

# Schnellerer Aufbau smarter Fabriken mit TSN-Technologie



Hintergrund, Funktionen  
und zukünftige Entwicklungen

White paper.

Inhalt	Seite
1. Einleitung	3
2. Entwicklungshintergrund	4
3. Technischer Überblick und Nutzung der offenen Technologie	5
1 TSN-Technologie und Protokollschichten	5
2 Kommunikationsmethode	5
3 Verbesserte Profilunterstützung & Diagnose	5
4 Unterstützung von universellen Netzwerkdiagnosefunktionen	5
4. Merkmale	6
1 Integration von Steuerungs- und Informationskommunikation	6
2 Schnelle Systemeinrichtung und fortschrittliche vorausschauende Wartung	7
3 Maximierung der Leistungsfähigkeit von Motion Control und Reduzierung der Zykluszeit	7
4 Mehr Optionen für Gerätehersteller	8
5. Anwendungsbeispiele	9
1 Intelligente Integration von Steuerungs- und Informationskommunikation	9
2 System mit universellen IP-Kommunikationsgeräten und leistungsstarker Motion Control	10
6. Zukünftige Entwicklungen	11

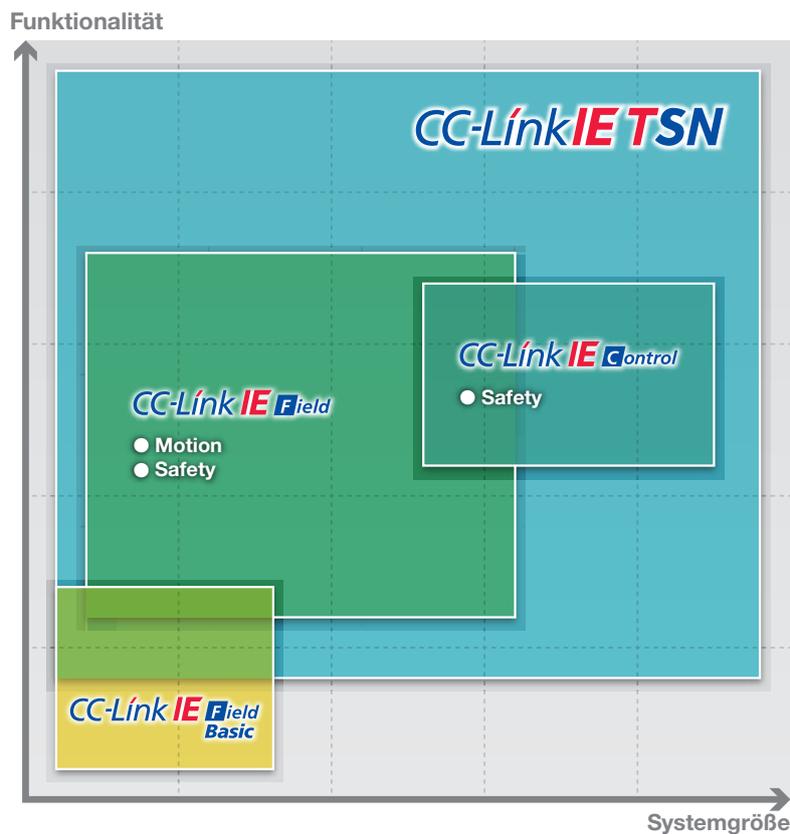
# 1. Einleitung

Die CC-Link Partner Association hat mit CC-Link IE TSN eine neue offene industrielle Netzwerk-Spezifikation als CC-Link IE-Netzwerk der nächsten Generation entwickelt.

CC-Link IE wurde 2007 als erstes offenes industrielles Netzwerk in der Branche auf Basis eines 1-Gbit/s-Ethernet eingeführt. CC-Link IE ist in verschiedenen Varianten erhältlich. "CC-Link IE Control" ist ein Backbone-Netzwerk, das Steuerungen innerhalb einer Fabrik miteinander verbindet, während "CC-Link IE Field" die allgemeine Ein-/Ausgangssteuerung umfasst und Steuerungen mit einer Vielzahl von Feldgeräten verbindet. Funktionalität und Umfang wurden auch um "CC-Link IE Field Motion" (für Motion Control) und "CC-Link IE Safety" (für Safety Control) erweitert. Im Jahr 2016 ist die Produktpalette um "CC-Link IE Field Basic", das die Kompatibilität zu 100-Mbit-Geräten herstellt, erweitert worden.

Die neu entwickelte CC-Link IE TSN-Spezifikation ist eine der Ersten, die die Gigabit-Ethernet-Bandbreite mit dem Time Sensitive Networking (TSN) kombiniert. TSN ist eine Erweiterung des Ethernet-bezogenen IEEE-Standards und beginnt sich in industriellen Netzwerken mehr und mehr durchzusetzen. Der Hauptvorteil von TSN besteht darin, dass es Echtzeit-Steuerinformationen mit Nicht-Echtzeit-Informationen unter Beibehaltung von deterministischen Eigenschaften kombiniert. Dies ist auf Basis von konventionellem Ethernet nicht möglich.

CC-Link IE TSN nutzt TSN, um Offenheit, gleichzeitig Leistungsfähigkeit sowie die Funktionalität zu erhöhen. Damit die Implementierung einfacher auf einer breiteren Palette von Geräten ermöglicht und somit die Anzahl kompatibler Produkte erhöht wird, werden mehrere Entwicklungsmethoden unterstützt. Und es wird erwartet, dass dies den Aufbau smarter Fabriken auch über das IIoT beschleunigen werden wird.



## 2. Entwicklungshintergrund

Da die Kundenanforderungen immer vielfältiger und fortschrittlicher werden, gibt es in der Fertigungsindustrie einen zunehmenden Automatisierungstrend, zur Senkung der Gesamtkosten, Total Cost of Ownership (TCO), und Qualitätsverbesserung verbunden mit der Einführung neuer Fertigungsmethoden wie beispielsweise der kundenspezifischen Massenproduktion. Die IT-Daten angetriebene Informationsgesellschaft entwickelt sich mit zunehmender Erfassung von Produktions- und Umweltdaten, schnelleren Netzwerken, Verbreitung von Cloud- und Edge-Computing und der Entwicklung von künstlicher Intelligenz (KI) stetig weiter.

Wir beobachten auch globale Megatrends, die sich durch Einsatz von IIoT in der Fertigungsindustrie entwickeln, wie z. B. Industrie 4.0 in Europa, das IIC (Industrial Internet Consortium) in den USA, Intelligent Manufacturing in China und Connected Industries in Japan. Alle haben ein gemeinsames Ziel: die Schaffung von „smarten Fabriken“, Daten optimal zu verwenden und die Fertigung autonom zu optimieren, da alles miteinander verbunden ist.

Wesentliche Kernpunkte für die Schaffung smarter Fabriken ist das Sammeln von Echtzeitinformationen aus Produktionsprozessen, die Datenverarbeitung über Edge-Computing und anschließende nahtlose Informationsübertragung an IT-Systeme. Zu diesem Zweck ist eine entscheidende Grundvoraussetzung für die optimale Nutzung von Daten eines Produktionsstandortes ist ein Netzwerk, das schnell und stabil Steuerungsinformation sowie große Datenmengen an IT-Systeme übertragen kann. Mit anderen Worten, es ist wichtig, industrielle Netzwerke an Produktionsstandorten mit IT-Systemnetzwerken zu kombinieren.

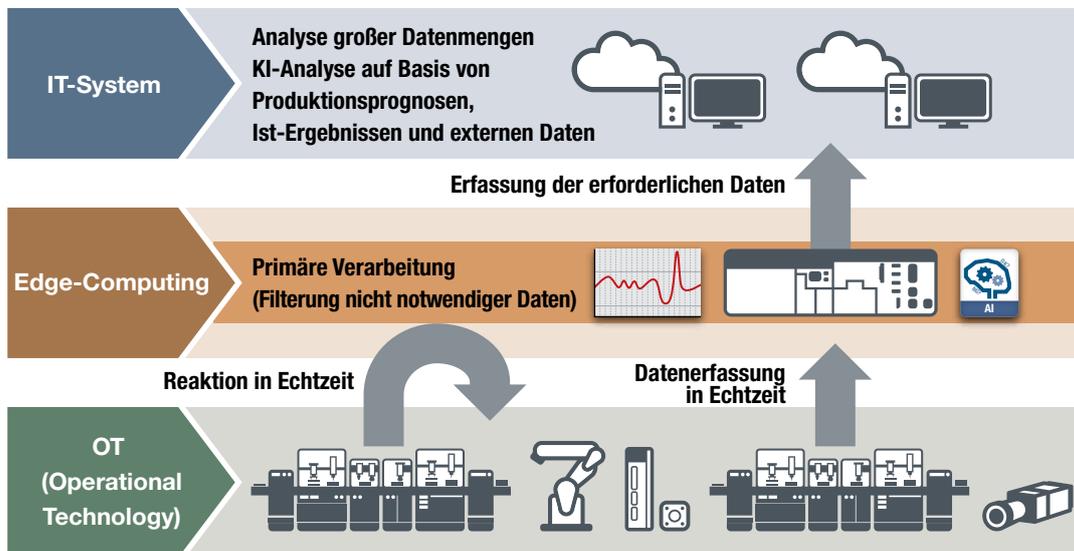
Derzeit sind sehr viele unterschiedliche industrielle Netzwerke im Einsatz. Diese Netzwerke erfordern proprietäre Switches, Kabel und andere spezielle Netzwerkkomponenten um Echtzeitdatenaustausch zu ermöglichen. Dies macht es unmöglich Leitungen, Geräte mit anderen IT- und industriellen Netzwerken gemeinsam zu nutzen. Die Nachfrage nach TSN-Unterstützung wird daher weiter zunehmen, da diese Technologie es ermöglicht, verschiedene Netze auf derselben Datenleitung zu verbinden und Echtzeitkommunikation durch Zeitsynchronisation zu liefern.

CC-Link IE TSN wurde entwickelt, um dieser Anforderung gerecht zu werden. CC-Link IE TSN ermöglicht eine nahtlose, reibungslose Verbindung von übergeordneten IT-Systemen zu OT-Systemen an Produktionsstätten und ermöglicht so den erweiterten Einsatz einer Vielzahl von Anwendungen in der Fertigung.

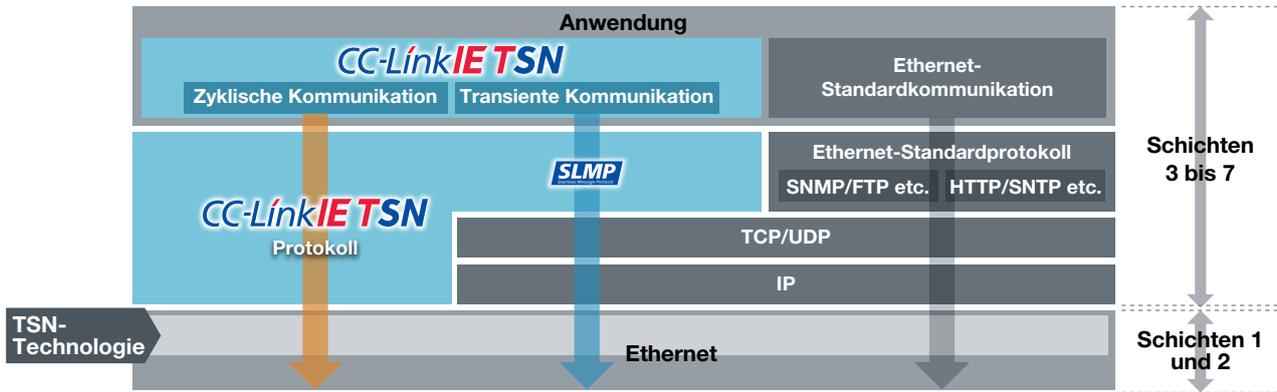
Um smarte Fabriken zu realisieren, ist eine Produktivitätssteigerung durch höhere Anlagenleistung und -funktionalität sowie fortschrittliche Motion Steuerungen unerlässlich. Dies gilt insbesondere für hoch entwickelte Branchen, wie die Halbleiter- und Batteriefertigung.

CC-Link IE TSN baut auf den Vorteilen von CC-Link IE auf, indem es die Kommunikationsfunktionen und die Synchronisationsgenauigkeit optimiert. Dadurch wurden die Motion-Steuerungsmöglichkeiten deutlich erweitert.

CC-Link IE TSN ist somit ein offenes industrielles Netzwerk der nächsten Generation, um den Aufbau smarter Fabriken zu beschleunigen.



# 3. Technischer Überblick und Nutzung der offenen Technologie



## 1 TSN-Technologie und Protokollschichten

Das Protokoll von CC-Link IE TSN verwendet die Schichten 3–7 des OSI-Referenzmodells und baut auf der TSN-Technologie in Schicht 2 auf.

TSN besteht aus einer Vielzahl neuer internationaler Normen. Die wichtigsten Normen sind IEEE 802.1AS (die die Zeitsynchronisationsmethode definiert) und IEEE 802.1Qbv (die die Timesharing-Methode definiert). Die Ergänzung des Ethernet-Standards um diese Normen gewährleistet Zeitgenauigkeit, stellt die Datenübertragung innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls sicher und ermöglicht Kombination mit anderen Kommunikationsprotokollen.

Die anwendbaren Ethernet-Standardprotokolle sind IP auf der dritten Schicht und TCP/UDP auf der vierten Schicht. Auch in den oberen Schichten können Protokolle wie HTTP, FTP und SNMP verwendet werden. Dies ermöglicht eine flexiblere Netzwerkadministration, da universelle Ethernet-Tools zur Netzwerkd Diagnose verwendet werden können.

## 2 Kommunikationsmethode

CC-Link IE TSN setzt das Timesharing-Verfahren ein, ein revolutionäres zyklisches Kommunikationskonzept. Konventionelles CC-Link IE arbeitet mit der Token-Passing-Methode. Eine Station übergibt die Übertragungsrechte, das Token, an die nächste Station nachdem sie ihre eigenen Daten gesendet hat.

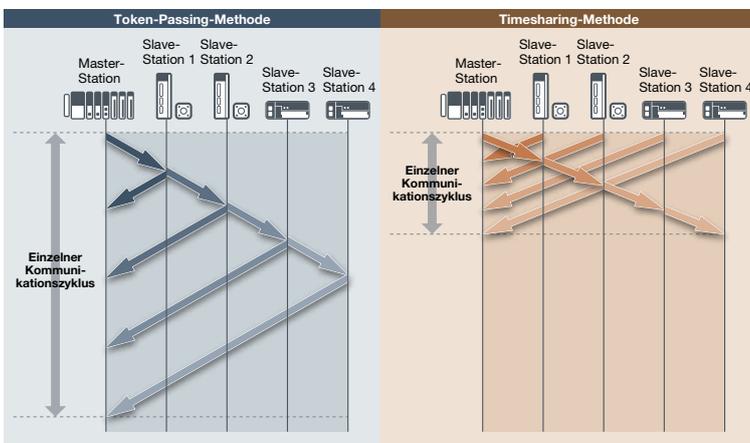
Im Gegensatz dazu verwendet CC-Link IE TSN eine gemeinsame, im gesamten Netzwerk synchronisierte Zeit. Die Ein- und Ausgangsdatenrahmen werden in einer festen Zeit in beide Richtungen synchronisiert übertragen. Die Kombination dieses Verfahrens mit TSN verkürzt die Aktualisierungsdauer der zyklischen Netzwerkdaten.

## 3 Verbesserte Profilunterstützung & Diagnose

Die CC-Link Partner Association hat CSP+ (Control & Communication System Profile) definiert, um Inbetriebnahme, Betrieb und Wartung von Geräten innerhalb von CC-Link-Systemen zu erleichtern. Mit der Verwendung von CSP+ hat CC-Link IE TSN die Unterstützung auf CANopen-Geräteprofile erweitert. So ist beispielsweise die Kommunikation nach der internationalen Norm IEC 61800-7 (CiA402) möglich.

## 4 Unterstützung von universellen Netzwerkd Diagnosefunktionen

CC-Link IE TSN-Netzwerkgeräte können mit dem Simple Network Management Protocol (SNMP) überprüft werden, das für die Überwachung von IT-Netzwerken weit verbreitet ist. CC-Link IE TSN Komponenteninformationen und statistische Informationen werden als erweiterte MIBs (Management Information Bases) definiert, wodurch universelle SNMP-Tools für die Netzwerkd Diagnose verwendet werden können.



Der Link-Zyklus ist abgeschlossen, wenn das Token alle angeschlossenen Stationen durchlaufen hat.

Der Link-Zyklus ist abgeschlossen, wenn die E/A-Kommunikationsrahmen zu einem vorbestimmten Zeitpunkt unter Verwendung der Netzwerkzeitsynchronisation gleichzeitig in beide Richtungen übertragen wurden.

# 4. Merkmale

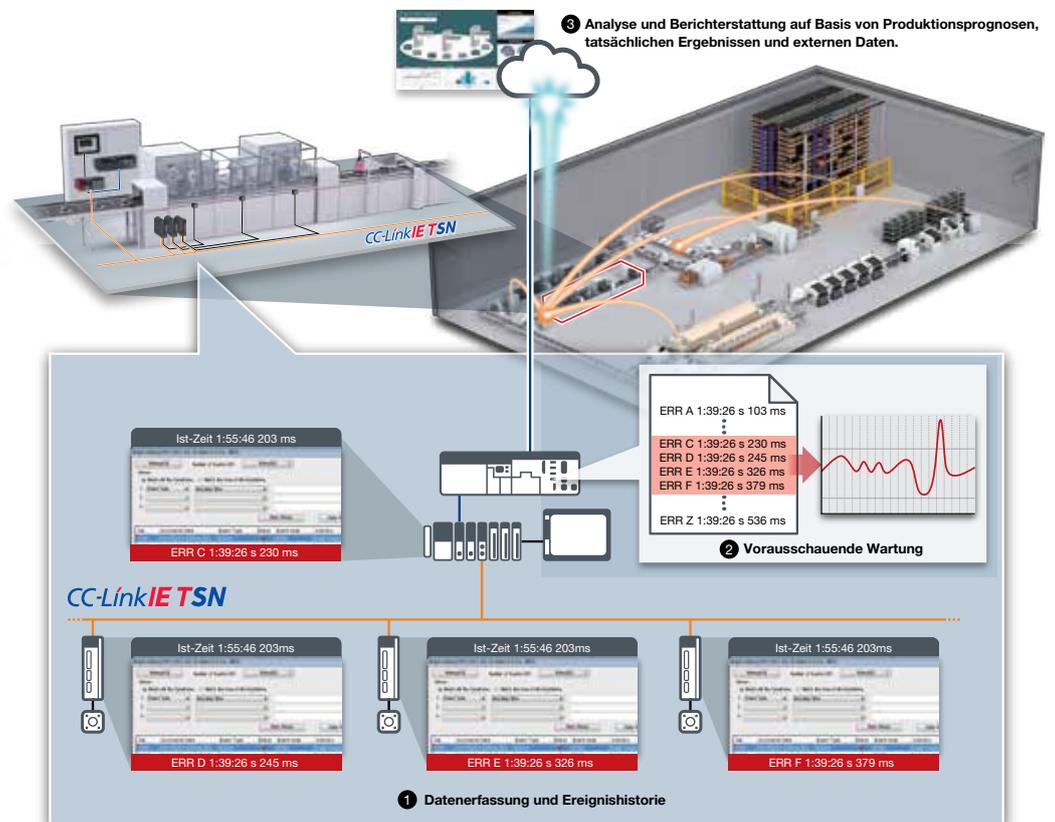
## CC-Link IE TSN bietet vier wesentliche Merkmale



### 1 Integration von Steuerungs- und Informationskommunikation

Mit der hohen Priorität der zyklischen Kommunikation für die Gerätesteuerung und der bevorzugten Zuweisung der Bandbreite gegenüber der Informationskommunikation bietet CC-Link IE TSN eine Netzwerkumgebung, die Informationen mit IT-Systemen kommuniziert und Systemgeräte mit zyklischer Echtzeitkommunikation

steuert. Diese Mischung mit der Informationskommunikation bedeutet, dass Geräte mit UDP- oder TCP-Kommunikation (z. B. Bildverarbeitungssysteme) zur hochgenauen Überwachung, Diagnose und Analyse an das Netzwerk angeschlossen werden können.



## 2 Schnelle Systemeinrichtung und fortschrittliche vorausschauende Wartung

CC-Link IE TSN ist auch SNMP-kompatibel, was eine einfachere Diagnose von Netzwerkgeräten ermöglicht. Bisher waren für die Erfassung von Gerätestatusinformationen spezielle Tools erforderlich. Mit universellen SNMP-Überwachungs-Tools können nun jedoch Daten von Geräten gesammelt und analysiert werden, die entweder mit CC-Link IE TSN oder IP-Kommunikation kompatibel sind (wie Switches und Router). Dies ermöglicht schnellere Systemstartzeiten und kann den Aufwand für die Systemadministration und die Überprüfung des Betriebszustands von Geräten während der Wartung reduzieren.

Das durch TSN geregelte Zeitsynchronisationsprotokoll wird verwendet, um Zeitunterschiede zwischen Geräten zu kalibrieren, die mit CC-Link IE TSN kompatibel sind, und sie mit hoher Genauigkeit zu synchronisieren. Die in Master- und Slave-Geräten gespeicherten Zeitinformationen werden mikrosekundengenau synchronisiert. Tritt ein Netzwerkfehler auf, ist es möglich, Betriebsprotokolle zu überprüfen und Ereignisse bis zum Fehler in chronologischer Reihenfolge genau zu verfolgen. Dies kann bei der Identifizierung von Problemen helfen und zu einer schnelleren Wiederherstellung beitragen.

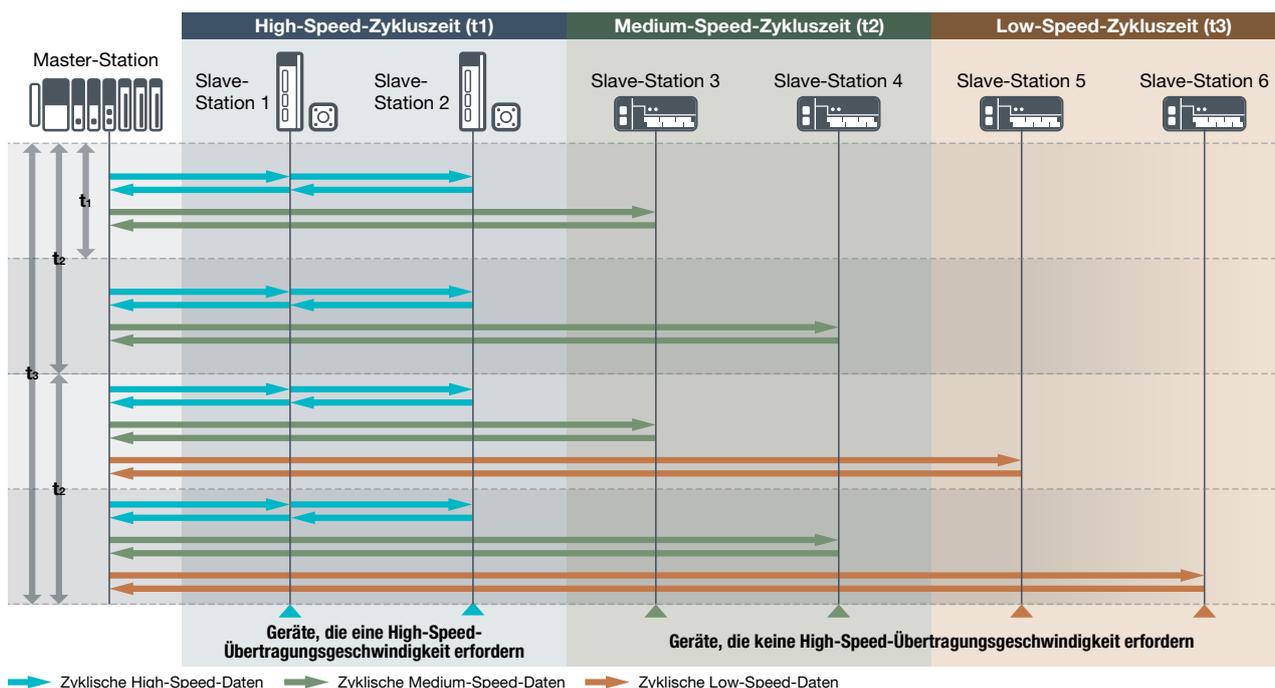
Es ist auch möglich, IT-Systemen Fertigungsdaten und genaue Zeitinformationen zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise werden weitere Prozessoptimierungen durch vorausschauende Wartung mit einer KI-gestützten Datenanalyse möglich.

## 3 Maximierung der Leistungsfähigkeit von Motion Control und Reduzierung der Zykluszeit

CC-Link IE TSN setzt das Timesharing-Verfahren mit Time-Triggern und bidirektionaler gleichzeitiger Kommunikation ein, um eine Zykluszeit von 31,25  $\mu$ s oder weniger zu erreichen. Das Hinzufügen von Sensoren oder die Erhöhung der Anzahl der Servoverstärkerachsen in CC-Link IE TSN Systemen, die bei einer Erweiterung einer Produktionslinie erforderlich sind, hat minimale Auswirkungen auf die Gesamtzykluszeit in Systemen. Im Vergleich zu anderen Systemen mit herkömmlichen Netzwerken, kann die Zykluszeit sogar weiter reduziert werden. Dies wird auf folgende Weise erreicht.

CC-Link IE TSN ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Geräten mit unterschiedlichen Kommunikationszyklen je nach Leistung der einzelnen Geräte. Bisher mussten Geräte, die an dieselbe Master-Station angeschlossen waren, im gesamten Netzwerk mit dem gleichen zyklischen Kommunikationszyklus (Link-Scan-Zeit) betrieben werden. CC-Link IE TSN dagegen erlaubt die Verwendung mehrerer Kommunikationszyklen innerhalb eines Netzwerks.

Dies ermöglicht es, die Kommunikationszyklen in Abhängigkeit von den Eigenschaften der einzelnen Geräte zu optimieren. So können beispielsweise Geräte, z.B. dezentrale E/As, die keinen Hochleistungs-



Kommunikationszyklus erfordern, angeschlossen werden, während die Leistung von Geräten, die Hochleistungs-Kommunikationszyklen erfordern, z.B. Servoverstärker, aufrechterhalten bleibt. Dies kann auch das Potenzial von Slave-Geräten im Netzwerk maximieren und die Produktivität im gesamten System verbessern.

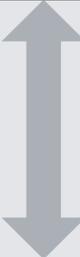
#### 4 Mehr Optionen für Gerätehersteller

Damit die 1-Gbit/s-Bandbreite des konventionellen CC-Link IE effektiv genutzt werden konnte, mussten die Anbieter von Geräteentwicklungen sowohl Master- als auch Slave-Funktionen mit bestimmten ASICs oder FPGAs realisieren.

CC-Link IE TSN unterstützt die Implementierungen sowohl auf Hardware- als auch Software-Plattformen. ASIC- und FPGA-basierte Hardware-Systeme werden

unterstützt. Darüber hinaus ist die Entwicklung mit Software-Protokoll-Stacks auf universellen Ethernet-Chips auch für Master- und Slave-Geräte möglich. In allen Fällen werden die physikalischen Schichten für 100 Mbit/s und 1Gbit/s unterstützt.

Anbieter von CC-Link IE TSN Geräteentwicklungen können angesichts dieser Optionen sich für die Hardware- oder Softwareimplementierung und Kommunikationsgeschwindigkeiten 100 MBit/s oder 1 GBit/s wählen. Hiervon werden auch die End-Anwender profitieren, da sich die Palette kompatibler Geräte schnell vergrößern wird.

Entwicklungsmethode*1			
Kommunikationsgeschwindigkeit	Master	Slave	
1Gbit/s	Hardware	Hardware	 Unterstützt
	Software		
	Hardware	Software	
	Software		
100Mbit/s	Hardware	Hardware	
	Software		
	Hardware	Software	
	Software		

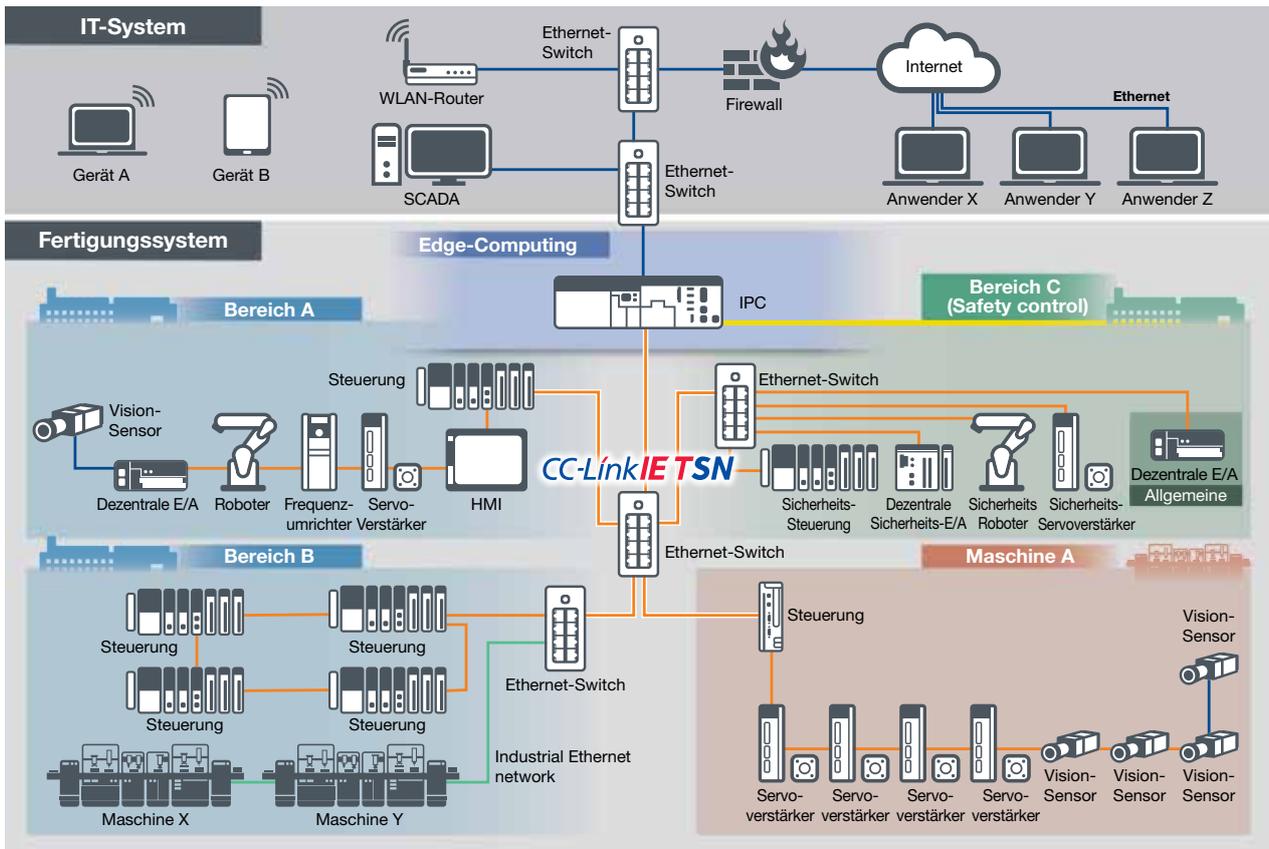
\*1. Hardware: Entwicklung mit dediziertem ASIC oder FPGA.

Software : Entwicklung mit Software-Protokoll-Stack (Standard-Ethernet-Chip).

# 5. Anwendungsbeispiele

## 1 Intelligente Integration von Steuerungs- und Informationskommunikation

Schaffen Sie smarte Fabriken, indem Sie die Informationskommunikation des IT-Systems mit anderen offenen Protokollen im selben Netzwerk integrieren und gleichzeitig eine Echtzeit-Steuerung ausführen.

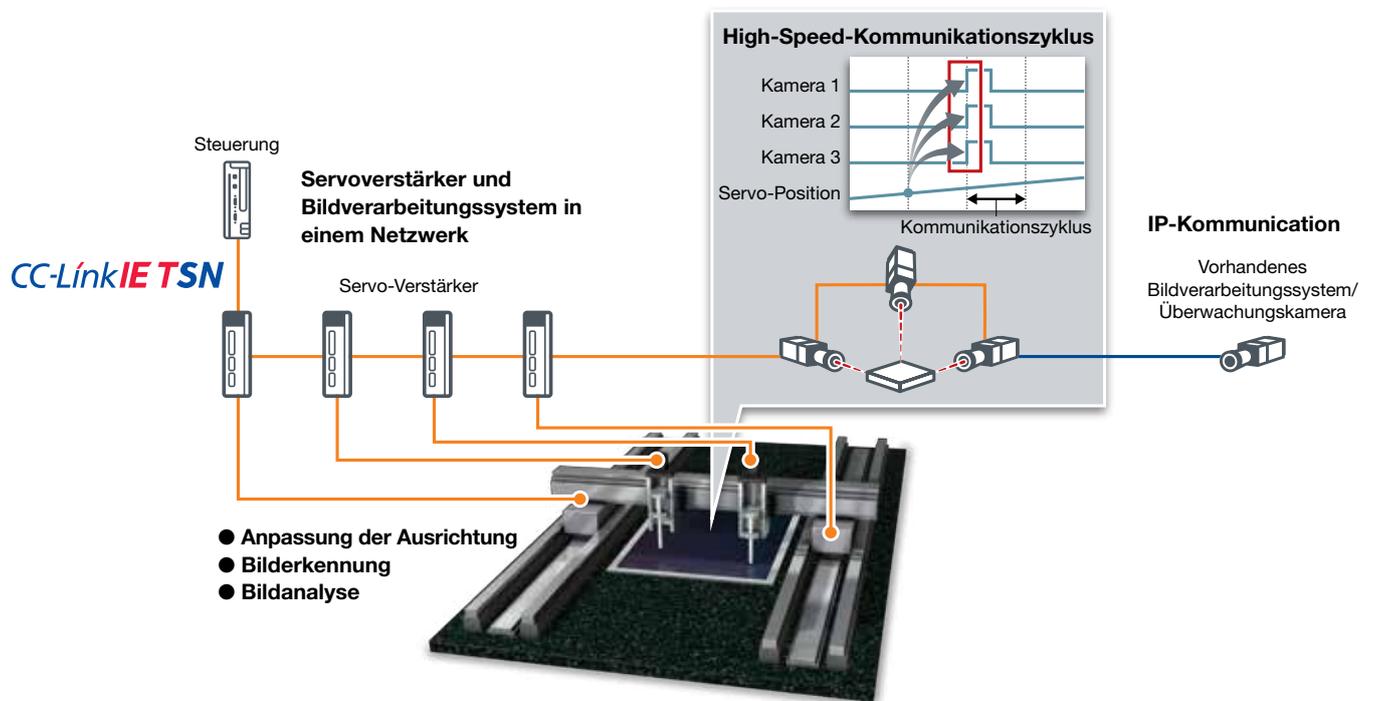


## 2 System mit universellen IP-Kommunikationsgeräten und leistungsstarker Motion Control

Im aktuellen System wird der Servomotor während des Ausrichtbetriebs kurzzeitig gestoppt, und die Werkstückposition mittels Bildverarbeitung genau gemessen. Ein mit CC-Link IE TSN kompatibler Servoverstärker und ein Vision-Sensor können an dieser Stelle zur Zeitsynchronisation eingesetzt werden, damit

der Vision-Sensor die Position des Werkstücks beim Verfahren mit dem Servomotor genau bestimmen kann. Hierdurch kann die Zykluszeit deutlich verringert und der Verdrahtungsaufwand minimiert werden.

Die große Menge an Bilddaten vom Vision-Sensor kann über die IP-Kommunikation übertragen werden, wodurch der Aufbau eines einzigen Netzwerks mit reduzierter Verkabelung und dennoch ohne Beeinträchtigung der Servosteuerungsleistung möglich wird.



## 6. Zukünftige Entwicklungen

Die neue CC-Link IE TSN-Spezifikation nutzt die TSN-Technologie, um die Timesharing-Kommunikation übers Ethernet zu ermöglichen, hierdurch wird die Verwendung von Ethernet-Geräten vereinfacht. Das Protokoll wurde auch für die zyklische Hochgeschwindigkeitskommunikation weiterentwickelt und bietet eine signifikante Leistungssteigerung und Funktionsverbesserung für allgemeine Steuerungsaufgaben und Motion Control im OT-Bereich.

- Die Entwicklung wird mit dem Ziel vorangetrieben, die Anwendungsbereiche wie folgt noch weiter auszubauen.
- CC-Link IE Sicherheitskommunikationsfunktion zur Unterstützung der Entwicklung von Anwendungen, die eine Sicherheitskommunikation erfordern.
- Einsatz von Glasfaserkabeln für Anwendungen, die große Entfernungen oder hohe Rauschfestigkeit erfordern.

Wir streben auch die Einhaltung internationaler Normen an, wie z. B. der IEC 61784 (zu der CC-Link IE bereits kompatibel ist), die internationale Halbleiter-/FPD-Industrie-Norm SEMI sowie nationale Normen in Ländern wie China und Südkorea.

Wir wollen die TSN-Technologie gezielt weiterentwickeln, um die Interkonnektivität mit anderen offenen industriellen Netzen zu erhöhen und die Daten durch eine Gesamtanbindung optimal zu nutzen.

Auf diese Weise wird CC-Link IE TSN in weitere Bereiche expandieren und sich als offenes industrielles Netzwerk durchsetzen, das als Fundament für „smarte Fabriken“ mit dem Ziel einer autonomen, optimierten Fertigung dient.



**CC-Link Partner Association - Europe**

Postfach 101217,  
40832 Ratingen, Germany

**Tel.:** +49 (0) 2102 486 7988

**Fax:** +49 (0) 2102 532 9740

**E-Mail:** [partners@eu.cc-link.org](mailto:partners@eu.cc-link.org)  
[eu.cc-link.org](http://eu.cc-link.org)