

Vom Prozessleitsystem „audatec“ zum „Virtual Automation Network“

PETER NEUMANN

peter.neumann@ifak.eu

Mit der Verfügbarkeit von Mikroprozessoren seit den frühen siebziger Jahren wurde eine Periode eingeläutet, in der eine ungeahnte Breite von rechen-technischen Lösungen für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete entstand. Dadurch entwickelte sich ein hoher Bedarf an Kommunikationslösungen für die logisch verbundenen, aber geräte-technisch verteilten Anwendungsfunktionen, welche als Software ausgeführt werden. Im vorliegenden Beitrag wurde der Einfluss auf Automatisierungssysteme dargestellt, wobei insbesondere das Spezialgebiet Industrielle Kommunikation beleuchtet wurde, das sich durch hohe Dienstgüteforderungen auszeichnet.

1 Einführung

Die Informatik hat in den vergangenen 50 Jahren erheblichen Einfluss auf alle Bereiche der Gesellschaft genommen. Das gilt auch für die Automatisierungstechnik, die selbst wiederum erheblichen Einfluss auf die Effizienzsteigerung in der Wirtschaft und die Erleichterung von Arbeitsprozessen in Produktion und Verwaltung hatte. Mit zunehmender Rechenleistung der Prozessoren und Speichervolumina sowie durch die Entwicklung formaler Beschreibungsverfahren informationeller Prozesse wuchs der Anteil der Informatik am Lösungsvorrat der Automatisierungstechnik erheblich. Der vorliegende Beitrag zeigt diesen Einfluss auf ein Teilgebiet der Automatisierungstechnik – der Industriellen Kommunikationssysteme – auf.

In den sechziger und siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts war die Rechenleistung in Prozessrechnern konzentriert. In den siebziger Jahren entstand die Grundidee, die Rechenleistung eines Automatisierungssystems auf mehrere im Verbund betriebene Stationen (Prozessstationen/Basisstationen für die Messwerterfassung, -Verarbeitung und -Ausgabe; Bedienstationen für die Mensch-/Anlagenkommunikation), welche mittels digitaler Kommunikationssysteme verknüpft sind, aufzuteilen. Dieses Prinzip ist noch heute gültig, nur dass der Grad der Verteilung drastisch gestiegen ist, ermöglicht durch rechenleistungsstarke Geräte und ein breites Spektrum an industriellen Kommunikationssystemen. Heute werden Mehrebenen-Rechnerhierarchien eingesetzt, verknüpft mittels industrieller und Bürokommunikationssysteme. Sie ermögli-

chen eine Datendurchlässigkeit zwischen den Hierarchieebenen. Der aktuelle Stand der verteilten Automatisierungssysteme lässt sich wie folgt charakterisieren:

- Durchgängige digitale Kommunikation vom Sensor/Aktor bis zur Managementebene (lokaler Bereich eines Unternehmens)
- Proprietäre Lösungen der Nutzung von Weitverkehrskommunikation für geographisch verteilte Automatisierungssysteme eines Unternehmens oder Unternehmensverbundes.

Die aktuelle Forschung konzentriert sich auf virtuelle Automatisierungsnetze (Virtual Automation Networks) unter Nutzung von heterogenen Weitverkehrsnetzen und (industriellen) standardisierten lokalen Kommunikationssystemen, die sich durch eine namensbasierte Adressierung und hohe Dienstgüten auszeichnen. Zusammenfassend kann man feststellen, dass in den siebziger Jahren der Grundstein für die verteilte Datenverarbeitung in den Automatisierungsanlagen gelegt wurde und seither die durchgreifende Anwendung der Informatik in der Automatisierungstechnik gelungen ist. Welcher Weg war zurück zu legen?

Getrieben vom Automatisierungsanlagenbau als letztem Glied der Kooperationskette bei Automatisierungsanlagen wurde zwischen 1975 und 1981 unter Führung des GRW Teltow (und unter der Leitung des Autors) die konzeptionelle Phase der Systementwicklung des ersten osteuropäischen Prozessleitsystems „audatec“ durchgeführt, so dass 1980 die Produktentwicklung begonnen und 1985 die Produktion aufgenommen werden konnte.

In den darauf folgenden 10 Jahren wurden – basierend auf den Erfahrungen der audatec-Entwicklung – insbesondere der kommunikationstechnische Teil und die Dimensionierungsmethodik für Prozessleitsysteme – an der TU Magdeburg (wohin der Autor 1981 berufen wurde) wissenschaftlich weiterentwickelt. In einem DDR-weiten Forschungsprojekt (MWT-Förderung) wurden die Grundlagen für Feldbussysteme (industrielle Kommunikationssysteme im Feldbereich mit Echtzeiteigenschaften) unter Mitwirkung der Automatisierungsindustrie und unter Führung der TU Magdeburg gelegt. Der Autor wirkte an der Feldbusspezifikation in der BRD (PROFIBUS) und weltweit (IEC SC 65C – Feldbusnormung) mit und konnte eine leistungsstarke Projektgruppe an der TU Magdeburg aufbauen. Das Feldbussystem PROFIBUS und dessen Erweiterung PROFINET wurde das (auch heute noch) weltweit führende Feldbussystem. Der Autor wurde 1990 als Leiter des Fachausschusses Kommunikationstechnik (verantwortlich für die technischen Spezifikationen) und als Beiratsmitglied der weltweit agierenden PROFIBUS Nutzerorganisation (mit über 3.000 Mitgliedsfirmen weltweit) berufen und leitete in dieser Funktion die technischen Spezifikationsarbeiten bis 2005. 1988 wurde an der TU Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik/Automatisierungstechnik, ein Studiengang „Automatisierungstechnik“ mit diversen Studienschwerpunkten (u. a.

Prozessinformatik) eingeführt, in welchem bis in die frühen neunziger Jahre bis zur vereinigungsbedingten Wiedereinstellung mehr als 100 Absolventen eine gute personelle Basis für Forschungseinrichtungen und die (westdeutsche) Automatisierungsindustrie schufen. Als Konsequenz der Forschungserfolge auf diesem Gebiet und der daraus resultierenden Projektakquisition konnte durch den Autor im Jahr 1991 das außeruniversitäre Forschungsinstitut ifak (Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg) als An-Institut aus der TU Magdeburg ausgegründet werden. Dieses Institut der angewandten Forschung hat sich als ein führendes Institut der angewandten Forschung in der informatiknahen Automatisierungstechnik am Markt durchgesetzt und (war und) ist an vielen nationalen und internationalen Standardisierungsprojekten auf diesem Gebiet aktiv beteiligt.

Zusammenfassend lässt sich der Beitrag der DDR- Forschung/ostdeutschen Forschung zur Industriellen Kommunikation wie folgt charakterisieren:

a) In der DDR:

- Ableitung der Anforderungen an Feldbussysteme aus dem Kommunikationssystem des Prozessleitsystems audatec [4], [6], [7], [9], [15],
- Theoretische Grundlagen der formalen Beschreibung und Dimensionierung der Datenaustauschprozesse in Prozessleitsystemen [1-4], [5], [8], [10], [11], [12],
- Erarbeitung von Methoden des Protocol Engineerings für Feldbussysteme.

b) Nach der Vereinigung Deutschlands:

- Performanz von industriellen Kommunikationssystemen [11-12], [21],
- formale Spezifikation von Feldbussystemen (insbesondere PROFIBUS und Vorläufervarianten) [14], [22], [32],
- Protocol Engineering [16-19], [20], [29],
- Beiträge zur nationalen und internationalen Standardisierung von Feldbussystemen einschließlich Prototypenentwicklung [23], [24],
- Einführung von Ethernet in die Automatisierungstechnik einschließlich Performanzsicherung [33],[35-42],
- Testmethodiken für Konformitätstests, Interoperabilitätstests und Safety-Tests [26-28], [34],
- Methodik der Spezifikation und Testung von Feldbusprofilen [13], [19], [25].

Der Beitrag erläutert die beim Prozessleitsystem „audatec“ eingeführten Prinzipien der verteilten Echtzeitdatenerfassung und -verarbeitung, die wesentlichen Schritte und Ergebnisse der Forschungsarbeiten zur industriellen Kommunikation und den Einfluss der in der Informatikforschung der DDR erzielten Ergebnisse auf die gesamtdeutsche Wirtschaft in der genannten Disziplin.

2 Anforderungen an digitale Kommunikationssysteme aus Sicht der Prozessleitsystementwicklung

2.1 Vom Prozessrechner zum Prozessleitsystem

Prozessrechner waren echtzeitfähige Computer mit speziellem Echtzeitbetriebssystem, die über eine Prozesskopplung (d. h. periphere Geräte) zur Eingabe und Ausgabe von analogen und binären Signalen verfügten. Die Mensch-Maschine-Kommunikation erfolgte über alpha-numerische Bildschirmgeräte und Tastaturen (oder Lichtstiften). Die Anwendungsprogramme waren zumeist in Assemblersprachen geschrieben. Getrieben von der Prozessautomation wurden Prozessleitsysteme entwickelt, die durch spezialisierte rechentechnische Einheiten charakterisiert waren. Der Datenaustausch zwischen diesen rechentechnischen Einheiten (Prozessstationen, Bedienstationen und Engineering-Arbeitsplätzen) erfolgte mittels serieller, digitaler Übertragungssysteme, die unterschiedliche Zugriffsmechanismen der Einheiten auf das gemeinsame Übertragungssystem (Polling, Tokenrotation, zufälliger Zugriff) verwendeten. Es handelte sich um eine funktionelle Trennung von Teilaufgaben der Informationsverarbeitung (IV). Die rechentechnischen Einheiten waren jedoch noch immer im (geschützten) Wartebereich untergebracht. Somit änderte sich an der Verkabelungspraxis für analoge und binäre Signale vorerst nichts. Abbildung 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Prozessleitsystems.

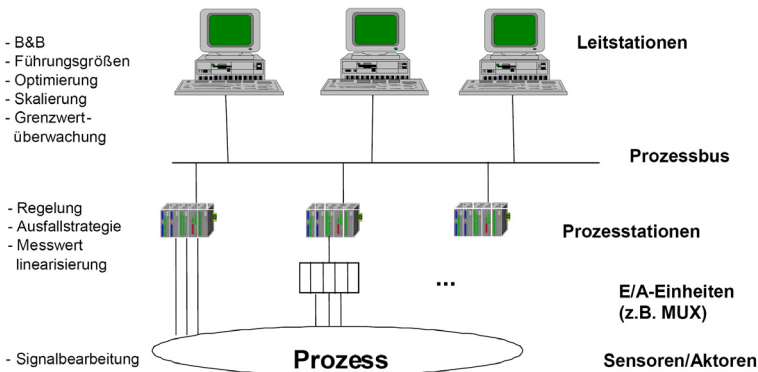


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau eines Prozessleitsystems im Wartebereich

Ein frühes Beispiel war das Prozessleitsystem „TDC 2000“ von Honeywell (1975), später Teleperm M (Siemens) und verschiedene, auf Anwendungsgebiete spezialisierte Prozessleitsysteme von Hartmann & Braun. In der DDR wurde durch den VEB GRW Teltow das Prozessleitsystem audatec entwickelt,

produziert und vielfach eingesetzt. Die Basiseinheiten dienten als Prozessstationen zur dezentralen Messwerterfassung und -verarbeitung. Die Bedienpulte und Wartenrechner dienten der zentralen Informationsverarbeitung. Eine zentrale Datenbahnsteuerstation regelte den Zugriff der Stationen auf das gemeinsame Datenübertragungsmedium (Pollingverfahren).

Die einschlägige Forschung in der DDR befasste sich mit der wissenschaftlich fundierten Auslegung (Dimensionierung) solcher Übertragungssysteme sowie der Verteilung von Anwendungsfunktionen auf die Stationen. Dabei waren acht Doktoranden der TU Magdeburg (davon fünf aus dem VEB GRW Teltow) aktiv beteiligt [1-11].

2.2 Vom Prozessleitsystem zum lokal verteilten Prozessleitsystem (Distributed Control System DCS)

Der nächste Schritt war neben der funktionellen Trennung der Informationsverarbeitungs-Teilaufgaben auch die örtliche Trennung der IV in örtlich abgesetzten rechentechnischen Einheiten (Feldgeräten). Dieser Schritt wurde insbesondere von der Fertigungsautomation (insbesondere von Deutschland aus) getrieben. Kernstück dieser Entwicklung war der Feldbus, ein digitales Datenübertragungssystem zwischen Feldgeräten (zur Messwerterfassung und -verarbeitung) und zentralen Verarbeitungseinheiten (zumeist Speicherprogrammierbare Steuerungen SPS, Bedienstationen und Engineeringstationen). Die damit verbundenen, besonderen Anforderungen ergeben sich wie folgt:

- Echtzeitfähigkeit (Performanz, Synchronisationsfähigkeit, garantierte Antwortzeiten, ...)
- Ausfallsicherheit (Daten-, Hardware- und Software-Redundanz, automatischer Anlauf/Wiederanlauf, ...)
- Funktionelle Sicherheit (Safety)
- Datensicherheit (Security)
- Einsatz-/Umgebungsbedingungen (Einsatz in harschen Umgebungen, Explosionsschutz, diverse geforderte Schutzgrade).

Des Weiteren war darauf zu achten, dass eine sehr hohe Sortimentsvielfalt bei Sensoren und Aktoren existiert, so dass grundsätzlich die Anlagen mit Gerätetechnik von unterschiedlichen Herstellern (sogenannte Multivendoranlagen) projektiert werden müssen. Das setzt folgendes voraus:

- Konformität der Feldbusschnittstellen mit einem gemeinsamen Standard (nachzuweisen durch einen herstellerunabhängigen Konformitätstest)
- Vereinheitlichung von Funktionen der Automatisierungstechnischen Anwendung und von zusätzlichen Funktionen zur Effizienzsteigerung (wie Inbetriebnahme, Instandhaltung, Versionshaltung, Bestellwesen usw.) durch Standardisierung von Geräteprofilen

- Interoperabilität der Feldgeräte unterschiedlicher Hersteller mit gleichem Anwendungsprofil untereinander (nachzuweisen durch einen herstellerunabhängigen Interoperabilitätstest).

Abbildung 2 zeigt ein typisches Prozessleitsystem mit Feldbus und Feldgeräten.

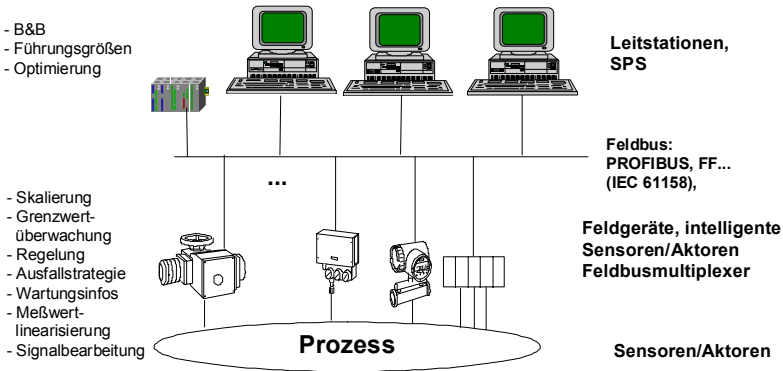


Abbildung 2: Prinzipieller Aufbau eines Prozessleitsystems mit Feldbus und dezentralen Feldgeräten

Dieser Entwicklungsschritt der Leitsysteme vollzog sich insbesondere im Zeitraum zwischen 1990 und 2005.

Seit etwa 10 Jahren richten sich die Bemühungen auf die Nutzung der ETHERNET Technik für die industrielle Kommunikation. Hierbei werden die wirtschaftlichen Vorteile des Ethernets, die auf der weiten Verbreitung in lokalen Netzwerken und im Internet beruhen, für die Entwicklung von industrietauglichen Kommunikationslösungen genutzt, wobei alle o. a. Randbedingungen bei Feldbussystemen zu beachten sind. Der zusätzliche Nutzen besteht in der Durchgängigkeit des Datenzugriffs über alle Hierarchieebenen eines Unternehmens.

Dieser Schritt erforderte – aufbauend auf den Feldbussystemen – folgende zusätzliche Aufwendungen:

- das Protocol Engineering (Spezifikation der Ethernet-Adaptionen und der höheren OSI Schichten) für die auf PROFIBUS aufbauende Lösung PROFINET,
- die Anpassung der Profilspezifikationen für Feldbusgeräte an die Ethernet-basierte Kommunikation,
- die Erweiterung der Testmethodik, Testscenarien und Testsysteme an die Ethernet-basierten Lösungen.

2.3 Vom lokal verteilten zum geographisch verteilten Prozessleitsystem

Im Zuge der Globalisierung wuchsen die Anforderungen an den Informationsaustausch zwischen geographisch verteilten Unternehmenseinheiten. Während durch das Internet inzwischen vielfältige Möglichkeiten der standortübergreifenden Bürokommunikation geschaffen wurden, sind die produzierenden Unternehmenseinheiten (aus datentechnischer Sicht) noch immer weitgehend isoliert voneinander. Das wird begünstigt durch den Inselcharakter der Feldbussysteme, welche eine Ausdehnung von lediglich wenigen Kilometern besitzen und in der Regel auch nicht über geeignete Security-Maßnahmen verfügen, um direkt mit der globalen Datenwelt kommunizieren zu können. Ziel ist die sichere Ende-zu-Ende-Kommunikation (im Sinne der geforderten Dienstgüten) zwischen zwei oder mehreren, geographisch verteilten Automatisierungsfunktionen, ohne die Hoheit über die genutzten, zwischenliegenden Kommunikationssysteme zu besitzen (Abbildung 3). Mit der Einführung Ethernet-basierter Feldbussysteme wird zwar der technische Grundstein gelegt für einen globalen Datendurchgriff. Es fehlen aber wesentliche Lösungen, von denen einige genannt werden sollen:

- **Datensicherheit (Security):** es existiert eine Vielzahl von Security-Lösungen für lokale Netzwerke und das Ethernet. Sie sind jedoch nicht ausreichend für die automatisierungstechnischen Anforderungen, da hierfür mehrheitlich organisatorische Maßnahmen von Bedeutung sind (unberechtigter Zugang, ungeprüfte Werkzeuge der bei Inbetriebnahme und Instandhaltung beteiligten Unternehmen, unternehmensinterne Angriffe durch Frust, Port-Hoheit ...).
- **Die lokalen, automatisierungstechnischen Netzwerke** liegen in der Regel in den Händen der Automatisierungsabteilungen eines Unternehmens. Die Bürokommunikationsnetzwerke werden von den EDV-Abteilungen verwaltet. Durch gemeinsame Nutzung entstehen Kompetenzprobleme (z. B. bei der Zuordnung von Port-Adressen zu automatisierungstechnischen Netzwerken), welche die Netzwerksicherheit gefährden.
- **Heterogenität der Netzwerke:** Der Automatisierungsingenieur hat keinen Management-Zugang zu öffentlichen oder privaten Weitverkehrsnetzen, d. h. die Einhaltung der vertraglich geforderten Performanz des Datenkanals kann von ihm nicht beeinflusst werden. Also muss er Methoden entwickeln, die ein Monitoring des Weitverkehrsnetzes und dienstgütesichernde Maßnahmen (z. B. Umschaltung auf Alternativkanäle) sicherstellen.
- **Einfache Projektierbarkeit:** für lokal verteilte Kommunikationssysteme wurden Engineeringmethoden und -werkzeuge entwickelt. Es ist sicher zu stellen, dass nicht auch noch das Weitverkehrsnetz zu projektieren

ist (Management liegt beim Provider). Ziel: Anwendung der Projektierungsmethoden der lokalen Netzwerke.

- Die für DCS geltenden Dienstgüteforderungen (Echtzeiteigenschaften, Ausfallsicherheit, Safety, Security) gelten auch für geographisch verteilte DCS.

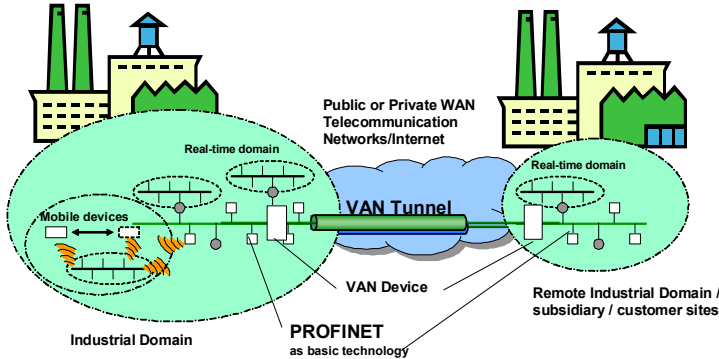


Abbildung 3: Geographisch verteiltes Automatisierungssystem

3 Industrielle Kommunikationssysteme und damit verbundene informatiknahe Themengebiete

3.1 Protocol Engineering

Bei der Standardisierung von Kommunikationssystemen ist eine hohe Qualität der Protokollspezifikationen gefordert, da bekanntlich der Aufwand zur Beseitigung von Fehlern umso größer ist, je später er im Entwicklungsprozess der Produkte auftritt. Ein hilfreicher Weg ist die formalisierte Spezifikation unter Nutzung von standardisierten Spezifikationssprachen. Für die Spezifikationsarbeiten für Feldbussysteme wurden die Sprachen ESTELLE, SDL und UML genutzt. Dazu liefen umfangreiche Forschungsarbeiten an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg und am Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg (ifak). Die Ergebnisse waren:

- Eindeutige Standards durch Testung der formalen Spezifikationen,
- deutliche Reduzierung der Fehlerquote bei der Produktentwicklung in den Unternehmen,
- wesentlich schnellere Protokollimplementierung,
- Spezifikationserweiterungen/Verbesserungen zu einem späteren Zeitpunkt.

Der Anteil der ostdeutschen Forschung der Feldbusentwicklung betraf

- die (teilweise formale) Spezifikation der Kommunikationsarchitektur für Feldbussysteme, insbesondere das Protocol Engineering für den Marktführer PROFIBUS und dessen Vorläufer im Standardisierungsprozess (national in den Neunzigern, international in den Neunzigern und bis ca. 2005) [19], [22], [25], [29-31]. Die standardisierten Feldbussysteme benutzen jeweils eigene Protokolle für alle Schichten des OSI-Referenzmodells,
- das Protocol Engineering (Spezifikation der Ethernet- Adaptionen und der höheren OSI Schichten) für die auf PROFIBUS aufbauende Lösung PROFINET [30], [31], [37].

3.2 Spezifikation und Standardisierung von Geräteprofilen

Um die Interoperabilität und Austauschbarkeit von Geräten unterschiedlicher Hersteller zu fördern (oder erst zu ermöglichen), erfolgt die Spezifikation von herstellerübergreifend garantierten, automatisierungstechnischen Anwendungsfunktionen in Feldgeräten und SPS in Form von „Profilen“.

Hierfür wurden eine Spezifikationsmethode und formalisierte Gerätebeschreibungssprachen erarbeitet und zahlreiche Profile spezifiziert. Das ist besonders wichtig, um die Effizienz der Inbetriebnahme und Instandhaltung von Feldgeräten zu steigern und das Bestellwesen auf eine einheitliche (und aktuelle) Datenbasis zu stellen. Nebeneffekte waren:

- Methodik der funktionsblock-orientierten Anwendungsprojektierung auf Basis standardisierter (und getesteter) Funktionsblöcke,
- durchgreifende Rationalisierung der Inbetriebnahme und Instandhaltung von Feldgeräten.

Der ostdeutsche Beitrag war

- die Entwicklung der Spezifikationsmethodik [14], [16], [22], [32],
- die internationale Standardisierung der Beschreibungssprache,
- die federführende Spezifikation zahlreicher Profile [13], [19], [25],
- Methodik der Anwendungsprogrammierung [23], [24],
- die Anpassung der Profilspezifikationen für Feldbusgeräte an die Ethernet-basierte Kommunikation.

3.3 Tests von Feldgeräten

Da die felddbusgekoppelten Prozessleitsysteme in der Regel Multivendor-Anlagen sind, die aus Geräten einer Vielzahl unterschiedlicher Hersteller bestehen, sind alle herstellerübergreifenden Lösungen umfangreichen, herstellernerutralen Tests zu unterziehen. Dabei werden folgende Zielgebiete unterschieden:

- Konformitätstest: Test gegen die Protokollspezifikation, also der Konformität der Kommunikationsfunktionen mit der Protokollspezifikation. Der Test erfolgt durch ein Konformitätstestsystem,
- Interoperabilitätstest: Test des Zusammenwirkens der Anwendungsfunktionen von Feldgeräten mit Geräten anderer Hersteller. Der Test ist mehrstufig (Nachweis der Konformität, Nachweis des standardgemäßen Verhaltens der Anwendungsfunktionen, Test in der Multivendoranlage),
- Safety-Test: Test der Sicherheitsfunktionen gegen die Safety-Spezifikation (möglichst formal beschrieben),
- Performanztest: Nachweis der Echtzeitgüte

Für die unterschiedlichen Testgebiete unterhalten die Nutzerorganisationen der verschiedenen Felddbusysteme herstellerunabhängige Testzentren, welche regelmäßig zertifiziert werden. Der ostdeutsche Beitrag zum Test von Feldgeräten betrifft

- die Entwicklung von Konformitätstestmethoden und -systemen für PROFIBUS [26-28], [34],
- die Entwicklung von Interoperabilitätstestmethoden und -werkzeugen [13], [19],
- die Erweiterung der Testmethodik, Testszenarien und Testsysteme an die Ethernet-basierten Lösungen,
- Etablierung eines weltweit agierenden Testzentrums.

4 Was heute möglich ist: Virtual Automation Network VAN

4.1 Motivation und Anforderungen

Nachdem die Felddbusysteme und die Ethernet-basierten lokalen Netzwerke im Automatisierungsumfeld sowie in der Büroautomation weitgehend etabliert sind, zielen aktuelle Entwicklungen auf die Nutzung heterogener Netzwerke, welche lokale Netzwerke oder Weitverkehrsnetze, leitungsgedundene oder Funknetzwerke, öffentliche oder private, providergestützte oder providerverlose Kommunikationsnetze umfassen. Die Anforderungen an heterogene Netzwerke in der Automatisierungstechnik resultieren aus zukünftigen Szenarien

der verteilten Automation, welche örtlich verteilte Automatisierungsfunktionen nutzen [37], [41], [42]:

- Zentralisierte Überwachung und Steuerung (mehrerer) dezentraler (kleiner) technologischer Anlagen (z. B. Bio-Kraftwerke),
- Fernsteuerung, Inbetriebnahme, Parametrierung und Instandhaltung verteilter Automatisierungssysteme,
- Einbeziehung externer Experten oder externer maschinenlesbaren Wissens für den Betrieb und die Instandhaltung (Asset Management, Condition Monitoring).

Bei der Nutzung heterogener Netzwerke in der Automation kommt es darauf an, dass für örtlich weit verteilte Automatisierungsfunktionen die Ende-zu-Ende-Kommunikation vorgegebene Dienstgütern aufweist, welche skalierbar sind und vom Nutzer bestimmt werden können. Das gilt auch für solche Teile der Kommunikationsverbindung, auf welche der Automatisierungstechniker keinen Zugriff hat. Des Weiteren ist sicherzustellen, dass der Automatisierungstechniker mit verteilten Automatisierungsanwendungen arbeiten kann, deren formaler Rahmen (Anwendungsdienstelemente ASE) durch industrielle Standards (z. B. IEC 61158 [30], IEC 61784 [31] für Feldbussysteme) vorgegeben und in Produkten eingeführt ist. D. h. aus der Sicht des Automatisierungstechnikers sollte die Sicht auf ein heterogenes Kommunikationssystem die gleiche sein wie auf ein homogenes Kommunikationssystem der Automatisierung (z. B. PROFINET oder Ethernet IP), welche in der Regel lokal ausgerichtet sind. Also besteht die Aufgabe sicherzustellen, dass die Kommunikationsmechanismen zur Laufzeit in einem heterogenen Netzwerk identisch sind denen der homogenen (lokalen) Automatisierungsnetzwerke. Dazu ist eine Infrastruktur (heterogenes Netzwerk) solchermaßen zu gestalten, dass in einer Aufbauphase die (örtlich verteilte) Ende-zu-Ende-Verbindung zwischen zwei Automatisierungsapplikationen hergestellt wird und der dabei errichtete Tunnel (Runtime-Tunnel) dann zur Laufzeit für den Nutzdatenaustausch genutzt wird. Eine derart gestaltete Infrastruktur soll im Folgenden „Virtuelles Automatisierungsnetzwerk“ (Virtual Automation Network VAN) genannt werden.

Die Aufgabe von VAN ist der erfolgreiche Nutzdatentransport zwischen geographisch entfernten Automatisierungsfunktionen einer Anwendungsdomäne (siehe z. B. o. a. Anwendungsszenarien) mittels eines heterogenen Kommunikationsnetzwerkes. Dazu liegt der Schwerpunkt nicht auf neuen Kommunikationsprotokollen, sondern weitgehend auf vorhandenen Mechanismen der existierenden (überwiegend lokalen) industriellen Kommunikationssysteme und der Weitverkehrsnetze (z. B. Web Services des Internet, funkgestützte öffentliche Kommunikationssysteme). Aus der Sicht der automatisierungstechnischen Applikation bleiben die Spezifika des heterogenen Netzwerkes verborgen. Um diese Zielstellung zu erreichen, sind folgende grundlegende Entwurfsentscheidungen notwendig:

- VAN entspricht einer verborgenen Infrastruktur für LAN-basierte verteilte Konzepte der Industrieautomatisierung (z. B. unter Nutzung von PROFINET) in einer geographisch erweiterten Umgebung. Die produktiven Automatisierungsfunktionen (Applikationen) werden mittels ihrer für industrielle Kommunikationssysteme der IEC Standards 61158 [31] und 61784 [32] standardisierten Objektmodelle formal beschrieben. Die standardisierten Anwendungsdienstelemente (Application Service Elements, ASE) können weiterhin verwendet werden.
- Der Verbindungsaufbau zwischen entfernten Kommunikationsendpunkten (Automatisierungsapplikationen) erfolgt unter Nutzung von Web Services. Ist die Verbindung (Runtime Tunnel) erst einmal hergestellt, können die Nutzdaten zur Laufzeit durch diesen Tunnel in der gleichen Weise ausgetauscht werden, als handelte es sich um eine lokale Kommunikationsverbindung nach IEC 61158/61794 (z. B. PROFINET), vergleichbar mit einer virtuellen Leitung zwischen den verteilten Anwendungsfunktionen.
- In VAN werden Namen zur Adressierung verwendet, um IP- oder Mac-Adressen während des Verbindungsaufbaus zwischen zwei entfernten, logisch verbundenen Automatisierungsapplikationen innerhalb einer Anwendungsdomäne zu vermeiden. Für die verbundenen Applikationsobjekte bedeutet dies, dass diesen die IP- und Mac-Adressen verborgen bleiben. Die Handhabung dieser verborgenen Adressen obliegt der VAN-Infrastruktur.
- Die in der Automatisierungstechnik eingeführten und bewährten Anwendungsschichten des OSI-Referenzmodells (z. B. PROFINET Application Layer) können weiter benutzt werden. Lediglich diejenigen zusätzlichen Anforderungen, die durch den Einsatz funkgestützter Kommunikationssysteme und der Weitverkehrsnetze notwendig werden, führen zu zusätzlichen Funktionen, die den in der IEC-Standardisierung festgelegten Richtlinien folgen.

4.2 Das Konzept

4.2.1 VAN-Domänen

Im VAN-Konzept spielt die VAN-Domäne (VAN Domain) eine zentrale Rolle [35, 36]. Eine VAN Domain umfasst alle Geräte, die zusammen eine logische oder virtuelle Basis bilden für eine komplexe automatisierungstechnische Applikation, unabhängig von deren Zugehörigkeit zu einer geographischen Lokalität. Damit können existierende, lokale industrielle Automationsprojekte zu

einem komplexen, geographisch verteilten Automatisierungsprojekt auf Basis existierender, installierter Geräte verknüpft werden (Abbildung 4).

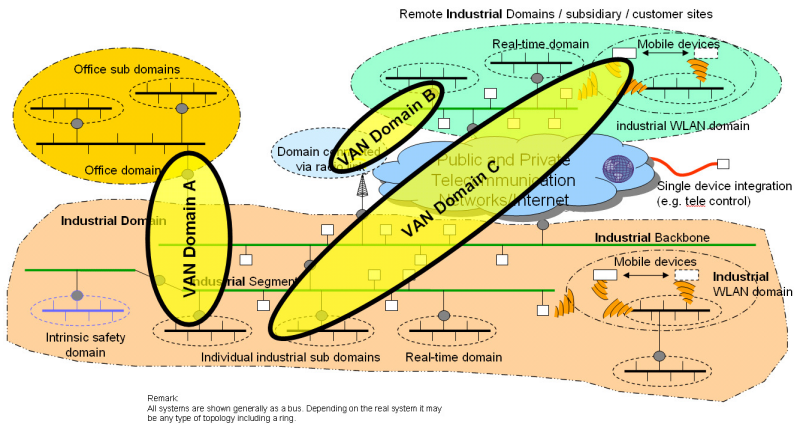


Abbildung 4: VAN-Domänen

Dabei sind der Netzwerktop und der Ort der installierten Geräte beliebig. Die Geräte einer VAN Domäne tauschen Informationen zu einer gemeinsamen Anwendungssicht aus, ohne den technischen Hintergrund des heterogenen Netzwerkes zu kennen. Die VAN Domäne kann bestehende industrielle Anwendungsdomänen (z. B. instrumentiert mit feldbusverknüpften Feldgeräten) vollständig oder teilweise enthalten. D. h. andererseits, eine industrielle Anwendungsdomäne kann aus Segmenten bestehen, die VAN-fähig sind (VAN-Segment), und solchen, die nicht VAN-fähig sind. Die VAN-fähigen Automatisierungsgeräte (VAN-AD) sind mit anderen gleichartigen Geräten in der VAN-Domäne verbunden, da sie über die notwendigen Kommunikationseigenschaften verfügen. Alle anderen Geräte eines Sub-Netzwerkes in einem VAN-Segment einer industriellen Anwendungsdomäne müssen mittels eines Zugangspunktes (VAN-AP: VAN Access Point) oder Stellvertretergeräten (VAN-PD: Proxy Devices) einbezogen werden.

4.2.2 Adressierungskonzept

Eine VAN-Domäne bildet einen Namensraum einer geographisch verteilten Automatisierungsapplikation. Beim Verbindungsaufbau zwischen den logischen Kommunikationsendpunkten (Einrichten des Runtime-Tunnels) und für Managementaufgaben werden zur Adressierung logische Adressen (Namen) verwendet, unabhängig von den verwendeten Übertragungstechniken und deren Adressierungsmechanismen (z. B. IP- und Mac-Adressen) in einem hete-

rogenen Netzwerk. Der Namensraum kann ein öffentlicher oder ein privater (in der Regel ein lokaler) Namensraum sein. Der öffentliche Namensraum kann z. B. in der Internet-Umgebung sichtbar sein. Der private Namensraum beinhaltet Installationen, welche nicht im öffentlichen Namensraum sichtbar sein sollen. Zum Verbindungsaufbau zwischen zwei entfernten Applikationen, d. h. zur Errichtung eines Runtime-Tunnels, wird also eine logische Adressierung mittels Namen benutzt. Ist der Runtime-Tunnel eingerichtet, werden beim Austausch der Produktivdaten die IP- und Mac-Adressen benutzt, welche während des Verbindungsaufbaus ausgehandelt wurden.

4.2.3 *Verbindungsaufbau zwischen Kommunikationsendpunkten*

Bei der Errichtung und der Erhaltung des Runtime Tunnels, d. h. Ausrichtung der VAN-Infrastruktur auf die Verbindung zweier Kommunikationsendpunkte, vergleichbar mit der Verlegung einer Leitung zwischen zwei Applikationsobjekten, werden Web Services eingesetzt. Im Ergebnis ist der Runtime-Tunnel aktiv. Die Mechanismen des Tunnelaufbaus sollen hier nicht erläutert werden.

Zur Sicherung geforderter Dienstgütern (insbesondere der Ausfallsicherheit bei auftretender Leistungseinschränkung der aktiven heterogenen Netze) wird ein Monitoring dieser Netzwerke eingeführt, welches Auskunft über die momentane Performanz gibt. Das überwachte heterogene Netzwerk wird dabei als Black Box angesehen. Bei signifikanten Einschränkungen werden alternative technische Übertragungssysteme (z. B. von DSL auf GSM), welche natürlich projektiert sein müssen, umgeschaltet. Dabei bleibt der Runtime-Tunnel erhalten. Bei weitergehenden Einschränkungen wird die Route im Netzwerk neu bestimmt. Das bedeutet Unterbrechung und Neuaufbau des Runtime-Tunnels.

Zur Erprobung des VAN-Konzeptes wurde das Runtime-Objektmodell von PROFINET [31, 32] benutzt. Natürlich können auch andere Objektmodelle eingesetzt werden, wenn sie auf dem VAN- Kommunikationsstack basieren. Alle Geräte mit demselben Objektmodell können mittels der VAN-Infrastruktur interagieren. Geräte mit anderen Objektmodellen können über Proxy-Geräte (VAN-PD) angeschlossen werden.

4.2.4 *Produktivdatenaustausch*

Als Produktivdatenaustausch soll derjenige verstanden werden, wie er im lokalen Bereich eines geographisch verteilten Automatisierungssystems angewendet wird (z. B. auf der Basis von Feldbussystemen). Da hierbei überwiegend verbindungsorientierte Dienste zum Einsatz kommen, können zwei Phasen unterschieden werden:

- Verbindungsaufbau zwischen den Applikationsobjekten selbst unter Nutzung des aktiven Runtime-Tunnels. Der Verbindungsaufbau folgt

den Regeln desjenigen Protokolls, welches den Austausch verteilter Automatisierungsobjekte ermöglicht (z. B. Application Layer eines der industriellen Kommunikationssysteme nach IEC 61158/61784). Deshalb sind die Mechanismen für diese Phase nicht Gegenstand des VAN-Projektes.

- Austausch zyklischer oder azyklischer Daten der verbundenen Applikationen entsprechend den Protokollen der beteiligten Feldebussysteme.

4.2.5 Dienstgüten

Bei der Nutzung industrieller Kommunikationssysteme sind folgende Kategorien der Dienstgüte zu beachten:

- Echtzeitfähigkeit (Performanz, Synchronisationsfähigkeit, garantierte Antwortzeiten, vorhersagbarer Jitter),
- Ausfallsicherheit (Daten-, Hardware- und Software-Redundanz, automatischer Anlauf/Wiederanlauf, Nachrüstbarkeit neuer Funktionen),
- Funktionelle Sicherheit (Safety),
- Datensicherheit (Security).

Die **Echtzeitfähigkeit** wird von den genutzten Übertragungstechniken bestimmt. Typische Anwendungen sind solche ohne strenge Echtzeitanforderungen (non real-time, soft real-time), wie sie bei Fernüberwachung, Telecontrol/Fernwirktechnik, Ferninstandhaltung usw. vorkommen. Für harte (ggf. synchrone) Echtzeitforderungen werden im lokalen Bereich die dafür entwickelten Mechanismen verwendet. Dabei können in einem VAN-Gerät sowohl echtzeitkritische Anwendungen (z. B. Antriebsregelungen) als auch unkritische Anwendungen (z. B. Telecontrol) implementiert sein. Erstere werden dann über ein sogenanntes „Native Interface“, welches über die geforderten Echtzeiteigenschaften verfügt, mit Anwendungsdaten versorgt.

Die **Ausfallsicherheit** wird durch das Monitoring des heterogenen Netzwerkes und davon initiierte VAN-Switching und VAN-Routing-Mechanismen gewährleistet (siehe 4.2.3).

Die **funktionale Sicherheit** wird erreicht durch Anwendung einer zusätzlichen Safety Protokollschicht oberhalb der Anwendungsschicht, wie sie bereits bei den lokalen Lösungen der industriellen Kommunikation zum Einsatz kommen.

Die **Datensicherheit** wird durch bereits in Weitverkehrsnetzen benutzte Security-Mechanismen sowie durch organisatorische Maßnahmen gewährleistet.

4.3 Ostdeutscher Beitrag

Die Idee und das Konzept wurden vom Autor in ein von ihm initiiertes europäisches integriertes Projekt, welches von 2005 bis 2009 bearbeitet wurde, eingebracht und durch ein europäisches Konsortium entwickelt und erprobt. An diesem Konsortium beteiligten sich alle namhaften europäischen Konzerne der Automatisierungstechnik. Die Umsetzung in Produkte steht noch aus. Von ostdeutscher Seite wurden folgende Schwerpunkte bearbeitet:

- Konzept, Systemarchitektur (Protocol Engineering) [35], [36], [38], [40], [42],
- Sicherheit (Safety- und Security-Aspekte),
- Funkgestützte Kommunikation [39],
- Anwendungsbeispiel Telecontrol,
- Engineering-Methoden und –Werkzeuge.

Weitere trendsetzende Arbeiten betreffen:

- Test von funkgestützten industriellen Kommunikationssystemen (insbesondere der Konformitätstest, ein bisher nicht bekanntes Testgebiet, zentrales Labor des ZVEI am ifak),
- Einführung service-orientierter Architekturen (SOA) in die Automatisierungstechnik,
- Konzepte für dezentrale Instandhaltungssysteme.

5 Schlussbemerkungen

Mit der Verfügbarkeit von Mikroprozessoren seit den frühen siebziger Jahren wurde eine Periode eingeläutet, in der eine ungeahnte Breite von rechen-technischen Lösungen für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete entstand. Dadurch entwickelte sich ein hoher Bedarf an Kommunikationslösungen für die logisch verbundenen, aber gerätetechnisch verteilten Anwendungsfunktionen, welche als Software ausgeführt werden. Im vorliegenden Beitrag wurde der Einfluss auf Automatisierungssysteme dargestellt, wobei insbesondere das Spezialgebiet Industrielle Kommunikation beleuchtet wurde, das sich durch hohe Dienstgüteforderungen auszeichnet. Aufbauend auf erfolgreichen FuE-Arbeiten in der Automatisierungsindustrie der DDR und an Hochschulen war zum Zeitpunkt der Vereinigung Deutschlands ein Stand erreicht, der nahtlos in die laufenden Entwicklungen der damaligen BRD passte. Somit konnten wesentliche Teile der Forschungslandschaft im Osten erhalten und ausgebaut werden, welche erheblichen Einfluss auf nationale und internationale Entwicklungen nehmen konnten. Einige der Beiträge waren trendsetzend. Es gilt, diese Ressourcen zu erhalten und auszubauen.

6 Literatur

- [1] SAWATZKY, J. (1984): Zur kommunikationsseitigen Beschreibung und Dimensionierung von Mikrorechner- Automatisierungsanlagen. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik, Dissertation.*
- [2] ORLOW, J. K.(1984): Beitrag zur Dimensionierung von störungstoleranten Mikrorechner-Automatisierungsanlagen. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik, Dissertation.*
- [3] HÄBNER,H. (1986): Zur Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen bezüglich Verfügbarkeit und Sicherheit. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik, Dissertation.*
- [4] SCHUMANN, H.-J. (1986): Systematische Einsatzerprobung von Mikrorechnerreglern und regelungstechnischen Verfahren. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik, Dissertation.*
- [5] FIEDLER, K. (1986): Experimentelle Ermittlung von Zeitverhaltensparametern am audatec-Bussystem. *Forschungsbericht TU Magdeburg – Diplomarbeit.*
- [6] BARGE,W.(1987): Zur Gestaltung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen aus der Sicht der Kommunikation Mensch-Anlage. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik, Dissertation.*
- [7] DÄHMLow, B. (1987): Zur strukturellen und funktionellen Gestaltung des prozessnahen Bereiches perspektivischer Mikrorechner-Automatisierungsanlagen. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik. Dissertation.*
- [8] ECKSTÄDT, A. (1988): Verhaltensanalyse eines mehrkanaligen, ausfalltoleranten Feldbussystems. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik. Dissertation.*
- [9] EICHELBAUM, P. (1988): Dimensionierung der Speicherkopplung von Mikrorechnern in Mikrorechner-Funktionseinheiten. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Sektion Automatisierungs- und Elektrotechnik. Dissertation.*

- [10] NEUMANN, P. (1990): Verhaltensanalyse und Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen. In: *Taschenbuch der Elektrotechnik, Bd. 4. Systeme der Informationstechnik*, Berlin: Verlag Technik.
- [11] FIEDLER, K. (1990): Zeitverhaltensanalyse serieller Bussysteme mittels Lastmethode. *Technische Universität Otto von Guericke Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik, Dissertation*.
- [12] HOYER, R. (1993): *Leistungsanalyse von Feldbussystemen im Hochlastbereich*. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik, Dissertation.
- [13] DIEDRICH, CH. (1994): Interface Layer und Profile für Feldbussysteme sowie deren formale Spezifikation. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik, Dissertation*.
- [14] CZEKALLA, J. (1995): Spezifikationsstile und Entwurfswerkzeuge für Kommunikationsprotokolle im Echtzeitbetrieb. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik, Dissertation*.
- [15] GRÜTERICH, T. (1996): Verarbeitungsanforderungen und Anwendungsstrukturen in real konfigurierten Prozeßleitsystemen. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik, Dissertation*.
- [16] DIETRICH, D.; NEUMANN, P. & SCHWEINZER, H. (1999): Fieldbus Technology. Systems Integration, Networking, and Engineering. *Wien, New York: Springer, ISBN 3-211-83394-3*.
- [17] NEUMANN, P. (1999): Der Feldbus als Motor der Automatisierungstechnik. *Atp 41 (7), S. 27-34*.
- [18] NEUMANN, P. (1999): Locally distributed automation – but with which fieldbus system? *Assembly Automation 19 (4), S. 308-312*.
- [19] NEUMANN, P. & DIEDRICH, CHR. (1995): Profile für Feldgeräte. Erforderliche Ergänzungen der Protokollspezifikationen am Beispiel von Profibus-PA. *Tagungsband FET'95, Wien, S. 208-218, ISBN 3-85133-004-8*.
- [20] NEUMANN, P.; DIEDRICH, CH. & SIMON, R. (1997): Der Weg zu offenen Prozeßleitsystemen. In: *GMA Jahrbuch, Düsseldorf: VDI-Verlag, S. 128-148, ISBN 3-18-401611-0*.
- [21] GRÜTERICH, T. & NEUMANN, P. (1997): Mathematische Beschreibung von Leiteingriffs- und Meldungprozessen in Prozeßleitsystemen. *at- Automatisierungstechnik 45, S. 175-180*.

- [22] PÖSCHMANN, A.; HÄHNICHE, J.; DEICKE, P. & NEUMANN, P. (1997): Experience with Formal Methods Implementing the PROFIBUS FMS and DP Protocol. *WFCS'97. 2nd IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, Barcelona, Proceedings*, S. 277-286. ISBN 0-7803-4182-1.
- [23] NEUMANN, P. & DIEDRICH, CH. (1996): Distributed Function Block technology – quo vadis? *1st International PLCopen Conference on Industrial Control Programming ICP'96, Paris, Preprints*.
- [24] NEUMANN, P. (1996): Function Block technology standard. We are on the way towards open, distributed computer control systems. *Control & Instrumentation EUROPE London 2*, S. 60-62.
- [25] NEUMANN, P. & DIEDRICH, CHR. (1995): Profile für Feldgeräte. Erforderliche Ergänzungen der Protokollspezifikationen am Beispiel von Profibus-PA. *Tagungsband FET'95, Wien*, S. 208-218.
- [26] NEUMANN, P.; HENNINGER, O.; ULRICH, A. & NICKOLL, K. (1994): Automatisierte Testfolgenableitung aus formalen Spezifikationen, Abschlußbericht, Ministerium für Wissenschaft und Forschung des Landes Sachsen Anhalt, *Förderkennzeichen 949A0541, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik*.
- [27] HENNINGER, O. & NEUMANN, P. (1995): Test Case Generation Based on Formal Specifications in ESTELLE. *IEEE-Workshop Factory Communication Systems, Leysin. Preprints*, S. 131-140.
- [28] HENNINGER, O. & NEUMANN, P. (1995): Generierung von Testfolgen für den Konformitätstest aus der formalen Spezifikation. *Tagungsband FET'95, Wien*, S. 377-383.
- [29] NEUMANN, P.; DIEDRICH, C. & SIMON, R. (1995): Necessary extensions of fieldbus systems for distributed processing. *IEEE-Workshop Factory Communication Systems, Leysin. Preprints*, S. 242-249.
- [30] IEC 61158 (ALL PARTS): Industrial communication networks. Fieldbus specifications.
- [31] IEC 61784-2: Industrial communication networks Profiles. Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3.
- [32] SIMON, R. (2001): Methoden zur Feldinstrumentierung von verteilten Automatisierungssystemen. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Dissertation*.
- [33] JASPERNEITE, J. (2002): Leistungsbewertung eines lokalen Netzwerkes mit Class-of-Services Unterstützung. *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Dissertation*.

- [34] HENNIGER, O. (2002): Testgenerierung aus Spezifikationen in Estelle und SDL. *Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik, Dissertation.*
- [35] (2006): Specification of the Open Platform for Automation Infrastructure. *Deliverable D02.2-1. Topology Architecture for the VAN Virtual Automation Domain. European Integrated Project VAN FP6/2004/IST/NMP/2 - 016696 VAN Virtual Automation Networks.*
- [36] NEUMANN, P.; PÖSCHMANN, A. & MESSERSCHMIDT, R. (2008): Architectural Concept of Virtual Automation Networks. *IFAC World Congress. Invited Session „Virtual Automation Networks“.*
- [37] NEUMANN, P. (2007): Communication in Industrial Automation. What is going on? *Control Engineering Practice 15, S. 1332-1347.*
- [38] NEUMANN, P.; PÖSCHMANN, A. & FLASCHKA, E. (2007): Virtual Automation Networks. Heterogeneous Networks for Industrial Automation. *Atp International (2), S. 36-46.*
- [39] NEUMANN, P. (2007): Wireless Sensor Networks in der Prozessautomation. Übersicht und Standardisierungsaktivitäten. *Atp (3), S. 61-67.*
- [40] NEUMANN, P. (2008): Kommunikation ohne Grenzen. Das VAN-Konzept, Teil 1. *ComputerAutomation (3).*
- [41] NEUMANN, P. & PEREIRA, E. (2009): Industrial communication protocols. *In: Handbook of Automation, Berlin New York: Springer.*
- [42] NEUMANN, P. & MESSERSCHMIDT, R (2010): Virtual Automation Networks. *In: Industrial Electronics Handbook, Taylor & Francis Group.*