

Automatisierungstechnik nach internationaler Norm programmieren (15)

Autor: Dr. Ulrich Becker

Fachzentrum Automatisierungstechnik und vernetzte Systeme im BTZ Rohr-Kloster

Mail: Ulrich.Becker@BTZ-Rohr.de

Einführung in die Vernetzung von Automatisierungskomponenten mit Ethernet Teil 1

Thema der Folgen 12 und 13 war die spezielle Ablaufsprache nach IEC 61131-3. Sie wird vorteilhaft angewendet für Steuerungsprogramme von Maschinen und Anlagen mit eindeutig vorgegebener Abfolge von Zuständen wie Taktstraßen, Handhabevorrichtungen oder Transportanlagen. Wegen des Trends zur Dezentralisierung ist bei solchen größeren Anlagen das Vernetzen einzelner Komponenten mit einem geeigneten Bussystem eine fortwährend aktuelle Aufgabe. Die Entwicklung geht weltweit in Richtung Ethernet/TCP mit verschiedenen Erweiterungen für Echtzeitfähigkeit. In dieser Folge werden grundsätzliche Wirkprinzipien und die Gründe für die Entwicklung von Echtzeit-Ethernet bildhaft vorgestellt. Damit werden Grundlagen gelegt für die Parametrierung der Ethernet-Kommunikation mit dem Programmiersystem CoDeSys.

Warum Ethernet?

Aktuelle Automatisierungstechnik ist ohne Vernetzung kaum mehr denkbar. Welche Gründe aber gibt es für die Bevorzugung von Ethernet bei unserem Thema „Programmieren nach internationaler Norm“? Gibt es doch eine Vielzahl etablierter Feldbussysteme wie Profibus, Interbus oder CAN! Ethernet, der unbestrittene Standard der Bürovernetzung, errang dennoch in den letzten Jahren als Kommunikationssystem in der Automatisierungstechnik zunehmend Bedeutung. Es wurde erfolgreich daran gearbeitet, Ethernet für „harte“ Echtzeitanforderungen zu erweitern. Damit bekommen Systeme auf Basis Ethernet das Potential, über einen längeren Zeitraum hinweg die traditionellen Bussysteme weltweit abzulösen oder zu integrieren! Programmieren von Automatisierungstechnik nach internationaler Norm und das Parametrieren von Ethernet-Verbindungen gehören deshalb zusammen!

In der Fachpresse wird von der stetig wachsenden Zahl von Vernetzungen mit dem „Standard“ Ethernet berichtet. Dabei werden drei entscheidende Vorzüge gegenüber anderen Feldbussen genannt:

1. Die Möglichkeit einer flachen Architektur der Automatisierungslösung
2. Die durchgängige Kommunikation und Datenhaltung von der automatisierten Produktion bis hin in die Leit- und Managerzentralen
3. Die Nutzung von IT-Standards wie z.B. Mailsdienste für Diagnose und Service.

Das erste Argument der flachen Struktur meint, daß die hierarchische Automatisierungsstruktur in Form der Pyramide mit Feld-, Automatisierungs- und Leitebene wie im **Bild 82** gezeigt immer weniger Bestand hat. In diesen Ebenen wurden überwiegend unterschiedliche Bussysteme eingesetzt. Ethernet aber überwindet als durchgängiges Kommunikationssystem diese Grenzen und macht darüberhinaus Internet-Technologie verfügbar.

Das zweite Argument verweist auf die vorteilhafte Verbindung von Produktions- und Officewelt ohne aufwändige Datenkonvertierungen. Die genannten Vorteile setzen aber voraus, daß Ethernet die Funktionen spezieller, sehr schneller Feldbusse übernehmen kann, ohne seine angestammten Eigenschaften und Aufgaben im IT-Bereich aufzugeben!

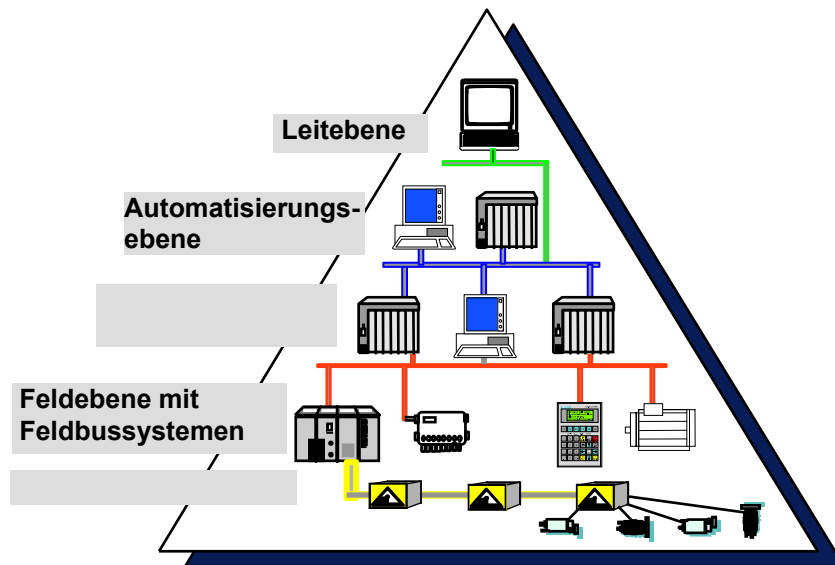


Bild 82: Klassische hierarchische Struktur der Automatisierungstechnik mit meist unterschiedlichen Bussystemen

Ist Ethernet ein durchgängiges Bussystem?

Kann man davon ausgehen, daß alle Beteiligten, die von Ethernet-Netzen sprechen, gleiche Protokolle benutzen? „Verstehen“ sich alle Automatisierungskomponenten auf Basis Ethernet? Oder salopp: Ist überall, wo Ethernet „draufsteht“, das „gleiche Ethernet drin“? Diese Frage ist grundsätzlich zu verneinen!

Zur Begründung müssen wir uns in geringem Umfange mit Protokollen befassen, heißt es doch beispielsweise Kommunikation über Ethernet TCP/IP/Modbus. Diese Namen bezeichnen Protokolle. Kommunikation erfordert stets erstens eine physikalische Verbindung durch Leitungen, Stecker und Geräte und zweitens Kommunikationsprotokolle. Diese sind Vereinbarungen, wie die Nutzdaten in Pakete verpackt, verschlüsselt, adressiert, gesendet und gesichert werden. Solche Vereinbarungen werden grundsätzlich auf der Grundlage des ISO –OSI – Referenzmodells getroffen. Allgemein ist es unter dem Namen 7-Schichten - Modell bekannt.

Bild 83 soll helfen, den Nutzen dieses in mancher Hinsicht sehr theoretischen Modells zu verstehen. Die hier beispielhaft gezeigte Kommunikation eines amerikanischen Fachmanns mit seinem russischen Kollegen verläuft über vielfältige Zwischenstationen. Jeder der Dolmetscher und die Nachrichtendienste müssen sich an Regeln halten, sonst wird die Nachricht mit Sicherheit verstümmelt eintreffen. Jede Ebene des Bildes nimmt von der vorgelagerten Ebene Nachrichten entgegen und leitet sie an die nachgelagerte Ebene weiter.

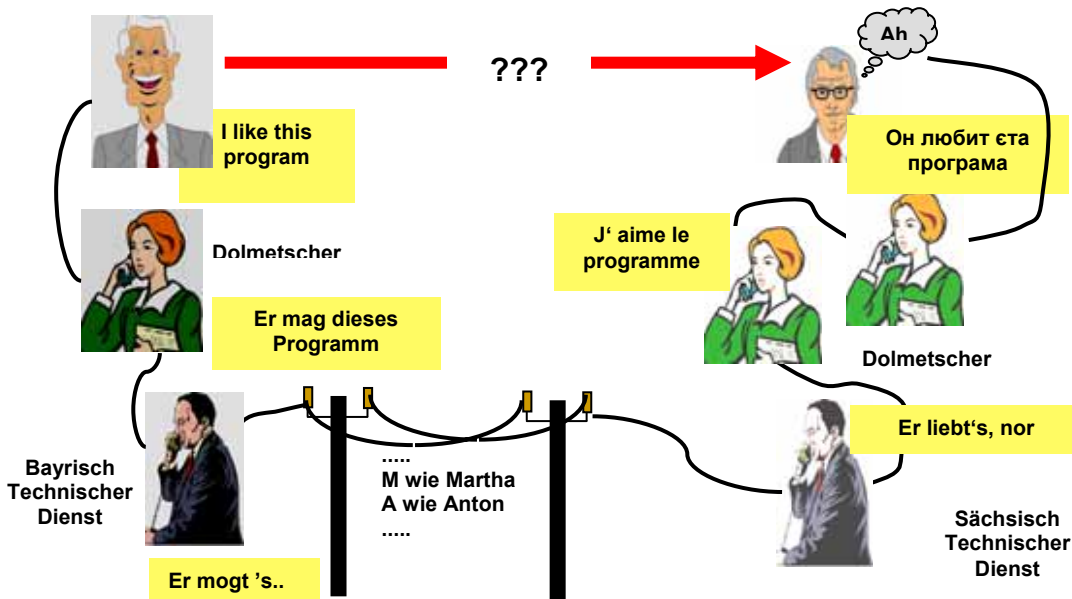


Bild 83: 7-Schichten-Modell ganz einfach: Kommunikation erfordert klare Vereinbarungen
 Nach einer Idee in Grundkurs Feldbustechnik Phoenix Contact (Hrsg.)1997

Genauso verhält es sich mit dem 7-Schichten-Modell (**Bild 84**). Von Anwendungsprogramm zu Anwendungsprogramm durchlaufen die Daten verschiedene Schichten. Jede Schicht übernimmt eine begrenzte Teilfunktion. Die übergeordnete Schicht sendet Dienstanforderungen und Daten. Die untergeordnete Schicht bietet Dienste an.

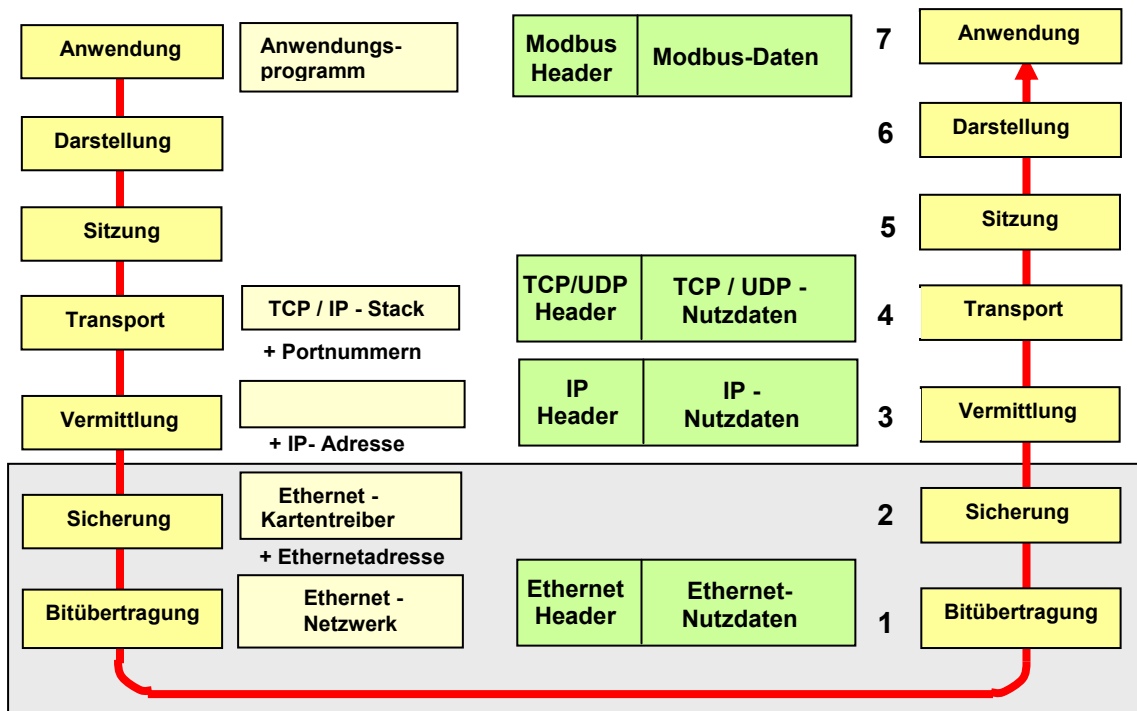


Bild 84: Schichten und Protokolle beim Versenden von Modbus-Anwenderdaten über Ethernet TCP / IP

Nur die im Bild 83 grau hinterlegte Bitübertragungsschicht 1 und die Sicherungsschicht 2 verkörpern Ethernet. Zuerst verbirgt sich im Begriff Ethernet also das Übertragungsmedium für eine gesicherte Übertragung von Daten. Häufig wird hier von der „Physik“ der Datenübertragung gesprochen, womit man Leitungen, Stecker und Übertragungskomponenten wie Hub oder Switches meint. Um Nutzdaten über dieses Medium zu transportieren, sind aber weiter die eingesetzten Protokolle zu betrachten. Im Bild ist zu sehen, wie den Anwenderdaten auf Basis Modbus immer weitere Adressdaten in Form der Header (Köpfe) „aufgeladen“ werden. Damit wird verständlich, daß für eine erfolgreiche Kommunikation zwischen zwei Anwenderprogrammen bzw. zwischen Automatisierungskomponenten alle Daten mit gleichem Protokoll verschlüsselt werden müssen.

Im Beispiel wurde auf der Anwendungsebene (Schicht 7) bewußt Modbus erwähnt. Modbus im Verbund mit dem Transportprotokoll TCP darf man inzwischen als eine Art „Industriestandard“ für die Handhabung von Anwenderdaten bezeichnen. Es arbeitet nach dem Client-Server-Prinzip: Für die Kommunikation bearbeitet eine Automatisierungskomponente mit Serverstatus die Anfragen von Clients mittels einer Reihe von Funktionscodes. Der Anwender hat dabei zumeist nur fertige Funktionsbausteine zu parametrieren. Dies werden wir in Folge 16 zeigen. Das Modbusprotokoll ist offengelegt, und Details kann man auf der Seite www.modbus.org ersehen.

Weiter ist im Bild 83 bei den Transportprotokollen (Schicht 4) neben TCP auch UDP erwähnt. Während TCP für die Dauer der Kommunikation zweier Komponenten eine gesicherte Verbindung im Netz herstellt, arbeitet UDP (User Datagramm Protokoll) ohne eine solche spezielle gesicherte Verbindung. Dadurch erlaubt UDP eine deutlich schnellere Kommunikation.

Warum Echtzeit-Ethernet?

Bei der Beantwortung der Frage: „Verstehen“ sich alle Automatisierungskomponenten auf Basis Ethernet?“ müssen wir weiter im Auge behalten, wie die Unternehmen der Automatisierungsbranche das Problem der Echtzeitfähigkeit von Ethernet lösen. Industrieautomation verlangt an zahlreichen Stellen – aber nicht überall! - Echtzeitfähigkeit. Allgemein wird gesagt, daß diese mit dem im Büro üblichen Netz Ethernet TCP/IP nicht zu erreichen ist. Was aber ist Echtzeit (engl. Real-Time)? Müssen Echtzeitsysteme besonders schnell sein?

Ein Automatisierungssystem ist echtzeitfähig, wenn seine Reaktionszeiten klein genug sind, um auf Ereignisse im Prozess angemessen reagieren zu können. Bei Temperaturregelungen ist eine Reaktionszeit im Sekunden- oder gar im Minutenbereich fast immer angemessen. Zyklisch bearbeitete Programme auf Automatisierungskomponenten sollten dagegen im Millisekundenbereich reagieren. Die höchsten Anforderungen stellen schnelle Regelungen, Antriebssysteme und gesteuerte Achsen. Hier werden Reaktionszeiten im Mikrosekundenbereich bis hin zu 1 Millisekunde gefordert.

Echtzeitfähigkeit kann also niemals absolut, sondern nur im Verhältnis zu den geforderten Funktionen bewertet werden. Zusammengefasst unter dem Begriff „Motion Control“ ist die Integration hochdynamischer Antriebe in die Softwaresysteme der Automatisierungstechnik Stand der Technik. Die hierfür erforderlichen Reaktionszeiten von Mikro- und Millisekunden kann das Büronetz mit Ethernet TCP / IP bei weitem nicht erfüllen!

Deshalb entwickelte die Organisation Profibus International (in Deutschland Profibus Nutzerorganisation e.V (PNO)) für das neue industrielle Kommunikationssystem Profinet das Real-Time-Ethernet (RT) und weiter das noch schnellere Isochrone Real-Time-Ethernet (IRT). In einer der Weiterbildungsveranstaltungen „5-7“ der Siemens AG wurden diese Begriffe sehr bildhaft am Beispiel einer Datenautobahn verdeutlicht (**Bild 85**):

Wenn Datenpakete der Ethernet-Standardkommunikation TCP/IP auf der Datenautobahn zu hohem Verkehrsaufkommen führen, kann es auch zum Stau kommen. Während Real-Time-Datenpakete sich dann „gerade noch durch den Stau drängeln“, ist für Isochrone Real-Time-Pakete prinzipiell eine eigene Fahrbahn reserviert. Mit Real-Time-Ethernet realisiert Profinet typische Reaktionszeiten von 10 ms, wogegen diese bei TCP/IP typisch bei 100ms liegen. Isochrone Real-Time-Ethernet reagiert hingegen typisch im Zeitbereich 0,25 bis 1ms. Damit können Nutzdaten takt-synchron übertragen werden.

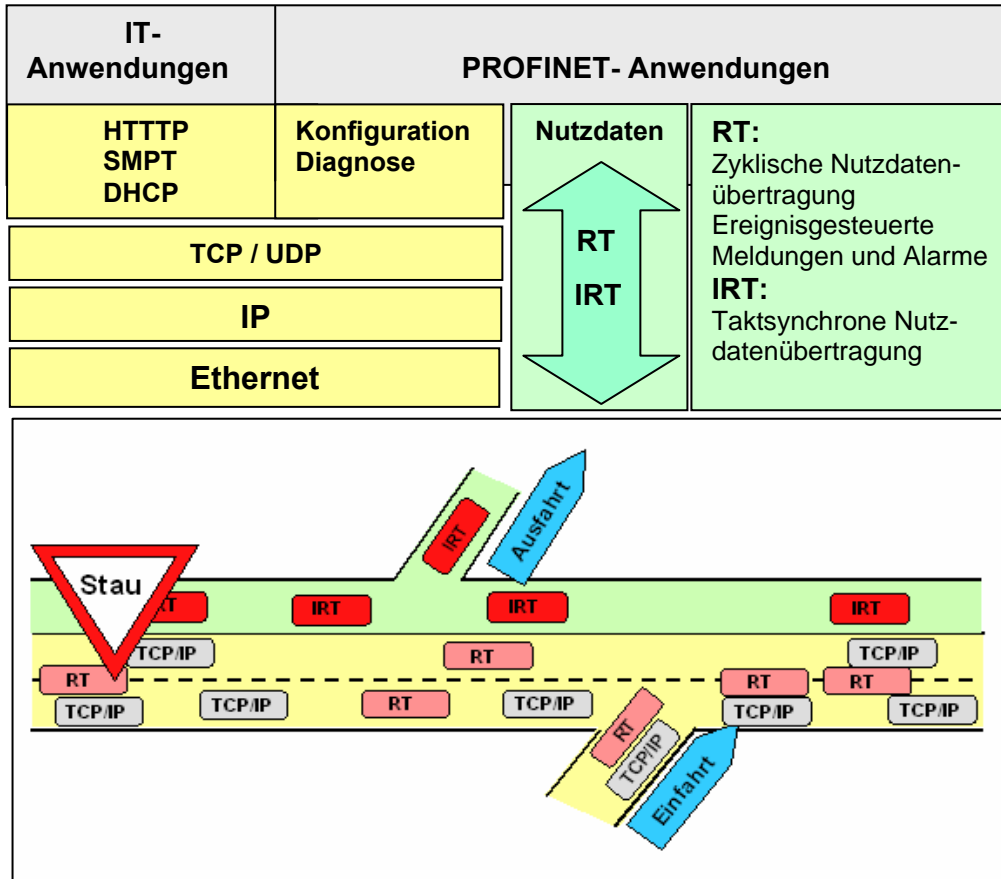


Bild 85: Bildhafte Erläuterung der Prinzipien RT und IRT im System Profinet
 Quelle: Nach dem Vortrag „Motion Control via Profinet“ in der Weiterbildungsveranstaltung 5 – 7 März 2006 der Siemens AG
http://www2.automation.siemens.com/Ost/html_00/kundenveranstaltung-archiv.html

Bild 85 zeigt, welche Applikationen über welche Datenbahnen und welche Protokolle realisiert werden. IT-Funktionen, die Konfiguration und Diagnoseaufgaben werden über das „normale Ethernet“ abgewickelt. Es wird deutlich, daß „Echtzeit-Ethernet“ an den Protokoll-Schichten 1-4 (Ethernet-IP-TCP bzw. UDP) vorbei realisiert wird. Faktisch werden diese Schichten, die das Ethernet TCP/IP ursprünglich charakterisieren, dann außer Kraft gesetzt.

Die technischen Fragen des Realtime-Ethernet sind anspruchsvoll! Grundsätzlich muß eine solche Technologie auf „Switched Ethernet 100 MBit/s“ aufsetzen. Mit veralteter Hubtechnologie sind die Forderungen dagegen nicht zu erfüllen. „Switched Ethernet“ steht für die Strukturierung der Netze durch Switches, welche im Prinzip gerichtete Verbindungen zwischen Ethernet-Teilnehmern schalten. Diese Switches müssen nun um zusätzliche takt-synchrone Kanäle erweitert werden, damit IRT-Datentelegramme ungebremst

durchlaufen können. Dazu müssen sie „vorausschauend“ schalten, was durch Kenntnis des Taktes der Telegramme auch möglich ist. Dies wiederum darf aber keine Auswirkungen auf Standardanwendungen haben.

Zum anderen kann bei derart schnellen Vorgängen das traditionelle Prinzip der Datenspeicherung beim Empfang von Telegrammen nicht beibehalten werden. Traditionell arbeitet ein entsprechend programmierter Mikroprozessor Routinen für das Empfangen, Interpretieren und Kopieren der Nutzdaten ab. Zeitforderungen des Real-Time-Ethernet verlangen dagegen die Bearbeitung der Telegramme praktisch im Durchlauf. Beide Anforderungen sind ohne spezielle Hardware-Unterstützung nicht zu realisieren, so daß spezielle ASICs dafür entwickelt wurden.

Mit gleichen Zielstellungen wurde die vom Unternehmen Beckhoff initiierte Busklemmentechologie EtherCAT entwickelt. EtherCAT ist ein offener Standard und seit 2005 IEC-Norm. Es gilt derzeit als die schnellste Ethernet-Lösung in der Automatisierungstechnik. So lassen sich 1000 dezentrale Ein- oder Ausgänge in nur 30 Mikrosekunden lesen oder ansteuern. EtherCAT realisiert die Ethernet-Technologie bis in die einzelne Busklemme hinein. Dort übernehmen wiederum spezielle Protokoll-ASICs das Lesen und Schreiben von Daten im Durchlauf des Telegramms. Dabei integriert EtherCAT die Nutzdaten in die Ethernet Rahmen, ohne diese zu verändern, so daß auch Standard Hardware in EtherCAT - Netzen eingesetzt werden kann. Allerdings benötigt man spezielle Gateways zur Verpackung in UDP/IP-Datenpakete, sofern man EtherCAT-Teilnehmer in anderen Netzen adressieren will.

Bild 86 zeigt als Beispiel einen Koppler für die Anschaltung eines EtherCAT-Netzes an einen Switch, um andere EtherCAT Netze adressieren zu können.

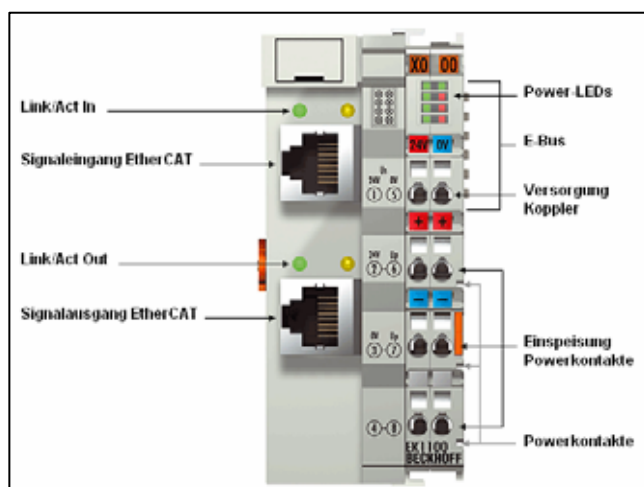


Bild 86: EtherCAT-Koppler EK 1000 für den Betrieb am Switch
Quelle: Katalog BECKHOFF New Automation Technology 12 , 2005

Master-Slave-Prinzipien auch in Ethernet – Systemen?

Auffallend bei den Wirkprinzipien von EtherCAT ist der modifizierte Einsatz des bewährten Master-Slave-Prinzips. Master-Slave-Strukturen kennt der Automatisierungstechniker u.a. vom Bussystem Profibus-DP. Allein der Master hat hier Schreib- und Leserechte und fragt der Reihe nach zyklisch alle Slaves in seinem Netz ab. Diese hingegen verhalten sich bei der Kommunikation passiv, empfangen Daten und stellen Daten zur Verfügung. Verfügt ein Slave darüberhinaus über „Intelligenz“, so kann er Programme und Daten verarbeiten. Lese- und Schreibrechte hat er dennoch nicht.

Das bewährte Master-Slave-Prinzip ist zunächst kein Prinzip der Kommunikation über Ethernet-TCP/IP, da die Teilnehmer im Ethernet-Netz grundsätzlich gleichberechtigt sind. Es wird nun aber auch in EtherCAT modifiziert eingesetzt. Ein EtherCAT-Koppler oder ein Programm auf einem PC fungieren als Master, senden mit hoher Taktrate Ethernet-Rahmen aus, und diese durchlaufen alle angeschalteten Busklemmen. Von außen betrachtet erscheint ein komplettes EtherCat-Netz wie ein einziger Ethernet-Teilnehmer. Würde man in dieses Bussystem Standard-Ethernet-Teilnehmer anschalten oder versuchen, EtherCat über ein vorhandenes Büronetz zu betreiben, so würde die hohe Taktrate alle „normalen“ Ethernet-Teilnehmer außer Gefecht setzen. Eine Lösung wäre, den PC mit zwei Netzkarten auszurüsten, von denen die erste das EtherCAT Netz bedient, während die zweite die Standard Anwendungen abwickelt. Es wird hier deutlich, daß der Mischbetrieb von Echtzeit- und Standard-Ethernet eine besondere Herausforderung darstellt. Hier sind weitere Entwicklungen und Lösungen zu erwarten. Wir werden in der Folge 16 sehen, daß auch im System CoDeSys eine Kommunikation zwischen Ethernet-Controllern auf Basis des Master-Slave-Prinzips möglich ist. Dazu ist lediglich ein Bibliotheksbaustein Ethernet-Modbusmaster-UDP zu parametrieren. Die Begriffe im Namen des Bausteins sind uns nunmehr bekannt.

Was ist Ethernet-Powerlink?

Eine weitere bedeutende Entwicklung in Richtung Echtzeit-Ethernet ist neben Profinet und EtherCAT das System Ethernet-Powerlink. Es wurde als Protokollerweiterung zu Ethernet erstmals 2001 vom Unternehmen Bernecker&Rainer Industrieelektronik vorgestellt. Im Grundsatz wird auch hier der Datenverkehr auf dem Ethernet-Medium zeitlich organisiert, um Kollisionen von Datenrahmen zu vermeiden. Diese Aufgabe übernimmt ein Datenmanager. Durch dessen zusätzlichen „Zeitscheibenmechanismus“ werden zeitkritische Objekte synchronisiert und zeitkritische Daten schnell und isochron übertragen. Standarddaten werden dagegen in einem anderen dafür reservierten Kanal übermittelt, wodurch der Mischbetrieb mit Standard-Ethernet gewährleistet ist.

Einige grundsätzliche Organisationsprinzipien des Ethernet-Powerlink wurden in Anlehnung an das Bussystem CANopen getroffen, wodurch das Zusammenwirken von Ethernet-Powerlink und CANopen erleichtert wird. Die Entwicklung ist sehr aktuell: Im Busklemmensystem WAGO-IO-750 gibt es seit I/2006 neben dem Koppler für Profinet auch einen Koppler für Ethernet-Powerlink V2.0.

Die mehr bildhaften Erläuterungen der Folge 15 erklären, warum bei dem allgemeinen Begriff „Kommunikation über Ethernet“ eine Reihe unternehmensbezogener Details zu beachten sind. Steckt man Echtzeit-Ethernet-Komponenten verschiedener Hersteller ohne Überlegung zusammen, so werden diese trotz gleichen Steckgesichtes der Bauteile wohl kaum problemlos miteinander kommunizieren! Es ist derzeit nicht abzusehen, daß es einen einheitliche Kommunikations-Standard Echtzeit-Ethernet geben wird. Aufmerksamkeit ist geboten: Die Systeme werden in hohem Tempo weiterentwickelt und man kann prognostizieren, daß viele derzeitige Feldbusysteme integriert oder abgelöst werden.

Fazit:

Die Kommunikation über Ethernet / TCP / UDP entwickelt sich zur tragenden Säule der Vernetzung von Automatisierungskomponenten. Aktuell sind Protokollerweiterungen für Echtzeit-Ethernet. Der erfolgreiche Einsatz der Technik setzt einige grundlegende Kenntnisse über Protokolle und Wirkprinzipien voraus, da es auch in der „Echtzeit-Ethernet-Welt“ unterschiedliche Entwicklungen gibt. Mit der bildhaften Darlegung der Zusammenhänge wurden Grundlagen gelegt, um in der nächsten Folge Ethernet-Controller oder Koppler des Busklemmensystems WAGO-IO-750 zu vernetzen. Die Werkzeuge hierfür liefert das Programmiersystem CoDeSys.

Glossar:

ASIC	Anwenderspezifische Integrierte Schaltung, die im Gegensatz zu universellen Chips nach speziellen Kundenforderungen entwickelt und nur an diesen ausgeliefert wird.
Client-Server-Prinzip	Ein Client (engl. Klient, Mandant) ist ein Computerprogramm, welches über bestimmte Ressourcen (Quellen) nicht selbst verfügt, sondern diese vom Server zur Verfügung gestellt bekommt. Der Client fragt deshalb beim Server an. Umgangssprachlich wird auch der PC selbst als Client bezeichnet. Das Gegenteil zum Client-Server-Prinzip ist die Peer-to-Peer Kommunikation zweier PC (Peer engl. Gleichgestellter). Die Bezeichnung Host für einen PC bezeichnet stets einen solchen gleichgestellten PC.
Echtzeitfähigkeit	Ein Automatisierungssystem ist echtzeitfähig, wenn es zeitlich angemessen auf Anforderungen des Prozesses reagieren kann. Stand der Technik sind derzeit Reaktionszeiten im Bereich von 100 Mikrosekunden bis 10 ms. Kleinste Zeiten werden insbesondere von Motion Control – Anwendungen gefordert.
EtherCAT	Vom Unternehmen Beckhoff initiiertes und von der EtherCat Technologie Gruppe gepflegtes schnelles Bussystem auf Basis Ethernet Umfassende Informationen unter www.Beckhoff.de
Ethernet Powerlink	Vom Unternehmen Bernecker&Rainer Industrieelektronik 2001 vorgestellte Protokollerweiterung zu Ethernet / TCP für die Erfüllung von Echtzeitanforderungen. Der Datenverkehr auf dem Ethernet-Medium wird zeitlich organisiert, um zeitkritische Daten schnell und isochron übertragen zu können.
Master-Slave-Prinzip	Wirkungsprinzip für den Zugriff auf ein Automatisierungsnetz bzw. Bussystem. Allein der Master verfügt über Schreib- und Leserechte im Netz und fragt durch Zeitscheiben gesteuert alle Slaves ab.
Modbus	Von Modicon 1979 entwickeltes Kommunikationssystem mit Master-Slave- bzw. Client-Server-Architektur. Inzwischen existiert mit Modbus TCP eine Variante für Ethernet.
Motion Control	Zusammenfassende aktuelle Bezeichnung für hochwertige Antriebstechnik der Produktions-, Werkzeug- und Verpackungsmaschinenbranche.
Profinet	Von der Siemens AG initiiertes und der Organisation Profinet International gepflegtes Kommunikationssystem auf Basis Ethernet in den Ausprägungen Profinet IO für dezentrale Anschaltungen und Profinet CbA für die Vernetzung von Stationen. Profinet integriert Profibus-DP. Umfassende Informationen unter www.automation.siemens.com/profinet
Switch	(engl. Weiche). Switche sind elektronische Geräte für die Wegewahl (Routing) in Kommunikationsnetzen. Auf Basis von Adresstabellen können sie diese Aufgabe „intelligenter“ ausführen als die ältere Hub – Technik. Aktuelles Ethernet bezeichnet man auch als „Switched Ethernet“, und diese Ausführung ist Voraussetzung für die Erfüllung von Echtzeitanforderungen.