

# Der Feldbus heißt EtherCAT

Dipl.-Ing. Martin Rostan, Fa. Beckhoff, Nürnberg

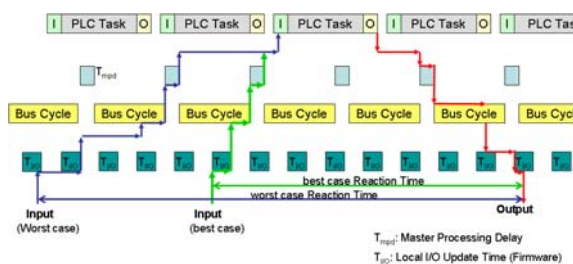
## Kurzfassung

Vorgestellt wird EtherCAT, ein Ethernet-basiertes Feldbussystem. Es wird gezeigt, dass EtherCAT neue Geschwindigkeits-Standards setzt und dabei dank flexibler Topologie und einfacher Konfiguration wie ein Feldbus zu handhaben ist. Da EtherCAT zudem sehr kostengünstig implementiert werden kann, erlaubt das System den Feldbuseinsatz auch in Applikationen, die bislang auf Feldbusvernetzung verzichten mussten.

EtherCAT ist eine offene Technologie, die in der IEC genormt wird. Unterstützt wird sie von der EtherCAT Technology Group, einer internationalen Anwender- und Herstellervereinigung mit über 100 Mitgliedsfirmen.

## 1. Einleitung

Feldbusse sind aus der Automatisierungstechnik nicht mehr wegzudenken. Sie haben sich bewährt und sind etabliert. Erst durch die Feldbus-Technik wurde der Einsatz der PC-basierten Steuerungen auf breiter Front sinnvoll möglich. Während die Steuerungs-CPU's – speziell bei IPC's – rasant an Performance gewinnen, wirken die herkömmlichen Feldbussysteme zunehmend als „Flaschenhals“ und begrenzen die erreichbare Leistungsfähigkeit der Steuerungssysteme. Hinzu kommt die geschichtete Steuerungsarchitektur mit mehreren unterlagerten meist zyklischen Systemen: die eigentliche Steuerungstask, das Feldbussystem und ggf. noch lokale Erweiterungsbusse im I/O System oder einfach nur der lokale Firmwarezyklus im Peripheriegerät. Dadurch werden Reaktionszeiten erreicht, die typisch das 3-5fache der Steuerungs-Zykluszeit erreichen – eine unbefriedigende Lösung (siehe **Bild 1**).



**Bild 1** Reaktionszeit herkömmlicher Feldbussysteme

Oberhalb der Feldbussysteme, zur Vernetzung von Steuerungen, ist Ethernet schon lange Stand der Technik. Neu ist der Einsatz auch auf der Antriebs- oder E/A-Ebene und damit in dem Bereich, der bislang den Feldbussystemen vorbehalten blieb. Hier sind hohe Echtzeitfähigkeit, Eignung auch für kleine Datenmengen und natürlich günstige Kosten gefragt. EtherCAT trägt diesen Forderungen Rechnung und stellt gleichzeitig die Internet Technologien auch auf der E/A Ebene zur Verfügung.

## 1.1 Ethernet und Echtzeitfähigkeit

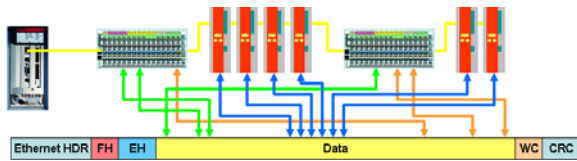
Es gibt viele verschiedene Ansätze, mit denen Ethernet echtzeitfähig gemacht werden soll: so wird z.B. das Zugriffsverfahren CSMA/CD durch überlagerte Protokollschichten außer Kraft gesetzt und durch ein Zeitscheibenverfahren oder durch Polling ersetzt; andere Vorschläge sehen spezielle Switches vor, die Ethernet Pakete zeitlich präzise kontrolliert verteilen. Diese Lösungen mögen Datenpakete mehr oder weniger schnell und exakt zu den angeschlossenen Ethernet Knoten transportieren – die Zeiten, die für die Weiterleitung zu den Ausgängen oder Antriebsreglern und für das Einlesen der Eingangsdaten benötigt werden, sind jedoch stark implementierungsabhängig.

Wenn für jeden Teilnehmer individuelle Ethernet Frames Verwendung finden, so ist zudem die Nutzdatenrate prinzipiell sehr gering: Das kürzeste Ethernet Frame ist 84 Bytes lang (incl. Inter Packet Gap IPG). Wenn z.B. ein Antrieb zyklisch 4 Bytes Istwert und Status sendet und entsprechend 4 Bytes Sollwert und Kontrollwort empfängt, so wird bei 100% Buslast (also unendlich kurzer Antwortzeit des Antriebs) nur eine Nutzdatenrate von  $4/84 = 4,7\%$  erreicht. Bei durchschnittlich  $10 \mu s$  Antwortzeit sinkt die Rate schon auf 1,9%. Diese Limitierungen gelten für alle Echtzeit-Ethernet Ansätze, die an jeden Teilnehmer ein Ethernet Frame senden bzw. erwarten – und zwar unabhängig von den verwendeten Protokollen innerhalb des Ethernet Frames.

## 2. EtherCAT Funktionsprinzip

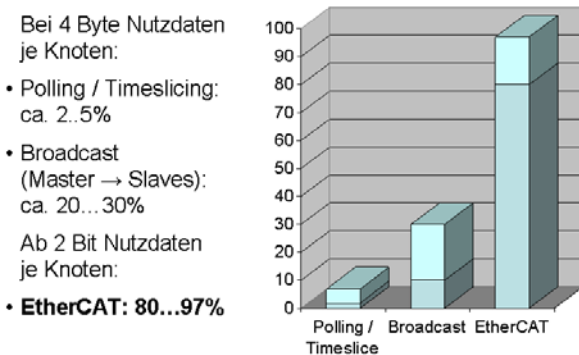
Mit der EtherCAT Technologie werden diese prinzipiellen Begrenzungen anderer Ethernet Lösungen überwunden: das Ethernet Paket wird nicht mehr in jeder Anschaltung zunächst empfangen, dann interpretiert und die Prozessdaten weiterkopiert. Die EtherCAT Slave-Geräte entnehmen die für sie bestimmten Daten, während das Telegramm das Gerät durchläuft. Ebenso werden Eingangsdaten im Durch-

lauf in das Telegramm eingefügt (siehe **Bild 2**). Die Telegramme werden dabei nur wenige Nanosekunden verzögert.



**Bild 2** Prozessdaten werden in Telegramm eingefügt

Da ein Ethernet Frame sowohl in Sende- als auch in Empfangsrichtung die Daten vieler Teilnehmer erreicht, steigt die Nutzdatenrate auf über 90% an. Dabei werden die Voll-Duplex Eigenschaften von 100BaseTx vollständig ausgenutzt, so dass effektive Datenraten von > 100 Mbit/s (>90% von 2 x 100 Mbit/s) erreichbar sind (siehe **Bild 3**).



**Bild 3** Bandbreiten-Nutzung im Vergleich

Das Ethernet Protokoll gemäß IEEE 802.3 bleibt bis in die einzelne Klemme erhalten, der Sub-Bus entfällt. Lediglich die Übertragungsphysik wird im Koppler von Twisted Pair bzw. Lichtleiterphysik auf E-Bus (ein alternativer Ethernet Physical Layer: LVDS nach [4,5]) gewandelt, um den Anforderungen der elektronischen Reihenklemme gerecht zu werden. Die Signalform innerhalb der Klemmenreihe (E-Bus) eignet sich für kurze Strecken – bis 10 m – auch zur Übertragung auf verdrehter Zweidrahtleitung. Damit kann die Klemmenreihe besonders kostengünstig verlängert werden – wobei der anschließende Wechsel auf Ethernet jederzeit möglich ist.

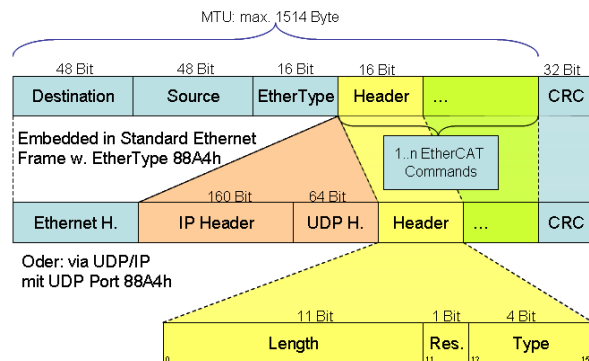
### 3. EtherCAT Eigenschaften

#### 3.1 Protokoll

Das für Prozessdaten optimierte EtherCAT Protokoll wird dank eines speziellen Ethertypes direkt im Ethernet-Frame transportiert. Es kann aus mehreren Sub-Telegrammen bestehen, die jeweils einen Speicherbereich des bis zu 4 Gigabyte großen logischen Prozessabbildes bedienen. Die datentechnische Reihenfolge ist dabei unabhängig von der physikalischen

Reihenfolge der Ethernet-Klemmen im Netz, es kann wahlfrei adressiert werden. Broadcast, Multicast und Querkommunikation zwischen Slaves sind möglich. Die Übertragung direkt im Ethernet-Frame wird stets dann eingesetzt, wenn EtherCAT-Komponenten im gleichen Subnetz wie der Steuerungsrechner betrieben werden.

Der Einsatzbereich von EtherCAT ist jedoch nicht auf ein Subnetz beschränkt: EtherCAT UDP verpackt das EtherCAT Protokoll in UDP/IP Datagramme (siehe **Bild 4**). Hiermit kann jede Steuerung mit Ethernet Protokoll-Stack EtherCAT Systeme ansprechen. Selbst die Kommunikation über Router hinweg in andere Subnetze ist möglich. Selbstverständlich hängt die Leistungsfähigkeit des Systems in dieser Variante von den Echtzeiteigenschaften der Steuerung und ihrer Ethernet Protokollimplementierung ab. Die Antwortzeiten des EtherCAT Netzwerks an sich werden jedoch nur minimal eingeschränkt: lediglich in der ersten Station muss das UDP Datagramm entpackt werden.



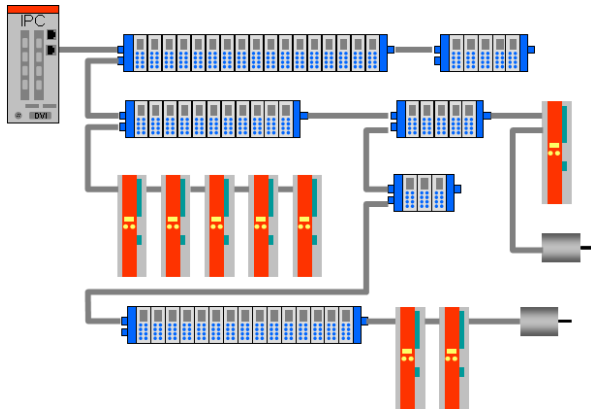
**Bild 4** EtherCAT: Standard Frames nach [3]

EtherCAT verwendet ausschließlich Standard-Frames nach [3] - sie werden nicht verkürzt. Damit können EtherCAT Frames von beliebigen Ethernet Controllern verschickt werden (Master), und Standart Tools (z.B. Sniffer) können eingesetzt werden.

#### 3.2 Topologie

Linie, Baum oder Stern: EtherCAT unterstützt nahezu beliebige Topologien (siehe **Bild 5**). Die von den Feldbussen her bekannte Bus- oder Linienstruktur wird damit auch für Ethernet verfügbar. Besonders praktisch für die Anlagenverdrahtung ist die Kombination aus Linie und Abzweigen bzw. Stichleitungen: die benötigten Schnittstellen sind auf den Kopplern vorhanden, zusätzliche Switches werden nicht benötigt. Natürlich kann aber auch die klassische Switch-basierte Ethernet Sterntopologie eingesetzt werden. Die maximale Flexibilität bei der Verdrahtung wird durch die Auswahl verschiedener Leitungen vervollständigt. Flexible und sehr preiswerte Standard Ethernet Patch-Kabel übertragen die Signale wahl-

weise auf Ethernet-Art (100Base-TX) oder in der E-Bus-Signaldarstellung. Kunststoff-Lichtwellenleiter (POF) werden das System für spezielle Anwendungsfälle ergänzen. Die gesamte Bandbreite der Ethernet Vernetzung – wie verschiedenste Lichtleiter und Kupferkabel – kann in der Kombination mit Switches oder Medienumsetzern zum Einsatz kommen.



**Bild 5** flexible Topologie: Linie, Baum oder Stern

Die Fast Ethernet Physik erlaubt eine Leitungslänge von 100 m zwischen zwei Teilnehmern, die E-Bus Leitung ist für Abstände bis 10m vorgesehen. Für jede Leitungsstrecke kann die Signalvariante individuell ausgewählt werden. Da bis zu 65535 Teilnehmer angeschlossen werden können, ist die gesamte Netzausdehnung nahezu unbeschränkt.

### 3.3. Verteilte Uhren

Der exakten Synchronisierung kommt immer dann eine besondere Bedeutung zu, wenn räumlich verteilte Prozesse gleichzeitige Aktionen erfordern. Das kann z. B. in Applikationen der Fall sein, wo mehrere Servo-Achsen gleichzeitig koordinierte Bewegungen ausführen.

Der leistungsfähigste Ansatz zur Synchronisierung ist der exakte Abgleich verteilter Uhren – wie auch im neuen Standard IEEE 1588 [6] beschrieben. Im Gegensatz zur vollsynchronen Kommunikation, deren Synchronisationsqualität bei Kommunikationsstörungen sofort leidet, verfügen verteilte abgegliche Uhren über ein hohes Maß an Toleranz gegenüber möglichen störungsbedingten Verzögerungen im Kommunikationssystem.

Beim EtherCAT basiert der Datenaustausch ja vollständig auf einer reinen Hardware-Maschine. Da die Kommunikation eine logische (und dank Vollduplex Fast Ethernet auch physikalische) Ringstruktur nutzt, kann die Mutter-Uhr den Laufzeitversatz zu den einzelnen Tochter-Uhren einfach und exakt ermitteln – und umgekehrt. Auf Basis dieses Wertes werden die verteilten Uhren nachgeführt, und es steht eine hochgenaue netzwerkweite Zeitbasis zur Verfügung, deren Jitter deutlich unter einer Mikrosekunde beträgt. Die externe Synchronisierung - z.B. standortweit - erfolgt dann über IEEE 1588.

Hochauflösende verteilte Uhren dienen aber nicht nur der Synchronisierung, sondern können auch exakte Informationen zum lokalen Zeitpunkt der Datenerfassung liefern. Steuerungen berechnen beispielsweise häufig Geschwindigkeiten aus nacheinander gemessenen Positionen. Speziell bei sehr kurzen Abtastzeiten führt schon ein kleiner zeitlicher Jitter in der Wegerfassung zu großen Geschwindigkeitssprüngen. Konsequenterweise werden mit EtherCAT auch Timestamp-Datentypen eingeführt. Mit dem Messwert wird die hochauflösende Systemzeit verknüpft - die große Bandbreite von Ethernet macht das möglich. Damit hängt dann die Genauigkeit einer Geschwindigkeitsberechnung nicht mehr vom Jitter des Kommunikationssystems ab. Sie wird um Größenordnungen besser als diejenige von Messverfahren, die auf jitterfreier Kommunikation basieren.

### 3.4 Performance

Mit EtherCAT werden neue Dimensionen in der Netzwerk-Performance erreicht. Dank ASIC-Integration im Slave und DMA Zugriff auf die Netzwerkkarte im Master erfolgt die gesamte Protokollbearbeitung in Hardware und ist damit unabhängig von der Laufzeit von Protokollstacks, von CPU Performance oder Software-Implementierung. Die Update Zeit für 1000 E/As beträgt nur 30 µs – einschließlich I/O-Durchlaufzeit (siehe **Tabelle 1**). Mit einem einzigen Ethernet-Frame können bis zu 1486 Bytes Prozessdaten ausgetauscht werden – das entspricht fast 12000 digitalen Ein- und Ausgängen. Für die Übertragung dieser Datenmenge werden dabei nur 300 µs benötigt.

Prozessdaten	Update-Zeit
256 verteilte digitale E/A	11µs = 0,01ms
1000 verteilte digitale E/A	30µs
200 analoge E/A (16 bit)	50µs ↔ 20 kHz
100 Servo Achsen, je 6 Byte E+A	100 µs
1 Feldbus Master-Gateway (1486 Bytes Eingangs- und 1486 Bytes Ausgangsdaten)	150 µs

**Tabelle 1** EtherCAT Performance Übersicht

Für die Kommunikation mit 100 Servoachsen werden nur 100 µs benötigt. In dieser Zeit werden alle Achsen mit Sollwerten und Steuerdaten versehen und melden ihre Ist-Position und Status. Durch das Distributed Clock Verfahren können die Achsen dabei mit einer Abweichung von deutlich weniger als einer Mikrosekunde synchronisiert werden.

Die extrem hohe Performance der EtherCAT Technologie ermöglicht Steuerungs- und Regelungskonzepte, die mit klassischen Feldbussystemen nicht

realisierbar waren. Mit EtherCAT steht eine Kommunikationstechnologie zur Verfügung, die der überlegenen Rechenleistung moderner Industrie-PCs entspricht. Das Bussystem ist nicht mehr der Flaschenhals im Steuerungskonzept. Verteilte E/As werden schneller erfasst, als dies mit den meisten lokalen E/A-Schnittstellen möglich ist. Das EtherCAT Technologieprinzip ist skalierbar und nicht an die Baudrate von 100 MBaud gebunden – eine Erweiterung auf GBit Ethernet ist möglich.

### 3.5 Diagnose

Die Erfahrungen mit Feldbussystemen zeigen, dass die Verfügbarkeit und Inbetriebnahmezeiten entscheidend von der Diagnosefähigkeit abhängen. Nur eine schnell und präzise erkannte und eindeutig lokalisierbare Störung kann kurzfristig behoben werden. Deshalb wurde bei der Entwicklung des EtherCAT Systems besonderer Wert auf vorbildliche Diagnoseeigenschaften gelegt.

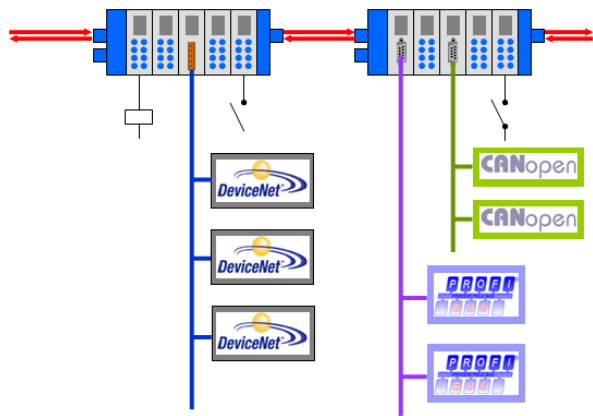
Bei der Inbetriebnahme gilt es zu prüfen, ob die Ist-Konfiguration der E/A-Klemmen mit der Soll-Konfiguration übereinstimmt. Auch die Topologie sollte der Konfiguration entsprechen. Durch die eingebaute Topologie-Erkennung bis hinunter zu den einzelnen Klemmen kann nicht nur diese Überprüfung beim Systemstart stattfinden – auch ein automatisches Einlesen des Netzwerkes ist möglich (Konfigurations-Upload).

Bitfehler in der Übertragung werden durch die Auswertung der CRC-Prüfsumme zuverlässig erkannt: das 32 Bit CRC-Polynom weist eine minimale Hamming-Distanz von 4 auf. Neben der Bruchstellenerkennung und -lokalisierung erlauben Protokoll, Übertragungsphysik und Topologie des EtherCAT Systems eine individuelle Qualitätsüberwachung jeder einzelnen Übertragungsstrecke. Die automatische Auswertung der entsprechenden Fehlerzähler ermöglicht die exakte Lokalisierung kritischer Netzwerkabchnitte. Schleichende oder wechselnde Fehlerquellen wie EMV-Einflüsse, fehlerhafte Steckverbindungen oder Kabelschäden werden erkannt und lokalisiert, auch wenn sie die Selbstheilungsfähigkeit des Netzwerkes noch nicht überfordern.

### 3.6 EtherCAT statt PCI

Mit der fortschreitenden Verkleinerung der PC-Komponenten wird die Baugröße von Industrie-PCs zunehmend von der Anzahl der benötigten Steckplätze bestimmt. Die Bandbreite von Fast Ethernet zusammen mit der Datenbreite der EtherCAT Kommunikations-Hardware ermöglicht hier, neue Wege zu gehen: klassisch im IPC vorgesehene Schnittstellen werden in intelligente Schnittstellenklemmen am EtherCAT ausgelagert (siehe **Bild 6**). Über einen einzigen Ethernet Port im PC können dann neben den dezentralen E/As, Achsen und Bediengeräten auch komplexe Systeme wie Feldbus-Master, schnelle

serielle Schnittstellen, Gateways und andere Kommunikations-Interfaces angesprochen werden.



**Bild 6** Dezentrale Feldbus-Schnittstellen

Selbst weitere Ethernetgeräte mit beliebigen Protokollvarianten lassen sich über dezentrale Hub-Klemmen anschließen. Der zentrale IPC wird kleiner und damit kostengünstiger, eine Ethernet-Schnittstelle genügt zu kompletten Kommunikation mit der Peripherie (siehe **Bild 7**).



**Bild 7:** EtherCAT führt zu kleineren Steuerungen

### 3.7 Geräteprofile

Die Geräteprofile beschreiben die Anwendungsparameter und das funktionale Verhalten der Geräte einschließlich der geräteklassenspezifischen Zustandsmaschinen. In der Feldbusteknik gibt es für viele Geräteklassen bereits bewährte Geräteprofile - z.B. für E/A-Geräte, Antriebe oder Ventile. Die Anwender sind mit diesen Profilen, den entsprechenden Parametern und den dazugehörigen Tools vertraut. Daher verzichtet man bei EtherCAT darauf, eigene Geräteprofile für diese Geräteklassen zu entwickeln. Vielmehr werden einfache Schnittstellen für bestehende Geräteprofile angeboten. Damit wird die Migration vom bisherigen Feldbus zu EtherCAT sowohl für Anwender als auch für Gerätehersteller deutlich erleichtert.

#### 3.7.1 CANopen over EtherCAT

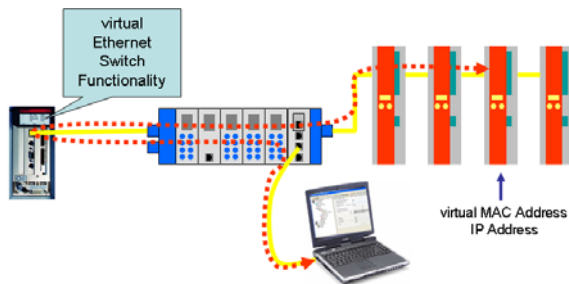
CANopen-Geräteprofile stehen für eine große Vielfalt von Geräteklassen zur Verfügung. EtherCAT kann die gleichen Kommunikationsmechanismen bereitstellen, wie sie von CANopen [9] her bekannt sind: Objektverzeichnis, PDO (ProzessDatenObjekte) und SDO (ServiceDatenObjekte) - selbst das Netz-

werkmanagement ist vergleichbar. So kann EtherCAT auf Geräten, die bisher mit CANopen ausgestattet waren, mit minimalem Aufwand implementiert werden, große Teile der CANopen Firmware sind wieder verwendbar. Dabei lassen sich die Objekte optional erweitern, um der größeren Bandbreite von EtherCAT Rechnung zu tragen.

### 3.7.2 Sercos und EtherCAT

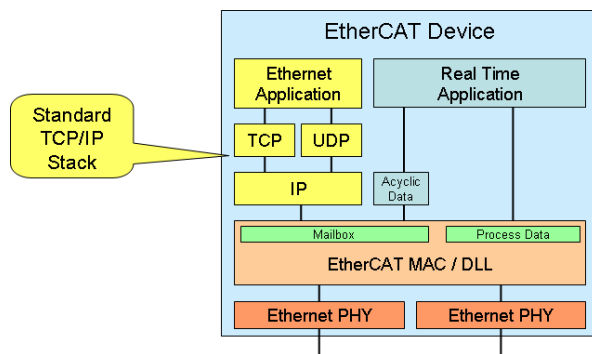
Ebenso einfach lässt sich das Sercos [10] Antriebsprofil auf EtherCAT abbilden. Damit steht auch für dieses vor allem im CNC Bereich weit verbreitete Geräteprofil bereits eine Real-Time Ethernet Technologie zur Verfügung. Die Vorteile des Geräteprofils werden mit denen von EtherCAT kombiniert. Die netzwerkweite exakte Synchronisierung ist dabei durch die verteilten Uhren gewährleistet. Wahlweise können Sollposition, Drehzahl oder Drehmoment übertragen werden.

### 3.8 Ethernet over EtherCAT



**Bild 8:** Transparent für TCP/IP

Die EtherCAT Technologie ist nicht nur vollständig Ethernet kompatibel, sondern „by design“ durch besondere Offenheit gekennzeichnet: Das Protokoll verträgt sich mit weiteren Ethernet-basierten Diensten und Protokollen auf dem gleichen physikalischen Netz – in der Regel sogar mit minimalen Einbußen bei der Performance. Beliebige Ethernetgeräte können innerhalb des EtherCAT-Strangs via Switchport angeschlossen werden. Die Ethernet Frames werden durch das EtherCAT Protokoll getunnelt, wie es im Internet üblich ist (z.B. VPN, PPPoE (DSL) etc.). Das EtherCAT Netzwerk ist dabei für das Ethernet Gerät voll transparent, und die Echtzeiteigenschaften werden nicht beeinträchtigt (siehe **Bild 8**)



**Bild 9:** TCP/IP Stack im EtherCAT Slave

EtherCAT Geräte können zusätzlich über einen TCP/IP Stack verfügen (siehe **Bild 9**) und damit nach außen wie ein Standard Ethernet Teilnehmer auftreten. Der Master fungiert dabei wie ein Layer 2 Switch, der die Frames gemäß der Adressinformation zu den entsprechenden Teilnehmern weiterleitet.

Damit könne sämtliche Internet Technologien auch im EtherCAT Umfeld zum Einsatz kommen: integrierte Webserver, Email, FTP-Transfer etc.

## 4 Implementierung

### 4.1 Master

EtherCAT verwendet Standard Ethernet Controller dort, wo es tatsächlich Kosten spart: im Master. Da in in der Regel nur ein Ethernet Frame je Zyklus abgeschickt werden muss, kann auf Kommunikations-Coprozessoren verzichtet werden. Es sind also keine Master-Einsteckkarten erforderlich, der on-board Ethernet Controller oder die günstige Standard-NIC Karte genügen.

### 4.2 Slave

Im Slave-Gerät kommt ein kostengünstiges ASIC oder FPGA zum Einsatz. Für einfache Geräte ist kein zusätzlicher  $\mu$ -Controller erforderlich. Bei komplexeren Geräten ist die Kommunikations-Performance bei EtherCAT nahezu unabhängig von der Leistungsfähigkeit des verwendeten Controller - die Anschaltung wird entsprechend günstig.

### 4.3 Infrastruktur

Da EtherCAT auf Hubs und Switches verzichten kann, entfallen die entsprechenden Kosten für diese Geräte samt Spannungsversorgung, Einbau, etc. Es kommen Standard CAT5 Kabel und auch Standard Steckverbinder zum Einsatz, wenn die Umgebungsbedingungen dies erlauben.

### 4.4 Implementierungskosten

Die Kommunikationsfunktionalität im Slave Gerät ist in Hardware implementiert - damit entfallen aufwändige Stack-Integration und -Kosten. Ein kostengünstiges Evaluierungs-Kit samt Slave Beispielcode steht zur Verfügung, ebenso ein Master Beispielcode.

## 5 EtherCAT Technology Group

Jeder soll EtherCAT nutzen und implementieren können. Für diesen Ansatz steht die EtherCAT Technology Group. In der ETG finden sich Endanwender aus unterschiedlichen Branchen, Maschinenhersteller und Anbieter von leistungsfähiger Steuerungstechnik zusammen, um die EtherCAT-Technologie zu unter-

stützen und zu fördern. Die Branchenvielfalt gewährleistet, dass EtherCAT für vielfältige Anwendungen optimal vorbereitet ist. Die Systempartner sorgen mit ihrem qualifizierten Feedback für die einfache Integration der Hardware- und Softwarebausteine in alle erforderlichen Geräteklassen.

Die ETG hat mittlerweile über 110 Mitgliedsfirmen. Aktuell sind Firmen aus den USA, Kanada, China, Korea, Taiwan, Israel, Belgien, Schweden, Finnland, Großbritannien, Italien, der Schweiz, Liechtenstein, Österreich und natürlich Deutschland in der ETG vertreten (siehe **Bild 10**).



**Bild 10** ETG Mitgliedsfirmen (Stand Juli 04)

Die Offenlegung wird nicht nur innerhalb der EtherCAT Technology Group betrieben – auch die Internationale Normung von EtherCAT wurde bereits eingeleitet. Sowohl die Real Time Ethernet Working Group der IEC als auch die ISO haben für EtherCAT ein beschleunigtes Normungsverfahren akzeptiert, sodass EtherCAT voraussichtlich schon bald den Status einer offiziellen IEC bzw. ISO Spezifikation erlangen wird.

## 6 EtherCAT ist erprobt

EtherCAT ist bereits im Serieneinsatz: die Erfahrungen mit der Pilotanlage bewogen die Schuler Pressen AG, EtherCAT für die Profiline Pressenserie freizugeben. Fa. Schuler zu EtherCAT: „Wir sind mit diesem System in der Lage, schnelle Antriebs- und Hydraulikregelung für sämtliche Anwendungen zu realisieren, die wir im Moment im Schuler-Konzern kennen. Und, was ganz entscheidend ist, auf Grund der extrem hohen Performance von EtherCAT haben wir noch genug Potential für die Zukunft, auch aufwendigere Regelungsaufgaben ohne Geschwindigkeitsprobleme bewältigen zu können.“ Mittlerweile sind über 2000 Knoten an Schuler und andere Kunden ausgeliefert.

## 7 Zusammenfassung

Überragende Performance, einfachste Verdrahtung und Offenheit für andere Protokolle kennzeichnen EtherCAT. Wo herkömmliche Feldbussysteme an

ihre Grenzen kommen, setzt EtherCAT neue Maßstäbe: 1000 E/A s in 30  $\mu$ s, wahlweise verdrehte Zweidrahtleitung (Twisted Pair) oder Lichtleiter, und dank Ethernet und Internet Technologien optimale vertikale Integration. Mit EtherCAT kann die aufwändige Ethernet Sterntopologie durch eine einfache Linienstruktur ersetzt werden – teure Infrastrukturkomponenten entfallen. Wahlweise kann EtherCAT aber auch klassisch mit Switches verkabelt werden, um andere Ethernet Teilnehmer zu integrieren. Wo andere Echtzeit-Ethernet Ansätze spezielle Anschaltungen in der Steuerung erfordern, kommt EtherCAT mit äußerst kostengünstigen Standard Ethernet Karten (NICs) aus.

Ethernet bis in E/A Ebene wird durch EtherCAT technisch möglich und wirtschaftlich sinnvoll. Volle Ethernet Kompatibilität, Internet Technologien auch in einfachsten Geräten, maximale Nutzung der großen Ethernet Bandbreite, hervorragende Echtzeiteigenschaften bei niedrigen Kosten sind herausragende Eigenschaften dieses Netzwerkes. Als schneller Antriebs- und E/A-Bus am Industrie-PC oder auch in Kombination mit kleiner Steuerungstechnik wird EtherCAT vielfältige Einsatzmöglichkeiten finden.

## 8 Literatur

- [1] EtherCAT Technology Group, <http://www.ethercat.org>
- [2] Beckhoff GmbH, <http://www.beckhoff.com>
- [3] IEEE 802.3-2000: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
- [4] IEEE 802.3ae-2002: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications; Amendment: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation.
- [5] ANSI/TIA/EIA-644-A, Electrical Characteristics of Low Voltage Differential Signaling (LVDS) Interface Circuits
- [6] IEEE 1588-2002: IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems
- [7] Janssen, Dr. Dirk, Büttner, Holger, "EtherCAT – the Ethernet Fieldbus". PC Control Magazine 3/2003.
- [8] EtherCAT Communication Specification, EtherCAT Technology Group 2004
- [9] EN 50325-4: Industrial communications subsystem based on ISO 11898 (CAN) for controller-device interfaces. Part 4: CANopen.
- [10] IEC 61491-2002: Electrical equipment of industrial machines - Serial data link for real-time communication between controls and drives