

Beckhoff EtherCAT – Ethernet for Control Automation Technology

i Produktankündigung



Echtzeit Ethernet: Ultra High Speed bis zur Klemme

→ Auf der Hannover Messe wurde es erstmalig präsentiert und sorgte für Gesprächsstoff unter den Automatisierern: EtherCAT – das neue Echtzeit Ethernet Netzwerk von Beckhoff. EtherCAT glänzt durch überragende Performance, einfachste Verdrahtung und Offenheit für andere Protokolle. Wo herkömmliche Feldbusssysteme an ihre Grenzen kommen, setzt das Echtzeit Ethernet System neue Maßstäbe.

Die Eigenschaften sprechen für sich: 1000 I/Os in 30 μ 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.

Das EtherCAT Funktionsprinzip

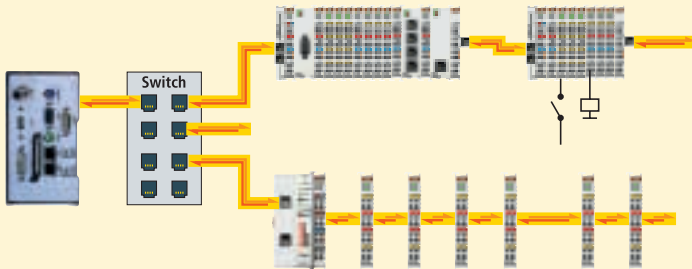
Es gibt viele verschiedene Ansätze, mit denen Ethernet echtzeitfähig gemacht werden soll: So wird z. B. das Zugriffsverfahren CSMA/CD durch überlagerte Protokollschichten außer Kraft gesetzt und durch ein Zeitscheibenverfahren oder durch Polling ersetzt; andere Vorschläge sehen spezielle Switches vor, 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. Speziell bei modularen I/O-Systemen kommt hier in der Regel noch ein Sub-Bus hinzu, der wie der Beckhoff K-Bus zwar synchronisiert und schnell sein kann, jedoch prinzipbedingt stets kleine Verzögerungen zur Kommunikation hinzufügt.

Mit der EtherCAT Technologie überwindet Beckhoff diese prinzipiellen Begrenzungen anderer Ethernet Lösungen: das Ethernet Paket wird nicht mehr in jeder Anschaltung zunächst empfangen, dann interpretiert und die Prozessdaten weiterkopiert. Die neu entwickelten FMMU (Fieldbus Memory Management Unit) in jeder I/O-Klemme entnimmt die für sie bestimmten Daten, während das Telegramm das Gerät durchläuft. Ebenso werden Eingangsdaten im Durchlauf in das Telegramm eingefügt. Die Telegramme werden dabei nur wenige Nanosekunden verzögert.

Ethernet bis in die Klemme – vollständige Durchgängigkeit

Das Ethernet Protokoll 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 gewandelt, um den Anforderungen der elektronischen



Vollduplex Ethernet im Ring, ein Telegramm für viele Teilnehmer. Wahlweise kann EtherCAT auch mit Switches verkabelt werden, um andere Ethernet Teilnehmer zu integrieren.



Maximale Flexibilität bei der Verdrahtung: mit und ohne Switch, Linien und Baumtopologien, frei wähl- und kombinierbar. Kostengünstige Twisted Pair Kabel, Wahl der Übertragungsphysik je nach Anforderung. Die Adressvergabe erfolgt automatisch, IP-Adress-Einstellung überflüssig.

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.

Die FMMU Technologie wird steuerungseitig durch den TwinCAT Y-Treiber für Ethernet ergänzt. Dieser bindet sich transparent in das System ein, so dass er als betriebssystemkonformer Netzwerktreiber und zusätzlich als TwinCAT Feldbus-

karte erscheint. Auf der Sendeseite wird über interne Priorisierung und Puffer sichergestellt, dass Ethernet Frames aus dem Echtzeitsystem immer dann eine freie Sendeleitung vorfinden, wenn sie an der Reihe sind. Die Ethernet Frames des Betriebssystems werden erst danach in den „Lücken“ verschickt, wenn entsprechend Zeit ist. Auf der Empfangsseite werden alle empfangenen Ethernet Frames vom TwinCAT I/O-System überprüft und die echtzeitrelevanten herausgefiltert. Alle anderen Frames werden nach der Überprüfung außerhalb des Echtzeitkontextes an das Betriebssystem übergeben.

Als Hardware in der Steuerung kommen sehr preiswerte handelsübliche Standard Netzwerk-Interface-Karten (NIC) zum Einsatz. Auf der gleichen Architektur basieren auch die von Beckhoff angebotenen Karten, die bis zu 4 Ethernet Kanäle auf einem PCI-Steckplatz bündeln. Allen diesen Interfacekarten ist gemeinsam, dass der Datentransfer zum PC per DMA (Direct Memory Access) erfolgt – es wird also keine CPU Performance für den Netzwerkzugriff abgezweigt.

Da die Ethernet Funktionalität des Betriebssystems vollständig erhalten bleibt, können alle betriebssystemkonformen Protokolle parallel auf dem selben physikalischen Netzwerk betrieben werden. Dies umfasst nicht nur Standard IT Protokolle wie TCP/IP, HTTP, FTP oder SOAP, sondern auch praktisch alle Industrial Ethernet Protokolle wie Modbus TCP, ProfiNet oder EthernetIP.

Optimiertes Protokoll direkt im Ethernet Frame

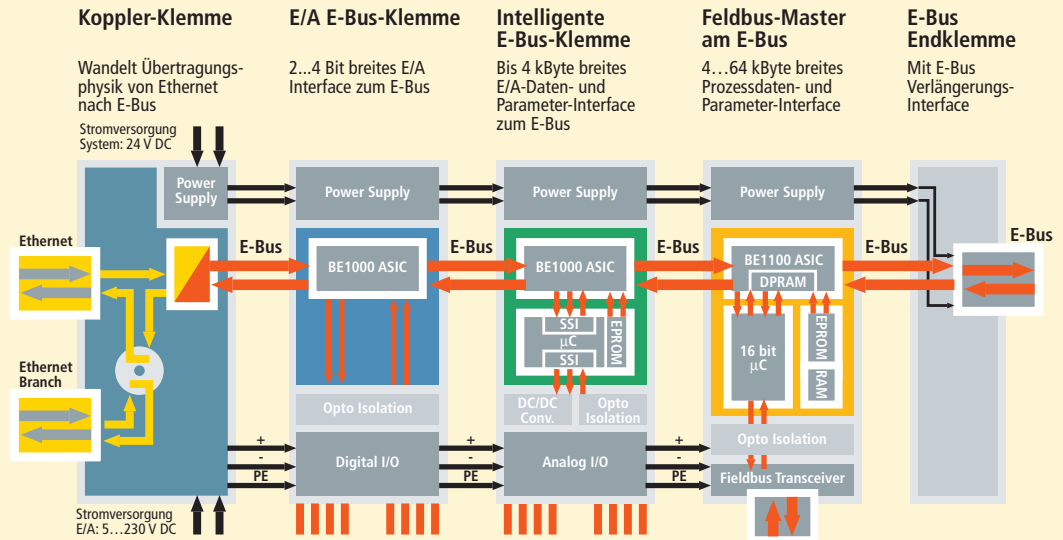
Das für Prozessdaten optimierte EtherCAT Protokoll wird dank eines speziellen Ether-Types direkt im Ethernet Frame transportiert. Es kann aus mehreren Sub-Telegrammen bestehen, die jeweils einen Speicherbereich des bis zu 4 Gigabyte großen logischen Prozessabbildes bedienen. Die datentechnische Reihenfolge 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 mit TwinCAT und im gleichen Subnetz wie der Steuerungsrechner betrieben werden.

Der Einsatzbereich von EtherCAT ist jedoch nicht auf TwinCAT als Steuerungssystem beschränkt: EtherCAT UDP verpackt das EtherCAT Protokoll in UDP/IP Datagramme. Hiermit kann jede Steuerung mit Ethernet Protokollstack 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.

1000 I/Os in 30 µs | 200 analoge I/Os in 50 µs | 100 Achsen in 100 µs

Mit EtherCAT werden neue Dimensionen in der Netzwerk-Performance erreicht. Dank FMMU in der Klemme 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 I/Os beträgt nur 30 µs – einschließlich

Protokollbearbeitung vollständig in Hardware: Die Protokoll-ASICs sind flexibel konfigurierbar. Prozess-Interface von 2 Bit bis 64 KByte.



Klemmen-Durchlaufzeit. 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.

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.

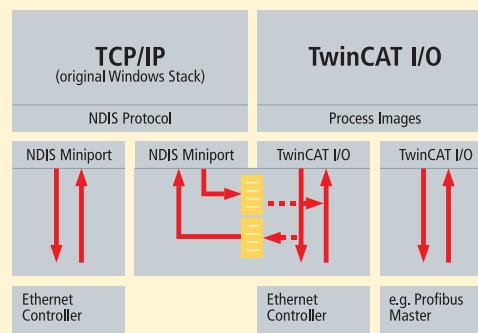
Die extrem hohe Performance der EtherCAT Technologie ermöglicht Steuerungs- und Regelungskonzepte, die mit klassischen Feldbussystemen nicht realisierbar waren. So kann beispielsweise nicht nur die Geschwindigkeitsregelung, sondern neu auch die Stromregelung verteilter Antriebe über das Ethernet System erfolgen. Die enorme Bandbreite erlaubt es, zu jedem Datum z. B. auch Status-Informationen zu übertragen. 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 I/Os werden schneller erfasst, als dies mit den meisten lokalen I/O-Schnittstellen möglich ist. Das EtherCAT Technologieprinzip ist skalierbar und nicht an die Baudrate von 100 Mbaud gebunden – eine Erweiterung auf GBit Ethernet ist möglich.

Topologie – Maximale Flexibilität

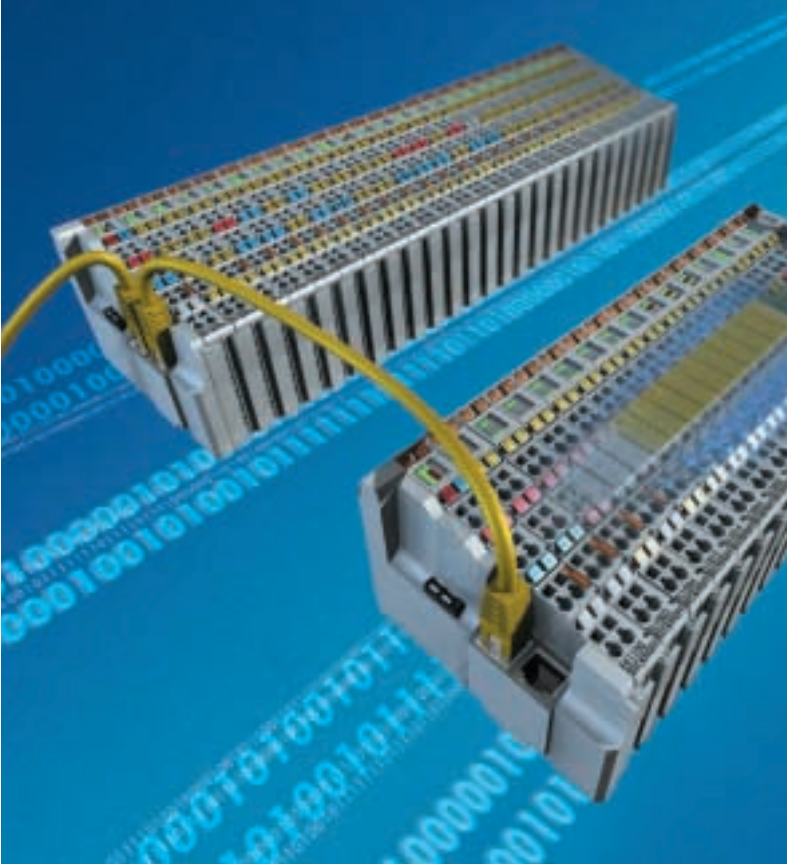
Linie, Baum oder Stern: EtherCAT unterstützt nahezu beliebige Topologien. Die von den Feldbussen her bekannte Bus- oder Linienstruktur wird damit auch für Ethernet verfügbar. Besonders praktisch für die Anlagenverdrahtung ist die Kombination aus Linie und Abzweigen bzw. Stichleitungen: die benötigten 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 wahlweise auf Ethernet Art (100Base-TX) oder in der E-Bus-Signaldarstellung. Kunststoff-Lichtwellenleiter (POF) ergänzen das System für spezielle Anwendungsfälle. Die gesamte Bandbreite der Ethernet Vernetzung – wie verschiedenste Lichtleiter und Kupferkabel – kann in der Kombination mit Switches oder Medienumsetzern zum Einsatz kommen.

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

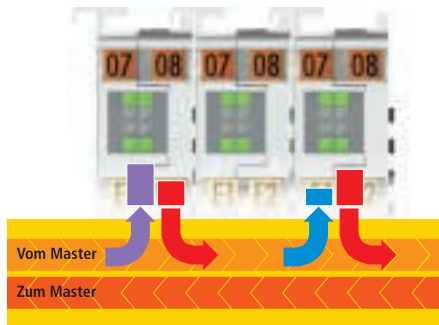


TwinCAT Y-Treiber:
betriebssystemkonform



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 (FMMU-Chip) ermöglicht hier, neue Wege zu gehen: Klassisch im IPC vorgesehene Schnittstellen werden in intelligente Schnittstellenklemmen am EtherCAT ausgelagert. Über einen einzigen Ethernet Port im PC können dann, neben den dezentralen I/Os, Achsen und Bediengeräten, auch komplexe Systeme, wie Feldbus-Master, schnelle serielle Schnittstellen, Gateways und andere Kommunikations-Interfaces, angesprochen werden. Selbst weitere Ethernet Geräte mit beliebigen Protokollvarianten lassen sich über dezentrale „Hub-Klemmen“ anschließen. Der zentrale IPC wird kleiner und damit kostengünstiger, eine Ethernet Schnittstelle genügt zur kompletten Kommunikation mit der Peripherie.



FMMU (Fieldbus Memory Management Unit):
Telegrammbearbeitung vollständig in Hardware

Exakte Synchronisierung durch Distributed Clock

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 im neuen Standard IEEE 1588 beschrieben. Im Gegensatz zur vollsynchronen Kommunikation, deren Synchronisationsqualität bei Kommunikationsstörungen sofort leidet, verfügen verteilte abgeglichene Uhren über ein hohes Maß an Toleranz gegenüber möglichen störungsbedingten Verzögerungen im Kommunikationssystem.

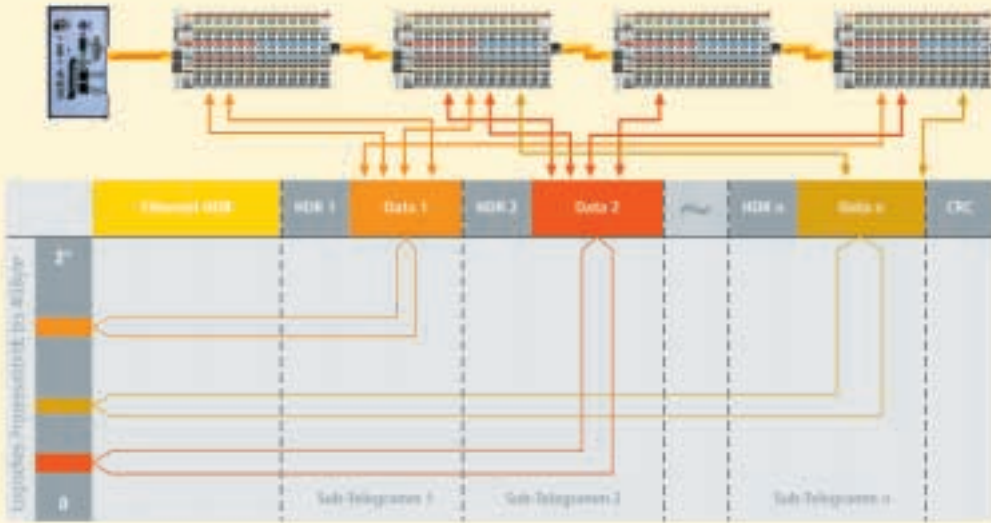
Beim EtherCAT basiert der Datenaustausch ja vollständig auf einer reinen Hardware-Maschine. Da die Kommunikation eine logische (und dank Vollduplex Fast Ethernet auch physikalische) Ringstruktur nutzt, kann die „Mutter-Uhr“ den Laufzeitversatz zu den einzelnen „Tochter-Uhren“ einfach und exakt ermitteln – 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.

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 Geschwindigkeitsprüngen. Beckhoff führt mit EtherCAT konsequenterweise auch neue, erweiterte Datentypen ein (Timestamp Data Type, Oversampling Data Type). Mit dem Messwert wird die lokale Zeit mit einer Auflösung von bis zu 10 ns 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.

Hot Connect und Diagnose

Viele Applikationen erfordern eine Änderung der I/O-Konfiguration während des Betriebes. Beispiele sind Bearbeitungszentren mit wechselnden, sensorbestückten Werkzeugsystemen oder Transfereinrichtungen mit intelligenten, flexiblen Werkstückträgern. Die Protokollstruktur des EtherCAT Systems trägt diesen Anforderungen Rechnung: Die Hot Connect Funktion erlaubt es, Teile des Netzwerkes „on the fly“ an- und abzukoppeln, umzukonfigurieren und so flexibel auf wechselnde Ausbaustufen zu reagieren.

Die umfangreichen Erfahrungen von Beckhoff 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 I/O-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 Netzwerkabschnitte. 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.

Die Prozessabbild-Zuordnung ist frei konfigurierbar. Daten werden direkt in der I/O Klemme an die gewünschte Stelle im Prozessabbild kopiert: zusätzliches Mapping ist überflüssig. Sehr großer Adressraum von 4 Gigabyte.

Ethernet-Klemmen

Neben den neuen Ethernet-Klemmen mit E-Bus Anschluss lassen sich auch sämtliche Komponenten mit K-Bus Anschluss aus dem bewährten Beckhoff Busklemmen Programm anschließen. Das Programm umfasst entsprechende Koppler. Damit sind Kompatibilität und Durchgängigkeit zum bestehenden System gewährleistet, bestehende und zukünftige Investitionen werden geschützt.

Offenheit

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 nur mit minimalen Einbußen bei der Performance. Beliebige Ethernetgeräte können innerhalb des EtherCAT Strangs via Hub-Klemme angeschlossen werden. Geräte mit Feldbuschnittstelle werden über EtherCAT Feldbus Master-Klemmen integriert. Die UDP Protokollvariante lässt sich auf jedem Socket-Interface implementieren. Schließlich ist vorgesehen, die Technologie nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten offen zu legen.

EtherCAT Highlights

Performance

- | 256 Digital I/O in 12 µs
- | 1000 Digital I/O in 30 µs
- | 200 Analog I/O (16 Bit) in 50 µs, entspricht 20 kHz Sampling Rate
- | 100 Servoachsen in 100 µs
- | 12000 Digital I/O in 350 µs
- | Durchsatz: 10 kByte/ms, verteilt auf 1500 Teilnehmer

| Übertragungsphysik twisted Pair:

- | Ethernet 100BASE-TX, bis 100 m zwischen 2 Teilnehmern
- | E-Bus, bis 10 m zwischen 2 Teilnehmern
- | alternativ: Lichtwellenleiter-Varianten 50 bis 2000 m
- | Hot Connect/Disconnect von Bussegmenten

Topologie

- | Linien-, Baum- oder Stern-topologie
- | bis zu 65535 Teilnehmer
- | Netzwerkausdehnung: nahezu unbeschränkt (> 500 km)
- | Betrieb mit und ohne Switches
- | kostengünstige Verkabelung: Standard Ethernet Patch Kabel (CAT5)

Adressraum

- | netzwerkweites Prozessabbild: 4 Gigabyte
- | Teilnehmer-Prozessabbild: 2 Bit bis 64 kByte
- | Adresszuordnung: frei konfigurierbar
- | Adresseinstellung Teilnehmer: automatisch per Software

Protokoll

- | optimiertes Protokoll direkt im Ethernet Frame
- | vollständig in Hardware implementiert
- | für Routing und Socket Interface: UDP Datagramm
- | Verarbeitung im Durchlauf
- | Distributed Clock für präzise Synchronisation
- | Time Stamp Data Types für Auflösung im Nanosekundenbereich
- | Oversampling Data Types für hochauflösende Messungen

Diagnose

- | Bruchstellenerkennung
- | ständige „Quality of Line“ Messung ermöglicht exakte Lokalisierung von Übertragungsstörungen

Schnittstellen

- | Hub-Klemme für Standard Ethernet Geräte
- | Feldbus Klemmen für Feldbus Geräte
- | dezentrale serielle Schnittstellen
- | Kommunikations-Gateways

Offenheit

- | vollständig Ethernet kompatibel
- | Betrieb an Switches und Router möglich
- | auch Mischbetrieb mit anderen Protokollen
- | Internet Technologien (Webserver, FTP, etc.)
- | kompatibel zum bestehenden Busklemmen-Programm
- | Offenlegung in Vorbereitung