

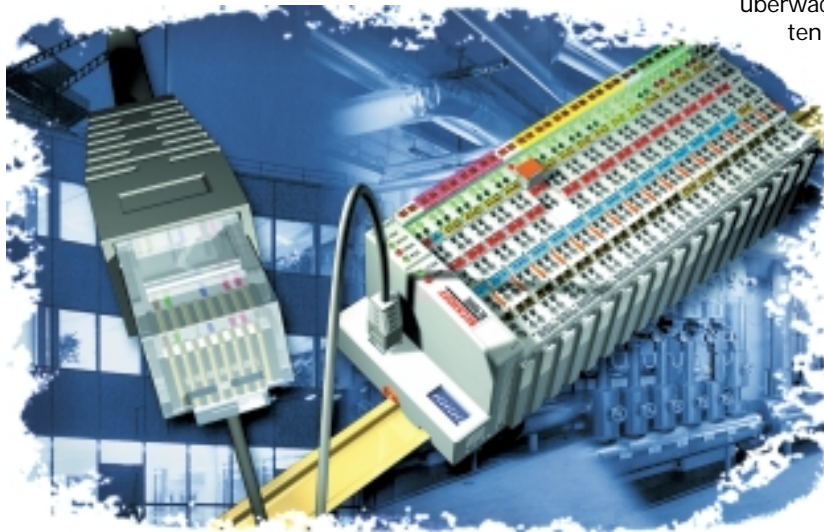
# Gewusst wie

**D**ie Klärung der Frage, ob sich Ethernet trotz des Fehlens von Echtzeitverhalten und Determinismus für die Automatisierung eignet, erfordert eine Betrachtung des ISO-OSI-Kommunikationsmodells mit der für Ethernet, TCP und IP interessanten Schichten. Schicht 1 beschreibt die Aufbereitung und Übertragung von Bit-Informationen über ein Datenmedium. Die Sicherungsschicht (ISO-OSI-Schicht 2) transportiert Datenrahmen in Form von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen von einem Ende eines Übertragungsmediums zum anderen.

## CSMA/CD – Hindernis für Echtzeit

Hierzu gehört die Zugriffssteuerung auf das Medium, das Erstellen von Systemverbindungen und Datenrahmen, die Absicherung von Datenpaketen mit Prüfsummen sowie die Bereitstellung von Diensten für das Versenden und Empfangen von Datenpaketen. Die Sicherungsschicht wird in zwei Teilschichten aufgeteilt. Das MAC-Layer sorgt für den Zugriff auf das physikalische Medium und die LLC-Teilschicht dient als Schnittstelle für die Vermittlungsschicht. Als Ethernet wird die MAC-Teilschicht nach IEEE 802.3 bezeichnet. Der Zugriff auf die Hardware erfolgt nach dem CSMA/CD-Verfahren. Das bedeutet, in einem Multi-Master-Netzwerk erfolgt keine Zugriffsregelung. Alle Master können, wenn kein Signal im Netz detektiert wird, gleichzeitig auf das Netz zugreifen. Im schlimmsten Fall erfolgt eine Kollision der Datenpakete, die durch die jeweiligen Stationen selbst erkannt wird. Sie unterbrechen darauf-

**Ethernet-Netzwerke mit dem TCP/IP-Protokoll werden heute als universelle Systemlösung im Automatisierungsumfeld gehandelt. Die Vorteile sind offensichtlich: optimale Integration mit der Office-Welt, preiswerte Komponenten, eine hohe Datenrate sowie die perfekte Einbettung in das allgegenwärtige Internet. Aber – Echtzeit und Determinismus sind immer noch ungeklärte Fragen. Ist Ethernet deshalb für Automatisierungsanwendungen eine Mogelpackung?**



hin das Senden, warten eine zufällige Zeit und starten dann einen neuen Sendeversuch. Die LLC-Schicht ist ebenfalls genormt (IEEE 802.2) und bietet der Vermittlungsschicht definierte Dienste in Form von unzuverlässigen Datagrammdiensten, bestätigten Datagrammdiensten und zuverlässigen verbindungsorientierten Datagrammdiensten. Diese Dienste (Iso-OSI-Schicht 3) ermöglichen die transparente Vermitt-

lung von Kommunikationsteilnehmern in einem ausgedehnten Netz. Der Schwerpunkt liegt auf dem Routing der Datenpakete, also der Wegfindung. Prinzipiell ist die Vermittlung zwischen unterschiedlichen Netzstrukturen und -protokollen möglich. Generell verbirgt die Vermittlungsschicht die Komplexität eines Netzes vor der Transportschicht durch einen transparenten Aufbau von Kommunikation zwischen zwei Partnern. Zu unterscheiden ist hier zwischen verbindungslosen und verbindungsorientierten Diensten. Bei verbindungsorientierten Diensten wird ein fester Datenkanal zwischen den Kommunikationsteilnehmern für die Dauer der Kommunikation aufgebaut. Demgegenüber gehen verbindungslose Dienste (IP-Internet-Protokoll) davon aus, dass Teilnetze nur Bit-Ströme beliebigen Inhalts transportieren und diese Teilnetze zudem noch unzuverlässig sind. Die Hosts übernehmen selber die Fehlerüberwachung, den expliziten Verbindungsaufbau nimmt die darüber liegende Transportschicht vor. Die Transportschicht (ISO-OSI Schicht 4) stellt den Kern der Transporthierarchie da. Ihre Dienstleistungen stellen eine bestimmte Qualität für die Übertragung sicher. Man spricht hierbei von sogenannten QoS (Quality of Service). Dienstgütern werden sowohl für den Verbindungsaufbau, die Übertragungsrate als auch für die Übertragungsverzögerung definiert. Transport- und die Vermittlungsschicht weisen eine große Ähnlichkeit auf, aber es wird vorausgesetzt, dass die Vermittlungsschicht immer

*Prof. Dr. Jörg F. Wollert unterrichtet an der FH-Bochum University of Applied Sciences – auf dem Lehrgebiet Softwaretechnik und Rechnernetze*

QoS Parameter	Max. Verz. [s]	Max. Jitter [ms]	Mittlere Datenrate [Mb/s]	Mittlere Bitfehler-rate	Mittlere Paket-fehler-rate
Sprache	0,25	10	0,064	$< 10^{-1}$	$< 10^{-1}$
Video TV-Qualität	0,25	10	100	$10^{-2}$	$10^{-2}$
Komprimiert. Video	0,25	1	2 - 10	$10^{-3}$	$10^{-2}$
Daten Filetransf.	1	-	2 - 100	0	0
Echtzeit Daten	0,001-1	-	$< 10$	0	0
Festbild	1	-	2 - 10	$10^{-1}$	$10^{-2}$

Für unterschiedliche Dienste können unterschiedliche Dienstqualitäten definiert werden. Die Fragestellung der Echtzeitdaten muss hierbei aus der Sicht der Automatisierungstechnik kritisch betrachtet werden

unzuverlässig ist. Diese unsicheren Vermittlungsdienste benutzt dann die Transportschicht, wobei sie so etwas wie eine Benutzerschnittstelle darstellt. Die Protokolle der Transportschicht ähneln jener der Sicherungsschicht, allerdings baut die Sicherungsschicht physikalische Punkt-zu-Punkt-Verbindungen auf, die Transportschicht berücksichtigt dagegen ein komplexes Netz mit potenzieller Speicherkapazität.

**Echtzeit durch Switches und entsprechende Netztopologie**

Beim TCP/IP-Modell findet man in der Transportschicht das TCP- und das UDP-Protokoll. In der Transportschicht findet man ein TCP/IP-Netzwerkmodell – das TCP- und das UDP-Protokoll. TCP ist ein verbindungsorientiertes Transportprotokoll, welches eine zuverlässige Verbindung für einen Bytestrom aufbaut. (Was aber auch bedeutet, dass ein

Paket solange gesendet wird, bis es wirklich ankommt! – von Echtzeit keine Spur). Mit UDP steht ein verbindungsloses Transportprotokoll zur Verfügung.

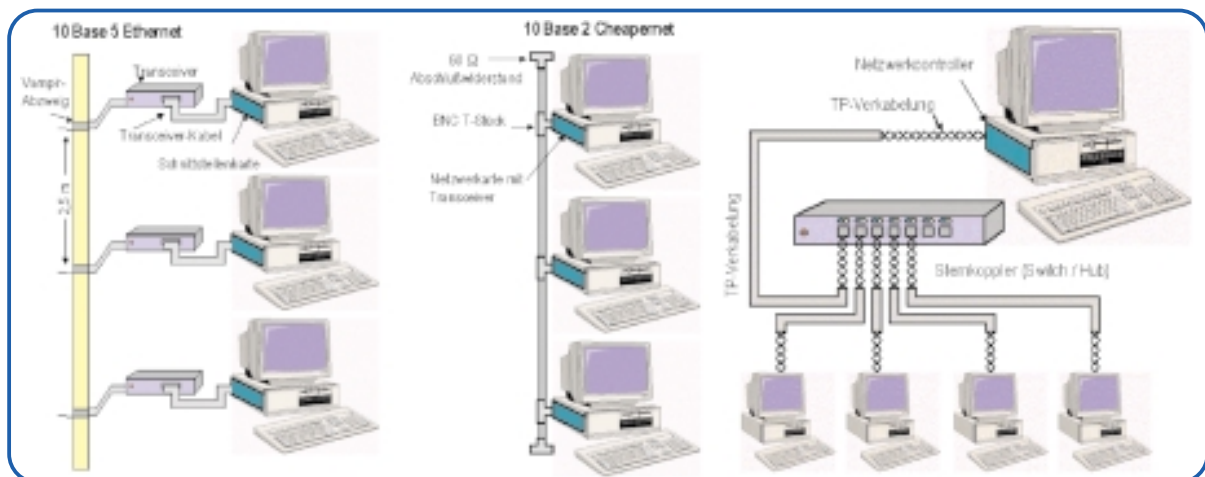
Bei den höheren Protokollschichten (ISO/OSI 5, 6 und 7) werden verschiedene Modelle verwendet. Im Allgemeinen kommt man damit aus, von einer Verarbeitungsschicht zu sprechen, da in technischen Systemen ohnehin nur eine Anwendungsschicht implementiert ist. Diese bietet Dienstleistungsprimitiven zur transparenten Übertragung von Informationen – ohne Rücksicht auf technische oder physikalische Gegebenheiten. Heute betrachtet man in diesem Bereich Internet-Protokolle wie HTTP (Hypertext Transfer Protocol) oder FTP (File Transfer Protocol).

Klassisch hat Ethernet eine Linientopologie, wobei die einzelnen Stationen an unterschiedliche Koaxialkabel angeschlossen werden (10 Base 5 – Yellow Cab und 10 Base 2 – Cheaper-

net). Heute sind mehr und mehr Twisted-Paire-Varianten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (10 Base T, 100 Base T und 1000 Base T) bis hin zu Glasfaser-Realisierungen (Base F) möglich. Mit der BaseT-Technik schwenkte Ethernet von der Linientopologie zur robusteren und fehler-toleranteren Stern-Struktur über. Stand der Technik ist ein geschwichtes Fast-Ethernet nach 100BaseTX.

Die Qualität der Sternkoppler – entweder Hubs oder Switches – nimmt maßgeblich Einfluss auf das Verhalten des Netzwerks hinsichtlich Echtzeitfähigkeit. Beide Sternkoppler dienen der logischen und physikalischen Verbindung von Ethernet-Teilnehmern, verhalten sich jedoch grundsätzlich unterschiedlich. Während ein Hub alle angeschlossenen Teilnehmer zu einer gemeinsamen Kollisionsdomäne verbindet, trennen Switches die Teilnehmer logisch und physikalisch von einem gemeinsamen Netz ab und bauen nur für den Fall einer Kommunikation eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung auf. Das bedeutet, dass für Hubs alle Standardregeln wie bei 10Base2 bzw. 10Base5 gelten.

Switches sind demgegenüber intelligente Verteilstationen für Datenpakete. Neben dem speichernden Verhalten identifiziert ein Switch auch die Kommunikationspartner nach Sender und Empfänger und versucht, diesen ein exklusives Netzsegment, also eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung, zu schalten. Innerhalb dieses isolierten Netzsegmentes können die Stationen im Full-Duplex-Betrieb arbeiten, was den möglichen Datendurchsatz auf 2 x 100 Mbps steigert und für dieses Netzsegment Kollisionsfreiheit garantiert. Switches reduzieren damit dramatisch die Kollisi-



10Base2 und 10Base5 besitzen eine Busstruktur; Base T verschafft Ethernet eine Sternstruktur, wobei Switches oder Hubs als Sternkoppler Verwendung finden

	ASI	CAN	Profibus	Interbus	Ethernet
Nutzdaten	32*4*2 = 256	32*8 = 256	32*8 = 256	32*8 = 256	32*8 = 256
Rahmen- daten	32*21*2 = 768	12*54+20*100= 2648	12*146+20*201 = 5772	16+32+38*5 = 238	64*8*32*2= 32768
Effizienz	256/(768+256) = 25%	256/(2648+256) = 8,8%	256/(5772+256) = 4%	256/(238+256) = 52%	256/(32768+256) = 0,77%
Geschwindig- keit	167 kbit/s	19 kbit/s 1 Mbit/s	31,25 kbit/s 1,5 Mbit/s 12 Mbit/s	500 kbit/s	10 Mbit/s 100 Mbit/s 1000 Mbit/s
Nutzdaten- rate	42 kbit/s	1,67 kbit/s 88 kbit/s	1,25 kbit/s 60 kbit/s 480 kbit/s	260 kbit/s	77 kbit/s 770 kbit/s 7,7 Mbit/s

**Geschwindigkeit, Effizienz und Nutzdatenrate von Bussystemen**

onsdomänen und schaffen isolierte Teilnetze. Rein technologisch gesehen ist es offensichtlich, dass für die Automation eigentlich nur 10BaseT oder 100-BaseT Verkabelungen mit aktiven Switches in Frage kommen. Doch auch hier ist ein deterministisches

Verhalten nur bei echten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen garantiert, nicht jedoch bei mehr als zwei Teilnehmern innerhalb einer Kollisionsdomäne. Die Store and Forward-Technologie sorgt zwar für eine deutliche Verbesserung des Übertragungsverhaltens gegenüber Hubs, nicht jedoch für

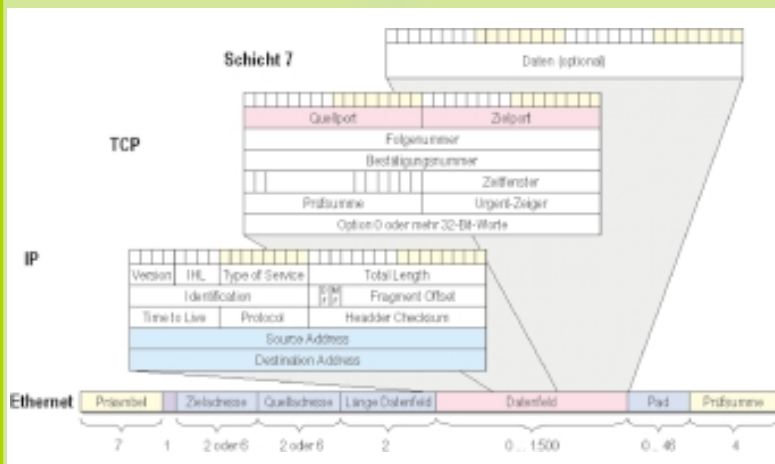
werk Determinismus nur für die am höchsten priorisierte Message garantiert werden. Auch Profibus DP ist nicht deterministisch. Alleine Master-Slave-Systeme wie ASI stellen einen garantierten Zyklus sicher.

**Trotz fehlender Echtzeitgarantie gute Lösung**

Für Automatisierungsnetze mit einer hohen Datenrate und schnellen Antwortzeiten ist Ethernet mit TCP/IP eine gute Lösung, wenn auch keine Echtzeit garantiert werden kann. Ein vernünftiges Antwortverhalten ist durch Switches und clevere Baumstrukturen realisierbar (Reduzierung der Kollisionsbereiche). Zur Zeit zeigt sich jedoch auch eine gewisse Problematik durch hohe Engineering- und Komponentenkosten. Hier sind Vorzüge und Nachteile abzuwägen.

Unschlagbar ist Fast-Ethernet bei der erreichbaren Nettodatenrate, trotz des ungünstigen Nutzdatenverhältnis. Bleibt noch die teilweise offene Frage nach der Schicht 7. HTTP und FTP alleine reichen für Automatisierungsanwendungen nicht aus, wenn sie auch ein unverzichtbarer Bestandteil sind. Ein naheliegender Schritt wird sowohl von der ODVA als auch von manch einem Komponentenhersteller realisiert – die Portierung der klassischen Highlevel-Protokolle auf den TCP/IP-Stack. Beispiele hierfür sind u. a. Modbus/TCP, Ethernet/IP oder Profinet der PNO. Aber es geht auch anders – die IAONA (Industrial Automation Open Networking Alliance) bemüht sich beispielsweise um eine umfassende Spezifikation, oder die IDA-Schnittstelle beschreibt eine objektorientierte Automatisierungs-Middleware. Von einem einheitlichen Standard ist man jedoch noch weit entfernt – leider.

**Schlechte Protokolleffizienz**



Ethernet beschreibt den grundlegenden Protokollrahmen des MAC-Layers; einem Datenpaket mit variabler Paketgröße von mindestens 64 Byte Länge. Die Nutzdatenfeldlänge beträgt 0 bis 1500 Byte. Werden weniger als 48 Bytes Nutzdaten versendet, füllen leere Bytes das sogenannte PAD-Feld bis zur Mindesttelegrammlänge von 64 Bytes auf. Im Datenfeld des Ethernetpaketes findet sich das IP-Paket der Schicht 3 wieder. Der IP-Rahmen hat eine Mindestlänge von 20 Bytes – ohne Nutzdaten. Typischerweise werden in der IP-Schicht Datagramme mit einer Größe von 1.500 Bytes bis 64 k Bytes übermittelt. Damit die Datagramme auch weltweit ihren Weg finden,

müssen die Quell- und Zieladressen eindeutig definiert sein. Hierzu existiert ein einheitliches Nummerierungsschema über IP-Adressen, die das NIC (Network Information Center) verwaltet. Die Nutzdaten innerhalb des IP-Paketes beinhalten die TCP- bzw. UDP-Pakete der Transportschicht. Die minimale Headerlänge beträgt wiederum 20 Bytes für diverse Verwaltungsstrukturen. Hierzu gehören Quell- und Zielfeld zum Ansprechen von Schicht-7-Diensten und die Folgenummer für eine Sequenz von Telegrammen. Prinzipiell kann der TCP-Rahmen auch Prioritäten und Verfallsdaten enthalten. Im schlimmsten Fall werden also für ein Bit Information wirklich 64 Byte Daten versendet.