gibt es noch eine weitere Internettechnologie, die als möglicher Wegbereiter für einen vereinheitlichten Informationsaustausch in der Feldbus- bzw. Automatisierungstechnik gehandelt wird: XML [W3C04]. XML ist ein Standard zur Repräsentation von strukturierten Daten in Form von textbasierten Dokumenten (ASCII-Code oder Unicode). In Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells gesprochen könnte man XML daher in Schicht 6 (Präsentationsschicht) einordnen. Als Besonderheit werden bei Verwendung von XML jedoch nicht allein die Werte der Daten dargestellt, sondern es wird zusätzlich auch die Struktur der Daten sichtbar gemacht. Zu diesem Zweck werden die Datenwerte eines XML-Dokuments mit Markierungen, sog. Tags, versehen. Tags sind Schlüsselwörter, die zwischen spitzen Klammern notiert und optional um ein oder mehrere Schlüssel/Wert-Paare, sog. Attribute, ergänzt werden können. Infolge der Markierung mit Tags und Attributen werden die Datenwerte eines XML-Dokuments klassifiziert und in einer Hierarchie angeordnet. Abbildung 4.9 zeigt ein exemplarisches XML-Dokument, in dem zwei Variablen aus dem Feldgerät eines TTP/A-Systems dargestellt werden. Neben den Werten dieser Daten ist anhand der Tags und Attribute auch ihre strukturelle Einbettung in das verteilte Dateisystem IFS erkennbar, das durch die Anwendungsschicht von TTP/A vorgegeben wird.

```
<?xml version="1.0"?>
<ifs:cluster id="0x01" xmlns:ifs="http://www.ias-stuttgart.de/2001/InterfaceFileSystem">
  <ifs:node alias="0xFE">
    <ifs:file name="0x10">
      <ifs:record number="0x01">1999</ifs:record>
      <ifs:record number="0x02">2004</ifs:record>
    </ifs:file>
  </ifs:node>
</ifs:cluster>
```

Abbildung 4.9: XML-Dokument mit zwei Variablen eines TTP/A-Knotens

Zu beachten ist, dass durch XML selbst weder eine Menge von erlaubten Tags und Attributen noch deren zulässige Sequenzen und Schachtelungen vorgegeben werden. XML legt lediglich Regeln fest, wie diese Markierungselemente auszusehen haben und wie sie von den Datenwerten abzugrenzen sind. Die Bestimmung der Namen und der Struktur der Tags und Attribute bleibt hingegen dem Anwender von XML überlassen. XML stellt demzufolge weder ein vordefiniertes Datenformat noch eine feststehende Markierungssprache dar. Vielmehr ist XML eine Meta-Markierungssprache. Sie dient dem Anwender als Grundlage zur Definition eigener Markierungssprachen, mit denen er die von ihm verwendeten Datenformate zum Ausdruck bringen kann. So beruhen die Tags und Attribute des exemplarischen XML-Dokuments aus Abbildung 4.9 auf der Markierungssprache IFSML (Interface File System Markup Language), die im Rahmen der Vier-Länder-Kooperation TTSB (Time-Triggerted Sensor Bus) entworfen wurde [Eber02]. Mit ihr können Daten und Operationen von TTP/A-Feldgeräten entsprechend der Struktur des von TTP/A definierten verteilten Dateisystems IFS dargestellt werden.

XML wurde in erster Linie zum Austauschen und Speichern von strukturierten Daten im WWW entworfen. Sie hat sich jedoch darüber hinaus in vielen anderen Bereichen, so auch in der Automatisierungstechnik, als zweckdienlich erwiesen [BRA00], [Albr03]. Der wesentliche Vorteil von XML und gleichzeitig der Grund für ihre große Popularität ist die inhärente Möglichkeit zur plattformunabhängigen Datendarstellung. Da XML-Dokumente rein textbasiert sind, können die darin enthaltenen Daten quer über alle Rechnerarchitekturen und Betriebssysteme hinweg ausgelesen und verarbeitet werden. In der Automatisierungstechnik galt XML deshalb zeitweilig sogar als Synonym für ein universelles Datenaustauschformat, mit dem sich die Heterogenität der Systeme und Lösungen überwinden und sämtliche Interoperabilitätsprobleme beseitigen ließen [AlMe02]. Dass XML allerdings keine Universalsprache, sondern „nur“ eine Metasprache ist und sich diese Hoffnung somit als unbegründet erweist, kann nicht wirklich XML selbst als Nachteil angelastet werden. Nichtsdestotrotz ist zu berücksichtigen, dass XML im Vergleich zu binären Datendarstellungsformen einen erheblich größeren Datenumfang verursacht. Dieser Umstand hat XML nicht von ungefähr das Attribut „verbose“ (zu deutsch „geschwätzig“) eingebracht.

In der Feldbustechnik lässt sich XML unter anderem als Vehikel für den Datenaustausch zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen nutzen (vgl. Abbildung 4.10, 2.3.2 Internetanbindung von Feldbussystemen). Dies hat sich insbesondere in solchen Fällen als nützlich erwiesen, in denen Feldbus- bzw. Automatisierungssysteme über das Internet zugänglich gemacht werden sollen [Eber00], [WBJG01]. Die hierbei verwendeten Markierungssprachen werden auch XML-Protokolle genannt, da sie neben den Tags und Attributen zur Nutzdardarstellung auch die Interaktionen zwischen den am Datenaustausch beteiligten Parteien, wie z.B. Lesen oder Schreiben, festzulegen haben [AlMe02], [W3C03b]. Es können zwei unterschiedliche Formen des XML-basierten Datenaustausches unterschieden werden: XML-Messaging mit anwendungsorientierten XML-Protokollen und Webservices mit middlewareorientierten XML-Protokollen. Zur

erstgenannten Kategorie gehören alle diejenigen XML-Protokolle, die speziell für die Automatisierungstechnik entwickelt wurden. Dies trifft unter anderem auf das bereits erwähnte XML-Protokoll IFSML für den zeitgesteuerten Feldbus TTP/A zu, das im Wesentlichen die von TTP/A definierte Anwendungsschicht IFS widerspiegelt [Eber02]. Darüber hinaus wird auch an universellen XML-Protokollen gearbeitet, die sich nicht nur für ein bestimmtes Feldbussystem, sondern ganz allgemein im Bereich der Automatisierungstechnik anwenden lassen. Ein Beispiel hierfür ist das XML-Protokoll AConML (Automatic CONtrol Markup Language), das derzeit im Rahmen eines DFG-Projekts entwickelt wird und auf das Fernleiten und Ferninstandhalten von Automatisierungssystemen über das Internet abzielt [Gabe01]. Ein alternatives XML-Protokoll mit ähnlicher Zielsetzung aber abweichender Realisierungsweise ist FactoryXML [Lang01]. Die zweitgenannte Kategorie von XML-Protokollen dient zur XML-basierten Übermittlung von entfernten Prozeduraufrufen. Sie bilden einen elementaren Bestandteil von XML-basierter Middleware und sind in beliebigen Bereichen der Informationstechnik anwendbar. Ihr bekanntester und in der Automatisierungstechnik am häufigsten genutzter Vertreter ist SOAP [W3C03a], [Rei02], [KuWo03]. Im Unterschied zum anwendungsorientierten XML-Messaging werden bei der Verwendung von SOAP-basierten Webservices nicht die ausgetauschten Daten selbst beschrieben. Stattdessen werden lediglich die Funktionen bzw. Dienste – kurz die Prozeduren – benannt, mit denen darauf zugegriffen wird.

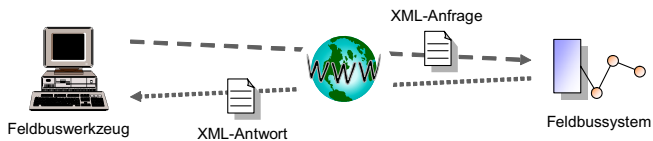


Abbildung 4.10: Nutzung von XML zum Datenaustausch zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen

Zusammenfassend ist nochmals festzustellen, dass ein wesentliches Ziel der Anwendung von Internettechnologien in der Automatisierungs- bzw. Feldbustechnik darin besteht, von der Vielfalt der heute im Einsatz befindlichen Kommunikationssysteme und -technologien wegzukommen, den Informationsaustausch zu standardisieren und auf diese Weise systemübergreifende Interoperabilität zu ermöglichen. Betrachtet man jedoch die Anzahl und die Beschaffenheit der Lösungen, die auf der Grundlage von Ethernet und TCP/IP bzw. XML erarbeitet wurden, so tritt eine Diskrepanz unerwarteten Ausmaßes zu Tage. In der Tat entsteht der Eindruck, dass die Standards des Internets lediglich einen gemeinsamen Rahmen darstellen, innerhalb dessen sich dann doch wieder spezifische Lösungen herausbilden. Somit scheinen sie die Vielfalt in der Feldbus- und Automatisierungstechnik nicht einzudämmen, sondern eher genau das Gegenteil zu bewirken.

4.3 Bewertung der Ansätze zur Standardisierung des Informationsaustausches

Falls die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen verwirklicht werden soll, so führt an einer Standardisierung des Informationsaustausches kein Weg vorbei – so zumindest die bisherige, einvernehmliche Auffassung von Feldbusherstellern und -anwendern. Doch je mehr Bemühungen zur Konsolidierung und Vereinheitlichung des Informationsaustausches unternommen werden, desto größer werden sowohl die Anzahl als auch die Heterogenität der dafür in Frage kommenden Ansätze. Die Standardisierung des Informationsaustausches entpuppt sich geradezu als ein Paradoxon. Um die Ursachen hierfür aufzudecken, müssen die verschiedenen Ansätze zunächst hinsichtlich der Informationsmodelle untersucht werden, die ihnen inhärent zu Grunde liegen. Aus letzteren geht hervor, welche Informationen übermittelt werden können (Semantik) und wie diese Informationen während der Übertragung darzustellen sind (Syntax). Da Feldbussysteme auf dem ISO/OSI-Referenzmodell beruhen, ist das Informationsmodell jeweils in ihrer Schicht 7 (Anwendungsschicht) wieder zu finden.

4.3.1 Analyse der zu Grunde liegenden Informationsmodelle

Betrachtet man die Informationsmodelle, die den verschiedenen Kandidaten für eine einheitliche Feldbusanwendungsschicht zu Grunde liegen, so wird schnell deutlich, dass sie sehr unterschiedlichen, zum Teil sogar widersprüchlichen Anforderungen zu genügen haben (vgl. 2.5.3 Bewertung und Vergleich der Anwendungsschichten und Geräteprofile). So steht manchmal die Problemnähe des Informationsmodells im Vordergrund, d.h. es soll die Anwendungsfälle, für die es vorgesehen ist, möglichst genau widerspiegeln (vgl. Abbildung 4.11). Dies hat eine vergleichsweise spezifische Semantik des Informationsmodells zur Folge. Andere Male wird auf die Überschaubarkeit und leichte Erlernbarkeit des Informationsmodells Wert gelegt, was zu einer stark verallgemeinerten Semantik führt. In wieder anderen Fällen steht die universelle Anwendbarkeit an oberster Stelle, sodass sich das betreffende Informationsmodell für möglichst viele Arten von Feldbussystemen und -werkzeugen gemeinsam nutzen lässt. Entscheidend hierfür ist, dass die Semantik des Informationsmodells unabhängig von den spezifischen Kommunikationsmechanismen bestimmter Feldbusse und Zubringerkommunikationssysteme bleibt. Und schließlich ist zu beobachten, dass es Informationsmodelle gibt, die sich in Sachen Problemnähe, Überschaubarkeit und universelle Anwendbarkeit zwar sehr nahe kommen, aber nichtsdestotrotz eine völlig unterschiedliche Syntax und Semantik aufweisen.

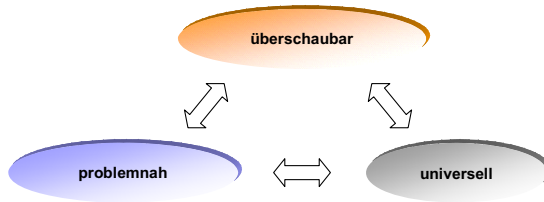


Abbildung 4.11: Unterschiedliche Anforderungen an eine einheitliche Feldbusanwendungsschicht

Die Idee, dieses Geflecht sich ausschließender Anforderungen mit Hilfe der Internet-Standards Ethernet und TCP/IP aufzulösen, erscheint auf den ersten Blick sehr viel versprechend (vgl. 4.2.2.1 Ethernet und TCP/IP). Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass Ethernet und TCP/IP lediglich die Schichten 1 (Bitübertragungsschicht) bis 4 (Transportschicht) des ISO/OSI-Referenzmodells abdecken. Sie können daher bestenfalls als Ersatz für die entsprechenden Schichten von Feldbussystemen dienen, haben jedoch von Haus aus keine Alternative für deren Schicht 7 (Anwendungsschicht) anzubieten. Als Ergebnis können darüber liegende Anwendungen tatsächlich auf einheitliche Weise und unabhängig vom physikalischen Übertragungsmedium weltweit Daten übertragen. Die Frage nach einem dazu passenden, weltweit einheitlichen Informationsmodell, das man diesen Daten zu Grunde legen könnte, bleibt hingegen unbeantwortet. Ethernet und TCP/IP stellen folglich einen reinen Kommunikationsstandard dar. Von der Schaffung eines standardisierten Informationsmodells kann jedoch keineswegs die Rede sein. Um diese Lücke zu schließen, bleibt kein anderer Weg, als entweder eine bestehende Feldbusanwendungsschicht zu übernehmen oder eine neue, feldbusunabhängige Anwendungsschicht für die Automatisierungstechnik zu definieren. Damit steht man jedoch wieder genau dort, wo man angefangen hatte, und die Aussichten, dass die Vielfalt der dabei entstehenden Informationsmodelle diesmal geringer ausfällt, sind äußerst bescheiden.

Die Internettechnologie XML lässt das Ringen um ein einheitliches Informationsmodell abermals in einem anderen Licht erscheinen (vgl. 4.2.2.2 eXtensible Markup Language (XML)). Sie verkörpert weder ein Datenübertragungsprotokoll noch eine Anwendungsschicht. Stattdessen ermöglicht XML eine standardisierte Darstellung von Daten mit Hilfe von Markierungssprachen. Der wesentliche Gewinn liegt hierbei in der Plattformunabhängigkeit, die diese Form der Datendarstellung mit sich bringt. Dennoch darf Plattformunabhängigkeit nicht mit Interoperabilität verwechselt werden. Zwar wird Interoperabilität durch eine plattformunabhängige Datendarstellung begünstigt, ähnlich wie dies auch für eine plattformunabhängige Datenübertragung mit Ethernet und TCP/IP gilt. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage nach einem plattformunabhängigen Informationsmodell, aus dem hervorgeht, *welche* Dateninhalte bzw. Informationen vorkommen und Gegenstand einer Datendarstellung sein können, weiterhin ungeklärt. Die einzige Neuerung, die XML in dieser Hinsicht mit sich bringt, ist die Möglichkeit, das jeweils verwendete spezifische Informationsmodell auf einheitliche Weise in spitze Klammern zu verpacken.

Prinzipiell lässt sich für jede Feldbusanwendungsschicht auch eine passende XML-basierte Markierungssprache bzw. ein XML-Protokoll definieren. Jedoch wird ihre Vielfalt dadurch in keiner Weise verringert. Die Uneinheitlichkeit der Informationsmodelle, die den Anwendungsschichten von Feldbussystemen zu Grunde liegen, wird durch XML folglich nicht aufgehoben, sondern lediglich umformuliert.

Als Ergebnis dieser Überlegungen ist festzuhalten, dass sämtliche Anläufe zur Standardisierung des Informationsaustausches mit Feldbussystemen – sei es mit oder ohne Zuhilfenahme von Internettechnologien – aus genau demselben Grund ihr Ziel verfehlt haben. Es war bisher nie möglich, ein wirklich einheitliches Informationsmodell zu schaffen, das von *allen* Feldbusherstellern und -anwendern gleichermaßen anerkannt und akzeptiert wird. Was bei den einen als konzeptionelle Errungenschaft gilt, wird von manch anderen als inakzeptable Einschränkung empfunden. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich künftig an dieser Situation etwas ändern wird, ist sehr gering. Somit ist von einem Fortbestand, sehr wahrscheinlich sogar von einer weiteren Zunahme des „Wildwuchses“ unterschiedlicher Informationsmodelle auszugehen.

4.3.2 Ursache für das Standardisierungsdilemma

An dieser Stelle können im Hinblick auf die fehlende systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen folgende Aussagen gemacht werden: Erstens, die maßgebliche Ursache für dieses Problem ist die Uneinheitlichkeit der Informationsmodelle, die den Anwendungsschichten der Feldbussysteme zu Grunde liegen. Zweitens, trotz zahlloser Versuche zur Standardisierung des Informationsaustausches konnte dieser Umstand bis heute *nicht* beseitigt werden. Dennoch bleibt die Frage, *weshalb* sich Informationsmodelle jedem Versuch der Vereinheitlichung so hartnäckig widersetzen. Diese Frage stellt sich umso mehr, wenn man nochmals das Beispiel der Internettechnologien in Betracht zieht. Schließlich konnten hier in der Tat weltweit anerkannte und akzeptierte Standards etabliert werden und als Folge dieser Standardisierung wurden bemerkenswerte Fortschritte möglich. Es kann demnach nicht darum gehen, den Prozess der Standardisierung grundsätzlich in Zweifel zu ziehen.

Die Beantwortung dieser Frage erfordert zunächst eine Änderung der Betrachtungsweise, die dem Informationsaustausch zu Grunde gelegt wird (vgl. 4.1.4 Informationsaustausch). Bisher war in diesem Zusammenhang das ISO/OSI-Referenzmodell maßgeblich. Seine sieben Schichten beinhalten letztendlich sowohl ein Kommunikations- sowie auch ein Informationsmodell, die von Sender und Empfänger gemeinsam genutzt werden (vgl. Abbildung 4.5 in 4.1.4 Informationsaustausch). Ein anderes Bild ergibt sich hingegen, wenn man das im Rahmen dieser Arbeit entstandene allgemeine Informationsaustauschmodell heranzieht. Im Gegensatz zum ISO/OSI-Referenzmodell wird hier die Subjektivität der Information mitberücksichtigt. Daher steht lediglich das Kommunikationsmodell für Sender und Empfänger gemeinsam zur Verfügung, wohingegen das Informationsmodell auf beiden Seiten separat ausgeführt ist (vgl. Abbildung 4.6 in 4.1.4 Informationsaustausch).

Vor dem Hintergrund dieses allgemeinen Informationsaustauschmodells lässt sich zum einen erklären, weswegen die Standardisierung im Falle der Internettechnologien gelingen konnte, während sie bei den Anwendungsschichten von Feldbussystemen zu keinen verwertbaren Ergebnissen führte. Wie bereits dargelegt wurde, beziehen sich die Standards des Internets in erster Linie auf die Übertragung von Daten und die Darstellung von Daten während der Übertragung. Gegenstand der Standardisierung ist demnach allein das Kommunikationsmodell, das Sender und Empfänger gemeinsam teilen. Die Standardisierung der Feldbusanwendungsschichten zielt jedoch auf eine gemeinsame Syntax und Semantik der Daten ab und betrifft somit das Informationsmodell. In Bezug auf das allgemeine Informationsaustauschmodell stellt dieses Vorhaben jedoch einen Widerspruch dar. Ihm nach gehören die Informationsmodelle zum individuellen Gut des jeweiligen Senders bzw. Empfängers und es kann *nicht* grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass sie auf beiden Seiten identisch sind.

Zum anderen liefert das allgemeine Informationsaustauschmodell eine Antwort auf die Frage, weshalb sich Informationsmodelle nicht vereinheitlichen lassen. Ausschlaggebend hierfür ist die Subjektivität der Information, d.h. der Umstand, dass Syntax und Semantik keine neutralen Größen darstellen, sondern stets von der Pragmatik einer bestimmten Anwendergruppe geprägt sind. Daher muss in Informationsmodellen neben Syntax und Semantik stets auch die jeweilige Pragmatik mit aufgenommen werden. Sie repräsentiert die individuelle Sichtweise der Anwendergruppe, die ein Informationsmodell hervorgebracht hat. Gleichzeitig definiert sie den Kontext, innerhalb dessen die Semantik und die Syntax eines Informationsmodells festgelegt werden und anwendbar sind. Eine Standardisierung von Informationsmodellen ist demzufolge immer nur innerhalb abgegrenzter Anwendergruppen möglich, die eine gemeinsame Sichtweise teilen. Global gesehen liegen die Standpunkte, Vorkenntnisse, Interessen und Präferenzen der verschiedenen Anwendergruppen jedoch viel zu weit auseinander, als dass sie sich durch ein einzelnes Informationsmodell auf einen gemeinsamen Nenner bringen ließen. Demzufolge geht die Frage nach dem „richtigen“ Informationsmodell von vornherein in die falsche Richtung, denn sie missachtet die Subjektivität der Information und ignoriert die Existenz alternativer Sichtweisen.

Damit ist die Beobachtung, dass eine Standardisierung der Informationsmodelle bzw. des Informationsaustausches nicht möglich scheint, zur Gewissheit geworden. Dies bedeutet gleichzeitig auch, dass die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen auf diesem Wege nicht verwirklicht werden kann. Das Erkennen und Berücksichtigen der hierfür maßgeblichen Ursache bedeutet gleichsam eine Art pragmatische Wende der Informationstechnik: Weder Informationsmodelle noch die daraus hervorgehenden Artefakte (z.B. Datenaustauschformate, Markierungssprachen, Anwendungsschichten, usw.) können als etwas Absolutes angesehen werden. Vielmehr sind sie stets das subjektive Produkt einer bestimmten Anwendergruppe und beruhen auf der von ihr vertretenen, individuellen Sichtweise.

4.4 Anforderungen an einen flexibleren Informationsaustausch

Die wichtigste Konsequenz aus der in vorliegender Arbeit vertretenen verallgemeinerten Auffassung von Informationsaustausch lautet, dass es anders als bei Kommunikationsmodellen keine globalen Standards für Informationsmodelle geben kann. Dies soll allerdings nicht heißen, dass eine Vereinheitlichung des Informationsaustausches generell zwecklos ist. Solange sich der Informationsaustausch innerhalb einer bestimmten Anwendergruppe abspielt und die zu Grunde liegende Sichtweise stets dieselbe bleibt, ist es durchaus möglich, sich auf ein gemeinsames Informationsmodell zu einigen. Auf diese Weise kann der Informationsaustausch zumindest auf lokaler Ebene vereinheitlicht werden. Sobald hingegen mehrere Anwendergruppen in den Informationsaustausch miteinbezogen werden müssen, sind die Grenzen der Standardisierbarkeit erreicht. In diesem Fall treffen unweigerlich mehrere anwendergruppenspezifische Informationsmodelle aufeinander, die sich aus unterschiedlichen, meist unvereinbaren Sichtweisen heraus entwickelt haben. Sie sind infolgedessen nur schwer oder überhaupt nicht miteinander in Einklang zu bringen.

In der Feldbustechnik stellt die Vielzahl der Anwendergruppen, die mit Informationen aus Feldbussystemen zu tun haben, eine wohlbekannte Begleiterscheinung dar. Sie gehören unterschiedlichen Branchen an, haben verschiedenartige Aufgaben und Tätigkeiten durchzuführen und nehmen Feldbussysteme somit auf jeweils andere Art und Weise wahr. Hinzukommt, dass sich in der Feldbustechnik derzeit ein entscheidender Wandel vollzieht: die Anbindung von Feldbussystemen an das Internet und der damit verbundene unternehmensweite oder weltweite Zugriff auf Informationen aus Feldbussystemen. Somit ist absehbar, dass zum einen die Zahl der Anwender, die mit Informationen aus Feldbussystemen in Berührung kommen, weiter ansteigen wird. Zum anderen wird auch ihre Verschiedenheit größer ausfallen als bisher, da Feldbusinformationen in immer mehr Bereichen außerhalb des klassischen Automatisierungsumfelds Verwendung finden werden (Stichwort vertikale Integration, vgl. 2.5 Systemübergreifende Integrierbarkeit von Feldbussystemen und -werkzeugen). Dies wird zwangsläufig dazu führen, dass die Unterschiede und Gegensätzlichkeiten der Sichtweisen auf Feldbussysteme künftig noch ausgeprägter sein werden als dies heute schon der Fall ist.

Im Zuge der weiteren Entwicklung der Feldbustechnik wird es unumgänglich sein, diese Tendenz zu erkennen und in angemessener Form zu berücksichtigen. Bedingt durch die verstärkt einsetzende Internetanbindung von Feldbussystemen wird die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen immer mehr auch eine anwenderübergreifende Interoperabilität sein müssen. Sie muss folglich auch dann herstellbar sein, wenn keine gemeinsame Sicht auf die Dinge besteht und die Möglichkeit einer Vereinheitlichung von Informationsmodell und Informationsaustausch von vornherein ausscheidet. Um zu einem Lösungskonzept zu gelangen, das dieser Herausforderung gewachsen ist, wird in der vorliegenden Arbeit das Ziel

der adaptiven Internetanbindung von Feldbussystemen verfolgt: Feldbussysteme und -werkzeuge sollen unabhängig von ihrer Art und ihrem Hersteller über ein Intranet oder das Internet Informationen austauschen und zusammenarbeiten können. Doch statt ihre Informationsmodelle zu standardisieren, wird jeder Anwendergruppe ein eigenes Informationsmodell zugestanden, das ihren individuellen Bedürfnissen und Absichten entspricht. Damit dessen ungeachtet ihre systemübergreifende Interoperabilität gewährleistet werden kann, müssen sich Feldbussysteme in flexibler Weise an das jeweilige Feldbuswerkzeug anpassen lassen. Im Einzelnen sind dabei folgende Anforderungen und Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Es wird davon ausgegangen, dass die Feldbussysteme und -werkzeuge entweder temporär oder dauerhaft an ein Intranet oder das Internet angebunden sind oder sein werden.
- Jeder Anwender kann seine Feldbuswerkzeuge der von ihm bevorzugten Sichtweise entsprechend auswählen bzw. ausgestalten. Insbesondere kann er dabei die Semantik und Syntax, die beim Informationsaustausch mit Feldbussystemen verwendet wird, nach eigenem Ermessen festlegen.
- Feldbussystemen wird wie bisher die Sichtweise des jeweiligen Herstellers zu Grunde gelegt. Daher können auch die Semantik und Syntax, die in den jeweiligen Anwendungsschichten der Feldbussysteme festgelegt sind, unverändert beibehalten werden.
- Es wird ein Lösungskonzept entwickelt, das einen Informationsaustausch zwischen beiden Seiten dennoch möglich macht. Dies geschieht, indem die Feldbussysteme in flexibler Weise und während des laufenden Betriebs an verschiedenartige Feldbuswerkzeuge angepasst werden. Die Anpassung des Informationsaustausches bleibt für die Anwender transparent, d.h. für sie ergeben sich keinerlei Änderungen beim Einsatz und der Bedienung ihrer Feldbuswerkzeuge.
- Um die generelle Anwendbarkeit des zu entwickelnden Informationsaustauschkonzepts sicherzustellen, muss es für beliebige Feldbusanwendungsschichten genutzt werden können. Außerdem muss es unabhängig von den Zubringerkommunikationssystemen bleiben, die zwischen Feldbussystem und Feldbuswerkzeug zum Einsatz kommen.
- Des Weiteren ist darauf zu achten, dass das zu entwickelnde Informationsaustauschkonzept in seiner Anwendung kostengünstig bleibt. Insbesondere darf durch seinen Einsatz in eingebetteten Feldbussystemen kein wesentlicher Mehrbedarf an Systemressourcen (Rechenleistung, Speicherplatz, usw.) verursacht werden.
- Das zu entwickelnde Informationsaustauschkonzept bezweckt eine möglichst einfache und komfortable Interaktion zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen unterschiedlichen Ursprungs. Der Fokus liegt daher auf einem nachrichtenorientierten Informationsaustausch unter moderaten Echtzeitbedingungen im Sekundenbereich. Die datenorientierte Kommunika-

tion innerhalb von Feldbussystemen, die meist wesentlich höheren Echtzeitanforderungen zu genügen hat, bleibt hiervon unberührt.

- Zusammen mit dem zu entwickelnden Informationsaustauschkonzept soll auch eine entsprechende Werkzeugunterstützung geschaffen werden, um den praktischen Einsatz des Konzepts zu erleichtern.

In diesem Kapitel wurde zunächst der Begriff des Informationsaustausches geprägt. Der markanteste Unterschied zur bisher verbreiteten Auffassung dieses Sachverhalts liegt in der expliziten Berücksichtigung der Dualität und der Subjektivität der Information. Demzufolge hat sich das ursprünglich für beide Seiten gleichsam gültige ISO/OSI-Referenzmodell in ein gemeinsames Kommunikationsmodell und zwei individuelle Informationsmodelle für den Sender und den Empfänger aufgeteilt. Letztere spiegeln die individuelle Sichtweise der jeweiligen Seite wider und können im Einzelfall sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Ausgehend von dieser verallgemeinerten Betrachtungsweise konnte eine Erklärung gefunden werden, weshalb man sich mit allen bisherigen Anläufen zur Herstellung der systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen mehr oder weniger im Kreis gedreht hat. So wurde auf die eine oder andere Art stets nach einem Informationsmodell gesucht, das von allen Feldbusherstellern und -anwendern akzeptiert wird und zum Standard erhoben werden kann. Zieht man jedoch den in der Pragmatik des jeweiligen Personenkreises begründeten subjektiven Charakter von Information in Betracht, so muss man feststellen, dass dieses Vorhaben einen Widerspruch zur Natur der Information darstellt und demzufolge gar nicht gelingen kann. Um eine Alternative zur Standardisierung des Informationsaustausches aufzuzeigen und das Ziel der systemübergreifenden Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen doch noch zu verwirklichen, wurden schließlich Anforderungen an eine neue Form des Informationsaustausches formuliert. Dabei wird davon ausgegangen, dass Feldbuswerkzeug und Feldbussystem im Allgemeinen auf verschiedenen Informationsmodellen beruhen. Im Gegenzug wird dafür gesorgt, dass das Feldbussystem entsprechend der jeweiligen Situation an verschiedene Feldbuswerkzeuge angepasst werden kann. Im folgenden Kapitel wird aus dieser Idee ein praktisch anwendbares Lösungskonzept entwickelt.

5 Konzept des adaptiven Informationsaustausches

Zweck des adaptiven Informationsaustausches ist die Herstellung der Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen, denen jeweils unterschiedliche Informationsmodelle zu Grunde liegen. Auf diese Weise kann das Informationsmodell auf der Seite des Feldbuswerkzeugs entsprechend der Aufgaben und Tätigkeiten des Anwenders und der von ihm vertretenen Sichtweise ausgewählt und festgelegt werden. Ungeachtet dessen kann im Feldbussystem das bisher verwendete Informationsmodell, mit anderen Worten die Feldbusanwendungsschicht, beibehalten werden, die im Wesentlichen die Sichtweise des jeweiligen Herstellers verkörpert. Damit beide Seiten nichtsdestotrotz in gewünschter Weise zusammenwirken können, wird der Informationsaustausch auf adaptivem Wege abgewickelt, d.h. das Feldbussystem wird auf flexible und transparente Weise an das jeweilige Feldbuswerkzeug angepasst. In diesem Kapitel wird zunächst beschrieben, welche grundsätzlichen Möglichkeiten bestehen, um den Informationsaustausch zwischen einem Sender und einem Empfänger mit unterschiedlichen Informationsmodellen zu ermöglichen. Daraus werden anschließend zwei alternative Ausprägungen des adaptiven Informationsaustausches abgeleitet. Diese bilden gleichzeitig den Ausgangspunkt für die folgenden beiden Kapitel, die zwei wesentlichen Teilaspekten des adaptiven Informationsaustausches gewidmet sind.

5.1 Informationsaustausch mit unterschiedlichen Informationsmodellen

Bisher erfolgt der Informationsaustausch zwischen technischen Systemen im Wesentlichen auf Grundlage des ISO/OSI-Referenzmodells. Infolgedessen wird dem Informationsaustausch ein gemeinsames Informationsmodell zu Grunde gelegt, das für Sender und Empfänger verpflichtend ist. Dies bringt die Einschränkung mit sich, dass auf beiden Seiten stets dieselben Informationen verwendet werden müssen. Im Gegenzug brauchen sie während der Übermittlung vom Sender zum Empfänger in keiner Weise verändert zu werden. Anders dagegen beim Informationsaustausch entsprechend dem allgemeinen Informationsaustauschmodell, das in dieser Arbeit eingeführt wurde. Hier beruhen Sender und Empfänger auf verschiedenen Informationsmodellen. Die Informationen, mit denen auf beiden Seiten gearbeitet wird, müssen sich zwar nach wie vor entsprechen, sie brauchen jedoch nicht mehr zwangsläufig dieselben sein. Dies hat jedoch zur Folge, dass Informationen, die von einem Sender an einen Empfänger übermittelt werden, nicht mehr in jedem Fall unverändert bleiben können. Vielmehr müssen die mit der Semantik des Senders gebildeten Informationen in äquivalente Informationen entsprechend der Semantik des Empfängers *transformiert* werden. Grundsätzlich bestehen drei verschiedene Möglichkeiten, um eine solche Informationstransformation vorzunehmen.

Bei der ersten von ihnen wird die Transformation der ausgetauschten Informationen im Rahmen der Interpretation beim Empfänger bewerkstelligt (vgl. Abbildung 5.1). Die vom Sender zum Empfänger laufenden Nachrichten behalten die Syntax aus dem Informationsmodell des Senders bei und die Informationstransformation findet erst im Anschluss an die Übertragung statt. Damit bleibt die Repräsentation von Informationen auf der Seite des Senders trivial, denn es kommen sowohl die Semantik als auch die Syntax des eigenen Informationsmodells zur Anwendung. Demgegenüber ist die Interpretation auf der Seite des Empfängers mit höherem Aufwand verbunden. Hier müssen aus Nachrichten, die die Syntax eines fremden Informationsmodells aufweisen, Informationen mit der Semantik des eigenen Informationsmodells abgeleitet werden.

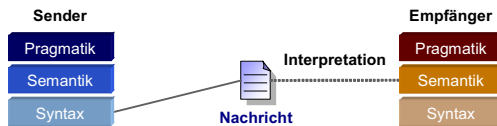


Abbildung 5.1: Transformation der ausgetauschten Informationen im Zuge der Interpretation

Den genau umgekehrten Fall stellt die Transformation der ausgetauschten Informationen im Zuge der Repräsentation beim Sender dar (vgl. Abbildung 5.3). Die Informationstransformation erfolgt im Vorfeld der Übertragung und die vom Sender zum Empfänger transportierten Nachrichten weisen bereits die Syntax aus dem Informationsmodell des Empfängers auf. Damit ist diesmal bei der Repräsentation auf der Seite des Senders in besonderer Weise zu verfahren. Hier müssen Informationen, die in der Semantik des eigenen Informationsmodells vorliegen, in Nachrichten mit der Syntax eines anderen Informationsmodells überführt werden. Dagegen kann die Interpretation der Nachrichten auf der Seite des Empfängers in gewohnter Manier, d.h. allein unter Verwendung des eigenen Informationsmodells, abgewickelt werden.



Abbildung 5.2: Transformation der ausgetauschten Informationen im Zuge der Repräsentation

Als dritte Möglichkeit zur Transformation der ausgetauschten Informationen bietet sich eine Übersetzung der Nachrichten während der Übertragung an (vgl. Abbildung 5.3). In diesem Fall weisen alle beim Sender auslaufenden Nachrichten die Syntax des senderseitigen Informationsmodells auf. Beim Empfänger treffen hingegen nur Nachrichten mit der Syntax des empfängerseitigen Informationsmodells ein. Die Transformation der Informationen findet auf dem Weg zwischen Sender und Empfänger statt. Dabei müssen Nachrichten, die in der Syntax des einen Informationsmodells vorliegen, in entsprechende Nachrichten mit der Syntax eines anderen Informationsmodells umgesetzt werden. Demgegenüber können sowohl die Repräsentation der

Informationen des Senders als auch die Interpretation der Nachrichten beim Empfänger entsprechend dem jeweils eigenen Informationsmodell erfolgen, ohne dass weitere Besonderheiten zu beachten sind.

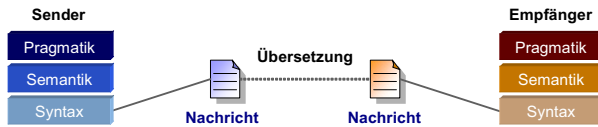


Abbildung 5.3: Transformation der ausgetauschten Informationen durch Übersetzung

Zweifelsohne kann eine Transformation der ausgetauschten Informationen – und damit auch der Informationsaustausch als Ganzes – nur dann gelingen, wenn die beiderseitigen Informationsmodelle nicht vollständig disjunkt sind. Diese Voraussetzung gilt für beide der zuvor beschriebenen Möglichkeiten der Informationstransformation gleichermaßen. Zwar dürfen die Informationsmodelle von Sender und Empfänger auf individuellen Sichtweisen beruhen und infolgedessen unterschiedliche Begriffswelten definieren. Nichtsdestotrotz müssen sich die beiderseitigen Informationen letztendlich auf dieselben Objekte und Zusammenhänge der Realität beziehen. Nur so können für die Informationen der einen Seite Entsprechungen gefunden werden, die auf der anderen Seite nützlich und verwertbar sind. Ist dies nicht der Fall, so verkörpern die Informationsmodelle von Sender und Empfänger nicht nur unterschiedliche Auffassungen derselben Sachverhalte, sondern die Sachverhalte an sich sind verschieden. Die beiderseitigen Informationen haben nichts miteinander zu tun und sind für die jeweils andere Seite ohne Belang.

5.2 Adaptiver Informationsaustausch

Der adaptive Informationsaustausch ermöglicht eine Verständigung zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen, die auf verschiedenen Informationsmodellen beruhen. Dazu wird abgesehen von der Informationsübermittlung auch eine Transformation der ausgetauschten Informationen vorgenommen. Zu beachten ist, dass sich die Informationsmodelle auf beiden Seiten nicht nur unterscheiden, sondern dass sie zusätzlich auch variieren, je nach dem, welches Feldbuswerkzeug und welches Feldbussystem gerade miteinander in Verbindung stehen. Folglich kann die Transformation der ausgetauschten Informationen nicht nach einem feststehenden Schema erfolgen, vielmehr muss sie auf *flexible* Weise an wechselnde Informationsmodelle angepasst werden. Darüber hinaus soll die Informationstransformation aus der Sicht des Anwenders *transparent* sein, d.h. das Feldbuswerkzeug soll hiervon gänzlich unberührt bleiben. Folglich muss die Informationstransformation stets von Seiten des Feldbussystems initiiert und abgewickelt werden.

Um die Flexibilität bezüglich wechselnder Informationsmodelle zu gewährleisten, erfolgt der adaptive Informationsaustausch auf Grundlage von austauschbaren Transformationsvorschriften

(vgl. Abbildung 5.4). Diese stellen jeweils eine Art Nachschlagewerk dar, das die Entsprechungen zwischen den Informationen *eines* feldbuswerkzeugseitigen und *eines* feldbussystemseitigen Informationsmodells wiedergibt. Zur Erstellung der Transformationsvorschriften genügt jeweils eine Person, die die Informationsmodelle beider Seiten kennt und alle übereinstimmenden Informationen zu identifizieren weiß. Anschließend können all diejenigen Anwender davon profitieren, die zwar mit dem Informationsmodell ihres Feldbuswerkzeugs vertraut sind, aber das des Feldbussystems weder kennen noch verstehen. Abhängig davon, welches Feldbussystem und Feldbuswerkzeug miteinander in Kontakt treten, braucht zuvor lediglich die jeweils passende Transformationsvorschrift ausgewählt zu werden. Mit ihrer Hilfe lassen sich daraufhin die zwischen beiden Seiten ausgetauschten Informationen ineinander überführen.

Die Transparenz der Informationstransformation gegenüber dem Anwender wird erreicht, indem sämtliche Transformationsvorschriften an einem bekannten Ort im Internet hinterlegt werden (vgl. Abbildung 5.4). Damit entfällt die Notwendigkeit, dass das Feldbuswerkzeug bzw. der Anwender die jeweils zu benutzende Transformationsvorschrift selbst kennen und zur Verfügung stellen muss. Stattdessen wird diese Aufgabe von einem sog. Transformationsserver wahrgenommen, der dem Feldbussystem über das Internet zugänglich gemacht wird.

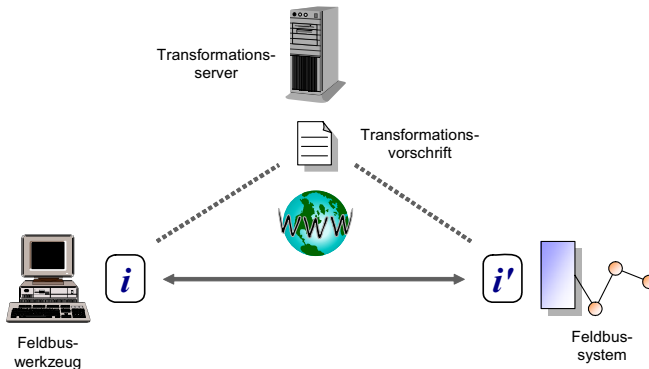


Abbildung 5.4: Prinzip des adaptiven Informationsaustausches

Ausgehend von den Möglichkeiten der Informationstransformation, die im vorangehenden Abschnitt beschrieben wurden, werden im Folgenden zwei alternative Ausprägungen des adaptiven Informationsaustausches vorgestellt: die adaptive Interpretation und die adaptive Übersetzung.

5.2.1 Adaptive Interpretation

Die adaptive Interpretation findet im Feldbussystem statt. Die Informationstransformation erfolgt zum einen anlässlich der Interpretation der vom Feldbuswerkzeug eintreffenden Nachrichten, zum anderen aber auch bei der Repräsentation der vom Feldbussystem herausgegebenen

Informationen. Die dabei verwendeten Transformationsvorschriften heißen Interpretationsvorschriften. Sie enthalten Regeln, mit denen sich aus den Anfragenachrichten, die in der Syntax des Feldbuswerkzeugs vorliegen, Informationen entsprechend der Semantik des Feldbussystems gewinnen lassen. Dies sind im Wesentlichen die Dienste aus der Anwendungsschicht des Feldbussystems, mit denen die Anfragenachrichten des Feldbuswerkzeugs zu verarbeiten sind. Darüber hinaus beschreiben die Regeln von Interpretationsvorschriften stets auch, wie die Informationen, die von den Feldbusdiensten zurückgeliefert werden und die Semantik des Feldbussystems aufweisen, in Antwortnachrichten mit der Syntax des Feldbuswerkzeugs zu verpacken sind.

Der Ablauf der adaptiven Interpretation vollzieht sich in folgender Weise: Das Feldbuswerkzeug sendet eine Anfragenachricht und verwendet dabei die Syntax des ihm eigenen Informationsmodells (vgl. Abbildung 5.5). Zusätzlich versieht es die Anfragenachricht mit einer Kennung, die die feldbuswerkzeugeitige Syntax eindeutig identifiziert. Wenn eine solche Anfragenachricht vom Feldbussystem empfangen wird, kann sie dort zunächst weder verstanden noch verarbeitet werden. Das Feldbussystem entnimmt ihr jedoch die Kennung der ihr zu Grunde liegenden Syntax und übermittelt sie zusammen mit einer Kennung der feldbussystemseitig benutzten Semantik, d.h. der Feldbusanwendungsschicht, an den Transformationsserver. Letzterer ermittelt anhand der beiden Kennungen die passende Interpretationsvorschrift und sendet sie an das Feldbussystem zurück. Daraufhin ist das Feldbussystem einerseits in der Lage, die zuvor eingetroffene Anfragenachricht zu interpretieren und mit Hilfe von Diensten aus seiner Anwendungsschicht zu verarbeiten. Andererseits erfährt es, wie es aus den von den Feldbusdiensten zurückgelieferten Ergebnisdaten eine Antwortnachricht erstellen kann, die bereits wieder in der Syntax des Feldbuswerkzeugs abgefasst ist. Im letzten Schritt wird diese Antwortnachricht vom Feldbussystem an das Feldbuswerkzeug zurückgesendet.

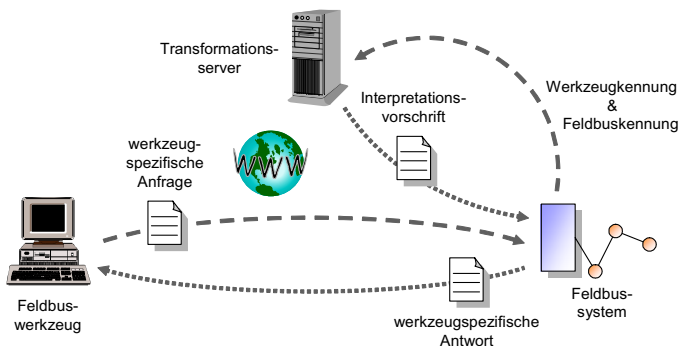


Abbildung 5.5: Ablauf der adaptiven Interpretation

5.2.2 Adaptive Übersetzung

Im Gegensatz zur adaptiven Interpretation erfolgt die adaptive Übersetzung nicht im Feldbus-system selbst, sondern auf dem Transformationsserver im Internet. Letzterer übernimmt neben der Bereitstellung der Transformationsvorschriften auch die Durchführung der Informations-transformation, indem er feldbuswerkzeugspezifische Nachrichten in feldbussystemspezifische Nachrichten übersetzt bzw. umgekehrt. Die hierfür benutzten Transformationsvorschriften werden als Übersetzungsvorschriften bezeichnet. Aus ihnen geht einerseits hervor, wie sich die Anfragenachrichten, die zunächst die Syntax des Feldbuswerkzeugs aufweisen, in äquivalente Anfragenachrichten mit der Syntax des Feldbussystems umsetzen lassen. Andererseits legen sie auch fest, wie die zurück erwarteten Antwortnachrichten, die am Ende wieder in der Syntax des Feldbuswerkzeugs vorzuliegen haben, aus den Antwortnachrichten mit der Syntax des Feldbus-systems abgeleitet werden können.

Im Einzelnen verläuft die adaptive Übersetzung in folgenden Schritten: Wie bei der adaptiven Interpretation sendet das Feldbuswerkzeug eine Anfragenachricht, benutzt hierfür die Syntax des ihm zu Grunde liegenden Informationsmodells und macht diese anhand einer in die Anfragenachricht eingefügten Kennung deutlich (vgl. Abbildung 5.6). Nach dem Empfang der Anfragenachricht beim Feldbussystem wird sie um eine Kennung der feldbussystemseitig verwendeten Syntax ergänzt und an den Transformationsserver weitergeleitet. Dieser entnimmt der Anfragenachricht die beiden Kennungen, wählt eine zu ihnen passende Übersetzungsvorschrift aus und führt mit deren Hilfe die Übersetzung der eingetroffenen Anfragenachricht durch. Die hieraus hervorgehende Anfragenachricht entspricht der ursprünglichen, allerdings weist sie anstelle der Syntax des Feldbuswerkzeugs die des Feldbussystems auf. Der Transformationsserver leitet sie an das Feldbussystem zurück. Daraufhin führt das Feldbussystem die Interpretation und die Verarbeitung der Anfragenachricht durch und erstellt eine dementsprechende Antwortnachricht. Grundlage hierfür bildet allein die ihm eigene Feldbusanwendungsschicht, d.h. die Antwortnachricht wird erneut in der Syntax des Feldbussystems abgefasst. Ihre Übermittlung an das Feldbuswerkzeug erfolgt daher in analoger Weise wie die der Anfragenachricht an das Feldbus-system. Zunächst wird sie an den Transformationsserver geleitet, um sie dort in die feldbus-werkzeugseitige Syntax übersetzen zu lassen. Anschließend wird sie an das Feldbuswerkzeug zurückgesendet.

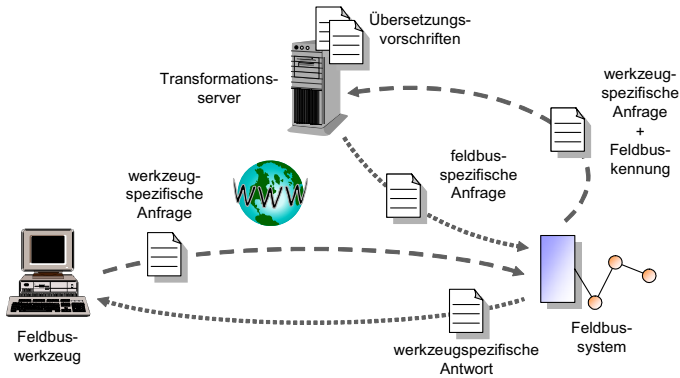


Abbildung 5.6: Ablauf der adaptiven Übersetzung

5.3 Bewertung und Vergleich der adaptiven Informationsaustauschverfahren

Die beiden vorgestellten Varianten des adaptiven Informationsaustausches machen deutlich, dass das Ziel der Verständigung zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen mit unterschiedlichen Informationsmodellen im Prinzip sehr einfach zu realisieren ist. Gleichwohl ist zu berücksichtigen, dass im Vergleich zum herkömmlichen Informationsaustausch gemäß dem ISO/OSI-Referenzmodell ein zusätzlicher Teilvorgang notwendig wird, nämlich die Transformation der ausgetauschten Informationen vom Informationsmodell des Feldbuswerkzeugs in das des Feldbussystems bzw. umgekehrt. Den neu entstandenen Freiheiten bezüglich der verwendeten Informationsmodelle stehen somit grundsätzlich gewisse Einschränkungen im Hinblick auf die Effizienz und das Echtzeitverhalten des Informationsaustausches gegenüber. Der Fokus des adaptiven Informationsaustausches liegt jedoch auf der werkzeuggestützten Inbetriebnahme und der Instandhaltung von Feldbussystemen durch ihre Anwender. Dabei kommt es in erster Linie auf eine möglichst einfache und komfortable Handhabbarkeit an, die Echtzeitfähigkeit ist dagegen nur mittelbar von Bedeutung. Die mit der Informationstransformation einhergehenden Verzögerungen sind somit hinnehmbar, solange der Anwender hierdurch nicht in unverhältnismäßiger Weise beeinträchtigt oder gar behindert wird.

Betrachtet man die adaptive Interpretation und die adaptive Übersetzung im Vergleich, so lassen sich zwei wesentliche Unterschiede feststellen. Zum einen kommt die adaptive Interpretation mit jeweils einer einzelnen Interpretationsvorschrift aus, da aus ihr sowohl die Interpretation und die Verarbeitung der Anfragenachricht als auch die Erstellung der Antwortnachricht hervorgehen. Demgegenüber werden bei der adaptiven Übersetzung jeweils zwei komplementäre Übersetzungsvorschriften benötigt, eine für die Hinübersetzung der Anfragenachricht und eine weitere für die Rückübersetzung der Antwortnachricht. Zum anderen findet bei einer adaptiven Inter-

pretation aus demselben Grund lediglich ein Zugriff auf den Transformationsserver statt, während für eine adaptive Übersetzung stets zwei Zugriffe erforderlich sind. Somit wird deutlich, dass die adaptive Übersetzung im Vergleich zur adaptiven Interpretation aufwändiger ist. Im Gegenzug bringt die adaptive Übersetzung allerdings den Vorzug mit sich, dass die Informationstransformation nicht im Feldbussystem selbst stattzufinden braucht, sondern vollständig an den Transformationsserver delegiert wird. Dieser Umstand ist vor allem dann von hoher Bedeutung, wenn die Feldbusseite als eingebettetes System ausgeführt ist und die Systemressourcen (Rechenleistung, Speicherplatz, usw.) stark limitiert sind. Hier ist der Mehraufwand für die adaptive Übersetzung insofern gerechtfertigt, als dass eine Mehrbelastung für das eingebettete Feldbussystem weitgehend vermieden werden kann.

Beiden Varianten des adaptiven Informationsaustausches gemeinsam ist die Nutzung des Internets, um die Transparenz der Informationstransformation gegenüber dem Anwender zu gewährleisten. Ein Transformationsserver, der dem Feldbussystem über das Internet zugänglich gemacht wird, stellt sämtliche verfügbaren Transformationsvorschriften bereit und überbrückt so die Unterschiede zwischen den Informationsmodellen verschiedenartiger Feldbussysteme und -werkzeuge. Das Internet erweist sich somit in zweierlei Hinsicht als nützlich: Zum einen ermöglicht es die Verbindung von Feldbuswerkzeugen und Feldbussystemen über beliebige Entfernungen hinweg und sorgt somit für deren *räumliche* Entkopplung. Zum anderen erlaubt es die Verständigung zwischen Feldbuswerkzeugen und Feldbussystemen mit unterschiedlichen Informationsmodellen und stellt demzufolge auch ihre *semantische* Entkopplung sicher.

Eine weitere Gemeinsamkeit von adaptiver Interpretation und adaptiver Übersetzung ist die Tatsache, dass die Informationstransformation stets von Seiten des Feldbussystems angestoßen wird. Alternativ bestünde auch die Möglichkeit umgekehrt vorzugehen. Dann würde die adaptive Interpretation nicht im Feldbussystem sondern auf der Seite des Feldbuswerkzeugs stattfinden und die adaptive Übersetzung würde statt vom Feldbussystem vom Feldbuswerkzeug aus initiiert werden. Anstelle der bisher beschriebenen zwei Varianten des adaptiven Informationsaustausches stünden somit insgesamt vier adaptive Informationsaustauschverfahren zur Verfügung. Bei etwas genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch ein grundlegender Unterschied zwischen den feldbussystem- und feldbuswerkzeugseitig initiierten Varianten des adaptiven Informationsaustausches. So erfolgt im erstgenannten Fall die Informationstransformation immer erst dann, wenn bereits eine Kommunikation zwischen Feldbuswerkzeug und Feldbussystem stattgefunden hat und bekannt ist, welche Informationsmodelle auf beiden Seiten verwendet werden. Demgegenüber muss im zweitgenannten Fall die Informationstransformation der Anfrage bereits *vor* Aufnahme der Kommunikation mit dem Feldbussystem erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt ist das feldbusseitig benutzte Informationsmodell jedoch noch unbekannt. Als Abhilfe müsste im Vorfeld des adaptiven Informationsaustausches ein weiterer Informationsaustausch stattfinden, durch den die Kennung des feldbussystemseitigen Informationsmodells in Erfahrung gebracht wird. Abgesehen von der Tatsache, dass der Informationsaustausch hierdurch komplexer

und aufwändiger wird, bringt dieser Umstand noch eine weitere, weitaus bedenklichere Einschränkung mit sich. Die Abfrage der feldbussystemseitigen Informationsmodellkennung bildet eine Voraussetzung für den adaptiven Informationsaustausch und lässt sich daher nur durch einen Informationsaustausch im herkömmlichen Sinne bewerkstelligen. Im Hinblick auf die angestrebte systemübergreifende Interoperabilität muss dennoch sichergestellt sein, dass die Abfrage der feldbussystemseitigen Informationsmodellkennung zwischen beliebigen Feldbussystemen und -werkzeugen erfolgen kann. Dies ist jedoch wiederum nur dann möglich, wenn der hierfür erforderliche herkömmliche Informationsaustausch *standardisiert* wird. Damit wird deutlich, dass die feldbuswerkzeugseitige Initiierung des adaptiven Informationsaustausches stets einen vorgeschalteten standardisierten Informationsaustausch erfordert. Die Informationsmodelle sämtlicher Feldbussysteme und -werkzeuge müssen insofern übereinstimmen, als dass die Abfrage ihrer Kennungen auf einheitliche Art und Weise möglich ist. Da dies einen Widerspruch zur Grundidee des adaptiven Informationsaustausches darstellt, bleiben die feldbuswerkzeugseitig initiierte adaptive Interpretation und Übersetzung von der weiteren Betrachtung ausgenommen.

In diesem Kapitel wurden die Grundzüge des adaptiven Informationsaustausches vermittelt. Dabei wurde zunächst verdeutlicht, dass ein Informationsaustausch zwischen einem Sender und einem Empfänger mit unterschiedlichen Informationsmodellen möglich wird, wenn die ausgetauschten Informationen im Zuge der Übermittlung entsprechend transformiert werden. Ausgehend von dieser grundsätzlichen Betrachtung wurde anschließend der adaptive Informationsaustausch an sich konzipiert. Die Informationstransformation vollzieht sich hierbei auf Grundlage von Transformationsvorschriften, die passend zum jeweiligen Feldbussystem und -werkzeug ausgewählt und angewendet werden. Die Bereitstellung dieser Transformationsvorschriften erfolgt auf einem dedizierten Transformationsserver im Internet, sodass sie jedem Feldbussystem, das die Anfragen eines ihm unbekanntem Feldbuswerkzeugs zu beantworten hat, dezentral zur Verfügung stehen. Je nach dem, ob die Informationstransformation im Zuge der Interpretation beim Empfänger oder als Übersetzung während der Übermittlung stattfindet, können zwei verschiedene Ausprägungen des adaptiven Informationsaustausches unterschieden werden: die adaptive Interpretation oder die adaptive Übersetzung. Im folgenden Kapitel wird ein wichtiger Teilaspekt des adaptiven Informationsaustausches aufgegriffen und präzisiert. Es geht um die Frage, welche Voraussetzungen bestehen müssen, damit die genannten Formen der Informationstransformation überhaupt vorgenommen werden können.

6 Zusammensetzung transformierbarer Feldbusnachrichten

Im Mittelpunkt des adaptiven Informationsaustausches steht die Transformation der zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen ausgetauschten Informationen. Dies geschieht durch Nutzung von Interpretationsvorschriften, mit denen sich aus den spezifischen Nachrichten von Feldbuswerkzeugen Informationen gewinnen lassen, die den jeweiligen Feldbussystemen verständlich sind, und umgekehrt. Alternativ können auch Übersetzungsvorschriften verwendet werden, die eine Umwandlung von feldbuswerkzeugspezifischen Nachrichten in feldbusystemspezifische Nachrichten bzw. umgekehrt erlauben. In diesem Kapitel wird zunächst untersucht, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um diese beiden Formen der Informationstransformation in der Praxis durchführen zu können, und wie die hierbei verwendeten Feldbusnachrichten beschaffen sein müssen. Anschließend wird gezeigt, wie sich solche Feldbusnachrichten unter Zuhilfenahme einer geeigneten Technologie verwirklichen lassen. Darauf aufbauend wird im folgenden Kapitel auf die Zusammensetzung von Interpretations- und Übersetzungsvorschriften eingegangen.

6.1 Voraussetzungen für die Nutzung von Transformationsvorschriften

Prinzipiell gesehen ist eine Transformationsvorschrift ein regelbasiertes Nachschlagewerk, mit Hilfe dessen sich die Bedeutungen ermitteln lassen, die durch eine gegebene Nachricht zum Ausdruck gebracht werden. Sie enthält die Elemente oder Elementsequenzen, die in einer Nachricht vorkommen können, und gibt die zugehörigen Einzel- oder Summenbedeutungen an. Die Nachrichtenelemente und -elementsequenzen stellen syntaktische Einheiten des jeweiligen Quellinformationsmodells dar. Demgegenüber stammen die Bedeutungen aus dem betreffenden Zielinformationsmodell. Im Falle von Interpretationsvorschriften verkörpern die Bedeutungen semantische und syntaktische Einheiten. Erstere geben die aus der Quellnachricht hervorgehenden Zielinformationen wieder, zweitere beschreiben die Elemente oder Elementsequenzen der Zielnachricht, die aus der Verarbeitung der Zielinformationen hervorgehen. Bei Übersetzungsvorschriften liegen die Bedeutungen dagegen ausschließlich als syntaktische Einheiten vor. Sie geben die der Quellnachricht entsprechenden Zielnachrichtenelemente bzw. -elementsequenzen an.

Die Anwendung von Transformationsvorschriften ist jedoch nicht generell möglich, sondern nur wenn gewisse Voraussetzungen erfüllt sind. Zum einen müssen die in einer Nachricht enthaltenen Elemente und Elementsequenzen klar zu erkennen sein. Andernfalls lässt sich nicht entscheiden, welche Bereiche einer Nachricht die syntaktischen Einheiten bilden, die in einer

Transformationsvorschrift nachgeschlagen werden können. Zum anderen darf dasselbe Nachrichtenelement bzw. dieselbe Nachrichtenelementsequenz nicht mit unterschiedlichen Bedeutungen belegt sein. Ansonsten ist es nicht möglich, die resultierenden semantischen bzw. syntaktischen Einheiten in Form von Regeln einer Transformationsvorschrift anzugeben, ohne dass letztere entweder unvollständig oder widersprüchlich wären. Zusammengefasst ergibt sich hieraus folgende Aussage: Die Benutzung von Transformationsvorschriften bedingt, dass die Elemente und Elementsequenzen, aus denen eine zu transformierende Nachricht zusammengesetzt ist, *abgrenzbar und eindeutig* sind.

Angesichts dieser Überlegungen stellt sich nun die Frage, in welcher Weise Feldbusnachrichten bisher gestaltet sind und inwieweit sie den genannten Voraussetzungen genügen. Die Beantwortung dieser Frage ist Gegenstand der nachfolgenden Untersuchung.

6.2 Untersuchung der Transformierbarkeit von Feldbusnachrichten

Bisher liegen die meisten Nachrichten, die zwischen Feldbuswerkzeugen und Feldbussystemen ausgetauscht werden, in Form von Daten vor. Aus Gründen der Effizienz sind sie in der Regel binär codiert. Um beurteilen zu können, ob sich Feldbusnachrichten in dieser Gestalt mit Hilfe von Transformationsvorschriften interpretieren bzw. übersetzen lassen, soll die bereits bekannte exemplarische Anfragenachricht eines Feldbuswerkzeugs an ein Feldbussystem betrachtet werden (vgl. 4.1.2 Dualität der Information). Sie dient zur Einstellung der Stellgröße eines Aktors auf einen bestimmten Wert und ist in Abbildung 6.1 nochmals wiedergegeben.

09 ₁₆	02 ₁₆	02 ₁₆	19 ₁₆	72 ₁₆
------------------	------------------	------------------	------------------	------------------

Abbildung 6.1: Feldbusnachricht mit Daten

Bei Betrachtung der Feldbusnachricht an sich kann lediglich die Aussage getroffen werden, dass sie aus fünf einzelnen Zeichen (Bytes) in hexadezimaler Schreibweise zusammengesetzt ist. Ohne zusätzliches Wissen bleibt jedoch unklar, ob es sich dabei auch um fünf einzelne Nachrichtenelemente handelt oder z.B. je zwei oder drei Bytes zusammen ein Nachrichtenelement bilden. Folglich ist die Bedingung der Abgrenzbarkeit der Nachrichtenelemente hier nicht erfüllt und eine Interpretation bzw. Übersetzung der Feldbusnachricht mit Hilfe von Transformationsvorschriften kommt nicht in Betracht.

Dieses Problem lässt sich jedoch leicht beheben, indem die Feldbusnachricht an den entsprechenden Stellen um Trennzeichen erweitert wird. Dazu muss ein bestimmter Bytewert speziell für diesen Zweck reserviert werden. Bei der Auswahl ist darauf zu achten, dass der betreffende Bytewert niemals als Bestandteil von Nachrichtenelementen vorkommt. Für den Fall, dass der

Bytewert FF_{16} als Trennzeichen herangezogen wird, könnte obige Beispielnachricht wie in Abbildung 6.2 dargestellt aussehen.

09 ₁₆	FF_{16}	02 ₁₆	FF_{16}	02 ₁₆	FF_{16}	19 ₁₆	72 ₁₆
-------------------------	-----------	-------------------------	-----------	-------------------------	-----------	-------------------------	-------------------------

Abbildung 6.2: Feldbusnachricht mit Daten und Trennzeichen

Nun ist deutlich erkennbar, dass die Feldbusnachricht aus den vier Zahlenwerten 9_{16} , 2_{16} , 2_{16} und 1972_{16} aufgebaut ist. Somit ist diesmal die Bedingung der Abgrenzbarkeit der Nachrichtenelemente erfüllt. Dennoch sind die Nachrichtenelemente lediglich Zahlenwerte und Zahlenwerte haben in der Informationstechnik im Allgemeinen eine Vielzahl unterschiedlicher Bedeutungen. Beispielsweise wäre es denkbar, dass der erste Zahlenwert 9_{16} als Verweis benutzt wird. Als solcher könnte er die Adresse eines Feldgeräts darstellen oder den Index einer Operation, die auf einem Feldgerät auszuführen ist. Daneben bliebe noch die Möglichkeit, dass er das ausdrückt, was er selbst ist, nämlich einen Zahlenwert. So könnte er z.B. ein Parameterwert sein, der auf einem der Feldgeräte einzustellen ist. Damit wird deutlich, dass die Bedingung der Eindeutigkeit der Nachrichtenelemente weiterhin nicht erfüllt ist und eine Nutzung von Transformationsvorschriften nach wie vor nicht in Frage kommt.

Um auch in diesem Punkt Abhilfe zu schaffen, müssen die jeweiligen Funktionen der Nachrichtenelemente explizit gekennzeichnet werden. Dies ist möglich, indem der Feldbusnachricht anstelle von Trennzeichen entsprechende Markierungen hinzugefügt werden. Die Nachrichtenelemente bestehen infolgedessen nicht mehr aus einzelnen Zahlenwerten, sondern aus Kombinationen von jeweils einem Zahlenwert und einer eindeutigen Markierung. Die Auswirkung dieser Maßnahme auf obige Beispielnachricht zeigt Abbildung 6.3.

device	09 ₁₆	operation	02 ₁₆	channel	02 ₁₆	value	19 ₁₆	72 ₁₆
--------	-------------------------	-----------	-------------------------	---------	-------------------------	-------	-------------------------	-------------------------

Abbildung 6.3: Feldbusnachricht mit Daten und Markierung

Wie zuvor ist klar ersichtlich, aus welchen Nachrichtenelementen die Feldbusnachricht zusammengesetzt ist. Zusätzlich wird allerdings auch offenkundig, dass *operation* 2_{16} und *channel* 2_{16} verschiedene Nachrichtenelemente verkörpern. Sowohl die Abgrenzbarkeit als auch die Eindeutigkeit der Nachrichtenelemente ist jetzt gegeben. Damit können nun Interpretationsvorschriften angegeben werden, aus denen hervorgeht, wie die in der Feldbusnachricht enthaltene Nachrichtenelementsequenz zu verarbeiten und zu beantworten ist. Ebenfalls lassen sich Übersetzungsvorschriften formulieren, um die Feldbusnachricht durch alternative Nachrichtenelemente bzw. -elementsequenzen auszudrücken. Abbildung 6.4 zeigt eine exemplarische Interpretationsvorschrift¹ für den Fall, dass obige Beispielnachricht in einem Feldbussystem verarbeitet wird, des-

¹ Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist an dieser Stelle lediglich die Verarbeitung der Feldbusnachricht dargestellt während die Beantwortung der Feldbusnachricht unberücksichtigt bleibt.

sen Anwendungsschicht auf MMS beruht [ISO9506]. *Device* 9_{16} könnte dann beispielsweise ein Feldgerät sein, das über die Kommunikationsreferenz 19 ansprechbar ist, *channel* 2_{16} der zu benutzende Ausgabekanal, der im Objektverzeichnis des Feldgeräts unter Index 8 abgelegt ist, und *operation* 2_{16} würde den Feldbusdienst *Write* aktivieren, um den Wert *value* 1972_{16} an das Feldgerät durchzustellen.

(device + 09₁₆) + (operation + 02₁₆) + (channel + 02₁₆) + (value + *)
 → Write (19, 8, value-of(value))

Abbildung 6.4: Interpretationsvorschrift für o.g. Feldbusnachricht

Auf Basis dieser Betrachtung lässt sich im Hinblick auf die Transformierbarkeit von Nachrichten mit Daten folgende Aussage machen. Nachrichten, die nur aus Daten bestehen, sind für sich genommen nicht lesbar, da sie weder die Art noch die Struktur ihrer Nachrichtenelemente zu erkennen geben. Mit anderen Worten, Nachrichten mit Daten weisen eine *implizite* Syntax auf, die in den Nachrichten selbst nur unvollständig wiedergegeben ist. Sie stellen gewissermaßen ein verkürztes Abbild der zum Ausdruck gebrachten Informationen dar. Damit fehlt der Schlüssel, über den sich eine Verbindung zur Bedeutung der Nachrichten herstellen ließe. Um eine Transformation solcher Nachrichten vornehmen zu können, sind Transformationsvorschriften allein nicht ausreichend. Zusätzlich wird stets Wissen über ihre implizite Syntax benötigt.

Diese Einschränkung lässt sich jedoch überwinden, indem man die Daten der Nachrichten um Markierungen erweitert. Hierdurch werden die Nachrichten lesbar, da ihre Elemente abgrenzbar und eindeutig gekennzeichnet sind. Nachrichten mit markierten Daten verfügen somit über eine *explizite* Syntax, die aus den Nachrichten heraus vollständig ersichtlich ist. Diese Tatsache ist der maßgebliche Faktor dafür, dass sich die Bedeutung der Nachrichten nun durch Nachschlagen einzelner Nachrichtenelemente oder Sequenzen mehrerer Nachrichtenelemente in einer Transformationsvorschrift ermitteln lässt. Zur Transformation werden lediglich die Nachrichten selbst und die betreffende Transformationsvorschrift benötigt, darüber hinaus ist kein zusätzliches Wissen mehr erforderlich.

Diese Erkenntnis liefert gleichzeitig eine Erklärung dafür, weshalb seither, d.h. beim Informationsaustausch gemäß dem ISO/OSI-Referenzmodell, stets von einer übereinstimmenden Syntax und Semantik für Sender und Empfänger ausgegangen wurde. So werden bisher zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen fast ausschließlich Nachrichten mit Daten ausgetauscht, deren Syntax, wie soeben gezeigt, grundsätzlich implizit ist. Um solche Nachrichten interpretieren zu können, müssen die jeweilige Syntax sowie auch die zugehörige Semantik der Nachrichten von vornherein bekannt sein. Folglich bleibt gar keine andere Möglichkeit, als beide im Kommunikationsmodell zu verankern und für Sender und Empfänger verbindlich vorzuschreiben. Anders dagegen beim adaptiven Informationsaustausch. Hier werden Nachrichten mit markierten Daten und expliziter Syntax benutzt. Infolgedessen braucht man sich bei der Interpretation der Nach-

richten nicht mehr auf a priori vorhandenes Wissen zu stützen, sondern es reicht aus, die jeweils passende Interpretationsvorschrift heranzuziehen. Die Notwendigkeit, Syntax wie auch Semantik der Nachrichten zu Bestandteilen des Kommunikationssystems zu machen, entfällt. Stattdessen ist es erstmals möglich, dass Sender und Empfänger mit unterschiedlicher Syntax und Semantik arbeiten.

6.3 Realisierung transformierbarer Feldbusnachrichten mit XML

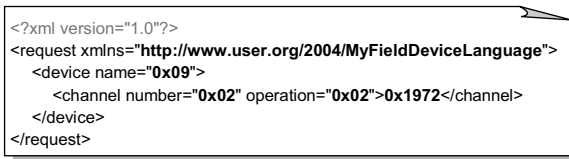
Insgesamt betrachtet sind bezüglich der Zusammensetzung von Feldbusnachrichten folgende Voraussetzungen zu erfüllen, um eine praktische Umsetzung des adaptiven Informationsaustausches zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen zu ermöglichen: In erster Linie muss die Lesbarkeit der Feldbusnachrichten gegeben sein. Dazu müssen die Elemente der Feldbusnachrichten mittels geeigneter Markierungen abgegrenzt und eindeutig gekennzeichnet werden. Darüber hinaus muss die Syntax der Feldbusnachrichten identifizierbar sein, damit die jeweils zutreffenden Transformationsvorschriften ausgewählt und bereitgestellt werden können. Hierfür muss in jede Feldbusnachricht eine dementsprechende Kennung eingefügt werden. Schließlich müssen Feldbusnachrichten so beschaffen sein, dass sie sich mühelos über das Internet transportieren lassen.

Um einen solchen Aufbau der Feldbusnachrichten zu gewährleisten, wird eine dementsprechende Technologie zur Datendarstellung benötigt. Es gibt eine Technologie, die für diesen Zweck geradezu prädestiniert ist: XML [W3C04]. Wie bereits verdeutlicht wurde, ermöglicht XML die Markierung von Daten mit sog. Tags und Attributen. (vgl. 4.2.2.2 eXtensible Markup Language (XML)). Infolgedessen werden Daten zu voneinander unterscheidbaren XML-Elementen erweitert und in einer hierarchischen Struktur angeordnet. Als Ergebnis entsteht ein sog. XML-Dokument. Entscheidend ist, dass XML selbst lediglich festlegt, welche unveränderlichen Merkmale Tags und Attribute aufzuweisen haben und wie sie mit Daten zu XML-Elementen zusammengesetzt werden dürfen. Demgegenüber werden die Namen der Tags und Attribute sowie auch die Sequenzen und Schachtelungen der daraus entstehenden XML-Elemente, eben die Syntax, durch den Anwender bestimmt.

Die Gesamtheit der Tags und Attribute bzw. die Syntax, die ein Anwender benutzt, wird als Markup-Sprache bezeichnet. Um verschiedene Markup-Sprachen voneinander zu unterscheiden, kann jeder Markup-Sprache ein individueller Namensraum zugeordnet werden. Ein solcher Namensraum wird üblicherweise durch einen weltweit eindeutigen URI-String (Universal Resource Identifier) repräsentiert und kann in den betreffenden XML-Dokumenten mit angegeben werden. Auf diese Weise bleiben die jeweils verwendete Markup-Sprache sowie auch die ihr zu Grunde liegende Syntax leicht zu erkennen.

Um XML-Dokumente auf leichte Weise im Internet bzw. WWW austauschen zu können, muss sichergestellt sein, dass sie sich unabhängig von der jeweils verwendeten Plattform (Rechnerarchitektur, Betriebssystemen, usw.) einlesen und verarbeiten lassen. Aus diesem Grund werden XML-Dokumente nicht binär codiert, sondern liegen in textbasierter Form (ASCII-Code oder Unicode) vor, sodass sie überall in gleicher Weise erkannt und dekodiert werden können.

Abbildung 6.5 zeigt die Verwendung von XML anhand der exemplarischen Anfragenachricht eines Feldbuswerkzeugs an ein Feldbussystem aus vorangehendem Abschnitt. Deutlich erkennbar sind die bereits bekannten Nachrichtenelemente, die diesmal mit Hilfe von Tags und Attributen markiert sind. Zusätzlich wurde zur Identifikation der Syntax ein Namensraum vereinbart und in die XML-Nachricht mit eingefügt.



```
<?xml version="1.0"?>
<request xmlns="http://www.user.org/2004/MyFieldDeviceLanguage">
  <device name="0x09">
    <channel number="0x02" operation="0x02">0x1972</channel>
  </device>
</request>
```

Abbildung 6.5: XML-basierte Feldbusnachricht

XML wird von einigen ergänzenden Technologien begleitet, darunter ein mächtiges Werkzeug zur Transformation von XML-Dokumenten namens XSLT (eXtensible Stylesheet Language/Transformation) [W3C99b]. Es erlaubt die Erstellung sog. XSLT-Stylesheets, in denen sich individuelle Regeln zur Transformation der Elemente oder Elementsequenzen eines XML-Dokuments vereinbaren lassen. Dabei ist XSLT seinerseits eine XML-basierte Markup-Sprache, d.h. die zur Transformation zur Verfügung stehenden Schlüsselwörter liegen ebenfalls in Form von XML-Tags und Attributen vor. Ursprünglich wurde XSLT entworfen, um auf der Anwenderseite dasselbe XML-Dokument in unterschiedlichen Ansichten darzustellen oder in Dokumente anderer Formate zu konvertieren. Für den adaptiven Informationsaustausch wird das XSLT-Prinzip gewissermaßen zweckentfremdet und auf der Seite der Feldbussysteme zum Einsatz gebracht. XSLT-Stylesheets dienen hier zur Erstellung von Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschriften, sodass im selben Feldbussystem Feldbusnachrichten von unterschiedlichen Feldbuswerkzeugen verarbeitet werden können.

Aus Abbildung 6.6 geht hervor, wie sich die exemplarische Interpretationsvorschrift des vorherigen Abschnitts unter Verwendung von XSLT darstellt. Im *match*-Attribut des *template*-Tags befindet sich die zuvor erläuterte signifikante Sequenz von Tags und Attributen. Ihre Bedeutung wird durch den Inhalt des *template*-Tags wiedergegeben und ergibt hier einen Aufruf des Feldbusdienstes *Write*.

```
<xsl:template match="request/device[@name='0x09']/channel[@number='0x02' and @operation='0x02']">
  Write (19, 8, <xsl:value-of select="current()" />);
</xsl:template>
```

Abbildung 6.6: XSLT-basierte Informationsvorschrift

6.4 Bewertung der XML-basierten Nachrichtendarstellung

Der adaptive Informationsaustausch ermöglicht die Interaktion zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen, ohne dass eine Standardisierung der beiderseitigen Informationsmodelle erforderlich ist. Allerdings machen die in diesem Kapitel angestellten Untersuchungen bezüglich der Zusammensetzung von Feldbusnachrichten deutlich, dass auch der adaptive Informationsaustausch nicht völlig ohne jede Konvention auskommt. Auf den ersten Blick stellt sich daher die Frage, ob hier nicht doch wieder nur versucht wird, das alte Problem der Standardisierung in einem neuen Licht erscheinen zu lassen. Bei genauerer Betrachtung stellt sich jedoch heraus, dass nicht mehr die Syntax der Nachrichten, sondern lediglich die Regeln zur Markierung der Syntax einheitlich definiert werden müssen. Ebenso genügt es, anstelle der Semantik eine Systematik zur Formulierung von Transformationsvorschriften zu benennen, sodass sich die Bedeutungen der Nachrichten nachschlagen lassen. Die hierfür notwendigen Standards XML und XSLT greifen im wahrsten Sinne des Wortes auf einer anderen Ebene. In Schichten des ISO/OSI-Referenzmodells gesprochen betreffen sie nämlich nicht mehr die Schicht 7 (Anwendungsschicht), sondern nur noch die Schicht 6 (Präsentationsschicht). Folglich wird beim adaptiven Informationsaustausch auf neutrale Standards der Datendarstellung zurückgegriffen, damit auf eine Standardisierung der subjektiven Informationsmodelle verzichtet werden kann.

Trotz seiner Funktion als Wegbereiter für einen verallgemeinerten Informationsaustausch darf nicht übersehen werden, dass XML auf Grund der textbasierten Datendarstellung sowie der zusätzlich vorgesehenen Markierungen einen erheblich größeren Umfang der Feldbusnachrichten verursacht, als man dies von binären, unmarkierten Feldbusnachrichten her gewohnt ist. Dies zieht eine gewisse Beeinträchtigung der Echtzeitfähigkeit des Informationsaustausches sowie einen gesteigerten Bedarf an Systemressourcen (Rechenleistung, Speicherplatz, usw.) im Falle von eingebetteten Feldbussystemen nach sich. Wie bereits erläutert wurde, können diese Nachteile jedoch hingenommen werden, solange hieraus keine unverhältnismäßigen Einschränkungen für den Anwender erwachsen. Ob dies gelingen kann, wird sich im Rahmen der praktischen Erprobung des adaptiven Informationsaustausches herausstellen.

In diesem Kapitel wurde dargelegt, welche Voraussetzungen bestehen müssen, damit die für den adaptiven Informationsaustausch erforderliche Informationstransformation zwischen dem feldbuswerkzeugseitigen und dem feldbussystemseitigen Informationsmodell möglich wird. Dies betrifft im Wesentlichen die Zusammensetzung der zwischen beiden Seiten übermittelten Feldbusnachrichten. Anders als herkömmliche Feldbusnachrichten müssen transformierbare Feld-

busnachrichten aus sich heraus lesbar sein. Dazu muss ihre Syntax mit Hilfe entsprechender Markierungen explizit sichtbar gemacht werden. Nur so können die Elemente einer Feldbusnachricht isoliert und deren Bedeutungen in einer Transformationsvorschrift nachgeschlagen werden. Mit Hilfe der XML-Technologie kann dieser Voraussetzung auf einfache und elegante Weise entsprochen werden. Gleichzeitig kann die aus dem Umfeld von XML stammende XSLT-Technologie zur Erstellung der zugehörigen Transformationsvorschriften eingesetzt werden. Die Frage, wie solche Transformationsvorschriften im Einzelnen aufgebaut sein müssen, stellt einen weiteren, wichtigen Teilaspekt des adaptiven Informationsaustausches dar. Sie wird im folgenden Kapitel aufgegriffen und diskutiert.

7 Aufbau von Transformationsvorschriften für Feldbusnachrichten

Im letzten Kapitel lag der Schwerpunkt auf den Voraussetzungen für die Transformation der zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen ausgetauschten Informationen und der dafür notwendigen Zusammensetzung der Feldbusnachrichten. In diesem Kapitel steht die Informations- transformation selbst im Vordergrund. Dazu wird zunächst erläutert, welche Teilaufgaben Transformationsvorschriften jeweils zu erfüllen haben. Anschließend wird auf Realisierung von Transformationsvorschriften eingegangen, die, wie im vorangehenden Kapitel bereits angedeutet wurde, unter Verwendung der XSLT-Technologie erfolgt. Schließlich wird gezeigt, durch welche Maßnahme der Aufbau XSLT-basierter Transformationsvorschriften optimiert werden kann und wie sich diese mit Hilfe einer einfachen Erweiterung von XSLT umsetzen lässt.

7.1 Teilaufgaben von Transformationsvorschriften

Je nach dem, welche Variante des adaptiven Informationsaustausches zum Einsatz kommt, sind die Transformationsvorschriften entweder als Interpretations- oder als Übersetzungsvorschriften ausgeprägt (vgl. Abbildung 7.1). Mit ersteren werden individuelle Anfragennachrichten eines Feldbuswerkzeugs in spezifische Dienstauftrufe eines Feldbussystems umgesetzt. Gleichzeitig werden die Ergebnisdaten, die von den Feldbusdiensten zurückgeliefert werden, in entsprechende Antwortnachrichten an das Feldbuswerkzeug überführt. Übersetzungsvorschriften dienen dagegen einerseits zur Umsetzung von feldbuswerkzeugspezifischen Anfragennachrichten in feldbus-systemspezifische Anfragennachrichten sowie andererseits zur Umwandlung feldbus-systemspezifischer Antwortnachrichten in feldbuswerkzeugspezifische Antwortnachrichten.

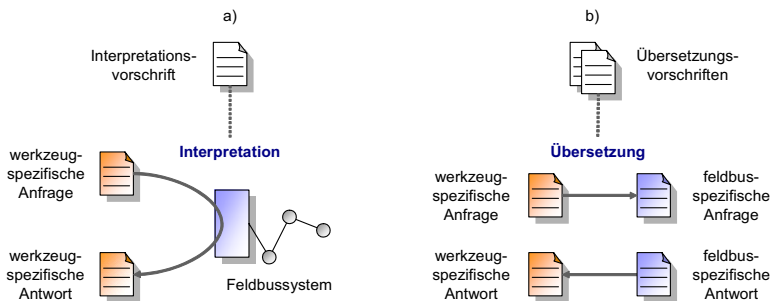


Abbildung 7.1: Einsatz von Interpretations- (a) bzw. Übersetzungsvorschriften (b)

Verallgemeinert betrachtet sind in einer Interpretationsvorschrift somit die Teilaufgaben *Analyse* der Anfragenachricht, *Verarbeitung* im Feldbussystem und *Synthese* der Antwortnachricht abzudecken. Demgegenüber fallen bei Übersetzungsvorschriften lediglich die *Analyse* der jeweiligen Quellnachricht sowie die *Synthese* der entsprechenden Zielnachricht an, die Verarbeitung der Nachricht im Feldbussystem entfällt hingegen. Übersetzungsvorschriften können so gesehen als ein Spezialfall von Interpretationsvorschriften aufgefasst werden. Aus diesem Grund werden die Überlegungen zum Aufbau von Transformationsvorschriften im Folgenden nur noch am Beispiel der Interpretationsvorschriften ausgeführt. Dennoch gelten sämtliche Aussagen, soweit übertragbar, in gleicher Weise auch für Übersetzungsvorschriften.

7.2 Realisierung von Transformationsvorschriften mit XSLT

Zur praktischen Realisierung von Transformationsvorschriften sind im Einzelnen folgende Voraussetzungen zu erfüllen: Um die Analyse einer Quellnachricht vornehmen zu können, müssen sich innerhalb einer Transformationsvorschrift die betreffenden Quellnachrichtenelemente und -elementsequenzen angeben lassen. Im Falle von Interpretationsvorschriften müssen zusätzlich die Feldbusdienstauftrufe spezifiziert werden können, mit denen die Verarbeitung der Quellnachricht erfolgen soll. Des Weiteren müssen sich die zur Synthese der Zielnachricht verwendeten Zielnachrichtenelemente und -elementsequenzen festlegen lassen. Ähnlich wie bei Feldbusnachrichten muss in Transformationsvorschriften zum einen die akzeptierte Quellsyntax und zum anderen die resultierende Zielsemantik bzw. -syntax kenntlich gemacht werden können, damit eine Zuordnung zu den jeweiligen Feldbusnachrichten möglich wird. Schließlich müssen sich Transformationsvorschriften auf leichte Weise über das Internet austauschen lassen, damit sie, wie im Falle der adaptiven Interpretation erforderlich, vom Transformationsserver auf das jeweilige Feldbussystem heruntergeladen werden können.

Wie im vorangehenden Kapitel bereits erwähnt, wurde die aus dem XML-Bereich stammende Technologie XSLT genau für diese Art von Aufgaben entworfen – obgleich man dabei ursprünglich weniger an Feldbussysteme dachte, sondern eher auf das Dokumentenmanagement abzielte [W3C99b]. XSLT erlaubt das Aufstellen von Regeln zur Transformation von XML-Dokumenten und kann unter anderem dazu genutzt werden, um XML-Dokumente in andere Arten von XML-Dokumenten umzuwandeln. Jede Transformationsregel beginnt mit einem sog. XPath-Ausdruck, durch den ein Element bzw. eine Elementsequenz des Quelldokuments selektiert wird. Die nachfolgenden XSLT-Schlüsselwörter legen fest, welche Tags und Attribute im Zieldokument einzufügen sind und welche Anordnung sie dabei einzunehmen haben. Die Summe der Regeln, die für eine bestimmte Art von Transformation vereinbart wird, ergibt ein sog. XSLT-Stylesheet.

Da XSLT seinerseits eine XML-basierte Markup-Sprache ist, sind XSLT-Stylesheets letztendlich nichts anderes als spezielle Ausprägungen von XML-Dokumenten. Allerdings kommen in

ihnen stets mehrere verschiedene Arten von XML-Elementen vor: XSLT-Schlüsselwörter, die Tags und Attribute des jeweiligen Quelldokuments sowie die des entstehenden Zieldokuments. Die Unterscheidung erfolgt mit Hilfe von Namensräumen, die in die betreffenden XSLT-Stylesheets mit eingetragen werden. Ganz wie XML-Dokumente sind auch XSLT-Stylesheets textbasiert und können daher ohne Schwierigkeiten im Internet bzw. WWW übertragen werden.

Damit wird deutlich, dass die XSLT-Technologie fast alle Merkmale aufweist, die zur Realisierung von Transformationsvorschriften für den adaptiven Informationsaustausch erforderlich sind. Den einzigen noch offenen Punkt bilden die Feldbusdienste, die in Interpretationsvorschriften anzugeben und im Zuge der Transformation auszuführen sind. Feldbusdienste gehören von Haus nicht zum Sprachumfang von XSLT. Ohne weitere Maßnahmen würden sie daher als unbekannte Schlüsselwörter beanstandet werden und hätten einen Abbruch des Transformationsvorgangs zur Folge. Doch diese Problematik tritt im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht zum ersten Mal auf. Sie wurde in ähnlicher Form bereits in verschiedenen anderen Anwendungsfeldern der XSLT-Technologie beobachtet. Dies hat dazu geführt, dass im jüngsten Entwurf für die derzeit in Entstehung befindliche Version 2.0 der XSLT-Spezifikation ein Mechanismus aufgenommen wurde, der eine Erweiterung des XSLT-Sprachumfangs um benutzerdefinierte Funktionen ermöglicht [W3C03c]. Die Umstellung der einschlägigen XSLT-Werkzeuge wird allerdings erst dann erfolgen, wenn die Spezifikation verabschiedet und in Form einer W3C-Empfehlung verfügbar sein wird. In der Zwischenzeit kann jedoch auf gleichwertige proprietäre Mechanismen zurückgegriffen werden, die verschiedene Hersteller als Ergänzung zur Version 1.0 der XSLT-Spezifikation bereits heute in ihren XSLT-Werkzeugen vorgesehen haben. Ein Beispiel hierfür ist der XSLT-Prozessor, der in der XML-Bibliothek Microsoft® MSXML enthalten ist [Skon02]. Hier können selbst entwickelte Funktionen in Form einer COM-basierten Softwarebibliothek bereitgestellt und in den XSLT-Prozessor eingebunden werden. Im Wesentlichen braucht der betreffenden Bibliothek dabei lediglich ein eindeutiger Namensraum zugewiesen zu werden. Anschließend können in XSLT-Stylesheets sämtliche Funktionen, die in der Bibliothek enthalten sind, unter Angabe des vereinbarten Namensraums benutzt und aufgerufen werden. Während der Transformation werden diese Funktionsaufrufe automatisch an die dahinter liegende Bibliothek weitergeleitet.

In Verbindung mit benutzerdefinierten XSLT-Funktionen stellt die XSLT-Technologie somit eine geeignete Grundlage dar, um Transformationsvorschriften für den adaptiven Informationsaustausch zu verwirklichen. Im Folgenden wird verdeutlicht, wie solche Transformationsvorschriften im Einzelnen aufgebaut sind. Dazu wird die Erstellung einer XSLT-basierten Interpretationsvorschrift anhand eines Beispiels durchgespielt. Es wird angenommen, dass ein Vorrats-tank, der zur Einlagerung von chemischen Stoffen dient, aus der Ferne überwacht werden soll. Zu diesem Zweck wurde der Vorrattank mit einer Reihe von Sensoren ausgestattet, die über ein Feldbussystem miteinander vernetzt und durch ein Gateway mit dem Internet verbunden sind. Das Informationsmodell des Feldbussystems beruht auf der Anwendungsschicht MMS

[ISO9506]. Demgegenüber liegt dem entfernten Feldbuswerkzeug, das zur Abfrage der Variablen und Parameter des Tanksystems eingesetzt wird, ein anwenderspezifisches Informationsmodell zu Grunde.

Abbildung 7.2 zeigt eine exemplarische Anfragennachricht des Tanküberwachungswerkzeugs. Sie dient zur Ermittlung des aktuellen Füllstands sowie der Innentemperatur des Tanks. Unmittelbar darunter ist die zurück erwartete Antwortnachricht zu sehen. Beiden Feldbusnachrichten liegt die spezifische Syntax des Tanküberwachungswerkzeugs zu Grunde, was anhand der jeweiligen Namensräume leicht zu erkennen ist. Die Anfragennachricht setzt sich aus dem Wurzelement *TankMonitoringRequest* sowie den beiden Kindelementen *FillLevel* und *InternalTemperature* zusammen. Letztere enthalten ein Attribut namens *Operation*, das mit dem Wert *Get* belegt ist. Auf diese Weise wird deutlich gemacht, dass die durch die Elemente benannten Variablen des Tanksystems auszulesen und ihre aktuellen Werte zurückzuliefern sind. Die Antwortnachricht ist der Anfragennachricht sehr ähnlich. Allerdings lautet der Name des Wurzelements nun *TankMonitoringResponse* und die beiden Kindelemente tragen kein *Operation*-Attribut mehr, sondern enthalten die gewünschten Variablenwerte.

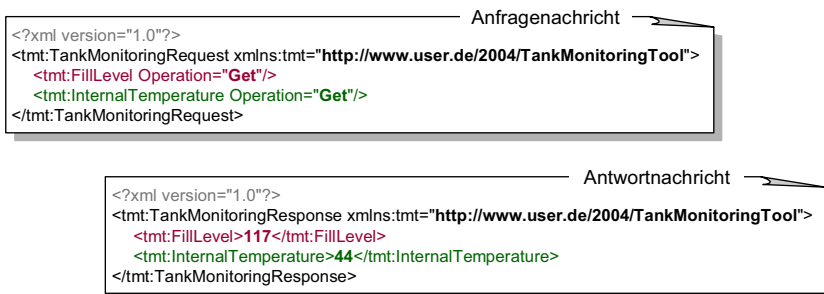


Abbildung 7.2: Anfragennachricht zur Tanküberwachung und zurück erwartete Antwortnachricht

Da das Tanksystem die Anfragennachricht des Tanküberwachungswerkzeugs von Haus aus nicht verstehen kann, ist es auf eine dementsprechende Interpretationsvorschrift angewiesen. Aus ihr muss hervorgehen, welche Feldbusdienstauffrufe zur Ermittlung der angefragten Variablenwerte zu tätigen sind und wie die zugehörige Antwortnachricht auszusehen hat. Abbildung 7.3 zeigt das Gerüst einer solchen Interpretationsvorschrift. Es weist im Wesentlichen die Namensräume aus, von denen in der Interpretationsvorschrift Gebrauch gemacht wird. Dies sind zum einen der Namensraum der XSLT-Schlüsselwörter und zum anderen die Namensräume von Tanküberwachungswerkzeug und Tanksystem. Dabei identifiziert der Namensraum des Tanküberwachungswerkzeugs die anwenderspezifische Syntax, die in Anfrage- und Antwortnachricht Verwendung findet. Entsprechend steht der Namensraum des Tanksystems für die Semantik der

dort benutzten MMS-basierten Feldbusanwendungsschicht. Über ihn werden gleichzeitig die Dienste der Feldbusanwendungsschicht zugänglich gemacht, sodass sie innerhalb der Interpretationsvorschrift als benutzerdefinierte XSLT-Funktionen zur Verfügung stehen.



```
<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet version="1.0"
  xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
  xmlns:tmt="http://www.user.de/2004/TankMonitoringTool"
  xmlns:ts="http://www.manufacturer.de/2004/TankSystem">

  <!-- XSLT-Transformationsregeln -->
  ...
</xsl:stylesheet>
```

Abbildung 7.3: Gerüst einer Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen

Im Inneren der Interpretationsvorschrift werden mit Hilfe von XSLT-Schlüsselwörtern die einzelnen Transformationsregeln definiert. Der Beginn einer Transformationsregel dient zur Analyse der Anfragenachricht. Er wird durch einen *template*-Tag gebildet, der mit einem *match*-Attribut versehen ist. Der Wert des *match*-Attributs spezifiziert einen XPath-Ausdruck, durch den alle diejenigen Anfragelemente herausgefiltert werden, auf die die Transformationsregel anzuwenden ist. Der nachfolgende Inhalt einer Transformationsregel beschreibt die zur Verarbeitung der Anfrageelemente erforderlichen Feldbusdienstauffrufe sowie die Synthese der resultierenden Antwortelemente. Dazu werden neben XSLT-Schlüsselwörtern auch benutzerdefinierte XSLT-Funktionen herangezogen.

Abbildung 7.4 zeigt die Transformationsregel für das Wurzelement der Anfragenachricht. Da es lediglich als strukturbildendes Element fungiert und für sich alleine genommen noch keine Feldbusoperation auslöst, sind lediglich die Analyse der Anfragenachricht und Synthese der Antwortnachricht ausgeprägt. Deutlich zu erkennen ist der XPath-Ausdruck zur Selektion des Anfragewurzelements, der in diesem einfachen Fall auf dessen Namen beschränkt ist. Der nachfolgende *element*-Tag bewirkt die Erstellung des Antwortwurzelements. Schließlich wird durch den *apply-templates*-Tag dafür gesorgt, dass die Transformation in rekursiver Manier, d.h. mit der Bearbeitung der dem Anfragewurzelement untergeordneten Kindelemente, fortgesetzt wird.

```

<!-- Analyse der Anfragenachricht -->
<xsl:template match="tmt:TankMonitoringRequest">

  <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
  <xsl:element name="tmt:TankMonitoringResponse">
    <xsl:apply-templates/>
  </xsl:element>

</xsl:template>

```

Abbildung 7.4: Transformationsregel für Wurzelement der Tanküberwachungsanfrage

Aus Abbildung 7.5 geht hervor, wie die Transformationsregel für das erste Kindelement der Anfragenachricht aussieht. Abgesehen von der Analyse der Anfragenachricht und der Synthese der Antwortnachricht findet hier nun erstmals auch eine Verarbeitung im Feldbussystem statt. Durch den XPath-Ausdruck wird diesmal nicht mehr nur das Kindelement mit dem angegebenen Namen extrahiert, sondern es wird zusätzlich sichergestellt, dass ein *Operation*-Attribut mit dem Wert *Get* vorhanden ist. Anschließend erfolgt der Aufruf des *Read*-Dienstes aus der MMS-basierten Anwendungsschicht des Feldbussystems. Dazu wird eine gleichnamige benutzerdefinierte XSLT-Funktion verwendet. Als Aufrufparameter werden die Kommunikationsreferenz und der Objektverzeichnisindex übergeben, über die die auszulesende Variable innerhalb des Feldbussystems identifiziert werden kann. Das Ergebnis, d.h. der vom Feldbussystem zurückgelieferte Variablenwert, wird in einer XSLT-Variablen namens *value* zwischengespeichert. Zuletzt wird unter Verwendung des *element*-Tags das zugehörige Antwortelement erstellt und mit dem zuvor ermittelten Variablenwert initialisiert. Da dem Kindelement keine weiteren Kindelemente mehr untergeordnet sind, kann auf den *apply-templates*-Tag zur rekursiven Fortsetzung der Transformation verzichtet werden.

```

<!-- Analyse der Anfragenachricht -->
<xsl:template match="tmt:FillLevel[@Operation='Get']">

  <!-- Verarbeitung im Feldbussystem -->
  <xsl:variable name="value" select="ts:Read(9, 2)"/>

  <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
  <xsl:element name="tmt:FillLevel">
    <xsl:value-of select="$value"/>
  </xsl:element>

</xsl:template>

```

Abbildung 7.5: Transformationsregel für Kindelement der Tanküberwachungsanfrage

Die vollständige Interpretationsvorschrift zur Bearbeitung von Anfragen des Tanküberwachungswerkzeugs an das Tanksystem ist in Abbildung 7.6 dargestellt. Sie enthält die Transformationsregeln für das Wurzelement und für beide Kindelemente der Anfragenachricht. Mit ihrer Hilfe kann die Anfragenachricht nun vollständig verarbeitet und erwartungsgemäß beant-

wortet werden, obwohl dem Tanküberwachungswerkzeug und dem Tanksystem völlig unterschiedliche Informationsmodelle zu Grunde liegen.

```

<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet version="1.0"
  xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
  xmlns:tmt="http://www.user.de/2004/TankMonitoringTool"
  xmlns:ts="http://www.manufacturer.de/2004/TankSystem">

  <!-- XSLT-Transformationsregeln -->

  <!-- Analyse der Anfragenachricht -->
  <xsl:template match="tmt:TankMonitoringRequest">

    <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
    <xsl:element name="tmt:TankMonitoringResponse">
      <xsl:apply-templates/>
    </xsl:element>

  </xsl:template>

  <!-- Analyse der Anfragenachricht -->
  <xsl:template match="tmt:FillLevel[@Operation='Get']">

    <!-- Verarbeitung im Feldbussystem -->
    <xsl:variable name="value" select="ts:Read(9, 2)"/>

    <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
    <xsl:element name="tmt:FillLevel">
      <xsl:value-of select="$value"/>
    </xsl:element>

  </xsl:template>

  <!-- Analyse der Anfragenachricht -->
  <xsl:template match="tmt:InternalTemperature[@Operation='Get']">

    <!-- Verarbeitung im Feldbussystem -->
    <xsl:variable name="value" select="ts:Read(19, 72)"/>

    <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
    <xsl:element name="tmt:InternalTemperature">
      <xsl:value-of select="$value"/>
    </xsl:element>

  </xsl:template>
</xsl:stylesheet>

```

Abbildung 7.6: Vollständige Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen

Damit zeigt sich, dass sich unter Verwendung der XSLT-Technologie und durch Zurückgreifen auf benutzerdefinierte XSLT-Funktionen einsatzfähige Transformationsvorschriften verwirklichen lassen. Gleichzeitig wird allerdings auch deutlich, dass die Transformationsvorschriften im Vergleich zu den betreffenden Feldbusnachrichten einen recht großen Umfang aufweisen, da für jedes Element der Anfragenachricht eine eigene Transformationsregel vorgesehen werden muss. Während die Transformationsvorschrift für die eben diskutierte, sehr kleine Beispielnachricht

noch relativ gut überschaubar ist, besteht die Gefahr, dass Transformationsvorschriften für größere Feldbusnachrichten mit einer Vielzahl von Elementen ziemlich unübersichtlich und komplex werden. Im Folgenden soll daher untersucht werden, durch welche Maßnahmen diesem Nachteil entgegengewirkt werden kann.

7.3 Erhöhung der Übersichtlichkeit von Transformationsvorschriften

Mit Transformationsvorschriften lassen sich übereinstimmende Informationen aus unterschiedlichen Informationsmodellen ineinander überführen. Hinter diesen Informationen stehen letztendlich immer Objekte und Zusammenhänge der realen Umgebung. So spricht man oft von Applikationsobjekten, wenn von Variablen, Parametern oder Funktionen die Rede ist, mit denen ein Feldbuswerkzeug umzugehen weiß. Innerhalb des Feldbussystems werden sie dagegen als Kommunikationsobjekte bezeichnet. Tatsächlich handelt es sich beide Male um dieselben Objekte, sie werden lediglich aus verschiedenen Blickwinkeln gesehen und daher auf unterschiedliche Informationen zurückgeführt. Im Folgenden sollen Feldbusinformationen und die dafür vorgesehenen Transformationsvorschriften vom Standpunkt der Objektorientierung betrachtet und analysiert werden. Letztere bringt ein wirkungsvolles Instrument mit sich, um Komplexität zu reduzieren und eine Vielzahl von Objekten überschaubar zu halten: die Abstraktion [Booc95]. Vieles spricht dafür, dass sich mittels Abstraktion auch die Übersichtlichkeit von Transformationsvorschriften besser in den Griff bekommen lässt.

7.3.1 Analyse der Transformationsregeln aus dem Blickwinkel der Objektorientierung

Objekte sind Gegenstände oder Sachverhalte, die in der realen Umgebung vorkommen, so z.B. der Füllstand und die Innentemperatur, die Gegenstand des vorstehend erläuterten, exemplarischen Informationsaustausches zur Tanküberwachung sind. Mittels Abstraktion lassen sich ähnliche Objekte zu einem Objekttyp verdichten. Dies geschieht durch Herausgreifen wesentlicher, gemeinsamer Eigenschaften und Vernachlässigen spezifischer Details der Objekte. Beispielsweise lassen sich die Einzelobjekte *Füllstand* und *Innentemperatur* zum Objekttyp *Objektverzeichniseintrag* abstrahieren. Als Folge einer solchen Abstraktion brauchen die Einzelobjekte nicht mehr als individuelle Begebenheiten angesehen zu werden, sondern können als gleichartige Instanzen desselben Objekttyps aufgefasst werden. Dies verschafft den Vorteil, dass die betreffenden Objekte nicht mehr separat verarbeitet werden müssen, sondern sich allesamt in gleicher Weise handhaben lassen. So kann z.B. das Auslesen von Objektinstanzen des Typs *Objektverzeichniseintrag* stets mit Hilfe des Feldbusdienstes *Read* erfolgen. Die Abstraktion stellt demzufolge eine Maßnahme dar, um eine große Vielfalt von Objekten, die auf den ersten Blick

komplex und unübersichtlich erscheint, auf eine überschaubare Anzahl von Objekttypen zu reduzieren, wodurch die Handhabung dieser Objekte erleichtert oder überhaupt erst möglich wird.

In der überwiegenden Zahl der Fälle – so auch bei der zuvor geschilderten, beispielhaften Tanküberwachung – bezieht sich der Informationsaustausch mit Feldbussystemen auf eine oder mehrere Objektinstanzen, deren Eigenschaften in Erfahrung gebracht oder beeinflusst werden sollen. Dementsprechend gelten auch die Regeln von Transformationsvorschriften, die auf die zur Informationsübermittlung benutzten Feldbusnachrichten angewendet werden, stets für einzelne Objektinstanzen. Gleichzeitig ist zu beobachten, dass sich die Transformationsregeln für verschiedene Objektinstanzen, die in den betreffenden Feldbusnachrichten vorkommen können, oft auffallend ähnlich sehen. Die Transformationsregeln für den Füllstand und die Innentemperatur in der Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen sind typische Beispiele hierfür (vgl. Abbildung 7.6). Abgesehen vom Bezeichner des jeweiligen Objekts bzw. Nachrichtenelements und den an den Feldbusdienst *Read* übergebenen Aufrufparametern bestehen zwischen beiden keinerlei Unterschiede. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in jeder Transformationsregel stets sowohl objektinstanzspezifische als auch objekttypbezogene Teiltransformationen enthalten sind. Beispielsweise besagt eine Regel aus o.g. Interpretationsvorschrift, dass die Objektinstanz *Füllstand* der Kommunikationsreferenz *9* und dem Objektverzeichnisindex *2* zuzuordnen ist. Darüber hinaus wird festgelegt, dass zum Auslesen von Objekten des Typs *Objektverzeichniseintrag* der Feldbusdienst *Read* anzuwenden ist. Sobald nun eine Transformationsvorschrift Regeln für mehrere Objekte desselben Typs beinhaltet, fallen lediglich die objektinstanzspezifischen Teiltransformationen unterschiedlich aus, während sich die objekttypbezogenen Teiltransformationen wiederholen. So unterscheiden sich die Transformationsregeln für die Objektinstanzen *Füllstand* und *Innentemperatur* zwar bezüglich der Kommunikationsreferenz und des Objektverzeichnisindex, die ihnen zugeordnet werden. Dennoch sind beide vom Typ *Objektverzeichniseintrag*, sodass sie das eine wie das andere Mal mit Hilfe des Feldbusdienstes *Read* ausgelesen werden. Transformationsvorschriften, so wie sie bisher realisiert sind, weisen somit stets eine gewisse Redundanz auf. Letztere ist die maßgebliche Ursache dafür, dass Transformationsvorschriften in der Regel umfangreicher ausfallen als sie eigentlich müssten und infolgedessen oft schwer zu überblicken sind.

Um diesen Mangel zu beheben, müssen die Transformationsregeln dahingehend umgestaltet werden, dass die Wiederholung von objekttypbezogenen Teiltransformationen vermieden wird. Dies lässt sich verwirklichen, indem man objektinstanzspezifische und objekttypbezogene Teiltransformationen durch voneinander getrennte Teilregeln beschreibt und anschließend zu den jeweils benötigten Gesamtregeln zusammensetzt. Auf diese Weise brauchen die objekttypbezogenen Teiltransformationen jeweils nur noch einmal formuliert zu werden und lassen sich dennoch in mehreren objektinstanzspezifischen Gesamttransformationen wieder verwenden.

Die Umsetzung dieser Idee setzt allerdings eine erweiterte Analyse der betreffenden Feldbusnachrichten voraus. So müssen abgesehen von den in einer Feldbusnachricht enthaltenen Ob-

jektinstanzen auch deren Objekttypen identifiziert werden können. Die Art und Weise, wie dies geschehen kann, hängt maßgeblich davon ab, wie die Identifikation der Objektinstanzen erfolgt. Letztere werden häufig durch einen eindeutigen *Namen* bezeichnet. Im Falle des exemplarischen Informationsaustausches zur Tanküberwachung wird z.B. der Name *FillLevel* benutzt, wenn der aktuelle Füllstand des Tanksystems gemeint ist. Alternativ lassen sich Objektinstanzen auch identifizieren, indem man mit Hilfe eines *Begriffs* ihren Typ angibt und diesen zusätzlich mit einer eindeutigen *Kenmung* versieht. Der aktuelle Füllstand des Tanksystems könnte dementsprechend durch den Begriff *ObjectDictionaryEntry* zuzüglich der Kennung 2 bezeichnet werden. Was die Identifikation der jeweiligen Objekttypen betrifft, so bereitet der zweitgenannte Fall keine größeren Schwierigkeiten. Hier wird der Objekttyp durch den jeweiligen Begriff in expliziter Form wiedergegeben. Dagegen ist der erstgenannte Fall alles andere als trivial. Der Objekttyp ist hier nur auf implizitem Wege in Erfahrung zu bringen, indem man berücksichtigt, an welcher Stelle innerhalb der Nachrichtenstruktur der betreffende Name vorkommt. Beispielsweise sind in der Anfragenachricht zur Tanküberwachung alle Objektinstanzen des Typs *Objektverzeichniseintrag* daran zu erkennen, dass die betreffenden Nachrichtenelemente mit einem Attribut namens *Operation* versehen sind. Somit lässt sich festhalten, dass Objektinstanzen durch einen Begriff zuzüglich einer Kennung oder über ihren Namen identifiziert werden. Die zugehörigen Objekttypen lassen sich entweder anhand des verwendeten Begriffs oder eines charakteristischen Nachrichtenstrukturfragments erkennen.

7.3.2 Optimierte Realisierung mit Transformationsregeln und -tabellen

Ausgehend von vorstehend angestellten Überlegungen lässt sich die Realisierung von Transformationsvorschriften für den adaptiven Informationsaustausch in nachfolgend beschriebener Weise optimieren. Nach wie vor wird die XSLT-Technologie zur Aufstellung von Transformationsregeln für die einzelnen Elemente von Feldbusnachrichten verwendet. Allerdings wird auf diesem Wege nur noch die Transformation der Objekttypbezeichner beschrieben. Die Ablage der Transformationsregeln erfolgt unverändert in XSLT-Stylesheets. Durch eine neu eingeführte Ergänzung zur XSLT-Technologie namens XCR (eXtensible Cross Reference) wird eine separate Abbildung der Objektinstanzbezeichner ermöglicht. XCR erlaubt die Erstellung von Transformationstabellen, in denen Entsprechungen zwischen auf Feldbusssystem- und Feldbuswerkzeugseite verwendeten Begriffen, Namen und Kennungen aufgelistet werden. Mehrere solcher Transformationstabellen ergeben zusammen eine sog. XCR-Cross-Referenz. Bei der Transformation eines Feldbusnachrichtenelements wird zunächst die XSLT-Transformationsregel für den betreffenden Objekttyp angewendet. Sobald objektinstanzspezifische Teiltransformationen vorzunehmen sind, werden die entsprechenden Bezeichner durch Nachschlagen in den XCR-Transformationstabellen ermittelt und eingefügt. Vollständige Transformationsvorschriften um-

fassen somit je ein XSLT-Stylesheet und eine XCR-Cross-Referenz und werden in dieser Form als XMD-Transformationsvorschriften (XML Message Dictionary) bezeichnet.

Im Folgenden wird beschrieben, wie diese Optimierungsstrategie praktisch umgesetzt werden kann. Dazu wird zunächst die neu entworfene Markup-Sprache XCR eingeführt, die zur Erstellung von Transformationstabellen dient. XCR selbst ist eine sehr einfache Markup-Sprache. Sie besitzt einen eigenen Namensraum, innerhalb dessen jedoch lediglich drei Tags und ein Attribut definiert sind (vgl. Tabelle 7.1). Letztere stellen Schlüsselwörter dar, aus denen der Rahmen von Transformationstabellen und XCR-Cross-Referenzen zusammengesetzt wird. Zusätzlich kommen jedoch stets auch Tags aus den Namensräumen von Feldbussystem und -werkzeug zum Einsatz, um die Felder und Inhalte der Transformationstabellen darzustellen.

Tabelle 7.1: Tags und Attribute bzw. Schlüsselwörter der Markup-Sprache XCR

XCR-Schlüsselwort	Bedeutung
<code><crossreference></code> ... <code></crossreference></code>	Wurzelement einer XCR-Cross-Referenz, von dem alle weiteren XCR-Elemente eingeschlossen werden.
<code><map name="..."></code> ... <code></map></code>	Transformationstabelle, in der die Entsprechungen zwischen den auf Feldbussystem- und Feldbuswerkzeugseite verwendeten Bezeichnern für <i>sämtliche</i> Instanzen eines bestimmten Objekttyps aufgelistet sind. Über das Attribut <i>name</i> wird jeder Transformationstabelle ein eindeutiger Name zugewiesen.
<code><entry></code> ... <code></entry></code>	Transformationstabelleneintrag, der die Entsprechungen zwischen den auf Feldbussystem- und Feldbuswerkzeugseite verwendeten Bezeichnern für <i>eine einzelne</i> Objektinstanz wiedergibt.

Die Verwendung der XCR-Schlüsselwörter und der Aufbau von XCR-Cross-Referenzen geht aus Abbildung 7.7 hervor. Sie zeigt eine XCR-Cross-Referenz für das zuvor beschriebene Tanküberwachungsbeispiel und liefert den ersten Teil der dafür benötigten XMD-Interpretationsvorschrift. Zunächst wird auf den eigens definierten Namensraum der XCR-Schlüsselwörter Bezug genommen. Darüber hinaus sind die Namensräume von Tanküberwachungswerkzeug und Tanksystem eingebunden. Anschließend folgt eine Transformationstabelle, mit der die Applikationsobjekte, die in der Anfragenachricht des Tanküberwachungswerkzeugs enthalten sind, auf Kommunikationsobjekte des im Tanksystem befindlichen Feldbussystems abgebildet werden. Der Rahmen der Transformationstabelle, aus dem gleichzeitig auch ihr Name hervorgeht, sowie die in ihr enthaltenen Einträge werden mit Hilfe von XCR-Schlüsselwörtern gebildet. Die Felder der Transformationstabelle entsprechen den Begriffen, mit denen der Typ der ausgetauschten Objektinstanzen auf der Seite des Tanküberwachungswerkzeugs bzw. innerhalb des Tanksystems bezeichnet wird. Die Inhalte der Transformationsta-

belle listen die beiderseitigen Namen bzw. Kennungen auf, durch die die einzelnen Instanzen des betreffenden Objekttyps jeweils identifiziert werden. Beide, Felder und Inhalte der Transformationstabelle, werden durch die Kindelemente der Transformationstabelleneinträge verkörpert, die den Namensräumen von Tanküberwachungswerkzeug bzw. Tanksystem angehören. Erstere spiegeln sich in den Namen der Kindelemente wider, zweitere gehen aus deren Elementinhalten hervor.

```

<?xml version="1.0"?>
<xcr:crossreference
  xmlns:xcr="http://www.ias.uni-stuttgart.de/2004/eXtensibleCrossReference"
  xmlns:tmt="http://www.user.de/2004/TankMonitoringTool"
  xmlns:ts="http://www.manufacturer.de/2004/TankSystem">

  <!-- Abbildung der Objektinstanzbezeichner mit XCR-Transformationstabellen -->

  <!-- Entsprechungen zwischen Applikations- und Kommunikationsobjekten -->
  <xcr:map name="AppObj2CommObj">
    <xcr:entry>
      <tmt:Var>FillLevel</tmt:Var>
      <ts:CommRef>9</ts:CommRef>
      <ts:ObjDictIdx>2</ts:ObjDictIdx>
    </xcr:entry>
    <xcr:entry>
      <tmt:Var>InternalTemperature</tmt:Var>
      <ts:CommRef>19</ts:CommRef>
      <ts:ObjDictIdx>72</ts:ObjDictIdx>
    </xcr:entry>
  </xcr:map>
</xcr:crossreference>

```

Abbildung 7.7: XCR-Cross-Referenz zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen

Abbildung 7.8 zeigt das Gerüst des XSLT-Stylesheets, das den zweiten Teil der XMD-Interpretationsvorschrift für Tanküberwachungsanfragen bildet. Im Unterschied zur rein XSLT-basierten Realisierungsweise von Transformationsvorschriften wird hier neben den Namensräumen von XSLT-Schlüsselwörtern, Tanküberwachungswerkzeug und Tanksystem zusätzlich auch der Namensraum der XCR-Schlüsselwörter angegeben. Des Weiteren werden zwei XSLT-Variablen definiert, das eine Mal, um die zugehörige XCR-Cross-Referenz einzubinden, und ein weiteres Mal, um mit Hilfe eines XPath-Ausdrucks an die darin enthaltene Transformationstabelle zu gelangen.

```

<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet version="1.0"
  xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
  xmlns:xcr="http://www.ias.uni-stuttgart.de/2004/eXtensibleCrossReference"
  xmlns:tmt="http://www.user.de/2004/TankMonitoringTool"
  xmlns:ts="http://www.manufacturer.de/2004/TankSystem">
  <!-- Links zu XCR-Cross-Referenz und XCR-Transformationstabellen -->
  <xsl:variable name="xcrUrl">./TankMonitoringTool2Xcr</xsl:variable>
  <xsl:variable name="commObjMap"
    select="document($xcrUrl)/xcr:crossreference/xcr:map[@name='AppObj2CommObj']"/>

  <!-- Abbildung der Objekttypbezeichner mit XSLT-Transformationsregeln -->
  ...
</xsl:stylesheet>

```

Abbildung 7.8: Gerüst eines XSLT-Stylesheets zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen

In Abbildung 7.9 ist die Transformationsregel für die Kindelemente der Tanküberwachungsanfrage wiedergegeben. Im Gegensatz zur früheren Version der Interpretationsvorschrift bezieht sie sich nicht mehr auf ein bestimmtes Kindelement bzw. eine bestimmte Objektinstanz, sondern ist auf alle gleichartigen Kindelemente bzw. alle Objektinstanzen desselben Typs anwendbar. Da die von den Kindelementen repräsentierten Objektinstanzen über ihre Namen identifiziert werden, ist ihr Objekttyp jedoch nur implizit ersichtlich. Daher wird zur Analyse der Anfrage-nachricht ein XPath-Ausdruck verwendet, der von der charakteristischen Struktur der Kindelemente ausgeht und alle diejenigen Anfrageelemente herausfiltert, die ein *Operation*-Attribut mit dem Wert *Get* besitzen. Bevor ein Kindelement unter Verwendung des Feldbusdienstes *Read* verarbeitet werden kann, müssen zunächst die Kennungen in Erfahrung gebracht werden, unter denen die durch das Kindelement repräsentierte Objektinstanz innerhalb des Tanksystems bekannt ist. Im vorliegenden Fall sind dies die Kommunikationsreferenz und der Objektverzeichnisindex des betreffenden Objektverzeichniseintrags. Beide können in der Transformationstabelle der beigeordneten XCR-Cross-Referenz nachgeschlagen werden. Dazu wird die XSLT-Variable verwendet, über die die Transformationstabelle innerhalb des XSLT-Stylesheets zugänglich gemacht wurde. Sie bildet die Wurzel zweier XPath-Ausdrücke, durch die der Transformationstabelle die jeweils gewünschten Kennungen entnommen werden. Beide Male wird der vom Tanküberwachungswerkzeug verwendete Name der Objektinstanz als Schlüssel übergeben. Er entspricht dem Namen des Kindelements und ist über die XSLT-Funktion *current()* und die XPath-Funktion *local-name()* abrufbar. Zusätzlich werden die Begriffe angegeben, mit denen der Typ der betreffenden Objektinstanz auf der Seite des Tanküberwachungswerkzeugs bzw. innerhalb des Tanksystems bezeichnet wird. Ersterer macht deutlich, in welchem Feld der Transformationstabelle die Suche nach dem übergebenen Schlüssel zu erfolgen hat, und zweiterer legt fest, aus welchem Transformationstabellenfeld die jeweils gesuchte Kennung zu entnehmen ist. Im Anschluss an das Nachschlagen der feldbussystemspezifischen Objektkennungen erfolgen die Verarbeitung des Kindelements im Feldbussystem und die Synthese der Ant-

wortnachricht. Beide vollziehen sich in gleicher Weise wie in der zuvor beschriebenen Version der Interpretationsvorschrift.

```

<!-- Analyse der Anfragenachricht -->
<xsl:template match="*[@Operation='Get']">

  <!-- Nachschlagen der Feldbussystem-seitigen Objektkennungen -->
  <xsl:variable name="commRef"
    select="$commObjMap/xcr:entry[tmt:Var=local-name(current())/ts:CommRef]/>
  <xsl:variable name="objDictIdx"
    select="$commObjMap/xcr:entry[tmt:Var=local-name(current())/ts:ObjDictIdx]/>

  <!-- Verarbeitung im Feldbussystem -->
  <xsl:variable name="value" select="ts:Read($commRef, $objDictIdx)"/>

  <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
  <xsl:element name="{name(current())}">
    <xsl:value-of select="$value"/>
  </xsl:element>

</xsl:template>

```

Abbildung 7.9: XSLT-Transformationsregel für Kindelemente der Tanküberwachungsanfrage

Abbildung 7.10 zeigt schließlich das vollständige XSLT-Stylesheet zur Bearbeitung von Anfragen des Tanküberwachungswerkzeugs an das Tanksystem. Sie setzt sich aus der unverändert gebliebenen Transformationsregel für das Wurzelement der Anfragenachricht sowie aus der eben diskutierten generischen Transformationsregel für deren Kindelemente zusammen.

```

<?xml version="1.0"?>
<xsl:stylesheet version="1.0"
  xmlns:xsl="http://www.w3.org/1999/XSL/Transform"
  xmlns:ocr="http://www.ias.uni-stuttgart.de/2004/eXtensibleCrossReference"
  xmlns:tmt="http://www.user.de/2004/TankMonitoringTool"
  xmlns:ts="http://www.manufacturer.de/2004/TankSystem">

  <!-- Links zu XCR-Cross-Referenz und XCR-Transformations Tabellen -->
  <xsl:variable name="ocrUrl">./TankMonitoringTool2TankSystem2.xcr</xsl:variable>
  <xsl:variable name="commObjMap"
    select="document($ocrUrl)/xcr:crossreference/xcr:map[@name='AppObj2CommObj']"/>

  <!-- Abbildung der Objekttypbezeichner mit XSLT-Transformationsregeln -->

  <!-- Analyse der Anfragenachricht -->
  <xsl:template match="tmt:TankMonitoringRequest">

    <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
    <xsl:element name="tmt:TankMonitoringResponse">
      <xsl:apply-templates/>
    </xsl:element>

  </xsl:template>

  <!-- Analyse der Anfragenachricht -->
  <xsl:template match="*[@Operation='Get']">

    <!-- Nachschlagen der Feldbussystem-seitigen Objektkennungen -->
    <xsl:variable name="commRef"
      select="$commObjMap/xcr:entry[tmt:Var=local-name(current())]/ts:CommRef"/>
    <xsl:variable name="objDictIdx"
      select="$commObjMap/xcr:entry[tmt:Var=local-name(current())]/ts:ObjDictIdx"/>

    <!-- Verarbeitung im Feldbussystem -->
    <xsl:variable name="value" select="ts:Read($commRef, $objDictIdx)"/>

    <!-- Synthese der Antwortnachricht -->
    <xsl:element name="{name(current())}">
      <xsl:value-of select="$value"/>
    </xsl:element>

  </xsl:template>

</xsl:stylesheet>

```

Abbildung 7.10: Vollständiges XSLT-Stylesheet zur Interpretation von Tanküberwachungsanfragen

Zusammengenommen ergeben das XSLT-Stylesheet und die XCR-Cross-Referenz eine XMD-Interpretationsvorschrift. Sie ist vollkommen äquivalent zur früher entwickelten, rein XSLT-basierten Interpretationsvorschrift und ermöglicht wie sie einen adaptiven Informationsaustausch zwischen Tanküberwachungswerkzeug und Tanksystem. Im Vergleich zur XSLT-Realisierung sieht die XMD-Version allerdings nicht mehr für jedes einzelne Kindelement der Anfragenachricht eine eigene Transformationsregel vor. Stattdessen konnten diese zu einer einzigen Transformationsregel zusammengefasst werden, die für alle Kindelemente gleichermaßen gültig ist. Auf diese Weise reduziert sich die Gesamtzahl der erforderlichen Transformationsre-

geln, unnötige Wiederholungen gleich bleibender Teiltransformationen werden vermieden und die Interpretationsvorschrift fällt insgesamt übersichtlicher aus.

7.4 Bewertung XMD-basierter Transformationsvorschriften

Abgesehen von der verbesserten Übersichtlichkeit bringt die Unterscheidung zwischen objektinstanzbezogenen und objekttypbezogenen Teiltransformationen sowie die daraus resultierende XMD-basierte Realisierungsweise von Transformationsvorschriften noch zwei weitere Vorteile mit sich. So vereinfacht sich unter anderem die Erstellung von Übersetzungsvorschriften. Wie bereits erläutert wurde, sind zur adaptiven Übersetzung stets zwei komplementäre Übersetzungsvorschriften notwendig, die erste für die Hinübersetzung der Anfragenachricht und die zweite für die Rückübersetzung der Antwortnachricht. In XMD-basierten Übersetzungsvorschriften sind jedoch lediglich die Transformationsregeln richtungsabhängig, die Transformationsinstanzen hingegen nicht. Somit braucht nur noch ein Teil der Übersetzungsvorschriften, genauer gesagt das XSLT-Stylesheet, doppelt ausgeführt zu werden. Die XCR-Cross-Referenz ist dagegen lediglich einmal erforderlich, denn sie kann in unveränderter Form sowohl bei der Hin- als auch bei der Rückübersetzung angewendet werden. Eine weitere Erleichterung ergibt sich bei der Pflege von Interpretations- und Übersetzungsvorschriften. Hierzu kommt es insbesondere dann, wenn Umbaumaßnahmen am zu Grunde liegenden Feldbussystem stattfinden. In den meisten Fällen werden dabei Feldgeräte ausgetauscht, hinzugefügt oder entfernt. Die Art des Feldbusses und seine Anwendungsschicht bleiben jedoch im Wesentlichen unverändert. Somit beschränken sich nachträgliche Veränderungen an Feldbussystemen in der Regel auf die im System verfügbaren Objektinstanzen, demgegenüber ändern sich die dahinter stehenden Objekttypen nur sehr selten. Bei der Nachführung der betreffenden Transformationsvorschriften brauchen daher meist nur die vergleichsweise einfach aufgebauten XCR-Cross-Referenzen angepasst zu werden. Dagegen sind in den XSLT-Stylesheets, denen eine ungleich mächtigere und ausdrucksstärkere Markup-Sprache zu Grunde liegt, oft nur wenige oder gar keine Eingriffe erforderlich.

In diesem Kapitel wurden der Aufbau und die Realisierung von Transformationsvorschriften für den adaptiven Informationsaustausch beschrieben. Aus solchen Transformationsvorschriften muss hervorgehen, wie die Analyse und die Verarbeitung eingehender Feldbusnachrichten vonstatten gehen sollen. Darüber hinaus müssen sie die Synthese der jeweils resultierenden ausgehenden Feldbusnachrichten beschreiben. Alle drei Teilaufgaben können mit Hilfe der XSLT-Technologie verwirklicht werden. Im Einzelnen werden dazu XPath-Ausdrücke, benutzerdefinierte XSLT-Funktionen bzw. dementsprechende XSLT-Schlüsselwörter benötigt. Allerdings musste festgestellt werden, dass die so entstehenden Transformationsregeln vielfach redundant sind und infolgedessen rasch unübersichtlich werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Transformationsregeln stets auf einzelne Objektinstanzen beziehen und zahlreiche objekttypbezogene Teiltransformationen wiederholt werden müssen, sobald mehrere gleichartige Ob-

jektinstanzen zu transformieren sind. Um diese Unzulänglichkeit zu beseitigen, wurde dafür gesorgt, dass objekttypbezogene und objektinstanzspezifische Teiltransformationen getrennt voneinander beschrieben werden können und so nur noch jeweils einmal angegeben werden müssen. Zu diesem Zweck wurden sämtliche objektinstanzspezifischen Teiltransformationen in separate sog. Transformationstabellen ausgelagert. In den Transformationsregeln bleiben dagegen ausschließlich objekttypbezogene Teiltransformationen zurück. Die Formulierung der Transformationsregeln erfolgt weiterhin mit XSLT, zur Erstellung der Transformationstabellen wird auf eine eigens konzipierte XSLT-Erweiterung namens XCR zurückgegriffen. Nachdem nun die wichtigsten, grundlegenden Aspekte des adaptiven Informationsaustausches abgehandelt sind, kann im Folgenden seine praktische Anwendung in den Vordergrund gerückt werden. Dazu wird im nächsten Kapitel eine Werkzeugunterstützung für den adaptiven Informationsaustausch vorgestellt. Sie trägt dazu bei, dass der Aufwand zur Nutzung des Lösungskonzepts auf ein Minimum beschränkt bleibt.

8 Werkzeugunterstützung für den adaptiven Informationsaustausch

In den drei letzten Kapiteln lag der Fokus der Betrachtungen auf der Wirkungsweise des adaptiven Informationsaustausches sowie auf den Technologien, die für seine praktische Umsetzung erforderlich sind. Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht nun eine auf das Lösungskonzept abgestimmte Werkzeugunterstützung, um die praktische Realisierung des adaptiven Informationsaustausches nicht nur prinzipiell zu ermöglichen, sondern darüber hinaus auch möglichst einfach und effizient werden zu lassen. Dazu wird zunächst ein eigens entwickeltes Entwurfswerkzeug vorgestellt, das den Anwender bei der Entwicklung XMD-basierter Transformationsvorschriften unterstützt. Des Weiteren wird auf die Realisierung des Transformationservers eingegangen, der zur Bereitstellung der Transformationsvorschriften dient und darüber hinaus für die Durchführung von adaptiven Übersetzungen zuständig ist. Schließlich werden zwei alternative Möglichkeiten zum Aufbau von adaptiven Gateways für Feldbussysteme aufgezeigt, durch die letztere mit einem anpassungsfähigen Internetzugang ausgestattet werden.

8.1 Werkzeug zum Entwurf von Transformationsvorschriften

Um die Entwicklung von XMD-basierten Transformationsvorschriften zu systematisieren und zu erleichtern, wurde ein graphisches Entwurfswerkzeug namens *XMD-Creator* geschaffen [Aiss03]. Seine Hauptaufgabe ist die Unterstützung des Anwenders bei der Erstellung von XSLT-Transformationsregeln und XCR-Transformationstabellen. Darüber hinaus ist XMD-Creator dem Anwender bei der Verwaltung der resultierenden XSLT-Stylesheets und XCR-Cross-Referenzen behilflich. Im Einzelnen lagen der Entwicklung von XMD-Creator folgende Anforderungen zu Grunde:

- Intuitive Bedienbarkeit, minimaler Einarbeitungsaufwand
- Textueller Entwurf von XSLT-Transformationsregeln durch Editieren von XSLT-Stylesheets
- Visueller Entwurf von XCR-Transformationstabellen, automatische Generierung von XCR-Cross-Referenzen
- Drag & Drop-gestütztes Einfügen von Quell- und Zielnachrichtenelementen, XSLT-Elementen, benutzerdefinierten und standardmäßigen XSLT-Funktionen

- Projektübersicht zur Darstellung und Verwaltung aller für den Transformationsvorschriftsentwurf relevanten Dateien

Die Realisierung des XMD-Creators erfolgte in Form einer Windows®-basierten Anwendung. Als Entwicklungsumgebung kam Microsoft® Visual Studio® .NET zum Einsatz und als Programmiersprache wurde C# ausgewählt. Diese Entscheidung erfolgte auf Grund persönlicher Präferenzen und Erfahrungen, es bestand jedoch keinerlei prinzipielle Notwendigkeit zur Verwendung dieser Technologien und Werkzeuge.

Die Benutzungsoberfläche von XMD-Creator wurde entsprechend der Zusammensetzung von XMD-Transformationsvorschriften gestaltet. Sie unterteilt sich daher in zwei Hauptansichten, zwischen denen der Anwender beliebig hin- und herwechseln kann: eine Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln und eine weitere für XCR-Transformationstabellen. Beide werden im Folgenden näher erläutert.

8.1.1 Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln

Abbildung 8.1 zeigt die Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln. In ihrer Mitte befindet sich ein Texteditor, in dem die XSLT-Transformationsregeln einer Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschrift entworfen werden können (1). Links daneben werden in einer Baumstruktur die Tags und Attribute angezeigt, die in den zu transformierenden Anfrage- bzw. Quellnachrichten vorkommen (2). Entsprechend gibt die Baumstruktur auf der rechten Seite die möglichen Elemente der aus der Transformation hervorgehenden Antwort- bzw. Zielnachrichten wieder (3). Unterhalb des Texteditors werden die standardmäßigen XSLT-Elemente und -Funktionen aufgelistet, die bei der Formulierung der XSLT-Transformationsregeln als Schlüsselwörter dienen (4), (5). Im Falle von Interpretationsvorschriften werden oberhalb des Texteditors zusätzlich benutzerdefinierte XSLT-Funktionen eingeblendet (6). Sie repräsentieren die Dienste der Feldbusanwendungsschicht, die zur Verarbeitung der Anfragenachricht aufgerufen werden können.

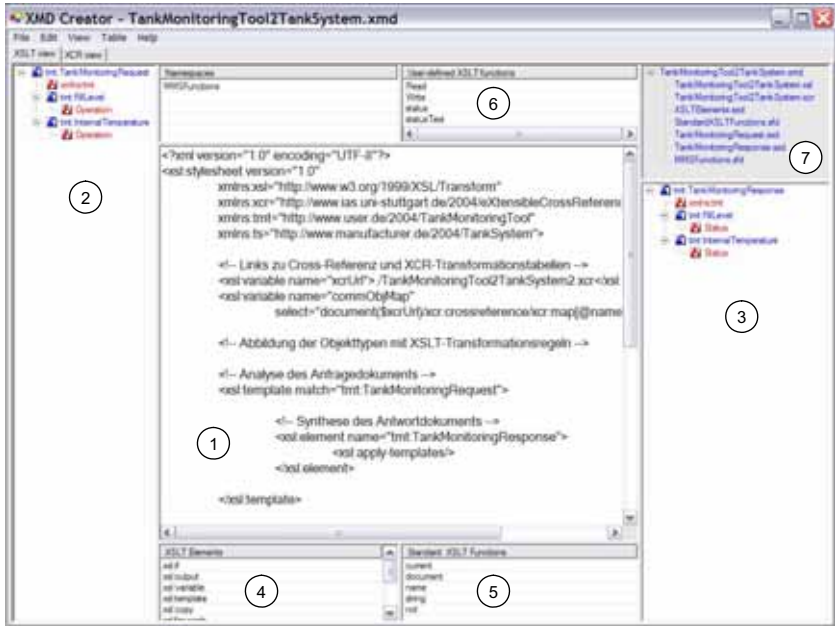


Abbildung 8.1: Entwurfsansicht für XSLT-Transformationsregeln

Der Entwurf von XSLT-Transformationsregeln erfolgt grundsätzlich in textueller Manier, er wird jedoch durch zahlreiche Drag & Drop Funktionen unterstützt. So kann beispielsweise eine neue XSLT-Transformationsregel erstellt werden, indem das betreffende Anfrage- bzw. Quellnachrichtenelement aus der links gelegenen Baumstruktur in den Texteditor herübergezogen und an der gewünschten Stelle fallen gelassen wird. Daraufhin wird automatisch ein dementsprechender *template*-Tag einschließlich der zugehörigen Attribute und Kommentare generiert und eingefügt. In gleicher Weise lässt sich mit den Antwort- bzw. Zilnachrichtenelementen der rechts gelegenen Baumstruktur ein *element*-Tag zur Erstellung des betreffenden Nachrichtenelements erzeugen. Darüber hinaus können aus den Listen oberhalb und unterhalb des Texteditors weitere XSLT-Elemente sowie standardmäßige und benutzerdefinierte XSLT-Funktionen eingefügt werden.

Ein letzter, bisher nicht erwähnter Teilbereich der XSLT-Entwurfsansicht ist das Projektübersichtsfenster (7). In ihm werden alle Dateien aufgelistet, die mit der gerade bearbeiteten Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschrift zusammenhängen. Dazu gehört in erster Linie das XSLT-Stylesheet, in der die entstehenden XSLT-Transformationsregeln abgelegt werden. Außerdem werden die zugehörige XCR-Cross-Referenz sowie eine Reihe von Beschreibungsdateien angezeigt. In letzteren werden zum einen die Tags und Attribute der Feldbusnachrichten benannt, die in den jeweiligen Baumstrukturen der XSLT-Entwurfsansicht zu sehen sind. Zum an-

deren wird festgelegt, welche benutzerdefinierten XSLT-Funktionen zur Verfügung stehen. Sobald der Anwender ein Transformationsvorschriftsprojekt öffnet, liest XMD-Creator die zugehörigen Beschreibungsdateien ein und nimmt eine dementsprechende Initialisierung der jeweiligen Teilansichten vor. Auf diese Weise kann XMD-Creator einerseits an die Syntax verschiedener Feldbuswerkzeuge und andererseits an die Semantik bzw. Syntax unterschiedlicher Feldbusysteme angepasst werden. XMD-Creator ist somit in seiner Anwendbarkeit nicht auf bestimmte Feldbusysteme und -werkzeuge eingeschränkt, sondern kann zum Entwurf von Transformationsvorschriften für beliebige Feldbusysteme und -werkzeuge eingesetzt werden.

8.1.2 Entwurfsansicht für XCR-Transformationstabellen

Die Entwurfsansicht zur Erstellung von XCR-Transformationstabellen ist in Abbildung 8.2 dargestellt. Im Zentrum befindet sich ein Tabelleneditor, mit dem sich die XCR-Transformationstabellen einer Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschrift erstellen und bearbeiten lassen (1). Wiederum werden links und rechts daneben Baumstrukturen mit den Tags und Attributen der in die Transformation eingehenden Anfrage- bzw. Quellnachrichten sowie der aus ihr hervorgehenden Antwort- bzw. Zielnachrichten angezeigt (2), (3).

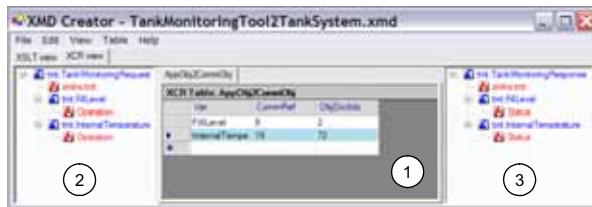


Abbildung 8.2: Entwurfsansicht für XCR-Transformationstabellen

Der Entwurf von XCR-Transformationstabellen vollzieht sich auf visuellem Wege, d.h. die entstehenden XCR-Transformationstabellen werden als solche angezeigt und können bearbeitet werden, ohne dass der Anwender mit dem dahinter stehenden XCR-Quelltext in Berührung kommt. Des Weiteren ist auch hier ein Drag & Drop-gestütztes Einfügen von Nachrichtenelementen aus den seitlich gelegenen Baumstrukturen möglich. Dabei hat der Anwender jeweils zu entscheiden, ob das betreffende Nachrichtenelement einen Objekttypbezeichner darstellt und als ein Feld der Transformationstabelle eingetragen werden soll oder ob es ein Objektinstanzbezeichner ist und zum Inhalt der Transformationstabelle gehört.

Mit jedem Speichern des Transformationsvorschriftsprojekts wird aus dem bis dahin vorliegenden Entwurf eine XMD-Transformationsvorschrift erzeugt. Dabei werden die XSLT-Transformationsregeln in einem XSLT-Stylesheet abgelegt. Gleichzeitig wird aus den XCR-Transformationstabellen automatisch eine XCR-Cross-Referenz generiert. Sobald der Entwurf

abgeschlossen ist und ein letztes Mal gespeichert wurde, kann den Projektdateien die einsatzbereite XMD-Transformationsvorschrift entnommen werden.

8.2 Realisierung des Transformationservers

Um Interpretations- und Übersetzungsvorschriften für den adaptiven Informationsaustausch mit Feldbussystemen nutzen zu können, müssen sie auf einem Transformationsserver bereitgestellt werden. Dieser steht wie ein gewöhnlicher Webserver mit dem Internet in Verbindung und ist mit Hilfe des WWW-Dienstes von beliebigen Orten aus erreichbar. Die Aufgabe des Transformationservers besteht einerseits in der Herausgabe von Interpretationsvorschriften an Feldbussysteme, die einen Informationsaustausch auf Basis der adaptiven Interpretation unterstützen. Andererseits ist er auch für die Übersetzung von Feldbusnachrichten zuständig, falls der Informationsaustausch mit Feldbussystemen als adaptive Übersetzung abgewickelt wird.

Wie anhand von Abbildung 8.3 zu erkennen ist, untergliedert sich der Aufbau des Transformationservers in drei verschiedene Bereiche. Mit einer Internetschnittstelle, bestehend aus einem TCP/IP-Stack und einem HTTP-Server, wird die Anbindung an das Internet und die Erreichbarkeit über das WWW gewährleistet. Das Dateisystem des Transformationservers wird benutzt, um ein Repository zur Ablage der verfügbaren XMD-Transformationsvorschriften zu bilden. Schließlich hält der Transformationsserver eine Reihe von Diensten bereit, die den Abruf von Interpretationsvorschriften bzw. die Durchführung adaptiver Übersetzungen erlauben.

Diese sog. Transformationsdienste werden durch das Zusammenwirken eines XML-Parsers, eines sog. *XMD-Finders* sowie eines XSLT-Prozessors realisiert. Der XML-Parser übernimmt die Analyse der vom Feldbussystem eingehenden XML-basierten Feldbusnachrichten. Dabei werden zunächst die Namensräume extrahiert, die die Quellsyntax der Feldbusnachricht sowie die anvisierte Zielemantik bzw. -syntax identifizieren. Mit diesen Namensräumen wendet sich daraufhin der XMD-Finder an das *XMD-Repository* und sucht nach der jeweils passenden Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschrift. Falls die Nutzung des Transformationservers im Rahmen einer adaptiven Interpretation erfolgt, so wird anschließend die vom XML-Finder ermittelte Interpretationsvorschrift an das Feldbussystem zurückgeliefert. Findet dagegen eine adaptive Übersetzung statt, dann tritt als nächstes der XSLT-Prozessor in Aktion. Dieser übersetzt die Feldbusnachricht mit der angegebenen Quellsyntax gemäß den Transformationsregeln und -tabellen in der zuvor ermittelten XMD-Übersetzungsvorschrift. Als Resultat entsteht eine äquivalente Feldbusnachricht mit der gewünschten Zielsyntax, die schließlich an das Feldbussystem zurück übermittelt wird.

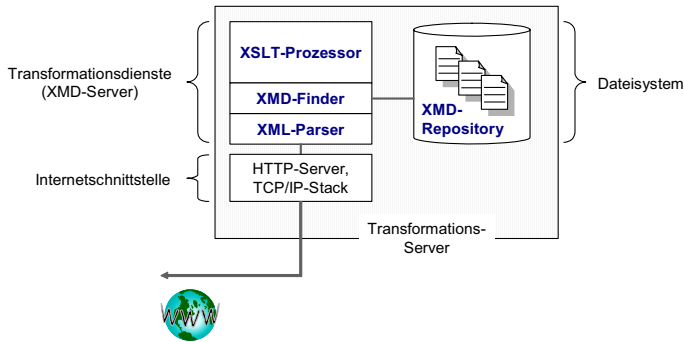


Abbildung 8.3: Systemarchitektur des Transformationservers

Zur Realisierung des Transformationservers wurde ein Standard-PC verwendet, der mit dem Betriebssystem Microsoft® Windows® XP ausgestattet war. Als HTTP-Server kam der Microsoft® Internet Information Server zum Einsatz. Zusätzlich wurde auf die XML-Bibliothek Microsoft® MSXML zurückgegriffen, in der sowohl der benötigte XML-Parser als auch der XSLT-Prozessor enthalten sind. Der XMD-Finder zuzüglich einer umgebenden Webapplikation namens *XMD-Server* mussten selbst entwickelt werden. Durch letztere werden die Bestandteile XML-Parser, XMD-Finder und XSLT-Prozessor zu den nach außen hin sichtbaren Transformationsdiensten zusammengefügt. Für die Realisierung von XML-Finder und XMD-Server wurden die Webservertechnologie ASP (Active Server Pages) und die Programmiersprache JScript® benutzt. Die Bereitstellung der gesamten Webapplikation im WWW erfolgte durch Veröffentlichung der fertigen ASP-Seiten auf dem Internet Information Server.

Ähnlich wie schon beim zuvor beschriebenen Entwurfswerkzeug für Transformationsvorschriften bestand für die Auswahl der zur Realisierung verwendeten Technologien keine zwingende Notwendigkeit. Es hätten genauso gut auch alternative Betriebssysteme, HTTP-Serverpakete und XML-Parserbibliotheken herangezogen werden können. Im Laufe der Zeit stellte sich jedoch heraus, dass die Lösungen von Microsoft® insbesondere bei der Übermittlung von XML-Dokumenten über das WWW aber auch bei der Realisierung von Webapplikationen ganz allgemein ein besonders hohes Maß an Flexibilität und Unterstützung bieten.

8.3 Realisierung adaptiver Feldbus-Gateways

Um Feldbussysteme zum adaptiven Informationsaustausch zu befähigen, müssen sie mit entsprechenden Gateways ausgestattet werden. Mit ihnen werden die betreffenden Feldbussysteme an das Internet angebunden und gleichzeitig in die Lage versetzt, sich mittels adaptiver Transformation an unterschiedliche Feldbuswerkzeuge anzupassen. Nichtsdestotrotz sind adaptive Feldbus-Gateways letztendlich nicht mehr als eine Art vorgeschaltete Feldbuserweiterung. Seit-

her verwendete Feldbussysteme werden durch sie nicht wesentlich beeinflusst und können in unveränderter Form fortbestehen. Der Aufbau und die Realisierungsweise von adaptiven Feldbus-Gateways hängen davon ab, ob der Informationsaustausch als adaptive Interpretation oder adaptive Übersetzung erfolgt. Auf beide Fälle wird im Folgenden näher eingegangen.

8.3.1 Feldbus-Gateway für die adaptive Interpretation

Der Aufbau eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation ist in Abbildung 8.4 wiedergegeben. Zur Feldbusseite hin befinden sich eine Anschaltung an die Busleitung, ein Feldbus-Controller, der für die datenorientierte Kommunikation über den Feldbus zuständig ist, sowie eine Anwendungsschicht, in der die nachrichtenorientierten Feldbusdienste realisiert sind. Zusammengefasst bildet dieser Teil des adaptiven Feldbus-Gateways eine herkömmliche Feldbusschnittstelle, die sich nur unwesentlich von den Feldbusschnittstellen der übrigen Feldgeräte unterscheidet. Die Schnittstelle zum Internet bzw. WWW besteht wie schon beim Transformationsserver aus einem TCP/IP-Stack und einem HTTP-Server. Der Kernbestandteil eines adaptiven Feldbus-Gateways ist die adaptive Feldbusschnittstelle. Sie stellt eine Erweiterung der konventionellen Feldbusschnittstelle dar und bewirkt, dass der Informationsaustausch mit dem Feldbussystem nicht mehr nur auf Grundlage eines festen, sondern unter Verwendung verschiedener benutzerdefinierter Informationsmodelle erfolgen kann. Hier, im Falle der adaptiven Interpretation, geschieht dies mit Hilfe von Interpretationsvorschriften, die vom Transformationsserver auf das Feldbus-Gateway heruntergeladen werden. Daraufhin können Anfragenachrichten eines Feldbuswerkzeugs, die vom Internet her eintreffen und dessen individuelle Syntax aufweisen, in Dienstaufrufe mit der spezifischen Semantik des Feldbussystems umgesetzt und ausgeführt werden. Umgekehrt lassen sich die Ergebnisdaten, die von den Feldbusdiensten zurückgeliefert werden und dementsprechend in feldbussystemeigener Semantik vorliegen, in Antwortnachrichten mit der Syntax des Feldbuswerkzeugs überführen.

Die adaptive Feldbusschnittstelle setzt sich daher aus einem XML-Parser, einem sog. *XMD-Loader* und einem erweiterten XSLT-Prozessor zusammen. Der XML-Parser analysiert die vom Feldbuswerkzeug angelieferten XML-basierten Anfragenachrichten und ermittelt den Namensraum, der die vom Feldbuswerkzeug verwendete Syntax identifiziert. Der XMD-Loader fordert beim Transformationsserver eine dazu passende XMD-Interpretationsvorschrift an, indem er ihm die Namensräume der feldbuswerkzeugseitigen Syntax und der feldbussystemeigenen Semantik übermittelt. Anschließend werden Anfragenachricht und Interpretationsvorschrift an den XSLT-Prozessor weitergeleitet, der um eine Softwarebibliothek zum Zugriff auf die Dienste der Feldbusanwendungsschicht erweitert wurde. Dieser interpretiert und verarbeitet die Anfragenachricht entsprechend der Transformationsregeln und -tabellen in der XMD-Interpretationsvorschrift und erstellt eine dazu passende feldbuswerkzeugspezifische Antwortnachricht. Schließlich wird letztere an das Feldbuswerkzeug zurückgeliefert.

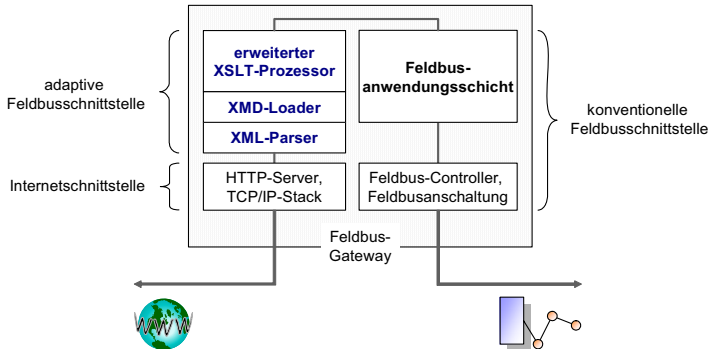


Abbildung 8.4: Systemarchitektur eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation

Wie bereits festgestellt wurde, ist die adaptive Interpretation im Vergleich zur adaptiven Übersetzung mit einem geringeren Aufwand verbunden, da für jeden Informationsaustausch nur eine Interpretationsvorschrift benötigt wird und lediglich ein Zugriff auf den Transformationsserver stattzufinden braucht (vgl. 5.3 Bewertung und Vergleich der adaptiven Informationsaustauschverfahren). Im Gegenzug ist allerdings zu beachten, dass die Informationstransformation auf dem Feldbus-Gateway selbst durchgeführt werden muss. Dies setzt voraus, dass das Feldbus-Gateway über hinreichende Systemressourcen, d.h. über mehrere hundert Megahertz Rechenleistung und mehrere Megabyte Speicherplatz, verfügt. In der Regel kommt die adaptive Interpretation daher nur für PC-basierte Feldbus-Gateways in Frage, für eingebettete Feldbus-Gateways dagegen nur sehr selten.

Die prototypische Realisierung eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation erfolgte am Beispiel des CAN-Busses und der Anwendungsschicht KWP2000, die zur Diagnose von elektronischen Steuergeräten aus dem Automobilbereich verwendet wird. Als Zielform wurde ein handelsüblicher Industrie-PC verwendet. Um den CAN-Controller und einen dazu passenden Transceiver zur Verfügung zu stellen, wurde dieser mit einer separat erhältlichen CAN-Buskarte ausgestattet. Die Auswahl des Betriebssystems und der darauf aufbauenden Technologien erfolgte nach ähnlichen Gesichtspunkten wie bei der Realisierung des Transformationservers. Somit kamen einmal mehr das Betriebssystem Microsoft® Windows® XP, der HTTP-Server Microsoft® Internet Information Server sowie die XML-Bibliothek Microsoft® MSXML zum Einsatz. Der XMD-Loader und eine Webapplikation, die die Komponenten XML-Parser, XMD-Loader und XSLT-Prozessor zur adaptiven Feldbuschnittstelle zusammensetzt und über das WWW zugänglich macht, wurden selbst entwickelt. Dies geschah wiederum in Form von ASP-Seiten, die in der Programmiersprache JScript® realisiert und auf dem Internet Information Server veröffentlicht wurden. Auch die Realisierung der Anwendungsschicht KWP2000 beruht auf einer Eigenentwicklung. Dabei kamen die Programmiersprache C++ und die Komponententechnologie COM zum Einsatz. Als Ergebnis entstand eine COM-basierte

Softwarebibliothek, die die von KWP2000 vorgesehenen Diagnosedienste zur Verfügung stellt und gleichzeitig zur Erweiterung des XSLT-Prozessors benutzt werden konnte.

8.3.2 Feldbus-Gateway für die adaptive Übersetzung

Den Aufbau eines Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung zeigt Abbildung 8.5. Er ist dem eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation sehr ähnlich. Unterschiede treten lediglich im Bereich der adaptiven Feldbusschnittstelle auf. So werden die zur Informations-transformation benutzten Übersetzungsvorschriften nicht mehr auf das Feldbus-Gateway heruntergeladen, sondern verbleiben auf dem Transformationsserver. Stattdessen werden alle Anfragenachrichten, die die individuelle Syntax eines Feldbuswerkzeugs aufweisen, vom Feldbus-Gateway an den Transformationsserver weitergeleitet, um sie dort in entsprechende Anfrage-nachrichten mit der spezifischen Syntax des Feldbussystems übersetzen zu lassen. Mit daraus hervorgehenden Antwortnachrichten, die zunächst wiederum in der feldbussystemeigenen Syntax vorliegen und in umgekehrter Richtung zu übersetzen sind, wird ebenso verfahren.

Infolgedessen enthält die adaptive Feldbusschnittstelle neben dem nach wie vor benötigten XML-Parser einen sog. *XMD-Delegator* sowie einen sog. *XML-Interpreter*. Der XMD-Delegator ergänzt die zu übersetzenden Anfrage- bzw. Antwortnachrichten um einen Namens-raum, der die jeweils gewünschte Zielsyntax kennzeichnet, und leitet sie an den Transformati-onsserver weiter. Der XML-Interpreter wird immer dann aktiv, sobald Anfragenachrichten in der Syntax des Feldbussystems vorliegen. Ausgehend von einem feststehenden Satz von Inter-pretationsregeln ermittelt er die dazu passenden Dienstaufrufe gemäß der spezifischen Semantik des Feldbussystems und führt diese aus. Im selben Zug erstellt er unter Verwendung der feld-bussystemeigenen Syntax die zugehörigen Antwortnachrichten.

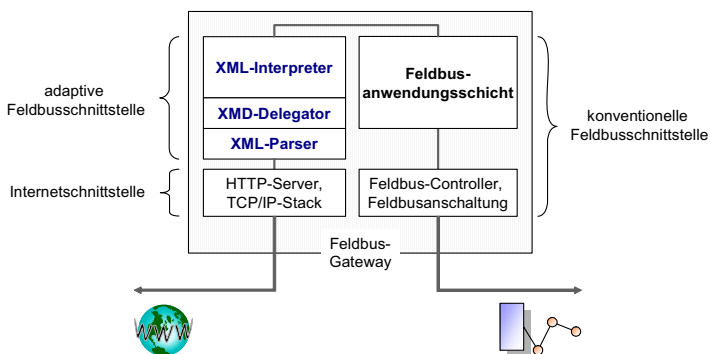


Abbildung 8.5: Systemarchitektur eines Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung

Durch die Auslagerung der Informationstransformation auf den Transformationsserver wird die adaptive Übersetzung zwar insgesamt aufwändiger als die adaptive Interpretation, dafür fällt jedoch der Systemressourcenbedarf auf dem Feldbus-Gateway deutlich niedriger aus. Die adaptive Übersetzung empfiehlt sich daher primär zum Gebrauch in eingebetteten Feldbus-Gateways, deren Rechenleistungs- und Speicherplatzreserven für die adaptive Interpretation meist zu knapp bemessen sind.

Zur prototypischen Realisierung eines Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung wurde der zeitgesteuerte Sensor-/Aktor-Bus TTP/A als Beispiel herangezogen. Dieser ist für eine sichere Echtzeitkommunikation zwischen einfachsten Sensoren und Aktoren bei möglichst niedrigen Kosten konzipiert. Um dies zu gewährleisten, werden die Teilnehmer eines TTP/A-Systems grundsätzlich als eingebettete Systeme ausgeführt. Folglich hatte auch die Realisierung eines zu TTP/A kompatiblen adaptiven Feldbus-Gateways auf Mikrocontrollerbasis zu erfolgen. Als Zielplattform diente ein selbst entwickeltes Mikrocontroller-Board namens *IAS-WebBoard* (vgl. Abbildung 8.6) [Pohl02], [Schu03]. Es beruht auf einem 16-Bit Mikrocontroller der Renesas M16C-Familie. Darüber hinaus verfügt es einerseits über den zur Anschaltung an den TTP/A-Bus benötigten UART-Controller (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) und RS485-Transceiver. Andererseits ist es mit einem Ethernet-Controller und einer Anschlussmöglichkeit an ein lokales Netzwerk (LAN) ausgestattet. Die Realisierung der gesamten Software für das adaptive TTP/A-Gateway erfolgte in der Programmiersprache C. Dazu gehörten zum einen das TTP/A-Protokoll selbst, das in Form einer Softwarebibliothek am Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme der TU München entwickelt wurde und für das adaptive TTP/A-Gateway wieder verwendet werden konnte [Hube03]. Lediglich die Anwendungsschicht von TTP/A, das IFS, war darin noch nicht enthalten und wurde selbst entwickelt. Zum anderen entstand ein kompletter eingebetteter Webserver namens *IAS-WebStack* [Ague01], [Pohl02], [Wede04]. Mit ihm wurde die Anbindung des adaptiven TTP/A-Gateways an das Internet bzw. WWW geschaffen. Der *IAS-WebStack* setzt auf dem Ethernet-Controller des IAS-WebBoards auf und umfasst den TCP/IP-Stack, den HTTP-Server sowie einen XML-Parser. Darauf aufbauend konnten schließlich der XMD-Delegator und der XML-Interpreter realisiert werden.



Abbildung 8.6: Mikrocontroller-Board für eingebettete Feldbus-Gateways (*IAS-WebBoard*)

Um den Einsatz auf kostengünstigen Mikrocontrollern möglich zu machen, wurden sowohl das TTP/A-Protokoll als auch der IAS-WebStack in hoch optimierter Form implementiert. Insgesamt belegt das TTP/A-Gateway für die adaptive Übersetzung gerade mal ca. 10 KB ROM- und 5 KB RAM-Speicherplatz. Auf die Angabe exakter Werte wurde bewusst verzichtet, da diese von zahlreichen willkürlichen Randbedingungen der konkreten Realisierung abhängen. Unter anderem variiert der RAM-Bedarf mit der maximal zulässigen Größe der XML-basierten Anfragen und Antworten an das TTP/A-System (bei Ermittlung der oben angegebenen Zahlen betrug diese 1,5 KB). Des Weiteren ändert sich der ROM-Bedarf je nach Hersteller und Version des zur Softwareerstellung benutzten mikrocontrollerspezifischen C-Compilers. Nichtsdestotrotz wird deutlich, dass der Abstand zum Speicherplatzbedarf von PC-basierten Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation beträchtlich ist. Hier betragen allein die Codegrößen von HTTP-Server und XML-Parser jeweils mehrere Megabytes. Hinzukommt der Programmcode des TCP/IP-Stacks, der normalerweise im Betriebssystem mit enthalten ist, sowie der in Anspruch genommene Arbeitsspeicher. Auch sie bewegen sich größenordnungsmäßig im einstelligen Megabytebereich.

8.4 Bewertung der Werkzeugunterstützung

Insgesamt betrachtet ist hervorzuheben, dass alle der hier beschriebenen Werkzeuge und Infrastrukturkomponenten für den adaptiven Informationsaustausch einen hohen Wiederverwendungsgrad aufweisen. Weder das Entwurfswerkzeug XMD-Creator noch der Transformationsserver sind an ein bestimmtes Feldbussystem oder -werkzeug gebunden. Lediglich die adaptiven Feldbus-Gateways müssen an der Nahtstelle zwischen adaptiver und konventioneller Feldbus-schnittstelle an das betreffende Feldbussystem angepasst werden. Darüber hinaus wird erkennbar, inwieweit sich der adaptive Informationsaustausch auf den seitherigen Aufbau von Feldbus-systemen auswirkt. So besteht die einzige Änderung, die am Feldbussystem selbst vorzunehmen ist, im Hinzufügen eines adaptiven Feldbus-Gateways. Der übrige Teil des Feldbussystems und insbesondere auch alle bisher verwendeten Anwendungsschichten und -schnittstellen können unverändert beibehalten werden. Somit bedeutet die Umstellung eines bestehenden Feldbussystems auf adaptiven Informationsaustausch keine grundlegende Umgestaltung des seitherigen Systemaufbaus, sondern lediglich eine geringfügige Systemerweiterung. Zudem zeigt die prototypische Realisierung eines Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung, dass der adaptive Informationsaustausch auch in eingebetteten Feldbussystemen realisierbar ist und dennoch nur ein minimaler Zusatzbedarf an Systemressourcen entsteht.

In diesem Kapitel wurden eine Reihe von Werkzeugen und Infrastrukturkomponenten vorgestellt, die dem Anwender beim praktischen Einsatz des adaptiven Informationsaustausches behilflich sind. Ihm wird dabei sowohl zur Entwurfszeit als auch zur Laufzeit Unterstützung geboten. Mit dem XMD-Creator erhält er ein Entwurfswerkzeug an die Hand, das ihm ein zügiges und effizientes Erstellen von Transformationsvorschriften erlaubt. Gleichzeitig steht ihm mit

dem Transformationsserver und den beiden adaptiven Feldbus-Gateways eine Laufzeitumgebung zur Verfügung, durch die er einerseits PC-basierte, andererseits aber auch eingebettete Feldbussysteme in den adaptiven Informationsaustausch mit einbeziehen kann. Als einzige nach wie vor offene Frage bleibt zu klären, in welcher Weise die Feldbuswerkzeuge zu gestalten sind, die für den adaptiven Informationsaustausch mit Feldbussystemen herangezogen werden. Die Antwort auf diese Frage hängt sehr stark vom jeweiligen Anwendungsfall ab. Sie ist daher Gegenstand des folgenden Kapitels, in dem zwei konkrete Anwendungsbeispiele für den adaptiven Informationsaustausch beschrieben werden.

9 Anwendung des adaptiven Informationsaustausches zur Ferndiagnose und Fernkonfiguration von Feldbussystemen

Nachdem in den vorangehenden Kapiteln die wesentlichen theoretischen und praktischen Voraussetzungen für den adaptiven Informationsaustausch mit Feldbussystemen erarbeitet wurden, steht in diesem Kapitel nun dessen praktische Anwendung im Vordergrund. Dazu werden im Folgenden zwei verschiedene Einsatzszenarien durchgespielt: die Ferndiagnose von Fahrzeugelektronik und die Fernkonfiguration eines regelungstechnischen Laborversuchs. Zunächst wird jeweils der Versuchsaufbau an sich erläutert. Danach folgt eine Beschreibung der adaptiven Internetanbindung, die das eine Mal mit Hilfe der adaptiven Interpretation und das andere Mal per adaptive Übersetzung realisiert wurde. Abschließend werden die aus den Anwendungsbeispielen gewonnenen Erfahrungen zusammengetragen und diskutiert.

9.1 Adaptive Ferndiagnose einer Steer-by-Wire Lenkung in Kraftfahrzeugen

Die erste praktische Erprobung des adaptiven Informationsaustausches erfolgte auf Basis der adaptiven Interpretation und hatte die Ferndiagnose von felddbusvernetzten elektronischen Steuergeräten in Kraftfahrzeugen zum Gegenstand [Merz01]. Als Anschauungsbeispiel diente einerseits das Fahrzeugmodell *IAS-Kart*, das am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik zur Verfügung steht (vgl. Abbildung 9.1). Dabei handelt es sich um ein Gokart, an dem die mechanische Lenksäule entfernt und durch eine elektronische, sog. *Steer-by-Wire* Lenkung ersetzt wurde. Andererseits kamen verschiedene Webbrowser-gestützte Ferndiagnosewerkzeuge zum Einsatz, die zuvor selbst entwickelt wurden. Mit ihnen konnte die Steer-by-Wire Lenkung des IAS-Kart über das Internet überwacht und beeinflusst werden [Noff99], [Merz01].

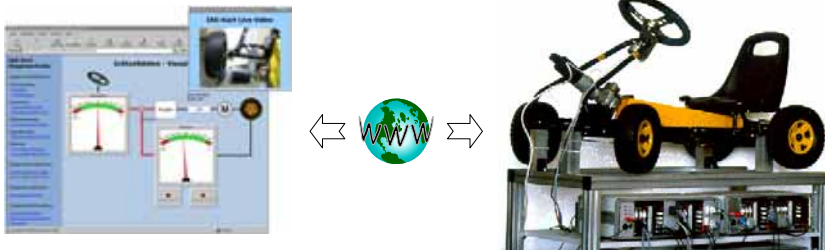


Abbildung 9.1: Fahrzeugmodell IAS-Kart und Webbrowser-gestütztes Ferndiagnosewerkzeug

9.1.1 Funktionsweise und Aufbau der Steer-by-Wire Lenkung

Die Funktionsweise der im IAS-Kart realisierten Steer-by-Wire Lenkung beruht auf einem einfachen Regelkreis (vgl. Abbildung 9.2). Durch geeignete Sensoren wird sowohl die momentane Winkelstellung des Lenkrads als auch die aktuelle Winkelstellung der beiden Vorderräder gemessen. Die Differenz der beiden Werte wird einem Regler zugeführt, der eine dementsprechende Drehzahl zur Ansteuerung des Servomotors berechnet und an diesen ausgibt. Dies bewirkt, dass die Vorderradstellung der Lenkradstellung entsprechend angeglichen wird.

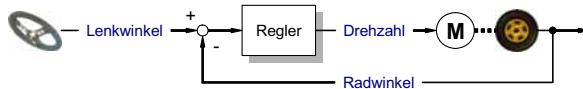


Abbildung 9.2: Systemmodell der IAS-Kart Steer-by-Wire Lenkung

Der Aufbau, der zur Realisierung der Steer-by-Wire Lenkung bereitstand, untergliedert sich in die Funktionsgruppen Lenkradwinkelerfassung, Radwinkelerfassung und Servomotoransteuerung (vgl. Abbildung 9.3). Um ein möglichst hohes Maß an Ausfallsicherheit zu gewährleisten, besteht jede von ihnen aus zwei identischen Steuergeräten, die in heißer Redundanz betrieben werden. Die datenorientierte Kommunikation zwischen den insgesamt sechs Steuergeräten erfolgt über den zeitgesteuerten Feldbus TTP/C, der speziell im Hinblick auf sicherheitskritische Anwendungen geschaffen wurde [TTP03].

Darüber hinaus wurde der Aufbau mit einem Diagnose-Gateway ausgestattet, der zur adaptiven Internetanbindung der Steer-by-Wire Lenkung dient. Da der Informationsaustausch mittels adaptiver Interpretation erfolgen sollte, wurde zu diesem Zweck ein Industrie-PC verwendet (vgl. 8.3.1 Feldbus-Gateway für die adaptive Interpretation). Für die Abwicklung der nachrichtenorientierten Kommunikation zwischen dem Diagnose-Gateway und den Steuergeräten wurden zwei alternative Möglichkeiten vorgesehen. Einmal wurden der bereits vorhandene TTP/C-Bus und dessen feldbusspezifische Anwendungsschicht mitbenutzt. Das andere Mal wurden ein separater CAN-Bus und die in der Automobilindustrie gebräuchliche Anwendungsschicht KWP2000 verwendet, die speziell zur Diagnose von elektronischen Steuergeräten entwickelt wurde [ISO15765] (vgl. 2.5.2.3 Keyword Protocol 2000 (KWP2000)). Für jeden der beiden Feldbusse wurde auf dem Diagnose-Gateway eine eigene adaptive Feldbusschnittstelle realisiert, sodass das IAS-Kart über insgesamt zwei Zugangspunkte für den adaptiven Informationsaustausch verfügt.

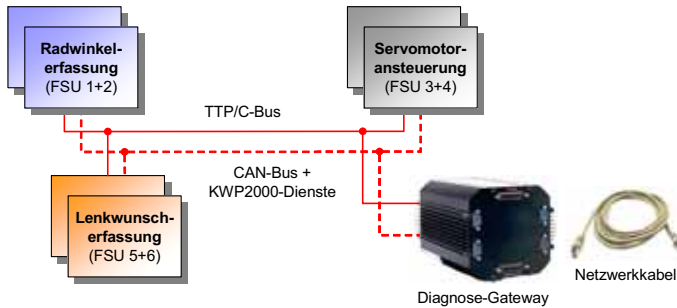


Abbildung 9.3: Systemarchitektur der IAS-Kart Steer-by-Wire Lenkung

9.1.2 Adaptiver Informationsaustausch mit anwendungs- bzw. feld-busspezifischem Diagnosewerkzeug

Um die Wirkungsweise des adaptiven Informationsaustausches zu erproben und zu veranschaulichen, wurden einige Diagnosewerkzeuge realisiert, mit denen sich die Steer-by-Wire Lenkung des IAS-Kart aus der Ferne überwachen und auf Funktionsstörungen hin untersuchen lässt. Zwei davon werden im Folgenden vorgestellt. Sie liegen beide in Form einer Webseite vor, die mit Hilfe eines Webbrowsers aus dem Internet heruntergeladen und ausgeführt werden kann (vgl. Abbildung 9.4). Zu den wesentlichen Bestandteilen einer solchen Diagnosewebseite gehören zum einen HTML-Text, der das Aussehen der Benutzungsoberfläche bestimmt, und zum anderen Skriptcode, der die Applikationslogik verkörpert. Darüber hinaus muss jede von ihnen Zugang zu einem XML-Parser haben, um XML-basierte Anfragenachrichten an das IAS-Kart zu erstellen, diese über das WWW dorthin zu verschicken und die zurückkehrenden XML-basierten Antwortnachrichten auswerten zu können. Bei der Realisierung der Diagnosewebseiten wurde davon ausgegangen, dass die Computerplattform des Anwenders mit einem Microsoft® Windows® Betriebssystem und dem Webbrowser Microsoft® Internet Explorer ausgestattet ist. Somit konnte die Implementierung des Skriptcodes in der Programmiersprache JScript® erfolgen. Gleichzeitig konnte erneut die vergleichsweise leistungsfähige XML-Bibliothek Microsoft® MSXML verwendet werden, die ein Bestandteil des Webbrowsers Microsoft® Internet Explorer ist und damit ohnehin bereits vorhanden war.

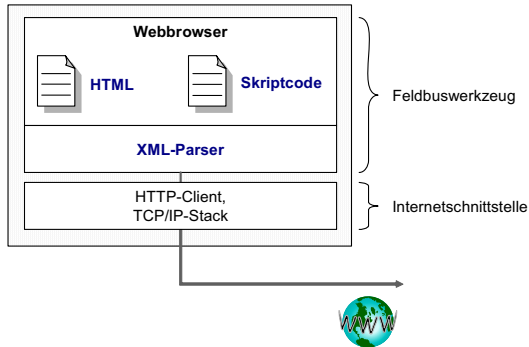


Abbildung 9.4: Systemarchitektur einer Webbrowser-gestützten Diagnosewebseite

Jeder der beiden Diagnosewebseiten liegt ein eigenes Informationsmodell zu Grunde. Bei der Entwicklung der ersten von ihnen wurde von einer anwendungsspezifischen Sichtweise ausgegangen. Sie entspricht der eines Servicetechnikers, der zwar mit der grundsätzlichen Funktionsweise des IAS-Kart vertraut ist, jedoch nichts über die Details seiner Realisierung weiß. Eine der Diagnoseaufgaben, die mit Hilfe dieser Diagnosewebseite durchgeführt werden können, besteht in der Ermittlung der Regelgröße *Lenkwinkel*. Zu diesem Zweck wird die in Abbildung 9.5 dargestellte XML-basierte Diagnoseanfrage an das IAS-Kart abgesetzt. Wie sich unschwer erkennen lässt, fällt deren Syntax ebenso einfach aus wie das zuvor erläuterte Funktionsprinzip der Steer-by-Wire Regelung und spiegelt somit die spezifische Betrachtungsweise des Servicetechnikers wider.

```
<?xml version="1.0"?>
<DiagnosisRequest xmlns="http://www.steer-by-wire.org/2002">
  <SteerByWire>
    <SteerWheelAngle/>
  </SteerByWire>
</DiagnosisRequest>
```

Abbildung 9.5: Anwendungsspezifische Diagnosenachricht zur Ermittlung des Lenkwinkels

Wie aus Abbildung 9.6 hervorgeht, kann die Anfrage der Diagnosewebseite im IAS-Kart erwartungsgemäß verarbeitet werden, unabhängig davon, welcher der beiden Feldbusse zum Zugriff auf die Steer-by-Wire Steuergeräte verwendet wird. Sobald sie im jeweiligen Feldbus-Gateway eingetroffen ist, wird im Internet die passende Interpretationsvorschrift gesucht und heruntergeladen. Im Zuge der anschließenden Interpretation und Verarbeitung der Diagnosenachricht passiert zwar beide Male sinngemäß dasselbe, der Lenkwinkel wird gelesen, jedoch werden dazu völlig unterschiedliche Operationen durchgeführt. Beim Zugriff über den TTP/C-Bus wird die interessierende Regelgröße aus einer sog. Echtzeitdatenbank gelesen. Dabei handelt es sich um

ein zweidimensionales Feld in der Anwendungsschicht des TTP/C-Busses, über das alle zu sendenden sowie sämtliche empfangenen Feldbusnachrichten zugänglich sind. Erfolgt der Zugriff dagegen über den CAN-Bus und die darauf aufbauende Anwendungsschicht KWP2000, so wird die Regelgröße durch Aufrufen des Feldbusdienstes *ReadDataByLocalIdentifier* ermittelt.

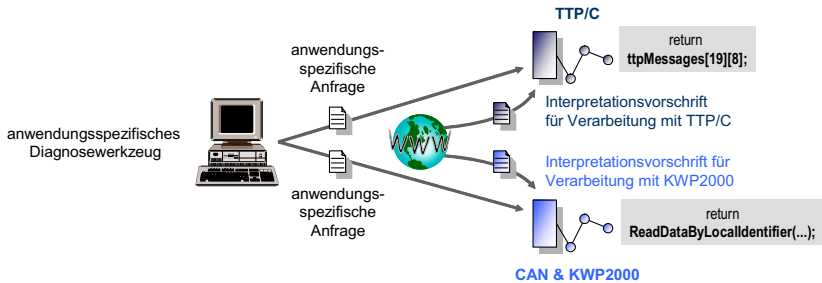


Abbildung 9.6: Verarbeitung derselben Diagnoseanfrage in unterschiedlichen Feldbussystemen

Die zweite Diagnosewebseite für die Steer-by-Wire Lenkung des IAS-Kart wurde in Anlehnung an die zur Steuergerätediagnose konzipierte Anwendungsschicht KWP2000 entwickelt. Hier wurde demzufolge eine feldbusspezifische Sichtweise umgesetzt, die nicht mehr nur auf die Steer-by-Wire Steuergeräte des IAS-Kart abzielt, sondern für beliebige Arten von Steuergeräten ausgelegt ist. Auch mit dieser KWP2000-basierten Diagnosewebseite lässt sich die Regelgröße *Lenkwinkel* in Erfahrung bringen, Abbildung 9.7 zeigt die zugehörige XML-basierte Diagnose-nachricht an das IAS-Kart. Allerdings wird diesmal eine der Sichtweise entsprechend allgemeinere Syntax benutzt.

```
<?xml version="1.0"?>
<KWP2000Request xmlns="http://www.kwp2000.org/1999">
  <ReadDataByLocalIdentifier RecordLocalIdentifier="0x19" RecordValueIndex="0x70"/>
</KWP2000Request>
```

Abbildung 9.7: KWP2000-spezifische Diagnosenachricht zur Ermittlung des Lenkwinkels

Abbildung 9.8 stellt dar, wie beide Diagnosewebseiten über den TTP/C-Bus auf die Steer-by-Wire Steuergeräte des IAS-Kart zugreifen. Das eine Mal wird die anwendungsspezifische Diagnoseanfrage benutzt, das andere Mal die KWP2000-spezifische Variante. Durch Heranziehen der jeweils passenden Interpretationsvorschrift aus dem Internet wird dennoch in beiden Fällen derselbe Eintrag aus der Echtzeitdatenbank der TTP/C-Anwendungsschicht gelesen.

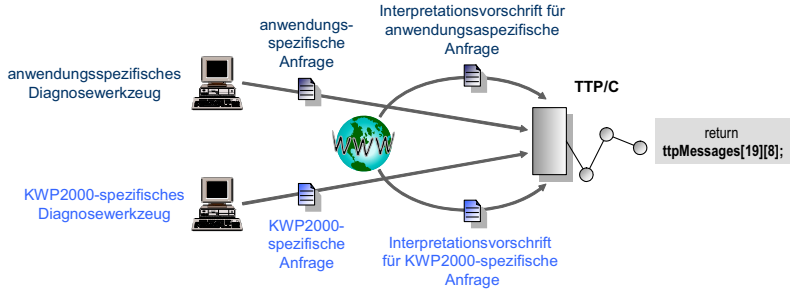


Abbildung 9.8: Verarbeitung unterschiedlicher Diagnoseanfragen im selben Feldbussystem

9.2 Adaptive Fernkonfiguration einer Schwebekörperregelung

Die zweite Anwendung des adaptiven Informationsaustausches hatte die Fernkonfiguration eines regelungstechnischen Laborversuchs namens *Schwebende Kugel* zum Ziel und wurde auf Grundlage der adaptiven Übersetzung realisiert [Wu03]. Der genannte Laborversuch wurde ursprünglich am Lehrstuhl für Realzeit-Computersysteme der TU München entwickelt und später am Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik nachgebaut (vgl. Abbildung 9.9) [Hube03]. Er verwirklicht einen Regelkreis, in dem ein metallischer Körper mit Hilfe eines Elektromagneten und einer Lichtschranke in der Schwebelage gehalten wird. Das Konfigurationswerkzeug, das zur Parametrierung und Justierung der Regelung diente, war diesmal keine Eigenentwicklung mehr. Stattdessen kam das industrielle Feldbuswerkzeug *CANsetter* der Fa. Vector zum Einsatz.

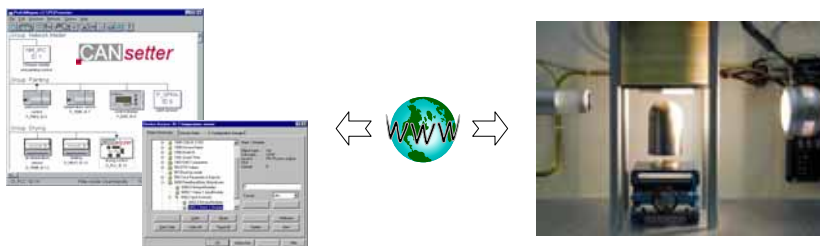


Abbildung 9.9: Laborversuch *Schwebende Kugel* und Konfigurationswerkzeug *CANsetter*

9.2.1 Funktionsweise und Aufbau der Schwebekörperregelung

Die Funktionsweise des Regelkreises, mit dem der Schwebezustand des Metallkörpers herbeigeführt und aufrechterhalten wird, ist in Abbildung 9.10 dargestellt. Aus einer vorgegebenen Soll-

schwebehöhe und der von der Lichtschranke gemessenen Istschwebehöhe wird die Regeldifferenz ermittelt und in den Regler eingespeist. Dieser berechnet den erforderlichen Stellstrom zur Ansteuerung des Elektromagneten und gibt ihn aus. Infolgedessen werden die Stärke des Magnetfelds sowie auch die Schwebehöhe des Metallkörpers der Situation entsprechend angepasst.

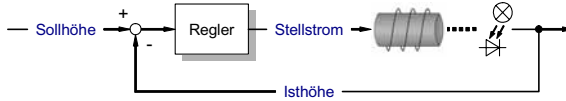


Abbildung 9.10: Systemmodell des Laborversuchs *Schwebende Kugel*

Der Aufbau der Schwebekörperregelung besteht aus einem Verbund verteilter Mikrocontrollerknoten, die über den zeitgesteuerten Feldbus TTP/A miteinander in Verbindung stehen [TTP00]. So finden die Vorgabe der Sollschwebehöhe, die Erfassung der Istschwebehöhe und die Berechnung des Stellstroms auf separaten TTP/A-Knoten statt und der Regelkreis wird über den TTP/A-Bus geschlossen. Ein weiterer TTP/A-Knoten dient zur adaptiven Internetanbindung des Versuchsaufbaus. Er wurde zum TTP/A-Gateway ausgebaut, das einen Informationsaustausch auf Basis der adaptiven Übersetzung ermöglicht (vgl. 8.3.2 Feldbus-Gateway für die adaptive Übersetzung). Dadurch ist der Versuchsaufbau in der Lage, auf benutzerdefinierte Konfigurationsanfragen zu antworten, die über das Internet an ihn übermittelt werden.

9.2.2 Adaptiver Informationsaustausch mit industriellem Konfigurationswerkzeug

Anhand des Laborversuchs Schwebende Kugel sollte unter anderem gezeigt werden, dass der adaptive Informationsaustausch nicht nur mit speziell für diesen Zweck entwickelten Feldbuswerkzeugen erfolgen kann, sondern auch im Zusammenspiel mit industriellen Werkzeuglösungen möglich ist. Gerade im Falle des hier verwendeten Feldbusses TTP/A stellt dies eine interessante Möglichkeit dar. Er ist rein akademischen Ursprungs, sodass bisher nur wenige prototypische Werkzeuge zur Handhabung von TTP/A-Systemen zur Verfügung stehen. Mit Hilfe des adaptiven Informationsaustausches lässt sich jedoch erreichen, dass ersatzweise auch auf das ausgereifte Werkzeug eines anderen Feldbusses zurückgegriffen werden kann.

Aus diesem Grund wurde das Feldbuswerkzeug *CANsetter* der Fa. Vector ausgewählt, um die Konfiguration der TTP/A-basierten Schwebekörperregelung vorzunehmen (vgl. Abbildung 9.11a). *CANsetter* ist von Haus aus zur Projektierung und Vorortinbetriebnahme von CANopen-Systemen vorgesehen (vgl. 2.5.2.1 CANopen). Zur Nutzung von *CANsetter* wird ein PC oder Notebook benötigt, der mit einer CAN-Buskarte zur Anschaltung an das CANopen-System ausgestattet ist. *CANsetter* selbst ist eine Windows®-basierte Anwendung. Zusätzlich ist stets ein zur CAN-Buskarte passender CAN-Treiber in Form einer Win32 DLL erforderlich. Er wird von

CANsetter über eine vorgegebene Schnittstelle angesprochen und wickelt die spezifische Ansteuerung der jeweiligen CAN-Buskarte ab. Bei der Kommunikation mit einem CANopen-System übernimmt CANsetter lediglich die Erstellung zu sendender sowie die Verarbeitung empfangener CANopen-Nachrichten. Für die letztendliche Übermittlung der CANopen-Nachrichten über den CAN-Bus ist dagegen der CAN-Treiber zuständig. Die Übergabe zu sender bzw. empfangener CANopen-Nachrichten zwischen CANsetter und CAN-Treiber erfolgt unter Verwendung binärer Datenstrukturen.

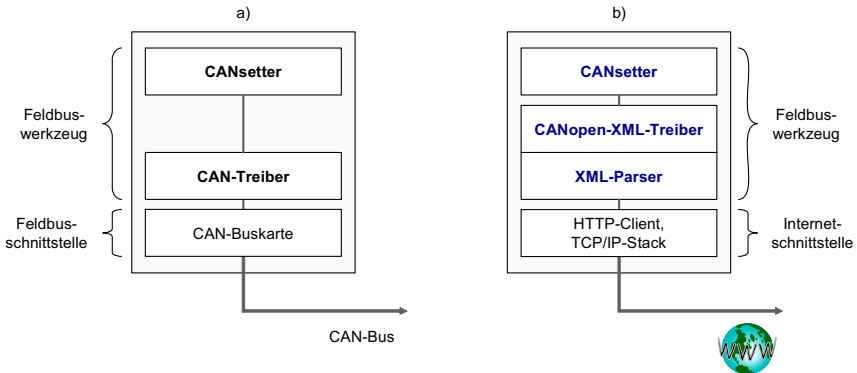


Abbildung 9.11: Systemarchitektur von *CANsetter* in herkömmlicher (a) und erweiterter Ausführung (b)

Damit wird deutlich, dass das Feldbuswerkzeug CANsetter in seiner bestehenden Form noch nicht alle notwendigen Voraussetzungen erfüllt, um für den adaptiven Informationsaustausch mit Feldbussystemen eingesetzt zu werden. So darf CANsetter nicht nur für die Vorortkonfiguration eines lokalen CANopen-Systems anwendbar sein, sondern muss darüber hinaus auch die Fernkonfiguration eines entfernten Feldbussystems ermöglichen. Dazu müssen die CANopen-Nachrichten statt über den CAN-Bus über das WWW übermittelt werden. Des Weiteren dürfen die CANopen-Nachrichten nicht länger in Gestalt binärer Datenstrukturen an das Feldbussystem kommuniziert werden. Vielmehr müssen sie in Form von XML-Dokumenten vorliegen, damit die ihnen zu Grunde liegende Syntax explizit sichtbar wird. Um diese Unzulänglichkeiten zu beseitigen, wurde CANsetter um einen eigens entwickelten CANopen-XML-Treiber erweitert, der anstelle des herkömmlichen CAN-Treibers verwendet wurde (vgl. Abbildung 9.11b). Dieser konvertiert alle von CANsetter übergebenen binären CANopen-Anfragen in XML-basierte CANopen-Anfragen und sendet sie über das WWW an den Laborversuch Schwebende Kugel. Umgekehrt fängt er sämtliche über das WWW zurückkehrenden CANopen-Antworten ab, wandelt sie in äquivalente binäre CANopen-Antworten um und übergibt sie an CANsetter. Die Realisierung des CANopen-XML-Treibers erfolgte wie die gewöhnlicher CAN-Treiber als Win32

DLL. Als Programmiersprache kam C++ zum Einsatz, zusätzlich wurde einmal mehr auf die XML-Bibliothek Microsoft® MSXML zurückgegriffen.

Das Informationsmodell, das dem Konfigurationswerkzeug CANsetter zu Grunde liegt, entspricht dem der Feldbusanwendungsschicht CANopen (vgl. 2.5.2.1 CANopen). Es verkörpert somit eine weitere feldbuspezifische Sichtweise, die sich aus der Intension, den CAN-Bus als universell einsetzbaren Feldbus für die Automatisierungstechnik zu etablieren, herausgebildet hat. Der Laborversuch Schwebende Kugel beruht hingegen auf dem Feldbussystem TTP/A und dessen Anwendungsschicht IFS (vgl. 2.5.2.2 Interface File System (IFS)). Das hinter letzterer stehende Informationsmodell ist wiederum das Produkt einer feldbuspezifischen Sichtweise, und auch hier hatte man die Absicht, den TTP/A-Bus so universell wie möglich zu gestalten. Nichtsdestotrotz bestehen zwischen beiden Anwendungsschichten grundlegende Unterschiede.

Um nun das CANopen-basierte CANsetter-Werkzeug zur Konfiguration des TTP/A-basierten Laborversuchs Schwebende Kugel einsetzen zu können, musste zunächst eine virtuelle CANopen-Sicht auf den Versuchsaufbau geschaffen werden. Demnach fungiert jeder der darin befindlichen TTP/A-Knoten als CANopen-Knoten und unterhält ein eigenes Objektverzeichnis. Die Konfigurationsdaten des Versuchsaufbaus finden sich als Einträge dieser Objektverzeichnisse wieder. Beispielsweise stellt die Sollschwebhöhe einen Konfigurationsparameter des TTP/A-Gateways dar. Im Hinblick auf CANopen wurde vereinbart, dass sie unter Index *0x2001* und Subindex *0x01* im virtuellen Objektverzeichnis des TTP/A-Gateways alias CANopen-Knoten *0x01* abgelegt ist.

Beim Zugriff auf die Konfigurationsdaten des Versuchsaufbaus initiiert CANsetter SDO-Anfragen an die betreffenden CANopen-Knoten und erwartet dementsprechende SDO-Antworten zurück. Wird z.B. eine Veränderung der Sollschwebhöhe gewünscht, so generiert CANsetter eine DomainDownload-Anfrage an den CANopen-Knoten, der das TTP/A-Gateway vertritt. Abgesehen von der Angabe des jeweiligen Objektverzeichniseintrags enthält sie auch den neu einzustellenden Wert der Sollschwebhöhe. Nach ihrer Fertigstellung wird sie von CANsetter an den CANopen-XML-Treiber übergeben. Dort wird sie in eine XML-basierte DomainDownload-Anfrage mit CANopen-konformer Syntax konvertiert (vgl. Abbildung 9.12). Schließlich wird letztere über das WWW an den Versuchsaufbau gesendet.

```

<?xml version="1.0"?>
<CANopenSDO_Request
  operation="DomainDownload"
  xmlns="http://www.ias.uni-stuttgart.de/2003/CANopenSDO">

  <nodeID>0x01</nodeID>
  <index>0x2001</index>
  <subIndex>0x01</subIndex>
  <value>1023</value>

</CANopenSDO_Request>

```

Abbildung 9.12: CANopen-basierte DomainDownload-Anfrage zur Veränderung der Sollschebebehöhe

Wenn die DomainDownload-Anfrage zur Konfiguration der Sollschebebehöhe im adaptiven Feldbus-Gateway des Laborversuchs Schwebende Kugel angekommen ist, kann sie dort zunächst nicht verstanden werden. Sie wird daher an den Transformationsserver weitergeleitet, um von diesem in eine äquivalente Anfrage entsprechend der Syntax der TTP/A-eigenen Anwendungsschicht IFS übersetzt zu werden (vgl. Abbildung 9.13). Die hieraus hervorgehende Write-Anfrage spiegelt die tatsächlich vorliegende IFS-Sicht auf den Versuchsaufbau wider. Darin wird das TTP/A-System als verteiltes Dateisystem aufgefasst und unter der Bezeichnung Cluster angesprochen. Die in ihm enthaltenen TTP/A-Knoten werden als *Nodes* bezeichnet. Auf jeder Node gibt es mehrere *Files*, die ihrerseits aus einem oder mehreren *Records* zusammengesetzt sind. In letzteren sind die einzelnen Variablen und Parameter des Versuchsaufbaus abgelegt. So ist z.B. die Sollschebebehöhe auf der Node *0xFE* in File *0x10* und dessen Record *0x01* wieder zu finden.

```

<?xml version="1.0"?>
<ifs:cluster id="0x01" xmlns:ifs="http://www.ias-stuttgart.de/2001/InterfaceFileSystem">
  <ifs:node alias="0xFE">
    <ifs:file name="0x10">
      <ifs:record number="0x01" operation="write">1023</ifs:record>
    </ifs:file>
  </ifs:node>
</ifs:cluster>

```

Abbildung 9.13: IFS-basierte Write-Anfrage zur Veränderung der Sollschebebehöhe

Sobald die Write-Anfrage zum adaptiven TTP/A-Gateway zurückgekehrt ist, kann die Konfiguration der Sollschebebehöhe durchgeführt werden. Dazu wird der Write-Anfrage der neu einzustellende Wert der Sollschebebehöhe entnommen und unter Verwendung des Write-Dienstes an die betreffende Stelle im verteilten Dateisystem geschrieben. Darüber hinaus entsteht eine Write-Antwort, aus der hervorgeht, ob die Write-Operation erfolgreich verlaufen oder fehlgeschlagen ist. Der Weg der Write-Antwort verläuft wiederum über den Transformationsserver. Dort

wird sie zunächst in eine gleichwertige DomainDownload-Antwort übersetzt, bevor sie schließlich zum Konfigurationswerkzeug CANsetter zurückgelangt.

9.3 Ergebnisse und Erfahrungen aus den Anwendungsbeispielen

Nachdem das Fahrzeugmodell IAS-Kart und der Laborversuch Schwebende Kugel sowie der mit ihnen verwirklichte adaptive Informationsaustausch ausführlich beschrieben wurden, wird im Folgenden auf die wichtigsten Ergebnisse und Erfahrungen eingegangen, die im Zusammenhang mit diesen Anwendungsbeispielen gemacht werden konnten.

9.3.1 Aufwand für die Realisierung

Der Hauptaufwand für die Realisierung der beiden Anwendungsbeispiele bestand in der Entwicklung der Versuchsaufbauten sowie der Entwicklung bzw. Erweiterung der zugehörigen Feldbuswerkzeuge. Der Zusatzaufwand für Einrichtung des adaptiven Informationsaustausches fiel demgegenüber erstaunlich gering aus. Hierunter fielen einerseits die Bereitstellung des Transformationsservers und die Erweiterung der konventionellen zu adaptiven Feldbus-Gateways sowie andererseits die Erstellung der erforderlichen Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschriften.

Insbesondere bei der Realisierung des Transformationsservers und der adaptiven Feldbusschnittstellen zeigte sich, dass der dafür erforderliche JScript®- bzw. C-Code jeweils kaum mehr als ein bis zwei Bildschirmseiten umfasste. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Hauptteil der verarbeitungintensiven Funktionen durch die Komponenten TCP/IP-Stack, HTTP-Server, XML-Parser und XSLT-Prozessor abgedeckt werden. Sie alle sind jedoch nicht speziell auf den adaptiven Informationsaustausch zugeschnitten. Mit Ausnahme des eingebetteten Webservers IAS-WebStack brauchten sie daher nicht neu entwickelt zu werden, sondern ließen sich durch Wiederverwendung bereits existierender Komponenten zur Verfügung stellen. Damit beschränkten sich die zusätzlich benötigten und für den adaptiven Informationsaustausch spezifischen Komponenten auf den XMD-Loader bzw. XMD-Delegator, den XMD-Finder und den XML-Interpreter. Diese haben jedoch fast ausschließlich koordinierende Funktionen wahrzunehmen und waren daher vergleichsweise einfach zu verwirklichen.

Bei der Erstellung der Transformationsvorschriften musste zwar zunächst ein erhöhter Einarbeitungsbedarf in Kauf genommen werden. Ausschlaggebend hierfür war die XSLT-Technologie, die zur Erstellung der Transformationsregeln verwendet wird. XSLT ist zum einen ein sehr mächtiges Werkzeug, das eine Vielzahl von Ausdrucksmöglichkeiten erlaubt. Zum anderen gehört XSLT zur Familie der funktionalen Programmiersprachen, die im Vergleich zu prozeduralen bzw. objektorientierten Programmiersprachen einen deutlich geringeren Verbreitungs-

grad haben und daher oft ungewohnt erscheinen. In der Summe führen diese Faktoren dazu, dass Entwickler von Transformationsvorschriften zunächst eine gewisse Zeit lang brauchen, bis sie sich mit den Grundzügen von XSLT vertraut gemacht haben. Nichtsdestotrotz hat sich dieser anfängliche Mehraufwand rasch bezahlt gemacht. So vollzieht sich die Erstellung von Transformationsvorschriften gänzlich unabhängig von der Realisierung der betreffenden Feldbussysteme. Der Entwickler einer Transformationsvorschrift kann sich daher ausschließlich auf die auszutauschenden Informationsinhalte konzentrieren und braucht sich nicht parallel dazu mit den Implementierungsdetails der jeweiligen Feldbus-Gateways auseinanderzusetzen, die oftmals nur mühsam zu durchschauen sind. Ebenso können nachträgliche Änderungen an Transformationsvorschriften bequem und zügig umgesetzt werden, ohne dass dazu auch nur noch so geringe Eingriffe in die Feldbussysteme selbst erforderlich sind.

9.3.2 Erzielte Antwortzeiten im Betrieb

Um beurteilen zu können, in welchem Maße der adaptive Informationsaustausch die Interaktion zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen in zeitlicher Hinsicht beeinflusst, wurden die auf der Seite des Anwenders entstehenden Antwortzeiten bestimmt. Dabei handelt es sich um diejenige Zeitdauer, die zwischen dem Absetzen einer Anfragenachricht vom Feldbuswerkzeug an das Feldbussystem und der Rückkehr der zugehörigen Antwortnachricht verstreicht. Die Untersuchung erfolgte am Beispiel des Informationsaustausches zwischen dem Laborversuch Schwebende Kugel und dem Konfigurationswerkzeug CANsetter, der – wie zuvor beschrieben – als adaptive Übersetzung realisiert wurde. Anders als bei der adaptiven Interpretation sind für jede adaptive Übersetzung nicht nur ein sondern zwei Zugriffe auf den Transformationsserver notwendig, was sich dementsprechend nachteilig auf die Antwortzeit auswirkt. Der Laborversuch Schwebende Kugel stellte somit ein geeignetes Versuchsobjekt dar, um eine realistische Abschätzung der längsten zu erwartenden Antwortzeit zu erhalten.

Parallel dazu wurden auch die Antwortzeiten eines konventionellen Informationsaustausches mit XML-Messaging ermittelt. Sie dienen als Referenz zur Bewertung der im Zuge des adaptiven Informationsaustausches erzielten Ergebnisse. Dabei kam wiederum der Laborversuch Schwebende Kugel zum Einsatz, allerdings wurde diesmal ein anderes Feldbuswerkzeug benutzt. Es bestand aus einer einfachen Konfigurationswebseite, die analog zu den vorstehend beschriebenen Diagnosewebseiten für das Fahrzeugmodell IAS-Kart realisiert wurde. Statt jedoch über ein anwendungsspezifisches Informationsmodell zu verfügen, beruhte sie auf genau demselben Informationsmodell wie der Laborversuch Schwebende Kugel, d.h. sie benutzte die Semantik und die Syntax der TTP/A-eigenen Anwendungsschicht IFS. Somit konnten die an den Versuchsaufbau abgesetzten XML-basierten Anfragenachrichten auf direktem Wege verarbeitet werden, ohne dass eine adaptive Interpretation oder Übersetzung mit Hilfe von Transformationsvorschriften notwendig war.

Ein weiterer Aspekt dieser Untersuchung war der Aufstellungsort des Transformationservers und dessen Auswirkung auf die Antwortzeiten des adaptiven Informationsaustausches. Dazu wurde der Transformationsserver einmal zusammen mit dem Feldbuswerkzeug und dem Feldbussystem im Intranet des Instituts für Automatisierungs- und Softwaretechnik betrieben. Das andere Mal verblieben lediglich das Konfigurationswerkzeug CANsetter und der Laborversuch Schwebende Kugel im institutseigenen Netzwerk, während sich der Transformationsserver in San Diego, einer Metropole im äußersten Südwesten des US-Bundesstaates Kalifornien, befand.

Tabelle 9.1 zeigt, welche Messungen im Einzelnen durchgeführt wurden. In allen Fällen wurde dieselbe Information abgefragt, nämlich die Sollschebehöhe der Kugel, die im TTP/A-Gateway des Laborversuchs gespeichert ist. Zur Messung der Antwortzeiten wurde das Netzwerkprotokollanalysewerkzeug *Ethereal* verwendet, als Messergebnisse wurden die gemittelten Antwortzeiten aus jeweils fünf Einzelmessungen angegeben.

Tabelle 9.1: Mittlere Antwortzeiten beim Abfragen der Sollschebehöhe aus dem Laborversuch Schwebende Kugel

Beteiligtes Feldbuswerkzeug und -system	Art des Informationsaustausches	Ort des Transformationservers	Mittlere Antwortzeit in Sekunden
CANsetter – Schwebende Kugel	adaptive Übersetzung	IAS	1,77
CANsetter – Schwebende Kugel	adaptive Übersetzung	San Diego, Kalifornien, USA	1,91
Konfigurationswebseite – Schwebende Kugel	konventionelles XML-Messaging	-	0,60

Die ermittelten Antwortzeiten machen deutlich, dass der adaptive Informationsaustausch im Vergleich zum konventionellen Informationsaustausch ungefähr das Dreifache an Zeit in Anspruch nimmt. Gleichzeitig lässt sich erkennen, dass die Antwortzeit im Falle eines in großer Entfernung gelegenen Transformationservers nur minimal höher ausfällt als bei Verwendung eines in der Nähe befindlichen Transformationservers. Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass der Aufstellungsort des Transformationservers keinen wesentlichen Einfluss auf die Antwortzeiten hat. Offensichtlich sind die Feldbusnachrichten trotz des Einsatzes von XML klein genug, um innerhalb von Sekundenbruchteilen den halben Erdball zu umrunden. Stattdessen zeigt sich, dass die Antwortzeiten durch die Anzahl der jeweils stattfindenden HTTP-Transaktionen bestimmt werden. So laufen beim konventionellen XML-basierten Informationsaustausch lediglich eine Anfrage und eine Antwort zwischen Feldbuswerkzeug und Feldbussystem hin und her. Im Falle des adaptiven Informationsaustausches – genauer gesagt der adaptiven Übersetzung – finden dagegen stets drei HTTP-Transaktionen statt, eine zwischen Feldbuswerkzeug und Feldbussystem sowie zwei weitere zwischen Feldbussystem und Transformationsserver.

ver. Beim adaptiven Informationsaustausch erfolgen im ungünstigsten Fall demnach dreimal so viele HTTP-Transaktionen wie beim konventionellen XML-basierten Informationsaustausch, was die Beobachtung einer dreimal so hohen Antwortzeit erklärbar macht.

Insgesamt betrachtet bestätigt sich die anfängliche Einschätzung, dass der adaptive Informationsaustausch keinen „harten“ Echtzeitbedingungen im Millisekundenbereich genügen kann. Dennoch bleiben die Antwortzeiten trotz der im Hintergrund ablaufenden Informationstransformation im einstelligen Sekundenbereich. Somit bewegen sich die durch den adaptiven Informationsaustausch verursachten Verzögerungen in einer Größenordnung, die bei der Interaktion zwischen Feldbuswerkzeugen und Feldbussystemen durchaus vertretbar ist.

In diesem Kapitel wurden zwei verschiedene Anwendungsbeispiele für den adaptiven Informationsaustausch vorgestellt. Anhand der Ferndiagnose eines Fahrzeugelektroniksystems und der Fernkonfiguration eines regelungstechnischen Laborversuchs konnten sowohl die adaptive Interpretation als auch die adaptive Übersetzung erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden. Im Zuge dessen wurde auch der Aufbau der dabei verwendeten Feldbuswerkzeuge erläutert. Es konnte gezeigt werden, dass der adaptive Informationsaustausch sowohl mit Hilfe von selbst entwickelten als auch in Verbindung mit industriellen Feldbuswerkzeugen anwendbar ist. Des Weiteren hat sich herausgestellt, dass der Aufwand für die Realisierung des adaptiven Informationsaustausches vergleichsweise niedrig bleibt und sich die Antwortzeiten im Betrieb innerhalb eines akzeptablen Rahmens bewegen. Im nächsten und letzten Kapitel wird das Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches abschließend zusammengefasst und bewertet. Dabei werden nochmals die wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse dieser Arbeit aufgezeigt. Auch werden die unvermeidlichen Voraussetzungen und Grenzen des vorgeschlagenen Lösungskonzepts dargelegt. Schließlich folgt ein Ausblick auf denkbare künftige Arbeiten.

10 Zusammenfassung und Ausblick

Die zunehmende Nutzung von Internettechnologien in der Automatisierungstechnik sorgt auch im Bereich der Feldbussysteme für Bewegung. Zwar werden Feldbusse entgegen der manchenorts zu vernehmenden Ankündigungen dadurch keineswegs überflüssig. Vielmehr ist abzusehen, dass sie zur Vernetzung von Sensoren, Aktoren und Steuerungen wohl auch weiterhin unverzichtbar bleiben. Nichtsdestotrotz hat sich die Feldbustechnik neuen Herausforderungen zu stellen: Mitarbeiter in unterschiedlichen Geschäftsbereichen von Unternehmen oder im weltweiten Einsatz befindliche Service-Techniker sollen auf Informationen in Feldbussystemen, zum Teil sogar in einzelnen Sensoren und Aktoren, zugreifen können. Neben einer geeigneten Möglichkeit zur Internetanbindung von Feldbussystemen bildet die systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Umsetzung dieser Vision.

Um Letzteres sicherzustellen, wird nach wie vor versucht, allen Feldbussystemen ein einheitliches Informationsmodell zu Grunde zu legen. Erst wenn alle Feldbusnachrichten dieselbe Syntax aufweisen und alle Feldbusdienste auf derselben Semantik beruhen, scheint eine hersteller- und anwenderübergreifende Verständigung und Zusammenarbeit zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen möglich zu werden. Doch gerade im Hinblick auf die zunehmende Internetanbindung von Feldbussystemen zeichnet sich ab, dass die Anzahl sowie auch die Verschiedenheit derjenigen, die mit Informationen aus Feldbussystemen in Berührung kommen, weiter ansteigen werden. Dass die schon heute höchst kontroverse Diskussion über die Standardisierung eines Informationsmodells für Feldbussysteme eines Tages doch noch den lang erhofften Konsens erbringen wird, ist demnach ziemlich unwahrscheinlich.

10.1 Ergebnisse und Bewertung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Lösungskonzept vorgestellt, das eine adaptive Internetanbindung von Feldbussystemen erlaubt. Feldbussysteme und -werkzeuge werden an ein Intranet oder das Internet angebunden und können erstmals auch dann Informationen austauschen und systemübergreifend zusammenarbeiten, wenn sie kein gemeinsames Informationsmodell teilen. Statt weiter auf eine Standardisierung des Informationsaustausches zu bauen, sieht das Lösungskonzept einen adaptiven Informationsaustausch vor. Dabei findet parallel zur Informationsübermittlung stets auch eine Transformation der ausgetauschten Informationen statt, um sie für beide Seiten verständlich zu machen. Letzteres geschieht mit Hilfe von Transformationsvorschriften, die jeweils die spezifischen Entsprechungen zwischen den Informationen eines Feldbuswerkzeugs und eines Feldbussystems dokumentieren und an einem bekannten Ort im Inter-

net hinterlegt sind. Insgesamt stehen zwei alternative Ausprägungen des adaptiven Informationsaustausches zur Verfügung:

- *Adaptive Interpretation*: Statt die Anfragenachrichten eines Feldbuswerkzeugs auf direktem Wege zu verarbeiten, wendet das Feldbussystem eine Interpretationsvorschrift an, die es von einem Transformationsserver im Internet herunterlädt. Auf diese Weise erfährt es, welche Feldbusdienste für die Verarbeitung der Anfragenachrichten benötigt werden und wie die zurückerwarteten Antwortnachrichten auszusehen haben.
- *Adaptive Übersetzung*: Ein Transformationsserver im Internet übersetzt alle zwischen Feldbuswerkzeug und Feldbussystem ausgetauschten Anfrage- bzw. Antwortnachrichten auf Basis der Übersetzungsvorschriften, die ihm zur Verfügung stehen. Im Feldbussystem erfolgen sowohl die Verarbeitung der Anfragenachrichten als auch die Erstellung der zugehörigen Antwortnachrichten in herkömmlicher, direkter Manier.

Die Realisierung des adaptiven Informationsaustausches erfolgte auf Grundlage der XML-Technologie. Durch die Möglichkeit zur Markierung von Daten mit Tags und Attributen schafft sie die notwendigen Voraussetzungen, um Feldbusnachrichten mit Hilfe von Transformationsvorschriften interpretieren bzw. übersetzen zu können. Des Weiteren steht mit der parallel zu XML entstandenen XSLT-Technologie ein leistungsfähiges Werkzeug zur Transformation von XML-basierten Daten zur Verfügung, das sich zur Erstellung von Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschriften nutzen lässt.

Im Hinblick auf die eingangs formulierte Zielsetzung sind darüber hinaus folgende weitere Aspekte des Lösungskonzepts hervorzuheben:

Untersuchung der Rolle der Information

Der eigentliche Wert einer Internetanbindung von Feldbussystemen sind die zwischen Anwendern und Feldbussystemen ausgetauschten Informationen. Bei der Erarbeitung entsprechender Lösungskonzepte ist es daher sinnvoll, sich zunächst mit dem Wesen von Information an sich auseinanderzusetzen. Bisher lag der Schwerpunkt solcher Betrachtungen jedoch meist nur auf der Syntax und der Semantik einer Information. Die Rolle der Pragmatik ist demgegenüber stets mehr oder weniger zu kurz gekommen. Zu Unrecht, denn die Pragmatik verkörpert letztendlich die individuelle Sichtweise des Urhebers einer Information und macht deutlich, dass Informationen keine absoluten sondern subjektive Größen darstellen. Übertragen auf den Informationsaustausch bedeutet dies, dass Sender und Empfänger zwar ein gemeinsames Kommunikationsmodell teilen, im Allgemeinen jedoch mit voneinander verschiedenen Informationsmodellen arbeiten, je nach dem welche Pragmatik bzw. Sichtweise sie vertreten. Somit liefert die in der Pragmatik des jeweiligen Anwenders begründete Subjektivität der Information eine Erklärung für die nicht auszuräumende Heterogenität der Informationsmodelle und die fehlende systemübergreifende Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen. Gleichzeitig wird deut-

lich, dass dieser Umstand nicht durch eine Standardisierung des Informationsmodells beseitigt werden kann, da dies einen Widerspruch zum Wesen der Information darstellen würde.

Neuer Weg zur Interoperabilität von Feldbussystemen und -werkzeugen

Das in der vorliegenden Arbeit entstandene Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches mit Feldbussystemen legt der Interoperabilitätsfrage einen rundweg neuen Leitgedanken zu Grunde. Statt die Informationsmodelle und damit auch die Sichtweisen auf Feldbussysteme zu vereinheitlichen, sind unterschiedliche Sichtweisen und Informationsmodelle ausdrücklich erlaubt. Das Feldbussystem weiß mit der Subjektivität der Information umzugehen und kann sich flexibel an die Sichtweise des jeweiligen Anwenders bzw. dessen Informationsmodell anpassen. Eine per Standard erzwungene, globale Gleichschaltung der Syntax und Semantik von Feldbusinformationen ist nicht mehr notwendig. Dennoch wird es möglich, die Interoperabilität zwischen n unterschiedlichen Feldbuswerkzeugen und m verschiedenen Feldbussystemen herzustellen.

Allgemeine Anwendbarkeit des Konzepts

Das Lösungskonzept des adaptiven Informationsaustausches wurde anhand der Feldbusse TTP/C, CAN/KWP2000, TTP/A und CAN/CANopen erprobt. Auf diese Weise konnte demonstriert werden, dass das Konzept an sich nicht auf bestimmte Feldbussysteme oder -werkzeuge beschränkt ist. Auch bei seiner Realisierung entstehen nur minimale Abhängigkeiten von der Art des jeweiligen Feldbusses, da nur wenige Eingriffe in das Feldbussystem selbst erforderlich sind. Insofern können die im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Realisierungen des adaptiven Informationsaustausches leicht auf weitere Feldbussysteme portiert und angepasst werden. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass zur Realisierung der adaptiven Übersetzung lediglich ein minimaler Zusatzbedarf an Systemressourcen im Feldbussystem selbst benötigt wird. Somit ist der adaptive Informationsaustausch nicht nur solchen Feldbussystemen vorbehalten, die über einen leistungsstarken PC-basierten Internetzugang verfügen. Vielmehr kann er auch in eingebetteten Feldbussystemen angewendet werden, ohne dass ein unangemessener Mehraufwand an Kosten entsteht.

Schaffung einer Werkzeugunterstützung

Um den adaptiven Informationsaustausch auf möglichst unkomplizierte Weise in der Praxis anwendbar zu machen, wurde eine auf das Lösungskonzept abgestimmte Werkzeugunterstützung entwickelt. Diese stellt einerseits das Entwurfswerkzeug XMD-Creator zur Erstellung von Transformationsvorschriften bereit. Andererseits sieht sie beispielhafte Realisierungen eines Transformationservers, eines Feldbus-Gateways für die adaptive Interpretation sowie eines weiteren Feldbus-Gateways für die adaptive Übersetzung vor. Der Aufwand für Anwender, die den adaptiven Informationsaustausch in der Praxis einsetzen möchten, beschränkt sich somit auf

die Anpassung eines der beiden Feldbus-Gateways an das vorliegende Feldbussystem und die Erstellung der benötigten Transformationsvorschriften mit Hilfe von XMD-Creator.

10.2 Voraussetzungen und Grenzen

Die wesentliche Neuerung des adaptiven Informationsaustausches im Vergleich zum herkömmlichen Informationsaustausch besteht in der semantischen Entkopplung von Sender und Empfänger. Statt die Verarbeitung der ausgetauschten Nachrichten nach einem feststehenden Schema abzuwickeln, kann sie mit Hilfe von Interpretations- bzw. Übersetzungsvorschriften in flexibler Weise an die jeweils beteiligten Parteien angepasst werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Nachrichten, die zwischen Feldbussystem und -werkzeug übermittelt werden, ein XML-basiertes Datenformat aufweisen, sodass ihre Syntax explizit sichtbar wird. Andernfalls wäre ohne zusätzliches Wissen nicht zu erkennen, aus welchen Elementen eine Feldbusnachricht zusammengesetzt ist, und Transformationsvorschriften, die die Bedeutungen dieser Elemente auflisten, könnten gar nicht erst angewendet werden.

Gleichzeitig ist zu beachten, dass die höhere Flexibilität bezüglich des Informationsaustausches im Gegenzug auch gewisse Einschränkungen mit sich bringt. Hier ist zum einen die im Vergleich zum konventionellen Informationsaustausch aufwändigere Nachrichtenübermittlung zu nennen. So sind für jede Anfrage- und Antwortnachricht, die zwischen Feldbussystem und -werkzeug ausgetauscht werden, stets ein bzw. zwei Zugriffe auf den Transformationsserver notwendig - je nach dem ob der Informationsaustausch per adaptive Interpretation oder adaptive Übersetzung erfolgt. Zum anderen fällt der Umfang der Feldbusnachrichten infolge der textbasierten Datendarstellung und der zusätzlich vorhandenen Markierungen um einiges größer aus, als dies bei binären, unmarkierten Feldbusnachrichten üblich ist. Auf Grund dieser Begebenheiten ist der adaptive Informationsaustausch für Anwendungen mit hohen Echtzeitanforderungen, so z.B. für die datenorientierte Kommunikation zwischen den Feldgeräten innerhalb eines Feldbussystems, ungeeignet. Sein Einsatz bleibt somit auf den nachrichtenorientierten Informationsaustausch zwischen Feldbussystemen und -werkzeugen begrenzt, der dem Anwender die Durchführung von Inbetriebnahme-, Betriebs- und Instandhaltungsmaßnahmen ermöglicht. In diesem Fall bewegen sich die Echtzeitanforderungen lediglich im Sekundenbereich, sodass die etwas längeren Antwortzeiten, die beim adaptiven Informationsaustausch zu beobachten sind, keine allzu große Beeinträchtigung darstellen.

Es bleibt zu überlegen, welcher Stellenwert dem adaptiven Informationsaustausch im Vergleich zum seither üblichen Informationsaustausch zukommen wird. So wird es sicherlich auch weiterhin zahlreiche Bemühungen geben, den Informationsaustausch zu standardisieren und die Vielfalt der daraus hervorgehenden Feldbussysteme und -werkzeuge einzudämmen. Solange dies innerhalb überschaubarer Anwendergruppen geschieht, in denen eine gemeinsame Sicht auf die Dinge vorherrscht bzw. durchgesetzt werden kann, ist ein solches Vorgehen in jedem Fall auch

anzuraten. Global gesehen, d.h. über die Grenzen verschiedener Anwendergruppen hinweg, stellt sich die Realität hingegen anders dar. Hier werden wohl auf Dauer verschiedene Standards bzw. Informationsmodelle parallel existieren. Für genau dieses Umfeld wurde der adaptive Informationsaustausch geschaffen. Sobald eine standard- bzw. anwendergruppenübergreifende Verständigung erforderlich wird, gibt er das geeignete Mittel zur Hand. Der adaptive Informationsaustausch versteht sich somit nicht als Ersatz des bisherigen standardbasierten Informationsaustausches, sondern stellt eine komplementäre Ergänzung dar.

10.3 Erkenntnisse und Ausblick

Die wichtigste Erkenntnis, die sich im Laufe der vorliegenden Arbeit ergeben hat, ist die Erweiterung des Kommunikationsbegriffs im Sinne des ISO/OSI-Referenzmodells zum Begriff des Informationsaustausches. Er ergibt sich als Resultat einer konsequenten Berücksichtigung der Dualität und der Subjektivität der Information und schließt neben der Übertragung einer Nachricht vom Sender zum Empfänger auch den Übergang von der Information zur Nachricht (Repräsentation) und umgekehrt (Interpretation) mit ein. Entscheidend ist dabei, dass lediglich die Übertragung durch ein gemeinsames Kommunikationsmodell beschrieben wird, während die Repräsentation und die Interpretation den individuellen Informationsmodellen von Sender und Empfänger unterliegen.

So wie das ISO/OSI-Referenzmodell ist auch das hier vorgeschlagene Informationsaustauschmodell nicht nur für die Feldbustechnik gültig, sondern kann auch in vielen anderen Bereichen der Automatisierungstechnik bzw. in der Informationstechnik ganz allgemein angewendet werden. Abgesehen vom systemübergreifenden Zusammenspiel von Feldbussystemen und -werkzeugen bietet sich somit auch für den adaptiven Informationsaustausch eine Fülle weiterer Verwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise besteht in der Automatisierungstechnik ein Trend zum vermehrten Einsatz mobiler Endgeräte, die über drahtlose Netzwerke kommunizieren und zur Handhabung von mehreren unterschiedlichen Geräten, Maschinen oder anderen Anlagenteilen gleichzeitig geeignet sein sollen. Darüber hinaus sollen schon bald Haushaltsgeräte und die heimische Unterhaltungselektronik miteinander vernetzt werden und herstellerübergreifend zusammenarbeiten können. Einen weiteren denkbaren Anwendungsbereich bildet das Engineering großer automatisierungstechnischer Anlagen. Typischerweise erfordert dies die Zusammenarbeit zahlreicher Entwicklungsteams, die jeweils über einen spezifischen fachlichen Hintergrund verfügen. Dementsprechend werden die mit einem Engineering-Projekt zusammenhängenden Informationen aus zum Teil sehr unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet. Dessen ungeachtet ist ein fachbereichsübergreifender Austausch dieser Informationen zwingend erforderlich. Generell lässt sich sagen, dass sich der Einsatz des adaptiven Informationsaustausches überall dort anbietet, wo Personen und Systeme mit verschiedenartiger Herkunft und Prägung zusammenarbeiten sollen und sich eine Standardisierung des Informationsaustausches als schwierig oder nicht machbar erweist.

Literaturverzeichnis

- [Abad01] Abadie, C.: *Das IDA-Konzept, Teil 4: 4-stufig ins Web*. In: Computer & Automation (2001) H. 11, S. 60-66.
- [Ague01] Aguerrevere, G.: *Design and Implementation of an Embedded Web Server Optimized for Connecting Microcontroller-Based Devices to the Internet*. Master Thesis Nr. 1833, IAS, Universität Stuttgart, 2002.
- [Aiss03] Aissa, A.: *Entwicklung eines Transformationsvorschriftseditors für die adaptive Internetanbindung von Feldbussystemen*. Diplomarb. Nr. 1892, IAS, Universität Stuttgart, 2003.
- [Albe97] Albert, W.: *Automatisierung von Chemischen Forschungs- und Entwicklungsanlagen (F+E-Anlagen) mit PC-basierten Prozeßleitsystemen*. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 39 (1997) H. 7, S. 11-19.
- [Albr03] Albrecht, H.: *<Automatisierungstechnik>*. GMA-Kongress 2003, Baden-Baden. In: VDI-Berichte 1756. Düsseldorf: VDI Verlag, 2003, S. 775-788.
- [AlMe02] Albrecht, H.; Meyer, D.: *XML in der Automatisierungstechnik – Babylon des Informationsaustausches?* In: at – Automatisierungstechnik 50 (2002) H. 2, S. 87-96.
- [AlMe99] Albrecht, H.; Meyer, D.: *ACPLT – Komponenten für die Prozeßleittechnik*. 6. Fachtagung Entwicklung und Betrieb komplexer Automatisierungssysteme (EKA), Braunschweig, 1999.
- [Aust84] Austin, J. L.: *How to do Things with Words: The William James Lectures Delivered in Harvard University in 1955*. J. O. Urmson (Hrsg.). 2. Aufl., London, UK: Oxford University Press, 1984.
- [BiFe01] Biehler, G.; Feld, G.: *PROFInet-Serie, Teil 3: Der Migrationspfad*. In: Computer & Automation (2001) H. 6, S. 40-44.
- [BiGi01] Biehler, G. H.; Gierling, W.: *PROFInet-Serie, Teil 1: Das Engineering-Modell*. In: Computer & Automation (2001) H. 4, S. 58-64.
- [Booc95] Booch, G.: *Objektorientierte Analyse und Design, Mit praktischen Anwendungsbeispielen*. 6. Aufl., Bonn, Paris: Addison-Wesley, 1995.
- [BRA00] Buchner, H.; Rauprich, G.; Ahrens, W.: *Was bringt XML der Prozessleittechnik – Buzzword oder informationstechnischer Backbone für eCommerce, Planung und Betriebsbetreuung?* In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 42 (2000) H. 9, S. 51-62.
- [Buch01a] Buchwitz, M.: *Das IDA-Konzept, Teil 1: Weit mehr als Ethernet*. In: Computer & Automation (2001) H. 7-8, S. 46-50.
- [Buch01b] Buchwitz, M.: *JetWeb-Technologie - Verteilte Automatisierungszintelligenz mit Ethernet*. GMA-Kongress 2001, Baden-Baden. In: VDI-Berichte 1608. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001, S. 633-640.

- [Buss96] Busse, R.: *Feldbussysteme im Vergleich, Ein Leitfaden für den Anwender*. München: Pflaum Verlag, 1996.
- [Cai195] Cailliau, R.: *A Little History of the World Wide Web*. World Wide Web Consortium, 1995.
<http://www.w3c.org/History.html>
- [Capu87] Capurro, R.: *Was ist Information? Hinweise zum Wort- und Begriffsfeld eines umstrittenen Begriffs*. In: Handbuch der modernen Datenverarbeitung 133 (HMD 133), H. Heilmann (Hrsg.). Stuttgart, Wiesbaden: Forkel-Verlag, 1987, S. 107-114.
- [CiA00] *CANopen Application Layer and Communication Profile, Draft Standard 301, V4.01*. CAN in Automation e.V. (CiA), 2000.
<http://www.can-cia.de>
- [CZ03] *Autoindustrie übt sich in Ausfallsicherheit*. In: Computer Zeitung (2003) H. 41, S. 1.
- [DiSi01] Diedrich, C.; Simon, R.: *Integrierte Automation*. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 43 (2001) H. 10, S. 26-32.
- [Dums02] Dumsky, G.: *Der Durchbruch*. In: Computer & Automation (2002) H. 5, S. 34-38.
- [Eber00] Eberle, S.: *XML-basierte Internetanbindung technischer Prozesse*. Fachtagung Softwaretechnik im Rahmen der 30. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, Berlin. In: Informatik 2000, Neue Horizonte im neuen Jahrhundert, K. Mehlhorn u. G. Snelting (Hrsg.). Berlin: Springer-Verlag, 2000, S. 356-371.
- [Eber02] Eberle, S.: *Vier-Länder-Kooperation „Kommunikationsarchitekturen für verlässliche Automatisierungssysteme“ (Time-Triggered Sensor Bus TTSB)*. In: Tätigkeitsbericht 2002, IAS, Universität Stuttgart, 2003, S. 39-41.
- [EbGö01] Eberle, S.; Göhner, P.: *Kostengünstige Internetanbindung eingebetteter Geräte mit verteilten Gerätehomepages*. GMA-Kongress 2001, Baden-Baden. In: VDI-Berichte 1608. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001, S. 19-27.
- [EbGö02] Eberle, S.; Göhner, P.: *Adaptive Ferndiagnose von Kraftfahrzeugen über das Internet*. Entwicklerforum Kfz-Elektronik, Stuttgart. In: Begleittexte zum Entwicklerforum Kfz-Elektronik, 24. April 2002 Stuttgart, C. Grote u. R. Ester (Hrsg.). Poing: WEKA Fachzeitschriften-Verlag, 2002, S. 181-191.
- [EN50170] EN 50170: *General purpose field communication system*. European Committee for Electrotechnical Standardization, 1996.
- [EN50254] EN 50254: *High efficiency communication subsystem for small data packages*. European Committee for Electrotechnical Standardization, 1998.
- [EN50254-2] EN 50325-2: *Industrial communications subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces - Part 2: DeviceNet*. European Committee for Electrotechnical Standardization, 2000.
- [EN50325-4] EN 50325-4: *Industrial communications subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces - Part 4: CANopen*. European Com-

- mittee for Electrotechnical Standardization, 2002.
- [EtSu93] Etschberger, K.; Suters, T.: *Offene Kommunikation auf CAN-Netzwerken. Schicht-7-Protokoll entkoppelt Applikation und Kommunikation*. In: *Elektronik* (1993) Teil 1: H. 7, S. 60-66, Teil 2: H. 9, S. 42-47.
- [Fano61] Fano, R. M.: *Transmission of Information: A Statistical Theory of Communications*. New York: Wiley and MIT Press, 1961.
- [Färb94] Färber, G.: *Feldbus-Technik heute und morgen*. In: *atp – Automatisierungstechnische Praxis* 36 (1994) H. 11, S. 16-36.
- [FLB01] Feld, J.; Lange, R.; Bechstein, N.: *PROFInet-Serie, Teil 2: Das Laufzeit-Modell*. In: *Computer & Automation* (2001), H. 5, S. 42-48.
- [Flex04] *FlexRay Communications System, Protocol Specification Version 2.0*. FlexRay Consortium, 2004.
<http://www.flexray.com>
- [Gabe01] Gabel, O.: *Internet-basiertes Fernleiten und Ferninstandhalten mit der AConML*. GMA-Kongress 2001, Baden-Baden. In: *VDI-Berichte 1608*. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001, S. 191-198.
- [Ganz86] Ganzhorn, K.: *Informationsstrukturen und Ordnungsprinzipien*. In: *Der Informationsbegriff in Technik und Wissenschaft*, O. G. Folberth u. C. Hackl (Hrsg.). München, Wien: Oldenbourg Verlag, 1986.
- [Glüc00] Glück, H. (Hrsg.): *Metzler Lexikon Sprache*. 2. Aufl., Stuttgart, Weimar: Verlag Metzler, 2000.
- [Goos97] Goos, G.: *Vorlesungen über Informatik, Bd. 1: Grundlagen und funktionales Programmieren*. 2. Aufl., Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- [Gröp02] Gröppler, M.: *Der „heiße Draht“ zur Fertigung*. In: *Computer & Automation* (2002) H. 7, S. 22-24.
- [Gutb05] Gutbrodt, F.: *Agentenunterstütztes IT-Sicherheits-Konzept für Automatisierungssysteme*. GMA-Kongress 2005, Baden-Baden. Eingereicht und akzeptiert.
- [Hemp97] Hempen, U.: *Konventionelle Signalübertragung*. In: *Handbuch der Prozeßautomatisierung, Prozeßleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen*, K. F. Früh (Hrsg.). 2. Aufl., München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1997, S. 210-214.
- [HHD95] Heidel, R.; Hörger, J.; Döbrich, U.: *Vom Feldgerät zur offenen Feldtechnik*. In: *atp – Automatisierungstechnische Praxis* 37 (1995) H. 10, S. 21-33.
- [HiLi97] Hils, F.; Lindner, K.-P.: *Feldbus*. In: *Handbuch der Prozeßautomatisierung, Prozeßleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen*, K. F. Früh (Hrsg.). 2. Aufl., München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1997, S. 223-254.
- [Hube03] Huber, R.: *Konzept, Realisierung und Bewertung des Sensor/Aktorbusses TTP/A*. Diss. RCS, Technische Universität München, 2003.
- [Huff52] Huffman, D. A.: *A Method for the Construction of Minimum-Redundancy*

- Codes*. In: Proceedings of the I.R.E. (1952) H. 9, S. 1098-1101.
- [Hyvä70] Hyvärinen, L. P.: *Information Theory for System Engineers*. Berlin: Springer-Verlag, 1970.
- [IDA00] *IDA – neue Basis für die Automation der Zukunft*. In: etz – Elektrotechnik + Automation (2000) H. 9, S. 60-61.
- [IEC61158] IEC 61158: *Digital data communications for measurement and control - Fieldbus for use in industrial control systems*. International Electrotechnical Commission, 2003.
- [IEEE802.3] IEEE 802.3: *Information Technology – Telecommunication & Information Exchange Between Systems - LAN/MAN - Specific Requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2002.
- [ISO11898] ISO 11898: *Road vehicles – Can controller network (CAN)*. International Organisation for Standardization, 2003.
- [ISO14230] ISO 14230: *Road vehicles – Diagnostic systems – Keyword Protocol 2000*. International Organisation for Standardization, 1999.
- [ISO15765] ISO 15765: *Road vehicles – Diagnostics on Controller Area Networks (CAN)*. International Organisation for Standardization, 2004.
- [ISO7498] ISO/IEC 7498: *Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model*. International Organisation for Standardization, 1994.
- [ISO9506] ISO 9506: *Industrial automation systems – Manufacturing message specification*. International Organisation for Standardization, 2003.
- [IwLa01] Iwanitz, F.; Lange, J.: *OLE for Process Control. Grundlagen, Implementierung und Anwendung*. Heidelberg: Hüthig Verlag, 2001.
- [Jazd03] Jazdi, N.: *Universelle Fernservice-Infrastruktur für eingebettete Systeme*. Diss. IAS, Universität Stuttgart, 2003. IAS-Forschungsberichte, Bd. 3/2003.
- [KoSc01] Konieczny, F.; Schwips, S.: *Das IDA-Konzept, Teil 2: Das Innenleben*. In: Computer & Automation (2001), H. 9, S. 48-56.
- [KuWo03] Kuttig, F.; Wollschlaeger, M.: *Einheitlicher Remote-Zugriff auf Automatisierungskomponenten durch PROFInet WebIntegration*. GMA-Kongress 2003, Baden-Baden. In: VDI-Berichte 1756. Düsseldorf: VDI Verlag, 2003, S. 619-627.
- [LaGö99] Lauber, R. J.; Göhner, P.: *Prozessautomatisierung I*. 3. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- [Lang01] Langner, R.: *FactoryXML™, Ein XML-basierendes Protokoll zum Online-Datenaustausch für Production-to-Business-Anwendungen*. Fachtagung „XML in Automation“, Düsseldorf, 2001.
<http://www.vdi.de/vdi/organisation/schnellauswahl/fgkf/kfit/tagungen/03238/index.php>

- [Laub01] Lauber, R. J.: *Was ist Information?* In: Computer Aided Design of Dynamic Systems, Scientific Papers of Donezk State Technical University, Vol. 29. Sevastopol, Ukraine, 2001, S. 18-35.
- [LNPW04] Linke, A.; Nussbaumer, M.; Portmann, P. R.; Willi, U.: *Studienbuch Linguistik*. Reihe Germanistische Linguistik (RGL), Bd.121. 5. Aufl., Tübingen: Max Niemeyer Verlag, 2004.
- [LON04] LON Nutzer Organisation e.V. (LNO): *LonWorks Installationshandbuch*. 2. Aufl., Düsseldorf: VDE Verlag, 2004.
- [Merz01] Merz, A.: *Entwicklung eines Konzepts für adaptive Webservices am Beispiel der KWP2000-basierten Ferndiagnose von Kraftfahrzeugen über das Internet*. Diplomarb. Nr. 1809, IAS, Universität Stuttgart, 2001.
- [MOST03] *MOST Specification Rev. 2.2*. MOST Cooperation, 2003.
<http://www.mostnet.de>
- [Naed03] Naedele, M.: *IT Security for Automation Systems, Motivations and Mechanisms*. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 45 (2003) H. 5, S. 84-91.
- [Noff99] Noffke, H.: *Entwicklung einer Client-Server-Applikation zur Darstellung von TTP-Diagnosenachrichten im Intranet*. Studienarb. Nr. 1738, IAS, Universität Stuttgart, 1999.
- [ODVA01a] *DeviceNet Specification, Release 2.0*. Open DeviceNet Vendor Association, 2001.
<http://www.odva.org>
- [ODVA01b] *EtherNet/IP Specification, Release 1.0*. ControlNet International and Open DeviceNet Vendor Association 2001.
<http://www.odva.org>
- [OPC03] *OPC XMLDA 1.00 Specification V1.00*. White Paper, OPC Foundation, 2003.
<http://www.opcfoundation.org>
- [OPC98] *OPC Overview Version 1.0*. White Paper, OPC Foundation, 1998.
<http://www.opcfoundation.org>
- [PaQu97] Patz, M.; Quade, J.: *Feldbusunabhängige Anwendungsschnittstellen - Die Esprit-Projekte "RACKS" und "NOAH"*. In: Kongressband i-Net '97. 1997, S. 175-183.
- [Pohl02] Pohl, C.: *Entwurf und Implementierung eines kostenoptimierten eingebetteten IPC-Diagnosemonitors mit einer XML-basierten Internetschnittstelle*. Diplomarb. Nr. 1849, IAS, Universität Stuttgart, 2002.
- [Pösc01] Pöschmann, A.: *Chancen und Nutzen von Ethernet-TCP/IP in der Automation*. GMA-Kongress 2001, Baden-Baden. In: VDI-Berichte 1608. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001, S. 617-625.
- [PROF03] *PROFINet – Architecture Description and Specification Version 2.01*. PROFIBUS International, 2003.
<http://www.profibus.com>

- [Rath97] Rathje, J.: *Der Feldbus zwischen Wunsch und Wirklichkeit*. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 39 (1997) H. 2, S. 52-57.
- [Rech03] Rechenberg, P.: *Zum Informationsbegriff der Informationstheorie*. In: Informatik Spektrum 26 (2003) H. 10, S. 317-326.
- [Reiß02] Reißweber, B.: *Feldbusse zur industriellen Kommunikation*. 2. Aufl., München: Oldenbourg Industrieverlag, 2002.
- [RFC1831] RFC 1831: *Remote Procedure Call Protocol Specification Version 2*. Request for Comments, Internet Society, 1995.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc1831.txt>
- [RFC2616] RFC 2616: *Hypertext Transfer Protocol - HTTP/1.1*. Request for Comments, Internet Society, 1999.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>
- [RFC791] RFC 791: *Internet Protocol*. Request for Comments, Internet Society, 1981.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt>
- [RFC793] RFC 793: *Transmission Control Protocol*. Request for Comments, Internet Society, 1981.
<http://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt>
- [Roge97] Rogerson, D.: *Inside COM*. Grove City, OH, USA: Microsoft Press, 1997.
- [Schn00] Schneier, B.: *Secrets and Lies – Digital Security in a Networked World*. New York; Weinheim: Wiley, 2000.
- [Schn75] Schneider, H. J.: *Pragmatik als Basis von Semantik und Syntax*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag, 1975.
- [Schn91] Schneider, H.-J. (Hrsg.): *Lexikon der Informatik und Datenverarbeitung*. 3. Aufl., München, Wien: Oldenbourg Verlag, 1991.
- [Schu03] Schultheiß, S.: *Entwurf und Implementierung eines kompakten Ethernet-fähigen Ultraschallsensors für Internet-basierte Füllstandsmessungen*. Studienarb. Nr. 1848, IAS, Universität Stuttgart, 2003.
- [Sear70] Searle, J. R.: *Speech Acts. An Essay in the Philosophy of Language*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1970.
- [Shan48] Shannon, C. E.: *A mathematical theory of communication, Parts I and II*. In: Bell System Technical Journal, Vol. 27 (1948) Part I: H. 7, S. 379-423, Part II: H. 10, S. 623-656.
- [SHW99] Scherff, B; Haese, E; Wenzek, H. R.: *Feldbussysteme in der Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1999.
- [Simo00] Simon, R.: *Vernetzung vom Gerät zum Internet*. In: etz – Elektrotechnik + Automation (2000) H. 13-14, S. 10-13.
- [Skon02] Skonnard, A.: *Extending XSLT with JScript, C#, and Visual Basic .NET*. In: MSDN Magazine, Vol. 17 (2002) H. 3.
<http://msdn.microsoft.com/msdnmag/issues/02/03/xml/>

- [sSMB01] *Open*. searchSMB.com, 2001.
<http://www.whatis.com>
- [Stro03] Strobel, T.: *Web Service basierte Plattform zur Datenintegration in Automatisierungssystemen*. In: atp – Automatisierungstechnische Praxis 45 (2003) H. 6, S. 53-58.
- [sWS03] *Interoperability*. searchWebServices.com, 2003.
<http://www.whatis.com>
- [Tauc01] Tauchnitz, T.: *Mit Internet-Technologie zur verteilten Automatisierung. Möglichkeiten, Probleme, Ausblick*. In: atp Messekompass, Das Sonderheft zur INTERKAMA 2001 (2001) S. 12-14.
- [Tauc97] Tauchnitz, T.: *Prozeßleitsysteme (PLS)*. In: Handbuch der Prozeßautomatisierung, Prozeßleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen, K. F. Früh (Hrsg.). 2. Aufl., München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 1997, S. 73-82.
- [Thei00] Theis, R.: *Eine Homepage für die Temperatur*. In: Elektronik (2000), H. 7.
- [Thom03] Thome, A.: *Vom Büro in die Fertigung*. In: Computer & Automation, Sonderheft Control Guide (2003) H. S1, S. 42-45.
- [Thur02] Thurner, T.: *Neue Architekturkonzepte für die Elektronik im Kraftfahrzeug*. In: Ringvorlesung Verfahren der Softwaretechnik, IAS, Universität Stuttgart, WS 2002/03.
- [TTP00] *Specification of the TTP/A Protocol Version 1.15*. TTA-Group (ehemals TTPforum), 2000.
<http://www.ttagroup.org>
- [TTP03] *Time-Triggered Protocol TTP/C, High-Level Specification Document Protocol Version 1.1*. TTA-Group, 2003.
<http://www.ttagroup.org>
- [VDE00] IT & Automation 2000, Nürnberg. Tagungsband. Berlin: VDE Verlag, 2000.
- [Volz02] Volz, M.: *Der „heimliche“ Aufsteiger*. In: Computer & Automation (2002) H. 11, S. 58-62.
- [W3C03a] *SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework*. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, 2003.
<http://www.w3.org/TR/2003/REC-soap12-part1-20030624>
- [W3C03b] *XML Protocol Abstract Model*. W3C Working Draft, World Wide Web Consortium, 2003.
<http://www.w3.org/TR/2003/WD-xmlp-am-20030220>
- [W3C03c] *XSL Transformations (XSLT) Version 2.0*. W3C Working Draft, World Wide Web Consortium, 2003.
<http://www.w3.org/TR/2003/WD-xslt20-20031112>
- [W3C04] *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition)*. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, 2004.
<http://www.w3c.org/TR/2004/REC-xml-20040204>

- [W3C99a] *HTML 4.01 Specification*. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, 1999.
<http://www.w3.org/TR/1999/REC-html401-19991224>
- [W3C99b] *XSL Transformations (XSLT) Version 1.0*. W3C Recommendation, World Wide Web Consortium, 1999.
<http://www.w3c.org/TR/1999/REC-xslt-19991116>
- [Walt02] Walter, K.-D.: *Messen, Steuern, Regeln per Internet*. Poing: Franzis-Verlag, 2002.
- [Walt04] Walter, K.-D.: *Wireless-Web-Enabler: Die kabellose Mensch-Maschine-Schnittstelle*. In: *Elektronik* (2004) H. 9, S. 78-84.
- [WBJG01] Wagner, T.; Bölstler, F.; Jazdi, N.; Göhner, P.: *Einsatz von XML zur einheitlichen Übertragung von Prozessdaten*. In: *atp – Automatisierungstechnische Praxis* 43 (2001) H. 12, S. 38-45.
- [Wed04] Wedel, M.: *OO Entwicklung mehrfach verwendbarer Softwarekomponenten für eingebettete Systeme*. Diplomarb. Nr. 1947, IAS, Universität Stuttgart, 2004.
- [Wend89] Wendt, S.: *Nichtphysikalische Grundlagen der Informationstechnik, Interpretierte Formalismen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1989.
- [Wenz01] Wenzel, P.: *PROFInet-Serie, Teil 4: Die nächsten Schritte*. In: *Computer & Automation* (2001) H. 7-8, S. 42-45.
- [Witz04] Witzsch, M.: *Drahtlos verbunden*. In: *Computer & Automation* (2004) H. 9, S. 69-71.
- [Wrat01] Wratil, P.: *Das IDA-Konzept, Teil 3: Safety über Ethernet*. In: *Computer & Automation* (2001) H. 10, S. 40-46.
- [Wu03] Wu, T.: *Adaptive Integration of a CANopen Tool with the Time-Triggered Field Bus TTP/A*. Master Thesis Nr. 1878, IAS, Universität Stuttgart, 2003.
- [Wund70] Wunderlich, D.: *Die Rolle der Pragmatik in der Linguistik*. In: *Der Deutschunterricht* 22 (1970) H. 4, S. 5-41.
- [Zema92] Zemanek, H.: *Das geistige Umfeld der Informationstechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1992.

Lebenslauf

Stephan Eberle

Persönliche Daten

09.02.1972 geboren in Stuttgart

Schulbildung

1978 – 1982 Salzäckerschule (Grundschule), Stuttgart Möhringen

1982 – 1991 Königin-Charlotte-Gymnasium, Stuttgart Möhringen,
Abschluss Abitur

Wehrdienst

1991 – 1992 Feldjägertruppe

Studium

1992 – 1998 Studium mit der Fachrichtung Elektrotechnik an der Universität
Stuttgart,
Studienmodell Regelungstechnik und Prozessautomatisierung
Fachpraktikum und Nebentätigkeit als Werkstudent bei Computer
Systeme Messtechnik (CSM) GmbH in Filderstadt-Bonlanden
Auslandssemester an Institut Nationale Polytechnique de Grenoble
(INPG) in Grenoble, Frankreich

03.09.1998 Abschluss als Diplom-Ingenieur

Berufstätigkeit

Oktober 1998 – Juni 1999 Entwicklungsingenieur bei Computer Systeme Messtechnik (CSM)
GmbH in Filderstadt-Bonlanden

Juli 1999 – April 2004 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungs-
und Softwaretechnik der Universität Stuttgart

seit Juni 2004 Softwareingenieur bei Robert Bosch GmbH in
Stuttgart Feuerbach