

# Ethernet erreicht das Feld

## Sechs Echtzeit-Varianten im Vergleich – Teil 1

**Die These „Ethernet als Feldbus“ sorgte noch vor wenigen Jahren für hitzige Diskussionen unter Fachleuten. Heute gibt es eine unübersichtliche Vielzahl von Lösungen, von denen behauptet wird, sie seien Ethernet-kompatibel und sie könnten die Feldbusse ersetzen. In diesem zweiteiligen Beitrag werden sechs Echtzeit-Ethernet-Varianten für die Automatisierung vorgestellt und miteinander verglichen.**

Von Prof. Dr. Jürgen Schwager

Ethernet stellt ein beeindruckendes Beispiel für die kontinuierliche Weiterentwicklung eines standardisierten Kommunikationssystems dar. 13 Jahre nach dem Entwicklungsbeginn 1972 bei Xerox verabschiedete 1985 das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) den Standard IEEE 802.3, in dem das noch heute gültige Format der Ethernet-Datenpakete festgelegt wurde (Bild 1). Die wesentlichen Weiterentwicklungen des Standards betreffen bisher die Datenübertragungsrate und die Übertragungsmedien. Im Jahr 2002 wurde die im Vergleich zur ursprünglichen Entwicklung mit 10 Gbit/s tausendmal höhere Übertragungsrate spezifiziert. 31 Jahre nach Entwicklungsbeginn startete im Jahr 2003 bei der in-

ternationalen Normungsorganisation IEC in Genf die Normung von Lösungen für ein „Real Time Ethernet“ (RTE).

Die Normung reagiert damit auf umfangreiche Entwicklungsaktivitäten bei den Herstellern von industriellen Kommunikationssystemen. Der österreichische Hersteller von Automatisierungskomponenten Bernecker und Rainer (B&R) stellte schon im November 2001 das „Ethernet Powerlink“ vor. Die Firma Jetter folgte ein Jahr später mit dem Echtzeit-System „JetSync“. Auf der Hannover Messe Industrie 2003 (HMI) wurden dann drei weitere Konzepte präsentiert, so dass der Anwender unter insgesamt fünf Varianten wählen konnte. Ein herstellerübergreifendes einheitliches Verfahren, wie dies von vielen Anwendern gefordert wird, ist damit nicht mehr realisierbar.

### Was bedeutet echtzeitfähig?

In der Automatisierungstechnik wird unter „echtzeitfähig“ die Fähigkeit verstanden, in einer vorhersagbaren, d.h. deterministi-

sehen Zeitspanne auf ein externes Ereignis reagieren zu können. In der Kommunikationstechnik wird dieser Begriff auf die Zeitdauer einer Datenübertragung bezogen. Mit dem Begriff Echtzeit-Kommunikation wird jedoch nicht nur eine vorhersagbare Zeitdauer (Latenz) der Übertragung gefordert, sondern auch die Einhaltung von Obergrenzen für deren zulässige Schwankung, die als Jitter (von engl. zittern) bezeichnet wird.

Die vielfältigen Anwendungen der Automatisierung stellen ganz unterschiedliche Anforderungen an die Echtzeit-Fähigkeit der verwendeten Kommunikationssysteme. In vielen Fällen wird eine zyklische Datenübertragung mit Zykluszeiten von 1 ms bis 10 ms verwendet. Es gibt jedoch insbesondere in der Antriebstechnik Anwendungen, bei denen Zykluszeiten unter 100 µs und ein Jitter im Bereich von 1 µs gefordert werden. Diese sind häufig bei Anlagen anzutreffen, die einen Synchronlauf von Walzen mit Hilfe von Kommunikationssystemen realisieren. Die Forderung nach Synchronität

Klasse	Beschreibung (gekürzt)	Zeitsynchronität (max. Jitter)
1	heute verfügbar	> 1 ms
2	optimierte Produkte	100 µs bis 3 ms
3	neuer Funktionsumfang	10 µs bis 400 µs
4	zusätzliche Funktionen	0,5 µs bis 15 µs

Tabelle 1. Die vier Echtzeit-Klassen der IAONA. (Quelle: Sikora)

wird auch als isochrones (von griech. gleichzeitig) Verhalten bezeichnet.

Die IAONA (Industrial Automation Open Networking Alliance) ist ein „Vererein zur Förderung von Ethernet in der Automatisierungstechnik“. Ihre Arbeitsgruppe „Hard Real Time“ hat aus der Sicht der Entwickler vier Echtzeit-Klassen definiert, die sich in den Anforderungen an die Synchronität unterscheiden (Tabelle 1). Mit dem konventionellen Ethernet lassen sich Anlagen, die in die Echtzeit-Klassen 3 und 4 fallen, nicht realisieren. Hier sind die in diesem Beitrag beschriebenen neuen Echtzeit-Varianten erforderlich.

### Ist das Standard-Ethernet echtzeitfähig?

Es ist bekannt, dass die ersten Ethernet-Versionen, bei denen der Zugriff

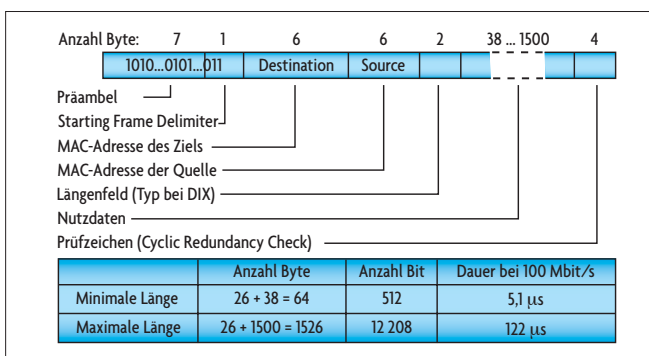
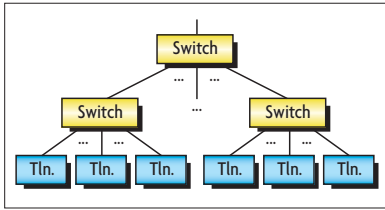


Bild 1. Ethernet: Rahmenaufbau nach IEEE 802.3. Viele Details des damaligen Standards sind inzwischen durch neuere Spezifikationen ersetzt worden, doch das Format der Ethernet-Datenpakete ist nahezu unverändert geblieben.



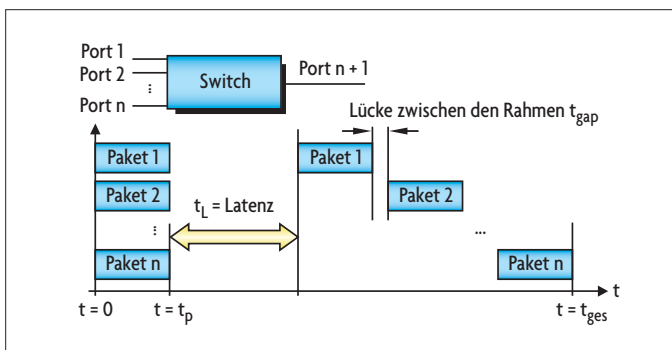
**Bild 2. Switchbasiertes, kollisionsfreies Ethernet. Gleichzeitig von den Teilnehmern eingehende Datenpakete werden von den Switches zwischengespeichert und mit Verzögerungszeiten, für die Obergrenzen angegeben werden können, weitergeleitet.**

auf das von mehreren Teilnehmern gemeinsam benutzte Kabel (shared medium) mittels CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) erfolgte, durch die dabei möglichen Kollisionen nicht echtzeitfähig waren. Bei den heutigen sternförmigen Verkabelungsstrukturen mit „Twisted Pair“-Leitungen oder Lichtwellenleitern können ebenfalls Kollisionen auftreten, sofern als Koppellemente Hubs (Sternkoppler) verwendet werden. Bei diesen Systemen ist das Zeitverhalten ebenfalls nicht berechenbar.

Grundsätzlich anders verhält sich jedoch ein System, bei dem alle Teilnehmer unmittelbar an die Ein-/Ausgänge (Ports) von Switches angeschlossen

wird an mathematischen Modellen für die Berechnung des Zeitverhaltens von Automatisierungssystemen auf Grundlage von Switches gearbeitet [3].

Bild 3 zeigt, wie ein Switch gleichzeitig eintreffende Datenpakete mit einer vom Produkt abhängigen Verzögerungszeit (Latenz) an einen einzigen Ausgang weiterleitet. Die Verzögerung eines bestimmten Datenpakets hängt von den Längen der übrigen Datenpakete ab, die ebenfalls diesen Ausgang als Ziel haben. Mehrere Datenpakete mit der maximal zulässigen Länge von 1526 byte – bei einer Übertragungsrate von 100 Mbit/s entspricht dies einer Dauer von 122 µs – können schnell zu längeren Warteschlangen in einem Ausgangspuffer führen. Dieses als Queuing (von engl. queue: Warteschlange) bezeichnete Phänomen kann durch Zuordnung von Prioritäten zu den Datenpaketen abgeschwächt werden. Beim gleichzeitigen Eintreffen mehrerer Datenpakete mit hoher Priorität, die für den selben Ausgang bestimmt sind, bleiben jedoch Wartezeiten unvermeidbar. Wird ein berechenbares, abgegrenztes Ethernet an ein Firmennetz mit unbekanntem



**Bild 3. Zeitverhalten eines Switches im „Worst Case“-Fall: Zum Zeitpunkt  $t = 0$  stehen  $n$  Nachrichten an  $n$  Ports an. Die Übertragungsdauer der gesamten  $n$  Nachrichten ist  $t_{ges} = t_p + t_L + n \cdot t_p + (n - 1) \cdot t_{gap}$ .**

sen werden (Bild 2); damit ist ein kollisionsfreies Ethernet realisiert. In einem abgegrenzten System mit vorher-sagbarem Datenverkehr, in dem z.B. nur E/A-Signale mit definierten Zykluszeiten an Steuerungen weitergeleitet werden, lässt sich das Zeitverhalten berechnen (s. Kasten). Der Rechenweg ist in Fachbeiträgen der Firmen Hirschmann [1] und Rockwell [2] detailliert beschrieben. Auch in der Forschung

Datenverkehr angekoppelt, sind die infolge des „Queuing“ auftretenden Wartezeiten natürlich nicht mehr berechenbar. Soll auch in diesem Fall Echtzeit-Verhalten erreicht werden, kann eines der nachfolgend beschriebenen Verfahren verwendet werden; diese

### Zeitverhalten eines Switches

Ein Zahlenbeispiel (nach Angaben der Fa. Hirschmann):

Es stehen  $n = 10$  Nachrichten an 10 Ports an. Die Paketlänge beträgt 520 byte, die Datenübertragungsrate 100 Mbit/s, woraus  $t_p = 41,6 \mu\text{s}$  folgt. Ferner gelte  $t_L$  (Latenz) =  $10 \mu\text{s}$  (produktabhängig) und  $t_{gap}$  (Lücke zwischen den Rahmen) =  $0,96 \mu\text{s}$ . Daraus ergibt sich für die Übertragungsdauer der gesamten  $n$  Nachrichten (s.a. Bild 3):

$$t_{ges} = t_L + (n + 1) \cdot t_p + (n - 1) \cdot t_{gap}$$

$$t_{ges} = (10 + 11 \cdot 41,6 + 9 \cdot 0,96) \mu\text{s} = 476 \mu\text{s}$$

weichen allerdings vom derzeitigen Ethernet-Standard ab.

### Neue Echtzeit-Varianten

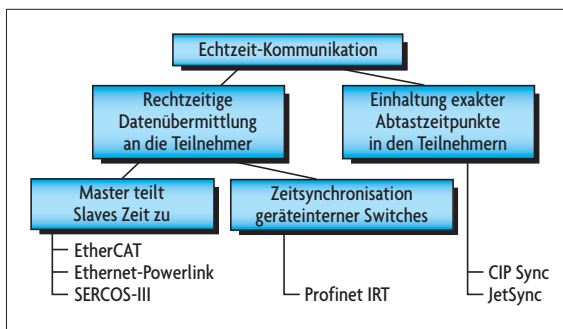
Tabelle 2 zeigt – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – eine Übersicht neuer Echtzeit-Varianten für die Anwendung des Ethernet in der Automatisierung. Fünf der elf Varianten werden von Nut-

Nr.	Name	Organisation	Hersteller
1	Ethernet/IP mit CIP Sync	ODVA	Rockwell Automation
2	Ethernet Powerlink	EPSCG	B&R
3	Profinet	PNO	Siemens
4	EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)	ETG	Beckhoff
5	JetSync	-	Jetter
6	SERCOS-III	IGS	-
7	PowerDNA (Distributed Network Automation and Control)	-	United Electronic Systems (UEI)
8	SynqNet	-	Motion Engineering Inc. (MEI)
9	SynUTC	-	Oregano Systems
10	Switch mit Zeit-Server	-	Ontime Networks
11	RTnet (open source)	-	Real-Time Systems Group der Universität Hannover

**Tabelle 2. Die Auflistung der Echtzeit-Ethernet-Varianten für die Automatisierung ist nicht vollzählig; in diesem zweiteiligen Beitrag werden die ersten sechs Varianten beschrieben.**

zerorganisationen unterstützt, die auch Einfluss auf die Weiterentwicklung ausüben. Zwei davon (EPSCG und ETG) wurden erst in den letzten Jahren speziell für Echtzeit-Ethernet gegründet.

ist nicht neu. Prof. Türke von der FH Lippe hat die Anwendung dieses Prinzips für die synchronisierte Steuerung von Antrieben, die mittels Ethernet verbunden sind, schon im Januar 2001



**Bild 4. Prinzipien der Echtzeit-Kommunikation. Bei den Verfahren im linken Zweig wird sichergestellt, dass die Daten „rechtzeitig“ beim Empfänger ankommen. Die Zeitstempel-Verfahren im rechten Zweig garantieren die Einhaltung des Ausführungszeitpunktes in den Teilnehmern.**

In diesem Beitrag werden die ersten sechs Varianten der Tabelle in alphabetischer Reihenfolge vorgestellt.

Die prinzipiellen Ideen, auf denen diese Lösungen für das Echtzeit-Problem beruhen, zeigt Bild 4. Grundsätzlich müssen in einem System vernetzter Teilnehmer, das synchrones Echtzeit-Verhalten aufweisen soll, die Datenpakete nicht unbedingt synchron eintreffen. Vielmehr können synchron laufende Uhren in den Teilnehmern dafür sorgen, dass die Erfassung oder Ausgabe der Daten in den Teilnehmern zu exakt vorgegebenen Abtastzeitpunkten erfolgt. Die Daten werden zu diesem Zweck mit so genannten Zeitstempeln versehen, die den geplanten Erfassungs- oder Ausgabezeitpunkt beschreiben. Dieses Verfahren

veröffentlicht [4]. Ende des Jahres 2002 wurde der IEEE-Standard 1588 veröffentlicht, der ebenfalls auf diesem Prinzip beruht [5]. Nach dem Prinzip der Synchronisierung mittels Zeitstempeln arbeiten die Verfahren „CIP Sync“ und „JetSync“.

Das übliche Prinzip der Echtzeit-Kommunikation ist im linken Zweig von Bild 4 dargestellt: Es muss garantiert werden, dass die Daten rechtzeitig beim Empfänger ankommen. Bei den Feldbussen wird diese Aufgabe häufig von einem ausgewählten Teilnehmer, dem „Master“, ausgeführt. Der Master steuert das Zeitverhalten für den gesamten Bus. Dieses Prinzip haben drei der hier vorgestellten Systeme auf das Ethernet übertragen. Lediglich bei Profinet mit IRT (Isochrone Real Time) ist auf den ersten Blick kein Master vorhanden. Hier synchronisieren sich Switches, die in allen Teilnehmern vorhanden sind. Bei genauerer Betrachtung des Verfahrens gibt es jedoch auch hier einen aus-

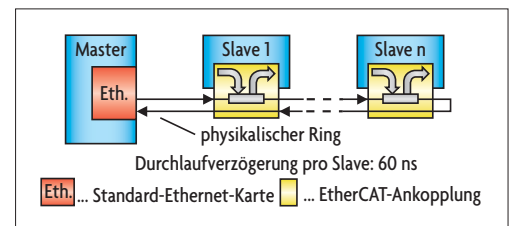
gewählten Teilnehmer, der die Durchlaufzeiten aller angeschlossenen Switches kennt.

### ► Echtzeit mit EtherCAT

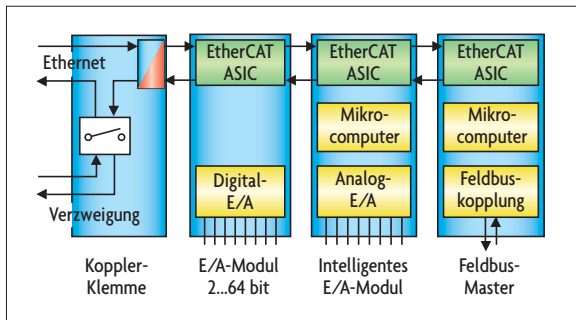
Das Echtzeit-System EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) wurde von dem deutschen Steuerungshersteller Beckhoff Industrie Elektronik auf der HMI 2003 vorgestellt. Das Protokoll soll im Mai 2004 veröffentlicht werden, der Start der Serienproduktion ist für Ende dieses Jahres geplant. Das System wird von der im Jahr 2003 gegründeten Nutzergruppe ETG (EtherCAT Technology Group) unterstützt.

Der Grundgedanke von EtherCAT ist folgender: Ein Master, der eine Standard-Ethernet-Karte enthält, sendet ein Ethernet-Telegramm aus, das durch alle angeschlossenen Slaves geführt wird (Bild 5). Die Slaves entnehmen diesem Telegramm die benötigten Empfangsdaten bzw. schreiben ihre Sendedaten hinein, während es den Slave mit der hohen Ethernet-Übertragungsrate durchläuft. Dieser Vorgang dauert nur etwa 60 ns. Er wird von einem speziellen Hardware-Baustein realisiert, den Beckhoff FMMU (Fieldbus Memory Management Unit) nennt. Dieser ist in jeden Slave eingebaut, auch in ein 2-bit-E/A-Modul.

Bild 5 zeigt, dass EtherCAT die getrennten Sende- und Empfangsleitungen der heutigen Ethernet-Systeme zum Aufbau eines physikalischen Ringes nutzt. In Bild 6 ist der Aufbau von verschiedenen Slaves dargestellt. Das Ethernet-Signal wird von einer Koppeler-Klemme in ein so genanntes „E-Bus“-Signal gewandelt. Diese nach einem IEEE-Standard gewählte Signalform [6] ermöglicht eine kostengüns-



**Bild 5. Prinzip des EtherCAT-Verfahrens. Die Datenpakete laufen in einem geschlossenen Ring um, die Bearbeitung findet beim Durchlauf durch den Slave statt. Die Durchlaufverzögerung pro Slave beträgt lediglich 60 ns.**



**Bild 6. EtherCAT bietet dem Anwender für den Aufbau eines Automatisierungssystems mehrere Varianten: Koppler-Klemmen für die Verzweigung, digitale und analoge E/A-Module sowie Feldbus-Ankopplungen.**

tige Übertragung auf Strecken bis zu 10 m Entfernung, z.B. zwischen zwei E/A-Modulen. Das Datenpaket bleibt hierbei ein Ethernet-Paket, es kann jederzeit wieder zur standardisierten Übertragung auf „Twisted Pair“-Leitungen oder Lichtwellenleitern zurückgewandelt werden.

Zykluszeiten	
256 digitale E/A	11 µs
1000 digitale E/A	30 µs
200 analoge E/A (16 bit)	50 µs
100 Servo-Achsen	100 µs
Verzögerungszeiten	
je Teilnehmer	60 ns
je Umsetzer Ethernet auf E-Bus	1 µs

**Tabelle 3. Die Leistungsdaten von EtherCAT zeigen, dass auch große Anlagen mit dem System in Echtzeit gesteuert werden können.**

Die Koppler-Klemme ermöglicht außerdem den Aufbau von Verzweigungen. Das zum Master zurücklaufende Signal kann bei entsprechender Stellung des symbolisch gezeichneten Schalters (Bild 6) vor seinem Verlassen der Koppler-Klemme noch in einen weiteren Teil des Ringes „umgeleitet“ werden. Damit wird die in Bild 7 dargestellte Baumstruktur ermöglicht.

Die Verarbeitung der Telegramme im Slave erfolgt in dem bereits oben er-

wähnten Hardware-Baustein (ASIC). Jeder Slave verfügt über einen bis zu 64 Kbyte großen Speicherbereich. Das ASIC sorgt im Wesentlichen dafür, dass diese Speicherbereiche Teil eines 4 Gbyte großen logischen Prozessabilds werden, das im Master für die Anwendungspro-

gramme (zum Beispiel Soft-SPS oder NC) zur Verfügung steht. Der Transfer erfolgt in Ethernet-Telegrammen mit einer Nutzdatenlänge von maximal 1486 byte. Darin lassen sich die aktuellen Werte von 11 888 digitalen Ein- und Ausgängen austauschen, hierfür werden lediglich 300 µs benötigt. Der letzte Teilnehmer in einer Stichleitung erkennt automatisch das Fehlen eines Nachfolgers und schließt an seinen Ausgangsklemmen den Ring.

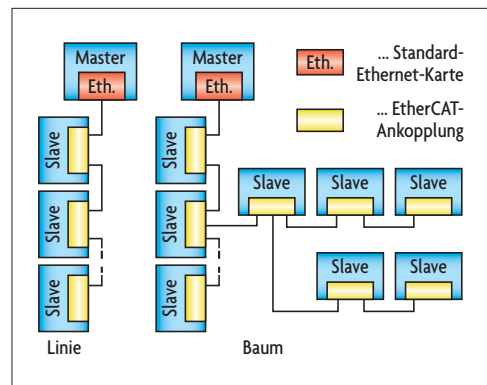
Die Sternstruktur des Standard-Ethernet wird bei EtherCAT durch die zusätzlichen Topologien „Linie“ und „Baum“ ergänzt. Wie Bild 7 zeigt, können Verzweigungen kaskadiert werden, so dass Baumstrukturen mit einer großen Anzahl von Zweigen realisiert werden können. An modularen Maschinen lassen sich damit praxisgerechte Lösungen mit vielen Stichleitungen aufbauen, die von einem Hauptstrang abzweigen. Die Zahl der Verzweigungen und die Zahl der in Reihe geschalteten Teilnehmer sind bei EtherCAT nicht begrenzt. Die maximale 65 535 Teilnehmer bilden – im Detail betrachtet – den in Bild 5 gezeigten physikalischen Ring, unabhängig davon, welcher Topologie dieser aus Sicht der Verkabelung entspricht. Zusätzliche Switches sind nicht erforderlich, sie können jedoch in diese Struktur eingefügt werden.

In Tabelle 3 sind die von Beckhoff genannten Angaben zur Leistungsfähigkeit zusammengestellt. Die Zykluszeiten liegen, wie bei den meisten Ethernet-Varianten, in einer wesentlich klei-

neren Größenordnung als bei den Feldbussen. Sowohl die Echtzeit-Kenndaten als auch die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten der Topologie unterscheiden EtherCAT dabei von den anderen Systemen.

### ► Ethernet/IP mit und ohne CIP Sync

Ethernet/IP – IP steht hier für Industrial Protocol – ist eine Protokollerweiterung in der Schicht 7, die voraussetzt, dass oberhalb der Ethernet-Schichten 1/2 in den Schichten 3 und 4 die weit verbreiteten Protokolle IP (Internet Protocol) und TCP/UDP vorhanden sind (Bild 8). Die Spezifikation wurde erstmals 1998 von ControlNet International veröffentlicht und wird seit 2000 auch von der ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) unterstützt. Diese Protokollerweiterung trägt den Namen CIP; heute bedeutet dies Common Industrial Protocol. CIP ist ein Applikationsprotokoll, das speziell für die Automatisierung entwickelt wurde. Es wird nicht nur in Zusammenhang mit Ethernet verwendet,



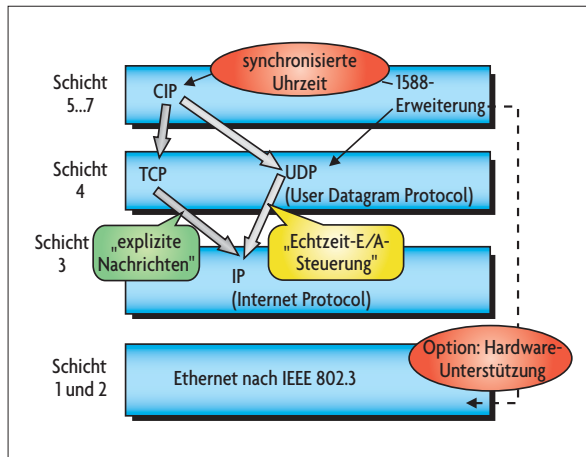
**Bild 7. Linien- und Baum-Topologien des EtherCAT. Das EtherCAT-Ankopplungsmodul (Koppler-Klemme) ermöglicht Abzweigungen und damit die Realisierung beliebig verzweigter Strukturen.**

auch für die Feldbusse DeviceNet und ControlNet dient es als Anwendungsschicht.

CIP arbeitet nach dem Producer/Consumer-Modell: Automatisierungsgeräte melden ihren Bedarf für den Empfang bestimmter Daten als „Consumer“ an und stellen andererseits den Netzteilnehmern eigene Daten als „Producer“ zur Verfügung. Jedes Gerät kann sowohl Producer als auch Consumer sein. Der Vorteil dieser Lösung be-

steht darin, dass zentrale Zwischenspeicher vermieden werden und ein einfaches Senden von Daten an verschiedene Teilnehmer (multicast) möglich ist. Für den Echtzeit-Datenverkehr bietet CIP sog. „implizite Nachrichten“ an, deren Transport nicht über TCP mit seiner nicht vorhersagbaren Anzahl von Wiederholungen abgewickelt wird, sondern über das Protokoll UDP, das ein berechenbares Zeitverhalten aufweist (Bild 8). Wird das Ethernet/IP mit einem kollisionsfreien Ethernet nach Bild 2 eingesetzt, so ist Echtzeit-Verhalten innerhalb bestimmter Grenzen erreichbar, dessen Kennwerte u.a. von den eingesetzten Switches abhängen. In der bereits genannten Applikationsbroschüre [2] ist der Rechenweg zur Ermittlung der Echtzeit-Kennwerte (Reaktionszeiten, Anzahl gleichzeitig realisierbarer Kommunikationsverbindungen usw.) angegeben.

Die ODVA hat auf der HMI 2003 bekanntgegeben, dass die Echtzeitfähigkeit von Ethernet/IP mit einer



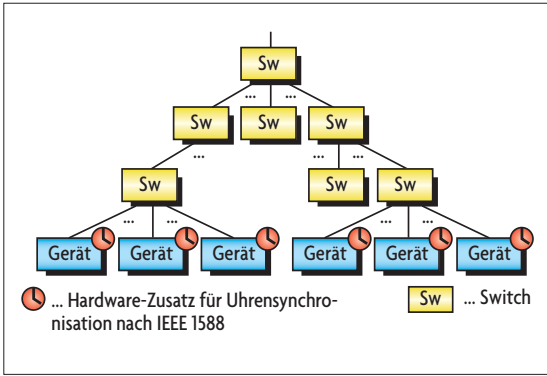
**Bild 8. Die Variante Ethernet/IP mit CIP Sync nutzt den TCP-Pfad für die Übermittlung nicht-zeitkritischer Nachrichten und UDP für „Echtzeit-Daten“ (CIP: Common Industrial Protocol; TCP: Transmission Control Protocol; UDP: User Datagram Protocol).**

Echtzeit-Erweiterung namens „CIP Sync“ verbessert werden soll. Die Erweiterung soll auf dem Standard IEEE 1588 basieren und eine Priorisierung der Ethernet-Datenpakete nach dem Standard IEEE 802.1p beinhalten.

oder verarbeitet werden sollen, werden mit einem „Zeitstempel“ versehen. Für eine zeitsynchrone Verarbeitung von Daten in mehreren Teilnehmern ist es dann nicht mehr erforderlich, dass diese genau gleichzeitig bei den

Der Standard IEEE 1588, auch Precision Time Protocol (PTP) genannt [7], sieht vor, dass die Netzteilnehmer über Uhren verfügen, die sich untereinander über Synchronisationstelegramme synchronisieren, so dass alle Teilnehmer die in der Einheit „ns“ dargestellte Uhrzeit kennen. Daten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt erfasst





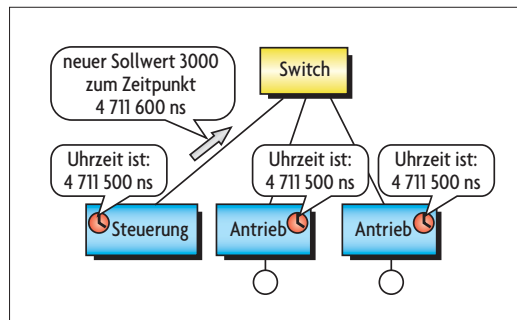
**Bild 9. Ethernet/IP mit CIP Sync. Die Echtzeit-Teilnehmer müssen mit einem 1588-Synchronisationsbaustein ausgerüstet werden.**

Teilnehmern eintreffen. Es genügt vielmehr, dass sie rechtzeitig vor dem mitgesendeten Verarbeitungszeitpunkt bei den Teilnehmern vorliegen. Die Teilnehmer sorgen dann selbstständig unter Verwendung ihrer eingebauten Uhr dafür, dass die Verarbeitung exakt zu dem gewünschten Zeitpunkt erfolgt.

Der Standard IEEE 802.1p wurde ursprünglich für das Einsatzgebiet Multimedia entwickelt. Der Grundgedanke war, Datenpakete, die Audio- oder Video-Informationen enthalten, mit einer höheren Priorität zu kennzeichnen als die übrigen im Ethernet transportierten Daten. Hiermit sollte ein für diese Zwecke ausreichendes „Echtzeit-Verhalten“ erreicht werden. Dazu wurden die Definition des Ethernet-Datenpakets (vgl. Bild 1) erweitert und zwischen der Quelladresse und dem Längen/Typfeld zusätzliche Informationen eingefügt, u.a. eine 3-bit-Kennung für die Priorität des Datenpakets [5]. Damit lassen sich acht Prioritätsstufen unterscheiden, und ein Switch kann so Da-

tenpakete mit hoher Prioritätsstufe bevorzugt weiterleiten.

Die Echtzeit-Erweiterung CIP Sync wird aus speziellen Hardware-Bausteinen bestehen, in denen die Uhren nach IEEE 1588 realisiert werden. Nach Angaben der Firma Rockwell soll dieser Baustein nur Kosten von weniger als 2 Euro verursachen. Die Echtzeit-Teilnehmer werden mit diesen Bausteinen ausgerüstet (Bild 9). Mit Synchronisationsnachrichten, die etwa einmal pro Sekunde übertragen werden, sollen Genauigkeiten in der Zeitsynchronisation von besser als 0,5 µs erreicht werden. Bild 10 zeigt ein Anwendungsbeispiel, in dem eine Steuerung neue Sollwerte, die mit einem Zeitstempel versehen sind, über einen Switch an Antriebe schickt. Der Switch erkennt die hohe Priorität des Datenpakets und gibt es daher vor anderen, gleichzeitig eintreffenden Daten an die Antriebe aus.



**Bild 10. CIP Sync; Beispiel einer Zeitsynchronisation. Die Ausführung der Drehzahländerung in den Antrieben erfolgt zu dem Zeitpunkt, der zusammen mit dem neuen Wert als „Zeitstempel“ übertragen wird.**

Rockwell hat folgende Angaben veröffentlicht: Die Steuerdaten für 30 Achsen werden eine Übertragungszeit von 300 bis 330 µs benötigen, für 100 Achsen werden es 950 bis 1000 µs sein. Nach dem Zeitplan der ODVA aus dem Jahr 2003 sollen erste Produkte mit CIP Sync im März 2005 vorhanden sein.

**Literatur**

- [1] Real Time Services (QoS) In Ethernet Based Industrial Automation Networks. White Paper der Firma Hirschmann.
- [2] Ethernet/IP Performance and Application. Allen Bradley, [www.ab.com/manuals/cn/enet-ap001c-en-p.pdf](http://www.ab.com/manuals/cn/enet-ap001c-en-p.pdf)
- [3] Jasperneite, J.: Leistungsbewertung eines lokalen Netzwerkes mit Class-of-Service-Unterstützung für die prozessnahe Echtzeit-Kommunikation. Dissertation. Shaker-Verlag, 2002.
- [4] Türke, K.; Windmeier, G.: Jedem Knoten seine Uhr. *Computer & Automation* 2001, H. 1, S. 48ff.
- [5] Sikora, A.: Echtzeit übers Ethernet – Synchronisation mit dem IEEE-1588-Standard. *Elektronik* 2003, H. 9, S. 41ff.
- [6] Janssen, D.; Büttner, H.: EtherCAT – Der Ethernet-Feldbus. *Elektronik* 2003, H. 23, S. 67ff.
- [7] Gramann, T.; Mohl, D.S.: Precision Time Protocol IEEE 1588 in der Praxis – Zeitsynchronisation im Submikrosekundenbereich. *Elektronik* 2003, H. 24, S. 86ff.



**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwager**

studierte Elektrotechnik an der Universität Stuttgart. Nach der Promotion am Institut für Steuerungstechnik (ISW) dieser Hochschule leitete er die Entwicklungsabteilung des Bereichs Fahrerlose Transportsysteme der Firma Wagner Förderungstechnik in Reutlingen. Seit 1989 ist er Professor an der Hochschule Reutlingen im Fachgebiet Automation. Schwerpunkte: Prozessnahe Kommunikation (Feldbusse und Real-Time-Ethernet) und Navigationssysteme fahrerloser Fahrzeuge.  
 ► E-Mail: [juergen.schwager@fh-reutlingen.de](mailto:juergen.schwager@fh-reutlingen.de)