

**BECKHOFF** New Automation Technology

# EtherCAT – Ultraschneller Kommunikationsstandard



# EtherCAT: Weltstandard für Echtzeit-Ethernet vom Feld bis in die I/Os

2003 stellt Beckhoff die EtherCAT-Technologie der Öffentlichkeit vor. Mit der Unterstützung von 33 Gründungsmitgliedern wird die EtherCAT Technology Group (ETG) gegründet. Die ETG übernimmt fortan die Standardisierung und Pflege der Technologie. Mit mehr als 5000 Mitgliedern (Stand 2019) ist die ETG heute die weltweit größte industrielle Feldbusnutzerorganisation. Das Safety-over-EtherCAT-Protokoll ergänzt 2005 die EtherCAT-Spezifikation um die sicherheitsrelevante Übertragung von Daten. Das Protokoll ist besonders schlank in der Implementierung,

dabei aber völlig unabhängig vom verwendeten Kommunikationssystem (Black Channel). 2007 wird EtherCAT zum IEC-Standard. Dies unterstreicht die Offenheit des Systems. Bis heute wurde die Spezifikation nie geändert, sondern nur kompatibel erweitert. Dadurch können Geräte aus den Anfangsjahren von 2003 noch immer zusammen mit heutigen Geräten in einem Netzwerk betrieben werden. Mit der Übertragung von EtherCAT-Kommunikation und Versorgungsspannung (2 x 24 V) auf einem Standard-Cat.5-Kabel setzt die Erweiterung EtherCAT P im Jahr 2016

einen weiteren Meilenstein. Dieses Konzept wird zur Basis für schaltschranklose Maschinen. 2018 erfolgt mit EtherCAT G/G10 der Schritt zu höheren Übertragungsraten. Die Integration der bestehenden EtherCAT-Gerätevielfalt ist eine Hauptanforderung. Hierfür wird unter anderem das Branch-Konzept eingeführt.



## Funktionsprinzip

EtherCAT-Slave-Geräte verarbeiten die Ethernet-Frames im Durchlauf. Jeder Teilnehmer entnimmt die für ihn bestimmten Daten und fügt seine Daten in das gleiche Frame ein, während das Frame schon weitergeleitet wird.

## Topologie

EtherCAT unterstützt bis zu 65.535 Teilnehmer bei völlig freier Topologiewahl: Linie, Abzweig, Baum, Stern – in jeder beliebigen Kombination.

## Vielseitig

Anlagenweite Kommunikation: EtherCAT ist für zentrale als auch dezentrale Architekturen geeignet.

## Kosten

EtherCAT bewegt sich auch hinsichtlich der Kosten auf Feldbus- und nicht auf Industrial-Ethernet-Niveau: keine aktiven Infrastrukturkomponenten, keine spezielle Hardware im Master.

## Performance

Das besondere Funktionsprinzip macht EtherCAT zur schnellsten Industrial-Ethernet-Technologie.

## Offenheit

EtherCAT ist offengelegt und international genormt, so darf jeder die Technologie in kompatibler Form nutzen. Die EtherCAT Technology Group ist heute die weltgrößte industrielle Feldbusnutzerorganisation.

## Funktionale Sicherheit

Safety-over-EtherCAT ist wie EtherCAT selbst besonders schlank und dadurch schnell. Es bietet integrierte funktionale Sicherheit auf dem Steuerungsbus mit zentraler oder dezentraler Safety-Logik – und das dank „Black Channel“-Ansatz nicht nur auf EtherCAT, sondern bei Bedarf auch auf anderen Bussystemen.

## Einfach

Noch einfacher als der klassische Feldbus: automatische Adressvergabe, kein Netzwerk-Tuning mehr und eingebaute Diagnose mit Fehlerlokalisierung

# Engineer's choice: die 5 zentralen Vorteile von EtherCAT

Das einzigartige Funktionsprinzip überzeugt, deshalb wird EtherCAT u. a. eingesetzt in:

- Robotern
- Werkzeugmaschinen
- Verpackungsmaschinen
- Druckmaschinen
- Kunststoffmaschinen
- Pressen und Stanzen
- Prüfständen
- Bestückungsanlagen
- Messsystemen
- Kraftwerken
- Schaltanlagen
- Logistikanlagen
- Gepäckförderanlagen
- Bühnensteuerungen
- Tunnelsteuerungen
- Öl- und Gasförderanlagen
- Gebäudesteuerungen
- Windenergieanlagen
- fahrerlosen Transportsystemen
- Medizingeräten
- Holzbearbeitungsanlagen
- etc.

► [www.beckhoff.com/ethercat](http://www.beckhoff.com/ethercat)



## Außergewöhnliche Performance

# 1

EtherCAT ist die mit Abstand schnellste Industrial-Ethernet-Technologie. Hinzu kommt die überragende Synchronisationsgenauigkeit in einer Größenordnung von Nanosekunden. Natürlich profitieren davon alle Anwendungen, bei welchen über den Bus geregelt oder auch gemessen wird. Aufgrund der deutlich verkürzten Reaktionszeit werden auch alle Applikationen effizienter, bei denen

Weiterschaltbedingungen vorkommen. Zudem entlastet die EtherCAT-Systemarchitektur die Steuerung: Bei gleicher Zykluszeit sind 25 bis 30 % weniger CPU-Lastung im Vergleich zu anderen Bussystemen typisch. Richtig eingesetzt führt die EtherCAT-Performance zu höherer Genauigkeit, mehr Durchsatz und damit zu niedrigeren Kosten.

## Flexible Topologie

# 2

Bei EtherCAT bestimmt die Anlagenstruktur die Netzwerktopologie, nicht das Bussystem. Switches oder Hubs werden nicht benötigt, also gibt es auch kein Limit bezüglich deren Kaskadierung. Es gibt bei EtherCAT praktisch keine Einschränkungen hinsichtlich der Bustopologie. Linie, Baum, Stern und jede Kombination daraus sind bei nahezu beliebiger Knotenanzahl möglich. Dank automatischer

Link-Erkennung können Knoten und Netzsegmente im laufenden Betrieb ab- und wieder angekoppelt werden – sogar an anderer Stelle. Für Leitungsredundanz wird die Linie zum Ring ergänzt. Auf Master-Seite ist neben Software lediglich ein zweiter Ethernet-Port erforderlich; Slave-Geräte unterstützen die Redundanz ohnehin. Damit wird auch ein Gerätetausch im laufenden Betrieb möglich.

## Einfach und robust

# 3

Konfiguration, Diagnose und Wartung sind bedeutende Kostenfaktoren. Mit dem Ethernet-Feldbus EtherCAT werden diese Aufgaben stark vereinfacht: Knotenadressen vergibt EtherCAT auf Wunsch automatisch, die manuelle Einstellung entfällt. Geringe Buslast und die Peer-to-Peer-Physik maximieren die elektromagnetische Verträglichkeit. Etwaige Störungen werden nicht nur zuverlässig erkannt, sondern auch exakt lokalisiert: Das verkürzt die Fehlersuche. Durch Soll-Ist-Vergleich beim Starten der Anlage

werden Abweichungen vom geplanten Layout sofort festgestellt. Auch bei der Konfiguration hilft die EtherCAT-Performance: Das von anderen Systemen bekannte Netzwerktuning ist nicht erforderlich. Und dank der großen Bandbreite wird zusätzlicher TCP/IP-Verkehr einfach mit übertragen. Aber da EtherCAT selbst nicht TCP/IP-basiert ist, sind weder MAC- oder IP-Adressen zu verwalten, noch IT-Experten für Switch- oder Router-Konfiguration gefragt.

## Integrierte Sicherheit

# 4

Funktionale Sicherheit als integraler Bestandteil der Netzwerkarchitektur – mit Safety-over-EtherCAT (FSoE) kein Problem. Die Technologie ist bewährt: Seit 2005 gibt es TÜV-zertifizierte Geräte. FSoE erfüllt die Anforderungen nach SIL3 und eignet sich für zentrale Safety-Steuerungen ebenso wie für dezentrale. Dank Black-Channel-Ansatz und besonders schlankem Safety-Container kann FSoE

auf anderen Bussen eingesetzt werden. Der integrierte Ansatz sowie das schlanke Protokoll führen zu niedrigen Systemkosten. Und auch eine nicht-sichere Steuerung darf die sicherheitsrelevanten Daten mithören und auswerten.

## Kostengünstig

# 5

EtherCAT ist Industrial-Ethernet auf oder sogar unter dem Kostenniveau der klassischen Feldbusse. Ein Ethernet-Port ist die einzige Hardware-Anforderung an den Master. Teure Einsteckkarten oder Co-Prozessoren sind überflüssig. EtherCAT Slave Controller (ESC) sind von verschiedenen Herstellern verfügbar; als ASIC, auf FPGA-Basis oder auch als Option für Standard-Mikroprozessorbaureihen. Da diese

kostengünstigen Controller alle zeitkritischen Aufgaben übernehmen, stellt EtherCAT keine Anforderungen an die CPU-Performance der Slave-Geräte: Niedrige Anschaltkosten sind die Folge. Und weil EtherCAT keine Switches oder andere aktive Infrastrukturgeräte benötigt, entfallen die Kosten für Kauf, Installation, Konfiguration und Wartung dieser Baugruppen.

**EtherCAT** 

# EtherCAT Technology Group: internationale Normung und globale Aktivitäten

Jeder soll EtherCAT nutzen und implementieren können. Dafür haben sich in der EtherCAT Technology Group, kurz ETG, die Hersteller von EtherCAT-Geräten, Technologie-Anbieter und Anwender zusammengeschlossen. EtherCAT wird erweitert und umsichtig weiterentwickelt, wobei Interoperabilität und Stabilität im Vordergrund stehen. Die ETG richtet mehrmals jährlich sogenannte Plug-Fests in Europa, Asien und Amerika aus. Dort treffen sich Entwickler von EtherCAT-Geräten, um deren Interoperabilität zu testen.

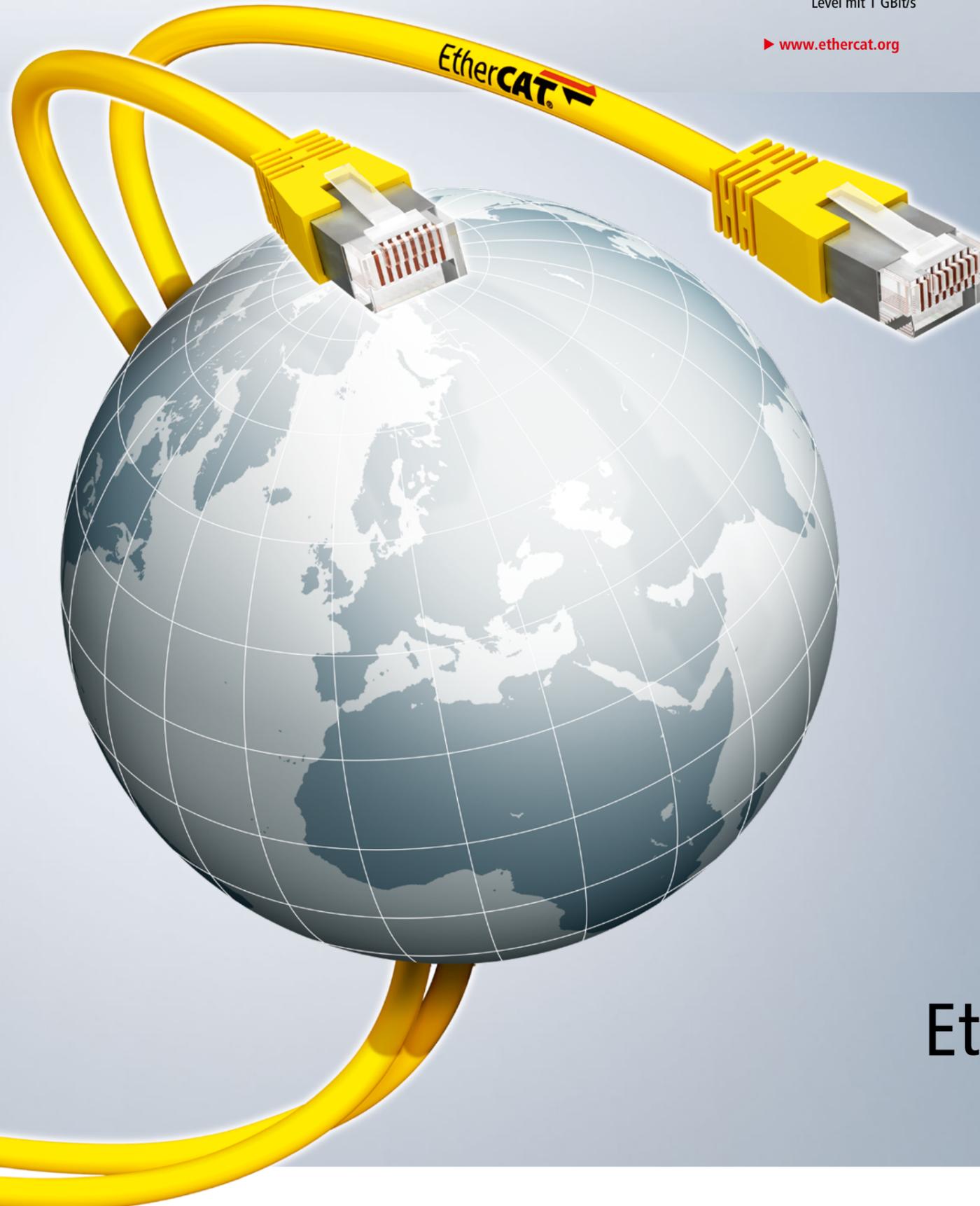
Mit dem offiziellen EtherCAT Conformance Test Tool prüfen die Hersteller ihre EtherCAT-Geräte vor der Freigabe auf Konformität. Konformitätszertifikate werden von der ETG nach bestandem Test in einem akkreditierten EtherCAT-Testlabor ausgestellt.

Die EtherCAT Technology Group ist der mitgliederstärkste Feldbusverband der Welt. Die Liste der Mitgliedsfirmen ist auf der EtherCAT-Website zu finden. Die ETG hat aber nicht nur besonders viele, sondern auch besonders aktive Mitglieder. Die Vielzahl und Vielfalt von EtherCAT-Geräten sucht ihresgleichen: Die Geschwindigkeit, mit der sich EtherCAT in Europa, Asien und Amerika verbreitet, ist einzigartig. Keine vergleichbare Technologie weist ähnliche Akzeptanzraten auf.

## Meilensteine

- 2003** Vorstellung der EtherCAT-Technologie auf der Hannover Messe
- 2003** Gründung der EtherCAT Technology Group auf der SPS IPC Drives
- 2005** Safety over EtherCAT
- 2007** EtherCAT ist IEC-Standard.
- 2016** EtherCAT P: Ultraschnelle Kommunikation und Power auf einem Kabel
- 2018** EtherCAT G: Das nächste Performance-Level mit 1 GBit/s

► [www.ethercat.org](http://www.ethercat.org)



**EtherCAT**<sup>®</sup>  
Technology Group

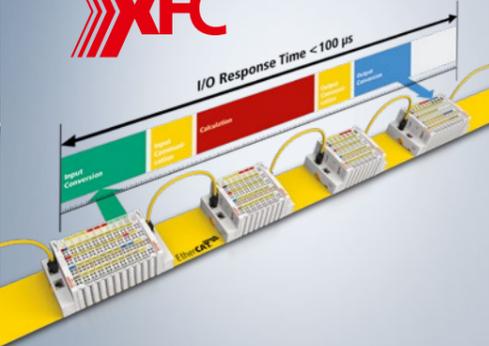
# Kommunikationsstandards für die industrielle Automation

## Durchgängige Eigenschaften aller EtherCAT-Technologien

- Echtzeit-Ethernet bis zur I/O-Ebene
- flexible Topologie
- hervorragende Diagnose
- Synchronisiergenauigkeit unter 100 ns
- einfachste Parametrierung/Konfiguration
- geringe Systemkosten
- maximale Performance
- Functional Safety integrierbar
- IEEE-802.3-konform




EtherCAT: ultraschneller Kommunikationsstandard

EtherCAT: noch schneller durch XFC



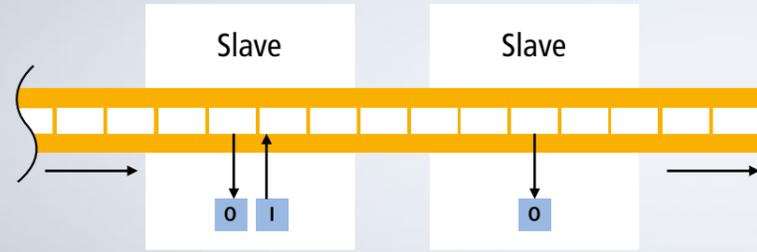

EtherCAT P: ultraschnelle Kommunikation und Power auf einem Kabel




10 Gbit/s  
1 Gbit/s  
100 Mbit/s

EtherCAT G: skalierbare I/O-Performance von 100 bis 10.000 MBit/s





Processing on-the-fly

Ethernet header			ECAT	EtherCAT telegram				Ethernet	
DA	SA	Type	Frame HDR	Datagram 1	Datagram 2	...	Datagram n	Pad.	FCS
(6)	(6)	(2/4)	(2)	(10+n+2)	(10+m+2)		(10+k+2)	(0...32)	(4)
Ethertype 0x88A4									

EtherCAT: Standard-Ethernet-Telegramm entsprechend IEEE 802.3

## Die Grundlage: Ethernet

EtherCAT ist Industrial Ethernet und nutzt Standard-Frames und die physikalischen Schichten aus dem Ethernet-Standard IEEE 802.3. Für die Nutzung eines Ethernet-basierten Kommunikationssystems in der Automatisierungstechnik gibt es gegenüber der IT- und Office-Welt weitere Anforderungen:

- Harte Echtzeit mit deterministischen Antwortzeiten wird benötigt.
- In der Regel sind in den Anlagen viele Teilnehmer vorhanden, die jeweils nur wenige zyklische Prozessdaten besitzen.
- Die Teilnehmer sind sehr kostensensitiv.

Diese Anforderungen schließen die Nutzung eines Standard-Ethernet-Netzwerks innerhalb der Feldebene praktisch aus. Wird für jeden Teilnehmer ein individuelles Ethernet-Telegramm genutzt, dann sinkt bei wenigen Byte zyklischer Prozessdaten die effektive Datenrate erheblich: Das kürzeste Ethernet-Telegramm

hat eine Länge von 84 Byte (inkl. Inter Frame Gap), von denen bis zu 46 Byte für Nutzdaten verwendet werden können. Wenn beispielsweise ein Antrieb 4 Byte Prozessdaten für die aktuelle Position und eine Statusinformation versendet und ebenfalls 4 Byte Daten für die Zielposition und eine Control-Information empfängt, sinkt die Nutzdatenrate für die beiden Telegramme auf  $4/84 = 4,8\%$ . Hinzu kommt in der Regel eine Reaktionszeit im Antrieb, um durch den Empfang der Sollwerte das Senden der Istwerte auszulösen. Von der 100-MBit/s-Datenrate bleibt dann nicht viel übrig.

Protokoll-Stacks, wie sie in der IT-Welt für das Routing (IP) und den Verbindungsaufbau (TCP) verwendet werden, bedeuten einen zusätzlichen Overhead in den Teilnehmern und bedingen durch die Stack-Laufzeiten weitere Verzögerungen.

## Das EtherCAT-Funktionsprinzip

EtherCAT umgeht diese Nachteile durch das besonders performante Funktionsprinzip: Ein Frame reicht in der Regel aus, um in allen Teilnehmern die Ausgangsinformationen zu aktualisieren und mit dem gleichen Frame die Eingangsinformationen für die Steuerung einzulesen.

Das vom EtherCAT-Master ausgesandte Telegramm durchläuft alle Teilnehmer. Jeder EtherCAT-Slave liest „on the fly“ die an ihn adressierten Ausgangsdaten und legt seine Eingangsdaten in den weitergeleiteten Frame. Das Telegramm wird nur durch Hardware-Durchlaufzeiten verzögert. Der letzte Teilnehmer eines Segments oder Abzweigs erkennt einen offenen Port und sendet das Telegramm per Full-Duplex zum Master zurück.

Die maximale Nutzdatenrate eines Telegramms liegt dadurch bei über 90 %, und die theoretische, effektive Datenrate durch Ausnutzung der Full-Duplex-Eigenschaft sogar bei über 100 MBit/s (> 90 % von zweimal 100 MBit/s). Der EtherCAT-

Master ist der einzige Teilnehmer im Segment, der aktiv einen EtherCAT-Frame versenden darf; alle anderen Teilnehmer leiten die Frames nur weiter. Dies vermeidet unvorhersehbare Verzögerungen und garantiert die Echtzeitfähigkeit.

Der Master nutzt einen Standard-Ethernet-Medium-Access-Controller (MAC) ohne einen zusätzlichen Kommunikationsprozessor. Damit kann ein Master auf jeder Hardware-Plattform installiert werden, die einen Ethernet-Port zur Verfügung stellt. Das verwendete Echtzeit-Betriebssystem oder die Applikationssoftware sind dabei unerheblich.

Die EtherCAT-Slaves nutzen einen EtherCAT Slave Controller (ESC) für die Verarbeitung „on-the-fly“. Die Verarbeitung erfolgt vollkommen in der Hardware, wodurch die Performance des Netzwerks berechenbar wird und nicht von der Implementierung der einzelnen Slaves abhängt.

## Protokolleigenschaften

EtherCAT nutzt Standard-Ethernet-Frames. In die Frames eingebettet sind die EtherCAT-Nutzdaten. Da das EtherCAT-Protokoll für kurzzyklische Prozessdaten optimiert ist, kann auf die Verwendung von belastenden Protokoll-Stacks, wie z. B. TCP/IP oder UDP/IP, verzichtet werden.

Der EtherCAT-Frame enthält den Frame-Header sowie ein oder mehrere Datagramme. Im Datagramm-Header wird festgelegt, welchen Zugriff der Master im Netzwerk durchführen möchte:

- Lesen, Schreiben, Lesen und Schreiben
- Zugriff auf einen bestimmten Slave durch direkte Adressierung oder Zugriff auf viele Slaves durch eine implizite Adressierung

Die implizite Adressierung wird für den zyklischen Austausch der Prozessdaten verwendet. Jedes Datagramm adressiert einen bestimmten Teil des Prozessabbaus im EtherCAT-Segment. Hierfür steht ein 4-GBYTE-Adressraum zur Verfügung. Jeder Slave bekommt beim Hochlauf des Netzwerks eine oder mehrere Adressen in diesem Adressraum zugewiesen. Indem mehrere/viele Slaves eine Adresse im gleichen Bereich bekommen, können diese Slaves über ein einziges Datagramm angesprochen werden.

Da die Information über den gewünschten Datenzugriff vollständig in den Datagrammen enthalten ist, kann der Master entscheiden, wann er auf welche Daten zugreift. Er kann dies zum Beispiel nutzen, um mit kurzen Zykluszeiten die Antriebe im System zu aktualisieren und gleichzeitig mit einer längeren Zykluszeit die I/Os abzufragen; ein fester Frame-Aufbau ist nicht vorgeschrieben. Dies entlastet den Master: In bisherigen Feldbusanschlüssen war es nötig, die Daten von jedem einzelnen Feldbusteilneh-

mer einzeln auszulesen und dann mithilfe des Prozessors diese Daten zu sortieren und in den Arbeitsspeicher zu kopieren. Mit EtherCAT muss der Master nur einen EtherCAT-Frame mit neuen Ausgangsdaten füllen und kann diesen per automatischem Direct Memory Access (DMA) an den MAC-Controller senden.

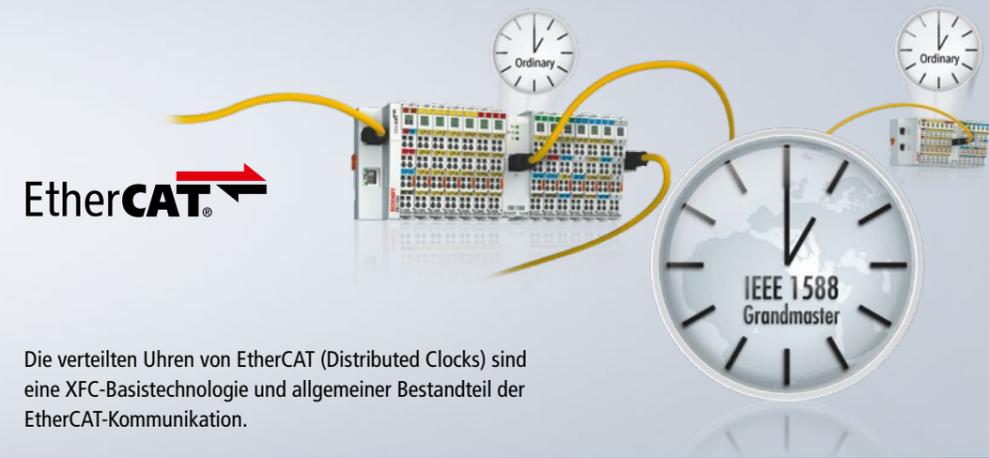
Neben der logischen Adressierung hat der Master die Möglichkeit, einen Slave anhand seiner Position im Netzwerk zu adressieren. Dies wird verwendet, um die Topologie des Netzwerks beim Aufstarten auszulesen und gegen eine erwartete Konfiguration zu prüfen. Nachdem die Konfiguration überprüft wurde, kann der Master jedem Knoten eine konfigurierte Knotenadresse zuweisen und ihn von da an über diese fixe Knotenadresse erreichen. Damit ist ein gezielter Gerätezugriff auch dann möglich, wenn sich die Topologie im laufenden Betrieb ändert, zum Beispiel durch Hot-Connect-Gruppen.

Slave-zu-Slave-Kommunikation kann auf zwei Weisen erfolgen: Ein Slave kann einem anderen Teilnehmer, der weiter hinten im Netzwerk eingebunden ist, direkt Daten zusenden. Da die Verarbeitung des EtherCAT-Frames nur in Vorwärtsrichtung erfolgt, ist diese direkte Kommunikation topologieabhängig. Sie ist besonders geeignet für Slave-zu-Slave-Beziehungen in einem festen Maschinendesign, zum Beispiel in Druck- oder Verpackungsmaschinen. Frei konfigurierbare Slave-zu-Slave-Kommunikation erfolgt hingegen über den Master. Hierfür werden zwei Buszyklen benötigt (nicht unbedingt zwei Steuerungszyklen); dank der hervorragenden Performance von EtherCAT ist dies dennoch schneller als bei anderen Ansätzen.

# EtherCAT: die Technologie im Detail



Einfache Integration anderer Bussysteme über EtherCAT-Gateways als unterlagertes System



Die verteilten Uhren von EtherCAT (Distributed Clocks) sind eine XFC-Basistechnologie und allgemeiner Bestandteil der EtherCAT-Kommunikation.

## Flexible Topologie

Linie, Baum, Stern, Daisy-Chain: EtherCAT unterstützt nahezu alle Topologievarianten. Reine Bus- bzw. Linientopologien aus vielen Teilnehmern sind ohne Einschränkungen möglich. Für die Systemverdrahtung ist besonders die Kombination aus Linie und Abzweigen oder Stichleitungen vorteilhaft: Die notwendigen Ports sind bei vielen I/O-Modulen direkt integriert – Switches oder andere aktive Infrastrukturkomponenten können entfallen. Natürlich eignet sich auch die für Ethernet klassische Sterntopologie.

Modulare, komplexe Maschinen schalten Netzwerksegmente oder einzelne Teilnehmer im laufenden Betrieb (Hot Connect) zu oder ab. Die EtherCAT Slave Controller enthalten die dafür notwendige Basisfunktion: Bei Abzug einer Partnerstation wird der Port automatisch geschlossen, während das verbleibende Netzwerk störungsfrei weiterarbeitet. Sehr kurze Detektionszeiten < 15 µs gewährleisten die stoßfreie Umschaltung.

Hohe Flexibilität durch Kabel-Varianz: Kostengünstige Industrial-Ethernet-Kabel können bei 100BASE-TX-Mode zwischen zwei

Teilnehmern bis 100 m verwendet werden. Für längere Strecken können Lichtleiter genutzt werden. Die vielfältige Ethernet-Verkabelung steht also auch für EtherCAT zur Verfügung.

Die große Bandbreite von EtherCAT ermöglicht die Verlagerung von Feldbusanschlüssen in unterlagerte Systeme über ein EtherCAT-Gateway. Das hilft beispielsweise bei der Migration vom klassischen Feldbus zu EtherCAT, indem es eine schrittweise Umsetzung der Anlage auf EtherCAT sowie die Einbindung von Komponenten ohne EtherCAT-Schnittstelle, ermöglicht.

EtherCAT unterstützt bis zu 65.535 Teilnehmer pro Segment, daher ist die Netzwerkausdehnung nahezu unbegrenzt. Dank der praktisch unbeschränkten Teilnehmerzahl sind modulare Geräte wie anreihbare I/O-Stationen so designt, dass jedes Modul ein eigener EtherCAT-Teilnehmer ist. Damit entfällt der sonst erforderliche lokale Erweiterungsbus; die EtherCAT-Performance erreicht jedes Modul direkt und ohne Verzögerung, da das Gateway in der Kopfstation entfällt.

## Hochgenaue Synchronisierung mit Distributed Clocks

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, bei denen mehrere Servoachsen gleichzeitig koordinierte Bewegungen ausführen.

Im Gegensatz zur vollsynchronen Kommunikation, deren Qualität bei Kommunikationsstörungen sofort leidet, verfügen verteilte abgegliche Uhren über ein hohes Maß an Toleranz gegenüber möglichen störungsbedingten Verzögerungen im Kommunikationssystem. Daher basiert die EtherCAT-Lösung zur Synchronisierung von Teilnehmern auf dem Mechanismus der verteilten Uhren, genannt Distributed Clocks (DC).

Der Abgleich der Uhren in den Teilnehmern erfolgt vollständig in Hardware. Hierfür wird die Uhrzeit des ersten synchron arbeitenden Slave-Geräts zyklisch an alle anderen Uhren im System verteilt. Die Slave-Uhren können sich dadurch exakt

auf diese Referenzuhr einregeln. Der resultierende Jitter im System ist signifikant kleiner als 1 µs.

Da die Uhrzeitinformation der Referenzuhr durch die Laufzeitverzögerung auf dem Kabel und in den Teilnehmern erst verspätet bei den Slave-Uhren empfangen wird, ist eine Messung und ein Ausgleich dieser Verzögerung für jeden Slave notwendig, um neben der physikalischen Synchronität auch Gleichzeitigkeit zu erreichen. Auch diese Gleichzeitigkeit ist signifikant kleiner als 1 µs.

Wenn alle Teilnehmer die gleiche Zeitinformation besitzen, dann können in den Teilnehmern Ausgänge gleichzeitig gesetzt werden und Eingangssignale mit einem hochgenauen Zeitstempel versehen werden. Bei Motion-Control-Anwendungen ist neben Synchronität und Gleichzeitigkeit auch die Zyklustreue entscheidend: Typischerweise wird hier die Geschwindigkeit aus der zyklisch gemessenen Position ermittelt.

## Diagnose und Fehlerlokalisierung

Die Erfahrungen mit den klassischen Feldbussystemen zeigen, dass die Verfügbarkeit und Inbetriebnahmezeit einer Anlage wesentlich durch die Diagnoseeigenschaften des Systems bestimmt werden. Hierbei ist neben der Fehlererkennung auch die Fehlerlokalisierung für eine schnelle Behebung wichtig. Neben der Möglichkeit zum Einscannen und Vergleich der Netzwerktopologie während des Hochlaufs unterstützt EtherCAT systeminhärent viele weitere Diagnoseeigenschaften.

In jedem Slave wird das durchlaufende Telegramm vom EtherCAT Slave Controller mithilfe einer Prüfsumme auf Fehler untersucht. Nur wenn das Telegramm fehlerfrei empfangen wurde, werden die Informationen der Slave-Applikation zur Verfügung gestellt. Fehlerhafte Telegramme hingegen inkrementieren einen Zähler und werden für die nachfolgenden Teilnehmer als fehlerhaft gekennzeichnet. Das fehlerhafte Telegramm wird im Master erkannt und dort ebenfalls verworfen. Über das Auslesen der

Fehlerzähler der Teilnehmer ist der Master in der Lage, die Fehlerstelle im System exakt zu lokalisieren. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber den klassischen Feldbussystemen, bei denen sich Störungen auf der gemeinsam genutzten Busleitung im System ausbreiten und die Quelle einer Störung nicht lokalisiert werden kann. Selten auftretende Störeinflüsse können bei EtherCAT erkannt und lokalisiert werden, selbst wenn die Störungen die Funktionalität der Maschine noch nicht beeinflussen.

Dank der deutlich besseren Bandbreitennutzung ist bei EtherCAT die Wahrscheinlichkeit, dass ein Frame von einer Störung verfälscht wird, ohnehin deutlich geringer als bei Technologien mit Einzelframes – gleiche Zykluszeit vorausgesetzt. Und wenn, wie bei EtherCAT üblich, kürzere Zykluszeiten Verwendung finden, ist die temporäre Wirkung einer etwaigen Störung signifikant verringert. Damit wird die applikative Beherrschung solcher Störungen deutlich vereinfacht.

## Hohe Verfügbarkeit

Bei vielen Anlagen dürfen Kabelunterbrechungen oder der Ausfall eines Teilnehmers nicht dazu führen, dass das Netzwerk ausfällt oder dass Netzwerksegmente nicht mehr erreichbar sind. Kabelredundanz wird bei EtherCAT über einfache Maßnahmen ermöglicht: Ein zusätzlicher Ethernet-Port im Master und ein zusätzliches Kabel vom letzten Teilnehmer zu diesem Port erweitern die Linien- zu einer Ringtopologie; eine Software-Erweiterung im Master-Stack dient zur Erkennung des Redundanzfalls. Mehr ist nicht notwendig. Die Slave-Teilnehmer bleiben unverändert und wissen nicht einmal, dass sie in einem redundanten Netzwerk betrieben werden.

Der Redundanzfall – eine Kabelunterbrechung oder ein ausgefallener Teilnehmer – wird durch die Link-Erkennung der Teilnehmer automatisch erkannt und aufgelöst. Die Recovery-Zeit liegt bei weniger als 15 µs, sodass maximal ein Kommunikationszyklus gestört wird. Damit können kurzzyklische Motion-Anwendungen im Falle eines Kabelbruchs ungestört weiterarbeiten.

Auch Master-Redundanz mit Hot-Standby-Funktionen kann mit EtherCAT realisiert werden. Zudem können gefährdete Maschinenteile, zum Beispiel Teilnehmer, die über eine Schleppkette angebunden sind, per Stichleitungen angebunden werden, um im Falle einer Unterbrechung nicht weitere Teile des Netzwerks zu beeinflussen.

# EtherCAT: noch schneller durch XFC

XFC (eXtreme Fast Control) ist eine Steuerungstechnologie, die sehr schnelle und extrem deterministische Reaktionen ermöglicht. Sie umfasst dabei alle an der Steuerung beteiligten Hard- und Softwarekomponenten: optimierte Ein- und Ausgangsbaugruppen, die mit hoher Genauigkeit Signale aufnehmen bzw. Aktionen auslösen können, ein extrem schnelles Kommunikationsnetzwerk, moderne Industrie-PCs und eine Automatisierungssoftware, die alle Systembestandteile miteinander verbindet. Diese Technologie eröffnet dem Anwender neue Möglichkeiten der Prozessoptimierung, die bisher technisch

bedingt nicht möglich waren. Mit XFC ist es möglich, I/O-Response-Zeiten  $< 100 \mu\text{s}$  zu realisieren.

XFC basiert auf einer optimierten Steuerungs- und Kommunikationsarchitektur, die aus einem leistungsfähigen Industrie-PC, ultraschnellen I/O-Klemmen mit erweiterten Echtzeit-Eigenschaften, dem Highspeed-Ethernet-System EtherCAT und der Automatisierungssoftware TwinCAT besteht.

# Effizientere Produktion durch extrem schnelle Steuerungstechnik

XFC beinhaltet auch weitere Technologien, die neben der reinen Zykluszeit speziell die zeitliche Genauigkeit verbessern und die Auflösung erhöhen.

- Distributed Clocks
- Timestamp/Multi-Timestamp
- Oversampling
- schnelle I/Os

Dadurch eröffnen sich dem Anwender Möglichkeiten, um seine Maschine qualitativ zu verbessern und Reaktionszeiten zu verkürzen. Messtechnische Aufgaben, wie z. B. präventive Wartungsmaßnahmen, Überwachung von Standzeiten oder

die Dokumentation der Teilequalität, lassen sich in einfacher Weise in die Maschinensteuerung integrieren, ohne dass zusätzliche, teure Spezialgeräte benötigt werden. Natürlich muss in einer praktischen Automatisierungslösung nicht alles extrem schnell und genau sein – viele Teilaufgaben lassen sich weiterhin mit „normalen“ Anforderungen lösen. Die XFC-Technologie ist daher vollständig kompatibel zu bestehenden Lösungen und kann gleichzeitig auf ein und denselben Hard- und Software genutzt werden.

► [www.beckhoff.com/xfc](http://www.beckhoff.com/xfc)

## IPC – Die extrem schnelle Steuerungs-CPU

- Industrie-PC mit hochleistungsfähigen Echtzeit-Motherboards
- kompakte Formfaktoren, optimiert für Steuerungsanwendungen

## EtherCAT-Klemmen – Die extrem schnelle I/O-Technologie

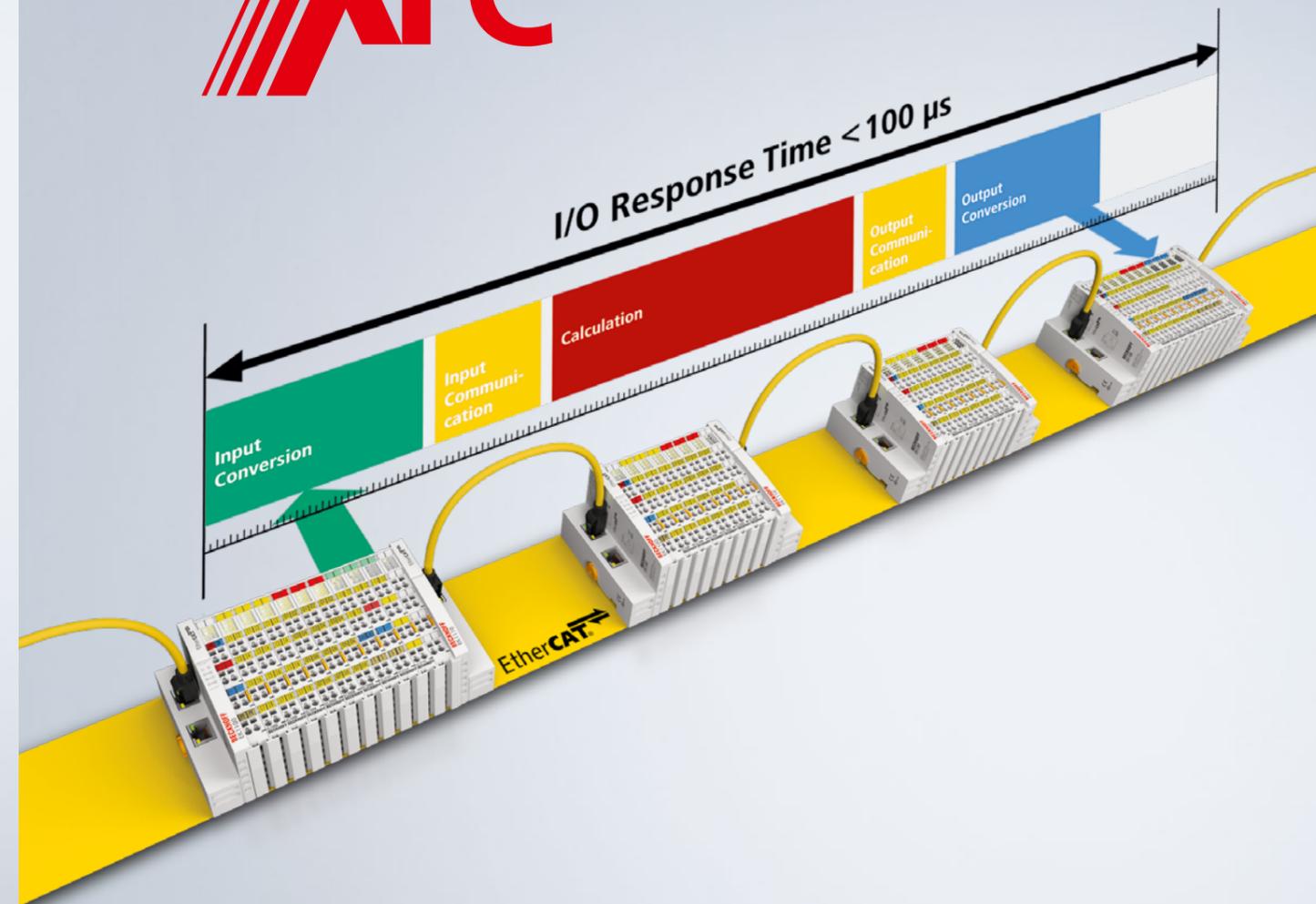
- gesamte Breite des I/O-Spektrums für alle Signaltypen
- digitale und analoge Highspeed-I/Os
- Zeitstempel und Oversampling ermöglichen extrem hohe Zeitauflösung (bis 10 ns).

## EtherCAT – Die extrem schnelle Steuerungskommunikationstechnik

- 1000 dezentrale digitale I/Os in 30  $\mu\text{s}$
- EtherCAT bis zu den einzelnen I/O-Klemmen, kein Sub-Bus erforderlich
- optimierte Verwendung von Standard-Ethernet-Controllern, z. B. Intel®-PC-Chipsatz-Architektur im EtherCAT-Master
- erweiterte Echtzeitfunktion basierend auf Distributed Clocks
  - Synchronisation
  - Zeitstempel
  - Oversampling

## TwinCAT – Die extrem schnelle Echtzeit-Steuerungssoftware

- Echtzeit unter Microsoft Windows mit Zykluszeiten bis 12,5  $\mu\text{s}$
- Programmierung in XFC-Realtime-Tasks nach IEC 61131-3
- Standardeigenschaften von Windows und TwinCAT sind XFC-kompatibel.



# EtherCAT P: ultraschnelle Kommunikation und Power auf einem Kabel

EtherCAT P (P = Power) ermöglicht als Erweiterung des EtherCAT-Protokolls nicht nur die Übertragung von Kommunikationsdaten, sondern auch die Spannungsversorgung über ein und dasselbe vieradrige Standard-Ethernet-Kabel.

EtherCAT und EtherCAT P sind protokolltechnisch identisch. Die Erweiterung betrifft ausschließlich die physikalische Schicht, daher sind für EtherCAT P keine neuen EtherCAT Slave Controller nötig. EtherCAT P bietet die gleichen Vorteile wie EtherCAT, ermöglicht zusätzlich jedoch die Spannungsversorgung über das Kommunikationskabel und bietet damit für viele Applikationen attraktive Vorteile. Zur Versorgung

der speziellen EtherCAT-P-Geräte stehen zwei galvanisch getrennte, auch einzeln schaltbare 24-Volt-Spannungen zur Verfügung:

- $U_s$  für System- und Sensorversorgung
- $U_p$  für Peripherie- und Aktorversorgung

Beide Spannungen sind bei EtherCAT P direkt in die 100-MBit-EtherCAT-Kommunikationsleitung eingebunden, inklusive der Spannungsweiterleitung zur Kaskadierung vieler EtherCAT-P-Geräte. Die Bündelung dieser Features führt zu reduzierter Verkabelung, kompakter und kostengünstiger Verdrahtung, gesenkten Systemkosten und allgemein einem geringeren Platzbedarf für Geräte, Zubehör und Maschinen.

## Vereinfachte Systemverkabelung

Die Grundidee von EtherCAT P liegt darin, die Anzahl der Anschlüsse an den Automatisierungskomponenten und -geräten zu reduzieren und somit die Systemverkabelung zu vereinfachen. Einsetzbar ist diese optimal entsprechend der jeweiligen Leistungsanforderungen skalierbare Einkabellösung in der gesamten Feldebene: Für den 24-V-Bereich wird eine konventionelle Standard-Ethernet-Leitung verwendet. Bei höheren Spannungen und Strömen wird EtherCAT P in die entsprechende Powerleitung integriert. Durch den Wegfall der separaten Versorgungsleitungen reduzieren sich Materialkosten, Mon-

tage- bzw. Zeitaufwand sowie die Fehlerquote bei der Installation. Zudem wird der benötigte Bauraum in Schleppketten, Schaltschränken und in der Maschine selbst minimiert. Außerdem sind kleinere und übersichtlichere Kabeltrassen ebenso wie kleinere Sensoren bzw. Aktoren möglich. Insgesamt eröffnet dies deutlich mehr Freiheiten im Anlagendesign, und das bei minimierten Material- bzw. Systemkosten durch eine toolgestützte Systemauslegung.

## Flexible Topologie

Die gewohnte freie und flexible Topologiewahl bleibt bei EtherCAT P erhalten. Die Stromtrag-

fähigkeit von 3 A je EtherCAT-P-Segment erlaubt bereits den Einsatz einer Vielzahl von Sensoren/ Aktoren. Zum Aufbau der gewünschten Netzwerkstruktur direkt im Feld gibt es umfangreiche IP-67-Infrastrukturkomponenten. EtherCAT P kann mit EtherCAT im selben Netzwerk genutzt werden. Entsprechende Einspeisegeräte setzen von der herkömmlichen EtherCAT-Physik auf EtherCAT P um, wobei die Ethernet-Datenkodierung voll erhalten bleibt. Genauso kann ein Gerät für sich mit EtherCAT P versorgt werden, daneben aber auch herkömmliches EtherCAT weiterleiten.

► [www.beckhoff.com/ethercatp](http://www.beckhoff.com/ethercatp)

Die freie und flexible Topologiewahl von EtherCAT bleibt erhalten.

Reduzierung von Material- und Montagekosten

Überragende EtherCAT-Performance zu geringen Anschaltkosten

Minimierung des Bauraums in Schleppketten, Schaltschrank und Maschine

One Cable Connection: EtherCAT + 2 x 24 V DC ( $U_s$ ,  $U_p$ ) auf nur 4 Adern

Stromversorgungsweiterleitung in den Teilnehmern

Steckerfamilie optimal skalierbar von 24 V DC bis 630 V AC/850 V DC

# EtherCAT<sup>®</sup> P



# EtherCAT G: skalierbare I/O- Performance von 100 bis 10.000 MBit/s

EtherCAT G ist die Fortführung des EtherCAT-Erfolgsprinzips in nun technologisch verfügbaren Geschwindigkeiten mit 1 GBit/s und 10 GBit/s. Das EtherCAT-Protokoll selbst bleibt dabei unverändert. Das vom EtherCAT-Master ausgesandte Telegramm durchläuft alle Teilnehmer. Jeder EtherCAT-Slave liest die an ihn adressierten Ausgangsdaten „on the fly“ und legt seine Eingangsdaten in den weitergeleiteten Frame – jetzt mit 1 bzw. 10 GBit/s.

Das Telegramm wird nur durch Hardware-Durchlaufzeiten verzögert. Der letzte Teilnehmer eines Segments (oder Abzweigs) erkennt einen unbenutzten Port und sendet das Telegramm zum

Master zurück – hierbei wird die Full-Duplex-Eigenschaft der Ethernet-Physik ausgenutzt. Auch alle anderen Eigenschaften von EtherCAT bleiben bei EtherCAT G/G10 vollständig erhalten.

Geräte mit drei oder vier Ports ermöglichen flexible Topologien, genau so, wie sie von der Maschinenarchitektur gefordert werden. Optionale Maschinenmodule können weiterhin per Hot Connect je nach Bedarf an- oder abgesteckt werden. Eine netzwerkweite Diagnose hilft Stillstandszeiten der Maschine zu minimieren und erhöht somit die Verfügbarkeit. Selbstverständlich sorgt das integrierte Konzept der verteilten Uhren (Distributed Clocks) auch weiterhin für Synchroni-

sierungsgenauigkeiten unter 100 ns zwischen den Teilnehmern.

## Technologieerweiterung für datenintensive Anwendungen

Machine Vision, Condition Monitoring oder auch die innovativen Transportsysteme XTS und XPlanar benötigen für jeden Teilnehmer mehrere hundert Byte Prozessdaten je Zyklus. In Verbindung mit kurzen Zykluszeiten von  $\leq 1$  ms sind dafür hohe Übertragungsbandbreiten gefordert. Mit EtherCAT G können diese Anwendungen mit einem EtherCAT-G-Master bedient und gleichzeitig weitere Automatisierungsgeräte

oder Antriebe eingebunden werden. Um die Nachfrage nach immer kürzeren Zykluszeiten in immer größer werdenden Anlagen mit vielen Teilnehmern zu erfüllen, wurde das Branch-Konzept für EtherCAT G entwickelt. An einem Branch Controller stellt jeder Abzweig ein eigenes EtherCAT-Segment dar. Die Konfiguration der Branch Controller erfolgt, wie bei EtherCAT üblich, durch den EtherCAT-Master und erfordert keine zusätzlichen Konfigurationswerkzeuge. Diagnose und auch Distributed-Clocks-Synchronisierung werden vom Branch Controller unterstützt und transparent in die angeschlossenen Segmente durchgereicht. Branch Controller mit mehreren

Abzweigen können genutzt werden, um flexible Topologien zu realisieren.

## Einfacher Einstieg in die EtherCAT-G-Nutzung

EtherCAT ist der Kommunikationsstandard Nr. 1 für die industrielle Automation. Aus einer einzigartigen Vielfalt von tausenden kompatiblen Geräten kann ein Maschinenbauer die benötigten Komponenten einfach auswählen. Die kompatible Einbindung dieser Geräte ist eine Grundvoraussetzung für die Erweiterung auf EtherCAT G.

► [www.beckhoff.com/ethercatg](http://www.beckhoff.com/ethercatg)

- EtherCAT**
- 100BASE-TX
  - große Komponentenauswahl

- EtherCAT G**
- 1000BASE-T
  - Integration von datenintensiven Geräten
  - sehr hohe Bandbreite

- EtherCAT G10**
- 10GBASE-T
  - Integration von EtherCAT-G-Segmenten
  - ultimative Bandbreite

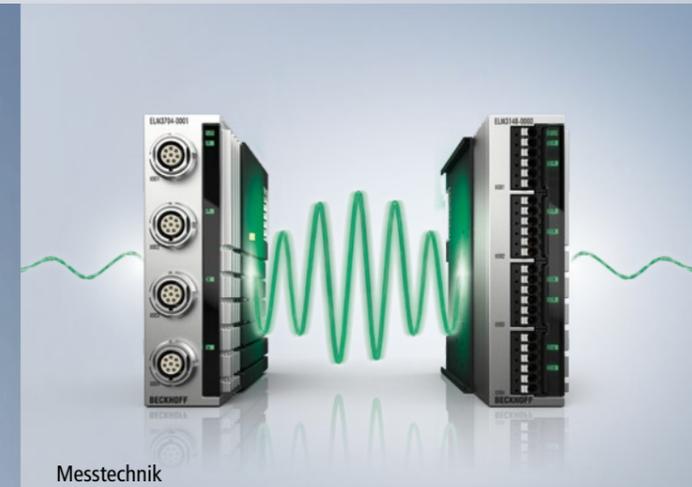


10 Gbit/s  
1 Gbit/s  
100 Mbit/s

Ether**CAT**® **G**

### Branch-Controller-Konzept

- Verarbeitung im Durchlauf skalierbar auf 100 MBit/s, 1 GBit/s und 10 GBit/s
- einfache Konfiguration
- durchgängige Diagnose
- Branch Controller zur Integration von EtherCAT in EtherCAT-G/G10-Netze
- Optimierung der Durchlaufverzögerung
- Integration von Standard-Ethernet-Segmenten



Messtechnik



Motion



XFC – eXtreme Fast Control



Vision



XTS



XPlanar

# EtherCAT-Zubehör: die Meilensteine im Beckhoff- Portfolio

Mit dem EtherCAT-Zubehör von Beckhoff können zukunftsweisende Technologien ganz unkompliziert integriert werden: EtherCAT G/G10 kombiniert die Vorteile von EtherCAT mit Geschwindigkeiten von bis zu 10 GBit/s im 8-adrigen Cat.6-Kabel. EtherCAT P vereint Kommunikation und Power im 4-adrigen Standard-Ethernetkabel für die schaltschranklose Automatisierung. Hybridleitungen als Einkabellösungen für hohe Ströme und Spannungen ermöglichen Einsparpotenziale bei maximaler Flexibilität im Maschinendesign.

► [www.beckhoff.com/io-zubehoer](http://www.beckhoff.com/io-zubehoer)

2003:  
EtherCAT



EtherCAT

2015:  
EtherCAT P



EtherCAT P

2018:  
EtherCAT G



EtherCAT G

2017:

Hybridleitungen für hohe  
Ströme und Spannungen



## New Automation Technology

Beckhoff realisiert offene Automatisierungssysteme auf der Grundlage PC-basierter Steuerungstechnik. Das Produktspektrum umfasst die Hauptbereiche Industrie-PCs, I/O- und Feldbuskomponenten, Antriebstechnik und Automatisierungssoftware. Für alle Bereiche sind Produktlinien verfügbar, die als Einzelkomponenten oder als vollständige Systemlösung zum Einsatz kommen. Die New Automation Technology von Beckhoff steht für innovative, branchenunabhängige Steuerungs- und Automatisierungslösungen, die weltweit in den verschiedensten Anwendungen, von

der CNC-gesteuerten Werkzeugmaschine bis zur intelligenten Gebäudesteuerung, eingesetzt werden.

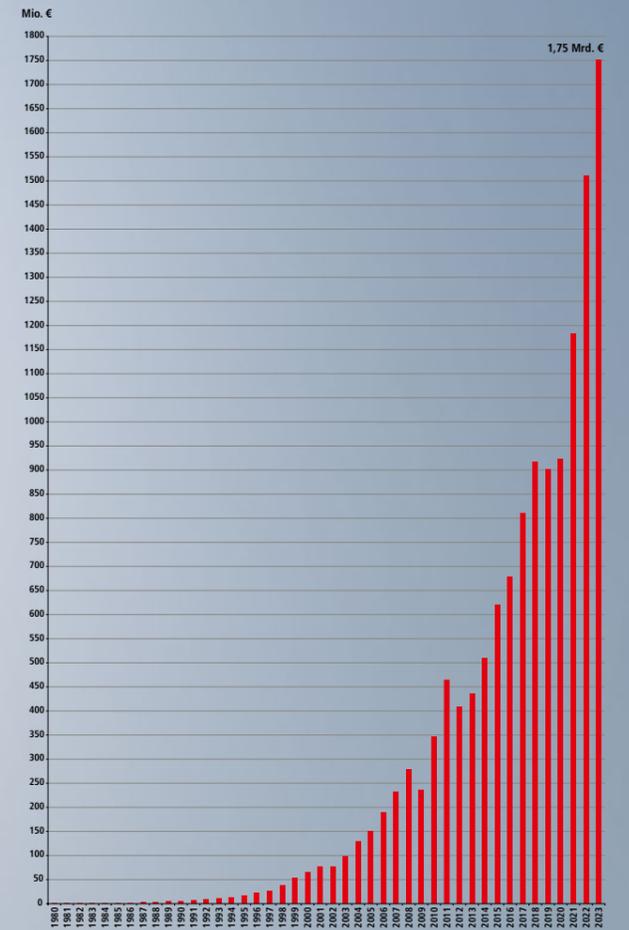
## Weltweite Präsenz auf allen Kontinenten

Durch die Präsenz von Beckhoff in 75 Ländern erhalten global aktive Beckhoff-Kunden weltweit schnellen Service und technischen Support in der jeweiligen Landessprache. Darüber hinaus ist die geographische Nähe zum Kunden für Beckhoff die Grundvoraussetzung für das tiefe Verständnis der technischen Herausforderungen, vor denen die Kunden stehen.

## Beckhoff Automation auf einen Blick

- Umsatz weltweit 2023: 1,75 Mrd. € (+16 %)
- Unternehmenszentrale: Verl, Deutschland
- geschäftsführender Inhaber: Hans Beckhoff
- Mitarbeiter weltweit: 5.500
- Anzahl Ingenieure: 2.000
- Tochterunternehmen/Repräsentanzen weltweit: 40
- Vertriebsniederlassungen in Deutschland: 23
- Vertretungen weltweit: > 75

► [www.beckhoff.com](http://www.beckhoff.com)



Umsatzentwicklung von 1980 bis 2023.  
Stand: März 2024

■ Headquarter  
● Niederlassung  
■ Distributor

Schnell, flexibel, kostenoptimiert –  
hier finden Sie EtherCAT-Komponenten von Beckhoff:  
► [www.beckhoff.com/ethercat](http://www.beckhoff.com/ethercat)

**Beckhoff Automation GmbH & Co. KG**

Hülshorstweg 20

33415 Verl

Germany

Telefon: +49 5246 963-0

[info@beckhoff.com](mailto:info@beckhoff.com)

[www.beckhoff.com](http://www.beckhoff.com)

Beckhoff®, TwinCAT®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® und XPlanar® sind eingetragene und lizenzierte Marken der Beckhoff Automation GmbH. Die Verwendung anderer in dieser Dokumentation enthaltener Marken oder Kennzeichen durch Dritte kann zu einer Verletzung von Rechten der Inhaber der entsprechenden Kennzeichen führen.

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG 04/2024

Die Informationen in dieser Druckschrift enthalten lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale, welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können. Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann verbindlich, wenn sie bei Vertragsabschluss ausdrücklich vereinbart werden.

Technische Änderungen vorbehalten.