

Bosch, Martin

## Konzepte und Komponenten für komplexe Strukturen aus lokalen Netzen

*Lokale Netze setzen sich auch in der Fertigungsautomatisierung, zur vollständigen Vernetzung aller am Produktionsprozeß beteiligten Rechner und Steuerungen, immer weiter durch. Ausgehend von zentralen Rechnern fand eine immer klarere Aufteilung der Funktionen statt, bis hin zu heutigen modernen Fabriken mit einer hierarchischen Struktur von verteilten Systemen, die alle miteinander vernetzt sind. Diese lokalen Netze ermöglichen den Informationsfluß innerhalb der Fertigung sowie von Verwaltung, Entwicklung und Konstruktion in die Fertigung und zurück. Sie sind somit das Rückgrat einer flexiblen Produktion. Nach einer kurzen Beschreibung von Kommunikationsprotokollen für die Fertigungsautomatisierung werden die Anforderungen an Netze auf den verschiedenen Ebenen einer Fabrik beleuchtet. Ausgehend davon werden Konzepte und Komponenten für komplexe Strukturen aus lokalen Netzen am Beispiel einer automatisierten Fabrik vorgestellt. Zum Schluß wird noch kurz auf die Konsequenzen für das Netzmanagement und auf Leistungsuntersuchungen eingegangen.*

### 1 Einführung

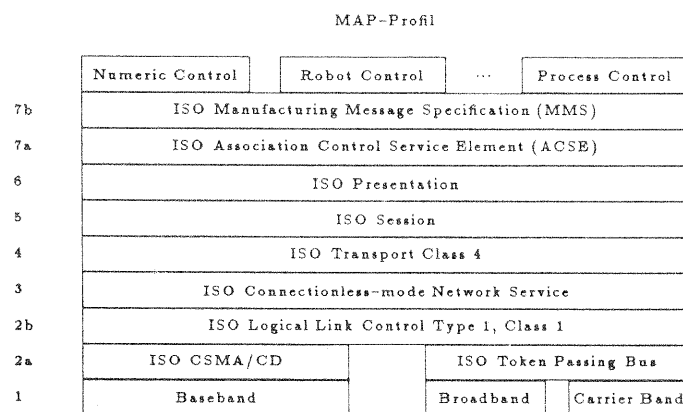
Die flexible Produktion mit kurzen Durchlauf- und Umrüstzeiten, sowie Lieferbereitschaft auch für kleine Losgrößen in möglichst kurzer Zeit, ist eine Hauptforderung an ein modernes Unternehmen, um trotz des starken Konkurrenzdrucks sich am Markt behaupten zu können. Dies wird erreicht durch den Einsatz von flexiblen Produktionsanlagen, deren Rechner und Steuerungen untereinander vernetzt sind und die Informationen miteinander austauschen können. Der Materialfluß wird dadurch um einen Informationsfluß ergänzt und in ein globales Konzept eingebettet. Lokale Netze (Local Area Networks, LANs) stellen diese Infrastruktur aus Übertragungsmedien und -diensten zum Informationsaustausch zwischen allen Automatisierungsgeräten und Rechnern bereit. Durch die meist heterogene Zusammenstellung von Geräten unterschiedlicher Hersteller ist zur Erbringung von gemeinsamen Diensten eine Absprache der Regeln (Protokolle) für die Kommunikation notwendig. Die Standardisierung dieser Protokolle wird international vorgenommen. Die wichtigsten Standardisierungsgremien sind hier ISO (International Organization for Standardization) und IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

### 2 Kommunikationsprotokolle in der Fertigungsautomatisierung

Die Kommunikation wurde entsprechend dem Basisreferenzmodell für offene Systeme [5] in sieben Schichten unterschiedlicher Funktionalität eingeteilt. In Bild 1 ist beispielhaft das für die Fertigungsautomatisierung ausgewählte, standardisierte Protokollprofil MAP (Manufacturing Automation Protocol) [9] dargestellt, welches um eine weitere Variante für den

Medienzugang (linke Seite) erweitert wurde. Hier werden auf allen Schichten geeignete, von der ISO standardisierte, Protokolle verwendet.

Für den Anwender ist vor allem die Verarbeitungsschicht interessant, die den Dienst der darunterliegenden Schichten in Anspruch nimmt und diese dadurch dem Anwender verbirgt. Sie bietet Anwenderprogrammen die Dienste an, die diese verwenden können, um mit Partnern zu kommunizieren. Es gibt kein allgemeines Verarbeitungsschichtprotokoll das für alle denkbaren Anwendungsfälle eingesetzt werden kann, sondern individuell auf die jeweilige Anwendung zugeschnittene Dienstelemente, wie MMS (Manufacturing Message Specification) [7] für die Fertigungsautomatisierung oder FTAM (File Transfer, Access and Management) [6] für den Filetransfer. Eine Verbindungssteuerung ganz allgemeiner Art wird von allen verbindungsorientierten Verarbeitungsschichtprotokollen benötigt. Sie wurde deshalb separat, als Association Control Service Element (ACSE), standardisiert.



*Bild 1: Protokollschichtung bei MAP*

MMS wurde speziell für MAP entwickelt und ist inzwischen ein ISO International Standard (IS) [7]. Gerätespezifische Funktionen werden nicht unterstützt. Stattdessen wird die abstrakte Sicht einer virtuellen Maschine (Virtual Manufacturing Device, VMD) definiert, welche immer der Server einer Kommunikationsbeziehung ist und vom Client angesprochen werden kann. Die Abbildung geräteabhängiger Funktionen und Objekte auf MMS-Dienste und Objekte der virtuellen Maschine sind Gegenstand begleitender Standardisierungen (Companion Standards), die auf dem Standard für MMS aufbauen. In diesen begleitenden Standards sollen auch für unterschiedliche Geräteklassen aus den Bereichen Numerische Steuerung, speicherprogrammierbare Steuerung, Robotersteuerung und Prozeßleittechnik die für die jeweilige Klasse benötigten Dienste von MMS festgelegt werden, so daß nicht alle 84 Dienste von jeder Geräteklasse beherrscht werden müssen. Die einzelnen begleitenden Standards sind in unterschiedlichen Stadien und die Standardisierung ist hier noch nicht abgeschlossen.

Eine virtuelle Maschine ist in MMS als ein Objekt definiert, das seinerseits verschiedene weitere Objekte wie Speicherbereiche (Domains), Programme, Variablen, Semaphore oder Ereignisbedingungen enthält.

MMS bietet neun Klassen von Diensten an:

- 1) Umgebungs- und allgemeine Management-Dienste (Auf-, Abbau oder Abbruch von Kommunikationsbeziehungen zu einem Partner, sowie Aushandeln der unterstützten Dienste und Datentypen),

- 2) VMD-Unterstützungs-Dienste (Abfrage von Zuständen oder anderen Informationen einer VMD),
- 3) Domain-Management-Dienste (Transferieren von Programmen oder Daten zu einer VMD oder umgekehrt),
- 4) Programm-Management-Dienste (Erzeugen, Starten, Anhalten, Fortsetzen, Zurücksetzen, Beenden oder Löschen von Programmen die auch auf verschiedene Domains verteilt sein können),
- 5) Variablen-Zugriffs-Dienste (Erzeugen oder Löschen von Variablen, sowie Austausch von Variablenwerten oder von Informationen über Variable),
- 6) Semaphore-Management-Dienste (Regeln des konkurrierenden Zugriffs auf *ein* Objekt),
- 7) Operator-Kommunikations-Dienste (Operatoreingaben an einer Konsole oder Ausgeben auf einen Bildschirm),
- 8) Ereignis-Management-Dienste (Ereignismitteilungen, sowie Definieren, Ändern oder Löschen von Bedingungen, deren Eintreten bestimmte Ereignisse auslösen sollen),
- 9) Aufzeichnungs-Management-Dienste (Protokollieren von Arbeitsabläufen oder Fehlerfällen, sowie Bearbeiten der entstehenden Dateien).

Aufbauend auf den angebotenen Diensten kann jeder Anwender seine speziellen Anwenderprogramme implementieren, wobei die begleitenden Standards beachtet werden sollten, sobald sie zur Verfügung stehen.

Um nicht für unterschiedliche Implementierungen von MMS die Anwenderprogramme jedesmal anpassen zu müssen, ist es zusätzlich notwendig die Anwenderschnittstelle zu standardisieren, was zur Zeit unter dem Stichwort MMSI (MMS-Interface) gemacht wird.

Der Einsatz von MAP in realen Produktionsanlagen ist erst dann sinnvoll, wenn die standardisierte Anwenderschnittstelle und die begleitenden Standards für die verschiedenen Geräteklassen zur Verfügung stehen. Außerdem fehlt bisher ein leistungsfähiges, standardisiertes Netzmanagement, das es erlaubt Engpässe oder Fehler frühzeitig zu erkennen, zu vermeiden oder schnell zu lokalisieren und zu beheben. Zwischenzeitlich ist aber trotzdem eine Erprobung in Pilotanlagen möglich und notwendig, um Erfahrungen damit zu sammeln und um die sich noch entwickelnden Standards sinnvoll zu beeinflussen.

### 3 Anforderungen an Netze und daraus resultierende Konzepte

Die Implementierung aller Schichten des Basisreferenzmodells führt zu einem sehr komfortablen, aber aufgrund seiner Komplexität auch zu einem recht langsamen Kommunikationssystem. MAP in seiner vollständigen Variante gemäß Bild 1 kommt deshalb vor allem auf den höheren Ebenen einer hierarchisch strukturierten Fabrik zum Einsatz. Hier fallen relativ selten, dann aber meist große, Datenpakete an, deren Transport kaum zeitkritisch ist.

Aufgrund der extrem unterschiedlichen Anforderungen an die Netze auf den verschiedenen Ebenen einer Fabrik muß die Idealvorstellung eines einheitlichen Protokollprofils für alle kommunizierenden Partner aufgegeben werden. Um den Realzeitanforderungen der kleinen, aber relativ häufigen Datenpakete auf den mittleren und unteren Ebenen gerecht zu werden, wird in der MAP-Spezifikation [9] eine Enhanced Performance Architecture (EPA) spezifiziert, die neben dem vollständigen MAP auch noch Mini-MAP (siehe Bild 2) enthält. In Mini-MAP werden die Protokolle der Schichten 3 bis 6 nicht verwendet. Die Codierung der Daten für die Übertragung wird von der Verarbeitungsschicht in einer möglichst einfachen Form miterledigt. Es ist hier in der Regel nicht notwendig, und wegen dem Zeit-

und Speicherplatzbedarf auch nicht sinnvoll, MMS vollständig zu implementieren. Stattdessen kommen auch hier die Geräteklassen aus Kapitel 2 zum Einsatz. Neben Stationen im logischen Ring des Token-Passing-Bus-Protokolls sind hier auch passive Stationen erlaubt, die nie einen Token erhalten. Um von ihnen Informationen abfragen zu können, wird auf der Sicherungsschicht die Klasse 3 des zugehörigen verbindungslosen Protokolls verwendet, die neben dem unquittierten auch einen quittierten Dienst zuläßt. Für den quittierten Dienst muß beim Token-Passing-Bus-Protokoll die Immediate-Response-Option verwendet werden, was allerdings nur bei Stationen am selben Segment möglich ist.

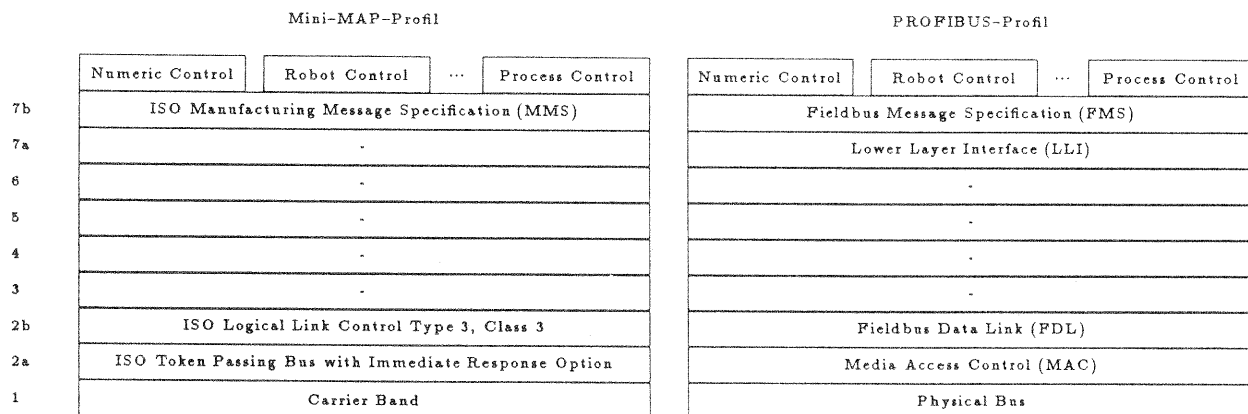


Bild 2: Protokollschichtung bei Mini-MAP und PROFIBUS

Auf der untersten Ebene einer Fabrik müssen oft von Sensoren oder zu Aktoren periodische Signale übermittelt werden, was auch von Mini-MAP, insbesondere durch sein Medienzugangsverfahren (Token Passing Bus), nicht für alle Fälle sinnvoll unterstützt wird. Außerdem ist das Medium und die Anschaltung für jeden Sensor und Aktor dort zu teuer. Hier soll der Feldbus zum Einsatz kommen. Der Feldbus hat dieselbe Architektur wie Mini-MAP, enthält also Protokolle für die Schichten 1, 2 und 7. Für diese Protokolle gibt es allerdings zur Zeit viele konkurrierende Vorschläge und es ist noch kein einheitlicher Standard in Sicht. Zur Integration in eine MAP-Umgebung ist es sinnvoll, sich in der Verarbeitungsschicht möglichst stark an MMS anzulehnen, wie dies beispielsweise beim PROFIBUS (**PRO**cess **FI**eld **BUS**) [8] gemacht wurde.

An der Standardisierung des PROFIBUS wird in der Bundesrepublik Deutschland von 14 Herstellern und fünf Universitätsinstituten seit einigen Jahren im Rahmen eines BMFT-Projektes (Bundesministerium für Forschung und Technologie) gearbeitet. Die Architektur ist ebenfalls in Bild 2 dargestellt. Sie wird als Deutsche Industrienorm in DIN 19245 standardisiert. Dieser nationale Standard, der auch bei der ISO als Feldbus-Standard diskutiert wird, besteht aus zwei Teilen. Der Teil 1 beschäftigt sich mit den unteren beiden Schichten und liegt als Vornorm [4] vor. Der Teil 2 soll die Verarbeitungsschicht enthalten. Das Verarbeitungsschichtprotokoll FMS (Fieldbus Message Specification) ist stark an MMS angelehnt und seine Dienste und Objekte entsprechen im wesentlichen einer Teilmenge derer von MMS. Auch hier können beim Verbindungsaufbau Dienste ausgehandelt werden, die auf der aufzubauenden Verbindung erlaubt sein sollen. Zentrales Element ist das virtuelle Feldgerät (Virtual Field Device, VFD) als Server einer Kommunikationsbeziehung, analog zur virtuellen Maschine bei MMS. Die Abbildung realer Prozeßobjekte auf Kommunikati-

onsobjekte erfolgt in der Anwenderschnittstelle des Clients. Im Gegensatz zu MMS können hier die Indizes von Objektverzeichnissen eines virtuellen Feldgerätes als Kurzadressen von Objekten verwendet werden, um Übertragungszeiten einzusparen. Unbestätigte Dienste an mehrere oder an alle anderen Stationen sind hier auch verbindungslos möglich. Die FMS-Dienste können, je nach Projektierung, auf unterschiedliche Dienste im Lower Layer Interface (LLI) abgebildet werden: Beim azyklischen Datenaustausch können einfache Regler oder Ein-/Ausgabegeräte bedient werden, und beim zyklischen Datenaustausch wird nach *einem* Anstoß eine Poll-Liste der Fieldbus-Data-Link-Schicht (FDL) abgearbeitet, damit durch eine Abfrage von Sensoren ein aktuelles Prozeßabbild ermittelt werden kann oder um Akteure zyklisch zu aktualisieren. Es sind hier auch Stationen erlaubt, die außer dem Absetzen von Alarmmeldungen nicht selbst am Bus aktiv werden können. Der Bus selber kann im einfachsten Fall eine abgeschirmte Zweidrahtleitung sein.

#### 4 Netzkoppeleinheiten als Komponenten zum Aufbau komplexer Strukturen

Ausgehend von einem MAP-Netz in einer Fabrik, sollen im folgenden sinnvolle Netzübergänge und die dazu notwendigen Komponenten beschrieben werden.

##### 4.1 Segmentierung von homogenen lokalen Netzen (Beispiel: MAP)

Innerhalb eines MAP-Netzes kann, genauso wie bei anderen lokalen Netzen auch, eine Segmentierung sinnvoll oder notwendig sein. Wenn die Dämpfung aufgrund zu großer räumlicher Entfernungen zu stark wird, können *Repeater* eingesetzt werden, die Netzsegmente auf der physikalischen Schicht koppeln und deshalb im wesentlichen Verstärker darstellen. Auf den beiden Seiten eines Repeaters dürfen auch unterschiedliche Medien verwendet werden.

Sind aufgrund der Laufzeit oder der Netzauslastung keine Repeater mehr einsetzbar, so muß mit Hilfe von *Bridges*, die auf der Sicherungsschicht arbeiten, segmentiert werden. Solche Bridges können eine Filterfunktion wahrnehmen und dadurch den Internverkehr eines Segmentes vom anderen Segment fernhalten. Durch die getrennten Medienzugangsverfahren, die unter Umständen auch unterschiedlich sein dürfen, ist die gleichzeitige Übertragung von Internverkehr in beiden Segmenten möglich, was die Leistungsfähigkeit des Gesamtnetzes deutlich vergrößert. Die Lage einer Bridge sollte sinnvollerweise so gewählt werden, daß der Externverkehr beider Segmente minimal wird und dabei trotzdem beide Segmente ungefähr gleich stark ausgelastet werden.

Zur Kopplung sehr vieler LAN-Segmente sollten *Router* verwendet werden, da diese auf der Vermittlungsschicht arbeiten und eine echte Wegesuche vornehmen können. Im Gegensatz zu den beiden anderen Netzkoppeleinheiten werden Router mit ihrer teilnetzspezifischen Adresse explizit adressiert, so daß sie nicht jedes Paket auf dem Netz empfangen und analysieren müssen. Der Austausch von Routing-Tabellen und deren Aktualisierung erfolgt über ein spezielles Schichten-Management-Protokoll. Voraussetzung für die Kopplung über Router ist allerdings die Existenz der Vermittlungsschicht, was bei lokalen Netzen, aufgrund ihrer Verteileigenschaft, durchaus nicht immer der Fall ist.

##### 4.2 MAP-Gateways als Komponenten zur Migration

Nach der Einführung von MAP entsteht die Forderung, daß Stationen mit herkömmlichen, firmenspezifischen Protokollen mit den neuen Stationen kommunizieren können müssen. Da

diese Einführung unmittelbar bevorsteht, müssen die Hersteller von Kommunikationskomponenten für die Fertigungsautomatisierung einen Migrationspfad von ihren firmenspezifischen Produkten zu zukünftigen MAP-Produkten anbieten. In eine bestehende firmenspezifische Umgebung müssen sukzessive flexible Fertigungszellen eingefügt werden können, deren Komponenten über standardisierte Protokolle nach der MAP-Spezifikation miteinander kommunizieren, wie dies in Bild 3 dargestellt ist. Die Anzahl der MAP-Fertigungszellen wird dann in Zukunft immer mehr zunehmen, während firmenspezifische Fertigungszellen irgendwann nicht mehr neu installiert werden und somit auslaufen. Das Endziel ist die Kommunikation über ein homogenes MAP-Netz. In der Zwischenzeit ist an der Schnittstelle zwischen den Protokollprofilen der beiden unterschiedlichen Netze ein *Gateway* notwendig, welches eine Kopplung auf der Verarbeitungsschicht realisiert, da herkömmliche Protokollarchitekturen noch nicht mit MMS arbeiten. Ein *MAP-Gateway* ist ein Gateway, das auf der einen Seite das vollständige MAP-Profil und auf der anderen Seite ein anderes Protokollprofil enthält.

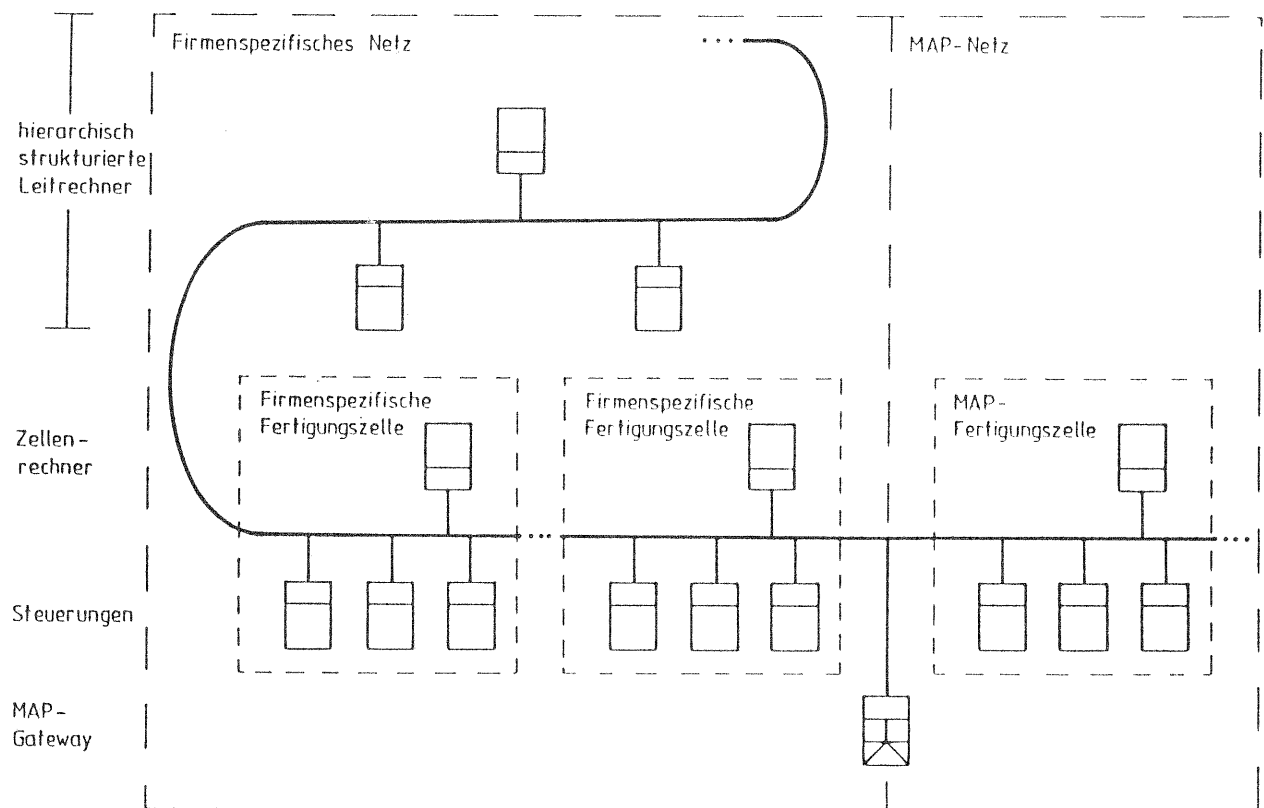


Bild 3: Einfügen von MAP-Fertigungszellen in eine firmenspezifische Umgebung

In Bild 4 wird beispielhaft ein MAP-Gateway zu einem speziellen firmenspezifischen Netz näher betrachtet, welches auf der Verarbeitungsschicht das firmenspezifische Protokoll SINEC AP 1.0 (SIemens NEtzwirk ArChitektur für Automatisierung und Engineering, Automation Protocol, Version 1.0) enthält. SINEC AP 1.0 erfüllt zusätzlich zu den Verarbeitungsschichtaufgaben die benötigten Funktionen der Darstellungsschicht und der Kommunikationssteuerungsschicht.

Bei dem betrachteten Beispiel werden in beiden Netzen auf den unteren vier Schichten dieselben, von der ISO standardisierten, Protokolle und auch dasselbe breitbandige Übertragungsmedium verwendet. Deshalb können beide Netze physikalisch auf demselben Übertragungsmedium betrieben werden, wodurch die Kosten für eine zusätzliche Verkabelung eingespart werden. Die Kommunikation von einem logischen Netz zum anderen muß jedoch immer über das MAP-Gateway abgewickelt werden. Die Protokolle des Transportsystems werden auf *einem* LAN-Board ausgeführt. Dabei werden die Aufgaben der Schichten 1 und 2a hardwaremäßig gelöst, und die Protokolle der Schichten 2b bis 4, die als Firmware implementiert sind, werden von einem speziellen Prozessor auf dem LAN-Board abgewickelt.

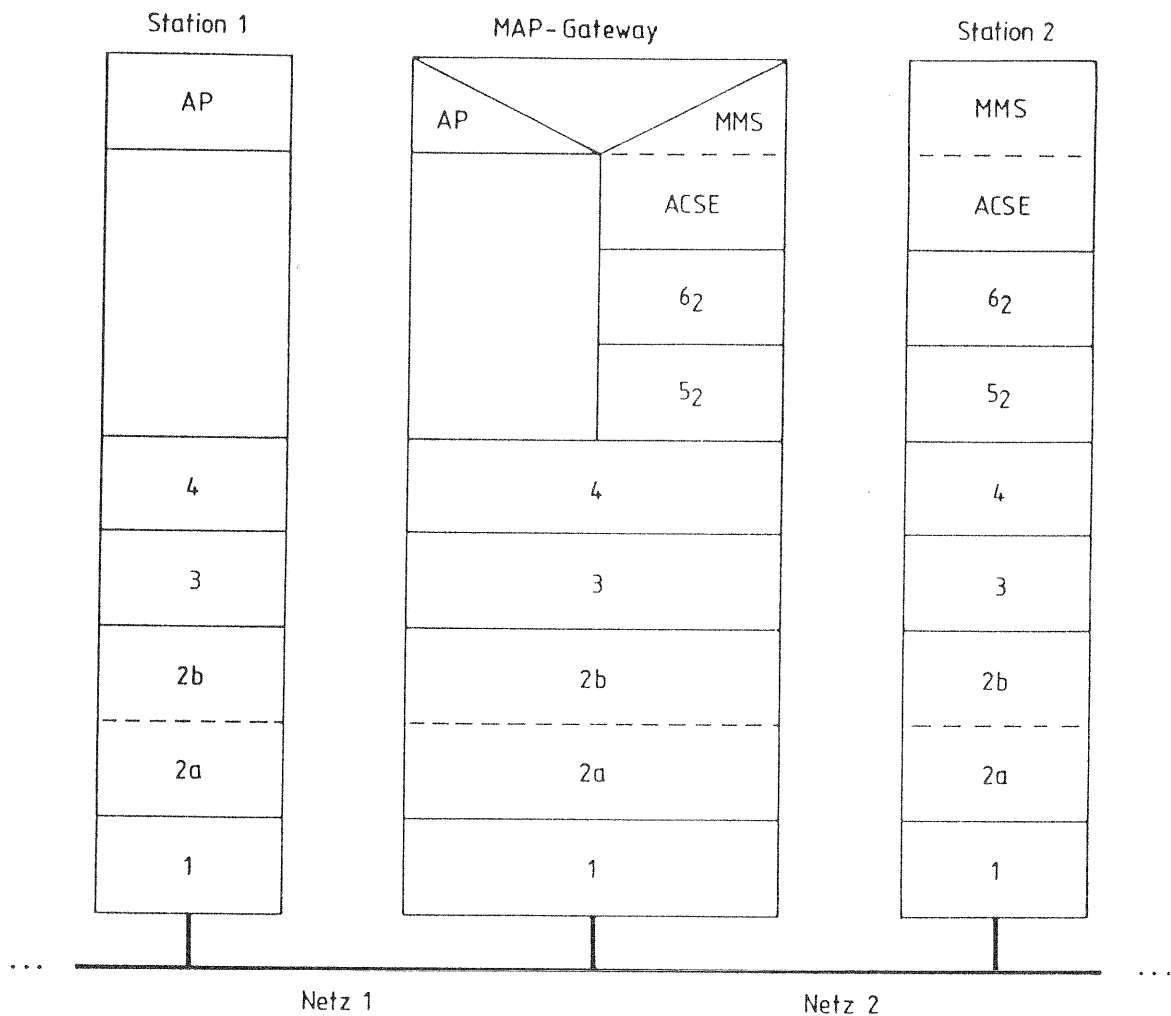


Bild 4: Netzkopplung über ein MAP-Gateway

Der Prozessor des Kopplungsrechners muß parallel sowohl beide Protokollstacks oberhalb der Transportschicht als auch die Kopplungssoftware bearbeiten können. Wenn der Kopplungsrechner gleichzeitig auch eine normale Station ist (zum Beispiel ein Zellenrechner), welche von beiden Netzen aus angesprochen werden kann, so kommt die Bearbeitung der normalen Anwendersoftware noch hinzu.

Dienste, die in der Kopplungssoftware nicht umgesetzt werden können weil es im anderen Netz kein Analogon gibt, bedeuten einen Funktionalitätsverlust durch die Netzkopplung. Bei Diensten ohne Quittung werden die lokalen Quittungen von der Kopplungsschicht sofort zurückgeschickt, damit belegte Speicherplätze schnell wieder freigegeben werden können. Eine solche abschnittsweise Quittierung ist bei Diensten mit Quittung nur dann möglich, wenn die Quittungen lediglich die Ankunft des Dienstes anzeigen sollen. Werden in den Quittungen Parameter oder Daten vom Empfänger erwartet, so muß eine Ende-zu-Ende-Quittierung erfolgen. Dadurch werden die Zeiten bis zum Quittungsempfang relativ groß, was bei der Einstellung der Laufzeiten von Timern berücksichtigt werden muß. Im MAP-Gateway ist dafür kein großer Pufferspeicher mehr notwendig, da sich aufgrund von Flußkontrollen die Dienste bereits beim Sender stauen und nicht erst im MAP-Gateway, wenn in Netz 2 ein Engpaß auftritt.

Die Kopplungssoftware hat neben dem Abwickeln von Szenarien auch noch globale Aufgaben zu erfüllen, welche unabhängig von den speziellen Szenarien sind und von einem eigenen Prozeß erledigt werden. Dazu gehören Aufgaben wie Pufferverwaltung, Reaktion auf globale Fehlerfälle, Reihenfolgesicherung bei segmentierten Aufträgen, Empfangen und Senden von Aufträgen, Identifikation des benötigten Szenarios, Verwalten von Szenarien, Zuordnung von Verbindungen durch Tabellen (Adressierung) und Verwaltung dieser Tabellen. Im MAP-Gateway ist neben den Adressierungstabellen, die aufgrund der verwendeten Protokolle sowieso vorhanden sind, noch eine Kommunikationsbeziehungstabelle nötig, in der die Verbindungszuordnungen für den Verbindungsaufbau und die Referenzen aufgebauter Verbindungen eingetragen sind.

#### 4.3 Anbindung von feldbusähnlichen Architekturen

Die Anbindung von Mini-MAP an MAP erfolgt über Stationen mit der Enhanced Performance Architecture, die beide Protokollstacks beinhalten. Solche Stationen können mit allen anderen Stationen an beiden Teilnetzen kommunizieren. Sollte eine Kommunikation über die Netzgrenze hinweg notwendig sein, muß die betreffende EPA-Station eine Gateway-Funktion wahrnehmen.

Die Kopplung von Feldbussen (Beispiel: PROFIBUS) mit MAP erfolgt über MAP-Gateways mit einer Architektur analog zu der in Bild 4. Die Protokollumsetzung ist hier allerdings meist sehr einfach, da die Verarbeitungsschichtprotokolle (Beispiel: FMS) an MMS angelehnt sind. Eine Umsetzung ist dann entweder gar nicht oder direkt (1:1-Abbildung) möglich. Kompliziertere Szenarien gibt es nicht.

#### 4.4 Anbindung an TOP und an Weitverkehrsnetze

Im Büro hat sich das Protokollprofil TOP (Technical and Office Protocols) durchgesetzt. MAP und TOP können über eine Bridge oder über einen Router gekoppelt werden, weil die Medienzugangsverfahren unterschiedlich sind. Damit ist ein Filetransfer über FTAM möglich, da FTAM bei Bedarf auch in MAP neben MMS auf der Verarbeitungsschicht erlaubt ist. Zur Einbeziehung räumlich entfernter Rechenzentren oder Unternehmensniederlassungen, sind *Remote Bridges* (Bridge — Metropolitan Area Network (MAN) — Bridge), Router oder Gateways zu Weitverkehrsnetzen der nationalen Postverwaltungen notwendig.



## 5 Netzmanagement und Diagnose

Um eine zuverlässige Kommunikation in einem heterogenen Verbund von hinreichend vielen Automatisierungsgeräten und Rechnern zu erreichen, ist ein leistungsfähiges Netzmanagement notwendig, weil das LAN zum Rückgrat der flexiblen Produktion wird, dessen Ausfall einen Stillstand der gesamten Produktionsanlage zur Folge haben kann. Zugriffsrechte auf Ressourcen müssen sowohl für menschliche Benutzer wie auch für Rechner geregelt werden. Veränderungen am Netz, wie dynamisches Zu- und Abschalten von Geräten oder deren physikalisches Entfernen, müssen leicht vornehmbar und im laufenden Betrieb möglich sein. Durch Messungen im laufenden Betrieb und durch Abfrage von Statistikzählern einzelner Stationen sollten Engpässe möglichst frühzeitig erkannt und beseitigt werden, bevor die Produktion beeinträchtigt wird. Treten im Netz trotzdem Fehler auf, so sollte über ein Diagnosewerkzeug die schnelle Lokalisierung des Fehlers möglich sein, ohne daß Spezialisten mit aufwendigen Meß- und Testeinrichtungen zu Hilfe gerufen werden müssen. Heute können hierfür Protokoll-Analysatoren eingesetzt werden, die einen Netzbetreiber auch bei der Inbetriebnahme oder bei Wartungsarbeiten durch statistische Aussagen über den Verkehr auf dem Medium unterstützen. Solche Aussagen werden durch Filterung und Interpretation von Paketen auf dem Medium gewonnen, wobei der Benutzer auch die Möglichkeit hat den Inhalt dieser Pakete auszuwerten. In Zukunft werden hier verstärkt Expertensysteme zum Einsatz kommen, so daß die Auswertung der Statistiken und das Veranlassen weiterer zur Diagnose notwendiger Tests immer mehr automatisiert werden kann.

Zur Zeit werden Standards für das Netzmanagement erarbeitet, die unter anderem Managementdaten als abstrakte Objekte (Managed Objects, MOs) in einer verteilten Datenbank (Management Information Base, MIB) definieren und den Zugriff darauf über spezielle Protokolle regeln. Dabei wird davon ausgegangen, daß sich auf jeder Station im Netz ein Agent-Prozeß befindet der von einem Manager-Prozeß aus angesprochen werden kann.

Im Hinblick auf komplexe Strukturen aus lokalen Netzen gibt es ein zusätzliches Problem zu lösen: Wie kann ein Manager-Prozeß auf MOs der Netzkoppeleinheit und der Stationen im anderen Netz zugreifen? Der Zugriff auf MOs im anderen Netz kann zum Beispiel über ein *Netzmanagement-Gateway* ermöglicht werden, wie dies in [3] beschrieben wird. Um den Zugriff auf MOs in einer Netzkoppeleinheit zu ermöglichen, muß diese Netzkoppeleinheit zumindest eine Minimalversion der Protokolle aller sieben Schichten inclusive dem Agent-Prozeß besitzen, und zwar auch dann, wenn die Kopplung auf einer der unteren Schichten erfolgt und zur Kommunikation die oberen Schichten gar nicht notwendig wären.

## 6 Modellierung und Leistungsbewertung

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Protokollarchitekturen und von komplexen Strukturen aus lokalen Netzen eignet sich besonders die zeittreue Simulation. Dazu ist zunächst die Abbildung der Realität auf ein abstraktes verkehrstheoretisches Modell notwendig. Dieses Modell sollte so einfach wie möglich sein und trotzdem alle relevanten Eigenschaften beinhalten. Als Hilfsmittel haben sich hier besonders erweiterte Warteschlangennetze bewährt. Das erhaltene Modell kann dann in einer höheren Programmiersprache wie PASCAL oder mit Hilfe von Simulationstools in ein Simulationsprogramm umgesetzt werden. Mit Hilfe des Simulationsprogrammes können charakteristische Größen wie Transferzeiten, Speicherbelegungszeiten, Prozessorauslastungen, Wartezeiten oder Warteschlangenlängen ermittelt

werden. Solche Untersuchungen wurden beispielsweise in [1] und [2] durchgeführt. Dort ergaben sich zum Beispiel für die betrachtete Implementierung von MAP Transferzeiten ab 50 ms und eine Stabilitätsgrenze unterhalb von 20/s.

## 7 Stand der Entwicklung und Ausblick

Zur Zeit werden in der Fabrik noch herstellereigenspezifische Netze, die meistens auf standardisierten Protokollen für das Transportsystem aufbauen, in Betrieb genommen und eingesetzt. Gleichzeitig wird an einem standardisierten Protokollprofil gearbeitet. Anwender und Hersteller von Netzen haben sich in sogenannten Multivendorprojekten zusammengeschlossen, um die Standardisierung von MAP vollends abzuschließen und um die Verwendbarkeit in der Praxis durch Pilotanlagen zu erproben. Die Standardisierung des Feldbusses für Realzeitanwendungen und dessen Einbettung in eine MAP-Umgebung ist zur Zeit im Gange. Die Kopplung von Netzen innerhalb der Fabrik, mit lokalen Netzen im Büro und mit Weitverkehrsnetzen wird letztendlich zu einer computerintegrierten Fertigung (Computer Integrated Manufacturing, CIM) führen.

## Literatur

- [1] M. Bosch; "Design, Implementation, Modelling and Simulation of a MAP-Gateway for Flexible Manufacturing", Modelling the Innovation: Communication, Automation and Information Systems, Rome, March 21-23, 1990, pp. 233-244
- [2] M. Bosch, O. Gühr; "Simulation of Application Layer Protocols for Factory Automation", International Conference on Computer Communication (ICCC), Tel Aviv, October 30 - November 4, 1988, pp. 320-328
- [3] M. Bosch, G. Rößler, W. Schollenberger; "Network Management in Heterogeneous Networks for Factory Automation", Information Network and Data Communication (INDC), Lillehammer, March 26-29, 1990, pp. 1A/2-1-1A/2-13
- [4] DIN V 19245; "PROFIBUS, Teil 1: Übertragungstechnik, Buszugriffs- und Übertragungsprotokoll, Dienstschnittstelle zur Anwendungsschicht, Management"
- [5] ISO 7498; "Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model", November 1983
- [6] ISO 8571; "File Transfer, Access and Management", September 1987
- [7] ISO 9506; "Manufacturing Message Specification, Part 1: Service Definition", January 1989  
ISO 9506; "Manufacturing Message Specification, Part 2: Protocol Specification", January 1989
- [8] M. Katz, G. Biwer, K. Bender; "Die PROFIBUS-Anwendungsschicht", Automatisierungstechnische Praxis (atp) 31, Nr. 12, Dezember 1989, S. 588-597
- [9] MAP; "Manufacturing Automation Protocol", Version 3.0, General Motors, Warren/Michigan, April 7, 1987

## Verfasser:

Dipl.-Ing. Martin Bosch

Universität Stuttgart

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung

Seidenstraße 36, D-7000 Stuttgart 1