

# Ethernet erreicht das Feld

## Sechs Echtzeit-Varianten im Vergleich – Teil 2

**Die These „Ethernet als Feldbus“ sorgte noch vor wenigen Jahren für hitzige Diskussionen unter Fachleuten. Heute gibt es eine unübersichtliche Vielzahl von Lösungen, von denen behauptet wird, sie seien Ethernet-kompatibel und sie könnten die Feldbusse ersetzen. In diesem zweiteiligen Beitrag werden sechs Echtzeit-Ethernet-Varianten für die Automatisierung vorgestellt und miteinander verglichen.**

Von Prof. Dr. Jürgen Schwager

Während im ersten Teil dieses Beitrags [15] die allgemeinen Prinzipien von Echtzeit-Ethernet dargelegt und zwei aktuelle Varianten vorgestellt wurden, enthält dieser zweite Teil nun die Beschreibung weiterer feldfähiger Ethernet-Varianten. Eine detaillierte Über-

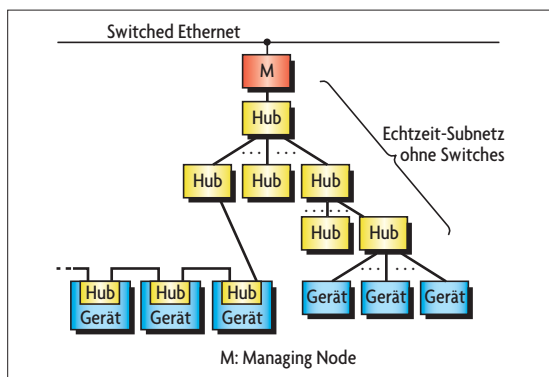
Kunden im Einsatz. Die Offenlegung erfolgte im April 2002, im Herbst 2002 wurde die Nutzergruppe EPSG (Ethernet Powerlink Standardization Group) gegründet, im Juni 2003 der Verein EPSG mit Sitz in Winterthur/Schweiz.

Der Grundgedanke ist von vielen Feldbussen bekannt, die mit dem Buszugriffsverfahren „Polling“ arbeiten: Ein Master verwaltet das Busmedium, indem er in zyklischer Folge Anforderungstelegramme an die einzelnen Slaves sendet, die daraufhin in dem sich anschließenden Zeitfenster eine Antwort senden dürfen. Dieses Verfahren, nach dem einer der ältesten Feldbusse, der Bitbus von Intel, arbeitet, wurde von B & R jedoch in wesentlichen Punkten erweitert. Ethernet Powerlink unterscheidet zwei Betriebsarten: den „Protected Mode“ und den „Open Mode“ (Tabelle 4). Die bisher realisierten Geräte der Versionen 1 und 2 verfügen nur über den Protected Mode. Die im Herbst 2003 veröffentlichte Spezifikation Version 2 beinhaltet u.a. eine vollständige Implementierung des TCP/IP-Protokolls und verfügt über bessere Leistungskenngrößen als V1. Die Betriebsart Open Mode wird erst zu einem späteren Zeitpunkt verfügbar sein.

Die Zentrale des Echtzeit-Systems wird hier „Managing Node“ genannt. Sie kann als SPS ausgeführt sein und trennt vom gesamten Ethernet-Netzwerk ein Echtzeit-Subnetz ab, das nur aus Hubs und den Echtzeit-Teilnehmern besteht (Bild 11). Letztere werden als „Controlled Nodes“ bezeichnet (im Folgenden zur Vereinfachung „Gerät“ genannt). Im Gegensatz zu vielen anderen Lösungen sind sowohl der „Managing Node“ als auch die Geräte mit Ethernet-Karten ausgerüstet, die einen Standard-Ethernet-Buscontroller enthalten. Der Protected Mode von Ethernet Powerlink ist eine reine Software-Lösung.

Wie Bild 11 zeigt, besteht die Topologie aus einer Kombination aus Linien- und Stern-Struktur. Dabei müssen Teilnehmer, die in einer Linie angeordnet sein sollen, über einen integrierten Hub verfügen. Da das System kollisionsfrei arbeitet, findet die klassische Repeater-Regel von Ethernet, die die Anzahl kaskadierbarer Hubs begrenzt, keine Anwendung. Das Echtzeit-Subnetz soll allerdings keine Switches enthalten, um höchste zeitliche Präzision zu garantieren.

Die Realisierung des Echtzeit-Verhaltens ist in Bild 12 dargestellt. Das Verfahren wird als „isochrones Zeitscheibenverfahren“ bezeichnet [8]. Der „Managing Node“ steuert den gesamten Kommunikationsablauf und sorgt für die Zeitsynchronisierung der übrigen Teilnehmer. Diese dürfen nur senden, nachdem sie vom „Managing Node“ dazu aufgefordert wurden. Die zyklische Übertragung beginnt mit einem Start-Rahmen, den der „Managing Node“ an alle Geräte aussendet. Dies erfolgt als Broadcast-Nachricht, d.h., diese Nachricht hören alle Teilnehmer. Sie ermöglicht die exakte Zeitsynchronisation. Anschließend werden die Geräte der Reihe nach vom „Managing Node“ mit einem „Request“ angespro-



**Bild 11.** Ethernet Powerlink kann in den Topologien Linie (links) und Stern (rechts) ausgelegt werden. Der „Managing Node“ koppelt das Echtzeit-Subnetz vom übrigen Ethernet ab.

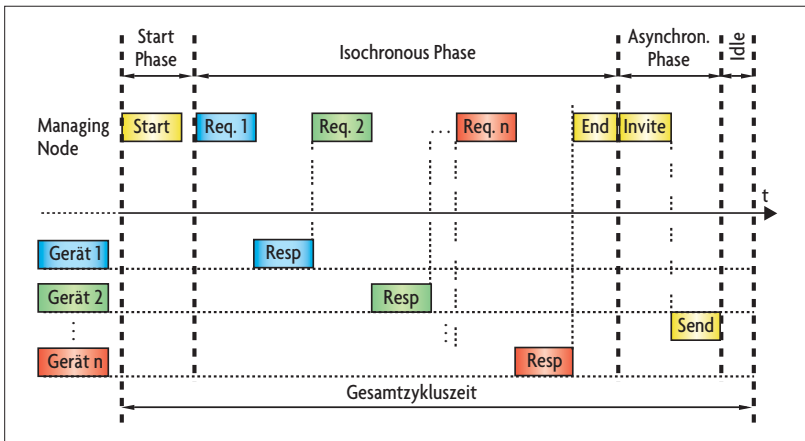
sicht und Bewertung der vorgestellten Verfahren beschließt den Artikel.

### ► Ethernet Powerlink

Bereits im Herbst 2001 wurde „Ethernet Powerlink“ vorgestellt, es ist damit die älteste unter den hier beschriebenen Varianten. Es ist auch die einzige, die bereits in großen Stückzahlen verkauft wurde: Nach Angaben der österreichischen Firma Bernecker & Rainer (B & R), die diese Echtzeit-Variante entwickelt hat, sind bereits mehr als 15 000 Powerlink-Geräte bei über 100

Protected Mode	Open Mode
Höchste Performance möglich (IAONA Klasse 4)	Mittlere Performance möglich (IAONA Klasse 3)
Powerlink-Netzsegment darf nur Powerlink-Geräte und Hubs enthalten	Powerlink-Netzsegment darf auch Nicht-Powerlink-Geräte enthalten
Steuerung des Zeitverhaltens über Zeitschlitzverfahren	Steuerung des Zeitverhaltens über Zeitstempel nach IEEE 1588

**Tabelle 4. Ethernet Powerlink: Varianten Protected Mode und Open Mode**



**Bild 12. Ethernet Powerlink nutzt ein „isochrones Zeitscheibenverfahren“, bei dem der „Managing Node“ den gesamten Kommunikationsablauf steuert. Die anderen Teilnehmer dürfen nur senden, nachdem sie vom „Managing Node“ dazu aufgefordert wurden.**

chen. Sie erhalten damit eine Zeitscheibe zugeteilt, innerhalb der sie Nachrichten im „Multicast Modus“, d.h. an mehrere Teilnehmer, senden können. Damit wird der in der Antriebstechnik häufig geforderte „Querverkehr“ realisiert, mit dem ein Antrieb z.B. einem nachfolgendem Antrieb mitteilen kann, dass er seine Drehzahl verändert hat. Der Nachfolger kann dann ohne Verzögerung darauf reagieren.

Nachdem alle abzufragenden Geräte bedient wurden, beginnt die „Asynchronous Phase“. Sie dient zum Transfer zeitunkritischer Daten, z.B. zur gelegentlichen Parametrierung von Gerä-

etwas Zeit bis zum Beginn des nächsten Zyklus übrig sein. Diese bleibt als „Idle Phase“ ungenutzt, damit der Gesamtzyklus eine exakt gleichbleibende Dauer und damit einen geringen Jitter aufweist. Nach Herstellerangaben erreicht die Version V2 von Ethernet Powerlink Jitterwerte unterhalb von 400 ns. Sie ermöglicht damit die höchste Echtzeit-Klasse 4 der IAONA.

Weitere Leistungs-Kenngrößen der Echtzeit-Lösung sind in *Tabelle 5* nach Herstellerangaben zusammengestellt. Der Firma B & R berichtet von einer Verpackungsmaschine, in der 19 Achsen mit einer Zykluszeit von 800 µs gesteuert werden [9]. Auf der Hannover Messe Industrie 2004 (HMI) war eine Anlage ausgestellt, die Komponenten von zehn EPSG-Mitgliedern enthält.

Zykluszeit [ms]	Anzahl bedienbarer Geräte mit 80 byte Daten
0,2	8
0,5	12
1,0	30
2,0	66
3,0	102

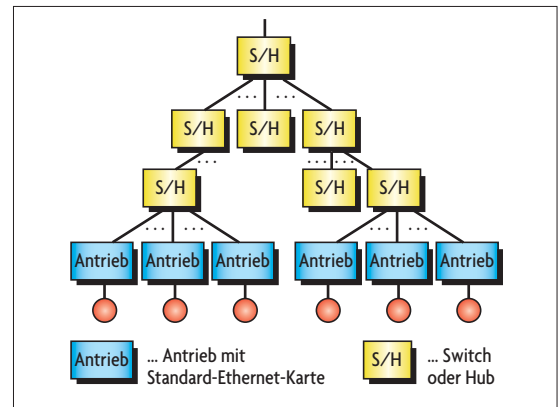
**Tabelle 5. Leistungs-Angaben zu Ethernet Powerlink. Der Jitter der Zykluszeit liegt unter 1 µs.** (Quelle: B & R)

ten. Ein Gerät, das in diesem Teil des Zyklus senden möchte, muss dies in der „Isochronous Phase“ (s. Bild 12) beim „Managing Node“ anmelden. Es erhält dann mit einem Invite-Telegramm ein weiteres Mal eine Zeitscheibe zugeteilt. In diesem Teil des Zyklus kann auch eine Kommunikation mit den Protokollen TCP/UDP/IP erfolgen. Je nach Länge der „Asynchronous Phase“ wird an ihrem Ende noch

### ■ Echtzeit-System JetSync

Der deutsche Hersteller Jetter kann mit der Echtzeit-Variante „JetSync“ realisierte Anlagen vorweisen. Die Variante wurde erstmals im Herbst 2002 der Öffentlichkeit vorgestellt. JetSync ist ebenfalls eine reine Software-Lösung, die mit herkömmlichen Ethernet-Karten realisiert wird. Sie ist die einzige der hier vorgestellten Lösungen, bei der die Teilnehmer an alle üblichen Ethernet-Kopplungsmodule, Hubs oder Switches angeschlossen werden können (*Bild 13*). Das typische Anwendungsgebiet von JetSync ist die Synchronisation von Antrieben, jedoch lassen sich auch andere Abläufe in der Automatisierung damit synchronisieren.

Das Prinzip von JetSync ist die Synchronisation von Uhren in den beteiligten Geräten, die bereits in Teil 1 des Beitrags beschrieben wurde. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass Schwankungen der Übertragungszeiten, z.B. infolge von Switches, unerheblich sind, da das Echtzeit-Verhalten mit Hilfe der dezentralen Uhren realisiert wird. Im Gegensatz zu den übrigen Verfahren hat Jetter nur wenige Details der Realisierung veröffentlicht. Das patentierte Verfahren [10] arbeitet mit einem Master, der Synchronisations-Telegramme an die Slaves schickt, damit diese die Zeitdifferenz zwischen der Master-Zeit und der lokalen Uhrzeit ermitteln können. Für das Stellen der lokalen Uhren wird ein nicht näher erläutertes „Statistik-Algorithmus“ verwendet. Die zeitkritischen Informationen werden zusammen mit Zeitstem-

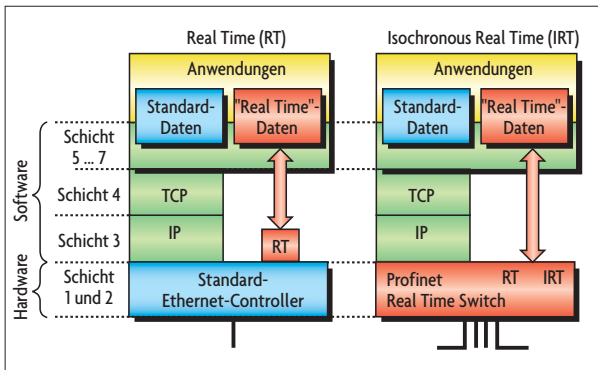


**Bild 13. JetSync realisiert eine Stern-Topologie, allerdings mit einer reinen Software-Lösung. Die Teilnehmer können mit Standard-Ethernet-Karten über Hubs oder Switches angeschlossen werden.**

peln übertragen, die es Steuerungen und Reglern ermöglichen, die Daten im richtigen Zeitraster zu verarbeiten. Die erreichbare Genauigkeit wird mit einem Wert von kleiner 10 µs angegeben, was für die zu steuernden Maschinen völlig ausreichend sei.

Das Verfahren ermöglicht nach Herstellerangaben einen beliebigen Datenverkehr nach dem TCP/IP-Protokoll unter den beteiligten Geräten. Damit kann während des Synchronlaufs der Antriebe über das Internet auf die Webserver in den Antrieben zugegriffen werden. Auch das Herunterladen von Bewegungsprofilen und Parametern ist während des Synchronlaufs möglich. Jetter verwendet JetSync in zwei Anwendungsgebieten:

- **Bahnsteuerungen:** Die erste Stufe der Bahnberechnung übernimmt der Master. Die Feininterpolation findet in



Betrieb mit Entwicklungs- und Diagnosewerkzeugen unterstützt wird und eine durchgängige Verbindung zu anderen Software-Systemen des Unternehmens und dem Internet herstellbar ist. Der in diesem Beitrag ausschließlich behandelte Teilaspekt Echtzeit ist in diesem Komplex nur ein kleiner Teil, allerdings ein bedeutender.

Die Kommunikation wird bei Profinet in drei Leistungsstufen eingeteilt:

- Standardkommunikation mit TCP und UDP für nicht-zeitkritische Aufgaben wie Parametrierung und Konfiguration.
- Echtzeit-Kommunikation Real Time (RT); wurde früher als V2 oder SRT bezeichnet.
- Echtzeit-Kommunikation Isochronous Real Time (IRT); wurde früher als V3 bezeichnet.

Hier werden nur die letzten beiden Varianten beschrieben.

Der Unterschied zwischen den Echtzeit-Varianten RT und IRT ist in *Tabelle 6* dargestellt.

Die Variante RT deckt zeitliche Anforderungen ab, die denen der heutigen Feldbusse entsprechen. Dagegen ist IRT zur Erfüllung von Anforderungen geeignet, die heute nur mit speziellen Bussystemen oder noch gar nicht realisierbar sind. Die Unterschiede in der Realisierung zeigt *Bild 14*: Während die Echtzeit-Variante RT auf Standard-Ethernet-Karten aufsetzt, wird für die Variante IRT ein spezieller Hardware-Baustein als Ethernet-Controller verwendet, der einen Switch enthält. Dieser Baustein unterstützt auch die RT-Kommunikation. Beiden Varianten gemeinsam ist die Aufteilung der Kommunikation in einen nicht-echtzeitfähigen Kanal, der das Protokoll TCP/IP unterstützt, und einen Echtzeit-Kanal, der ohne dieses Protokoll arbeitet.

Die Voraussetzung für den Einsatz der Echtzeit-Variante RT ist

eine kollisionsfreie Ethernet-Struktur, die ausschließlich Switches verwendet. Damit die Echtzeit-Daten von den Switches nicht unnötig verzögert werden, arbeitet die Lösung mit Priorisierungsmechanismen nach IEEE 802.1q (s. den Abschnitt über CIP Sync in [15]). Echtzeit-Daten für RT erhalten die Prioritätsstufe 7, während andere Daten wie Internet-Telefonie oder Video, die ebenfalls hohe zeitliche Anforderungen haben, mit den Stufen 5 und 6 vorlieb nehmen müssen.

Höchste Echtzeit-Anforderungen mit einem Jitter von 1 µs lassen sich mit Verwendung konventioneller Ethernet-Komponenten nicht realisieren. Profinet wird derartige Anforderungen mit der Echtzeit-Variante IRT lösen, die mit speziellen Hardware-Bausteinen (ASICs) arbeitet. Diese ASICs enthalten nicht nur einen Ethernet-Controller, sondern verfügen über den vollständigen Funktionsumfang eines Switches. Damit spart der Anwender zum einen die üblichen separaten Switches, darüber hinaus ermöglicht diese Variante die Bildung von Linien-Strukturen, die

**Bild 14.** Profinet ermöglicht die „normale“ Kommunikation über die Protokolle TCP/IP und definiert daneben einen „proprietären“ Echtzeit-Kanal, der in der RT-Variante in Software dargestellt wird und für die höheren Anforderungen der IRT-Variante zusätzliche Hardware erfordert.

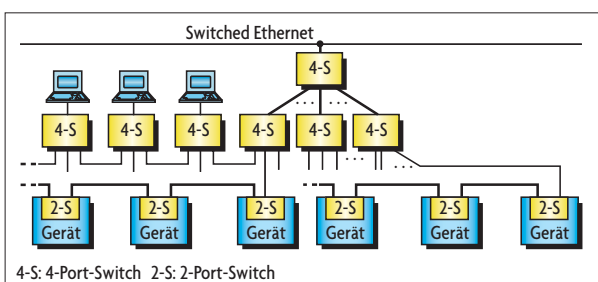
den Antriebsreglern statt, die mit dem Master über Ethernet verbunden sind.

- Zyklische Systeme: Anlagen, bei denen Aktionen in Abhängigkeit von einer Winkelstellung erfolgen und sich nach 360° wiederholen. Der Master sendet den Winkel und die Winkelgeschwindigkeit mit Zeitstempel als Multicast-Nachricht, die von einer beliebigen Zahl von Empfängern verarbeitet werden kann.

Nach Angaben des Herstellers wird JetSync seit mehr als einem Jahr im Maschinenbau eingesetzt. Die umfangreichste Anlage enthielt 95 synchronisierte Servo-Antriebe und elf Steuerungen.

### ► Echtzeit-Übertragung mit Profinet

Profinet als Echtzeit-Variante des Ethernet zu bezeichnen, wäre eine unzulässige Vereinfachung auf einen Teilaspekt. Profinet ist vielmehr laut Systembeschreibung [11] ein „innovativer Automatisierungsstandard für die Realisierung einer ganzheitlichen und durchgängigen Automatisierungslösung auf Basis von Industrial Ethernet“. Mit ganzheitlich und durchgängig ist gemeint, dass der gesamte Lebenslauf eines Systems vom Engineering bis zum

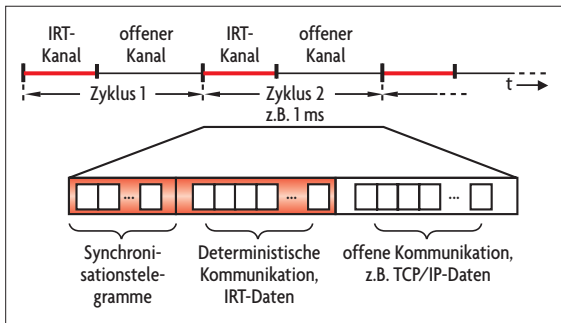


**Bild 15.** Profinet IRT ermöglicht durch das in jedem Echtzeit-Teilnehmer eingebaute Switch-ASIC Stern- als auch Linien-Topologien.

Profinet mit RT	Profinet mit IRT
Mittlere Performance möglich (Zykluszeiten ca. 5 bis 10 ms)	Höchste Performance möglich (Zykluszeit < 1 ms realisierbar)
Software-Lösung auf Basis von Standard-Ethernet-Controller möglich	Lösung basiert auf speziellem 2-Port- oder 4-Port-Switch
Anwendung: Automatisierung mit mittleren Echtzeit-Anforderungen	Anwendung: Automatisierung mit höchsten Echtzeit-Anforderungen, z.B. Steuerung synchroner Bewegungen

**Tabelle 6.** Definitionen für Profinet RT (Real Time) und Profinet IRT (Isochronous Real Time)

in der Automatisierung für eine kostengünstige Verkabelung gefordert werden. *Bild 15* zeigt die möglichen Topologien. Es wurden zwei verschiedene ASIC-Typen angekündigt: Ein 2-Port-Switch und ein 4-Port-Switch [12]. Der kostengünstigere 2-Port-Switch ist für den Einbau in Automatisierungsgeräte vorgesehen. Er ermöglicht bereits die in *Bild 15* dargestellten Linienstrukturen. Der 4-Port-Switch gestattet darüber hinaus die Bildung von Verzweigungen, so dass Baum-Strukturen möglich werden. Er ist für den Einsatz in Bewegungssteuerungen und Real-Time-Switches vorgesehen. Die in *Bild 15* links oben dargestellten Laptops symbolisieren Standard-Ethernet-Komponenten, die nicht am Echtzeit-Betrieb teilneh-



**Bild 16. Profinet IRT teilt die Zykluszeit in zwei Abschnitte, den IRT-Kanal und einen offenen Kanal. Im IRT-Kanal werden zunächst die Synchronisationstelegramme und danach die IRT-Daten übermittelt, der verbleibende Abschnitt steht für die nicht-zeitkritische Kommunikation zur Verfügung.**

men. Beispiele für derartige Anwendungsfälle sind Diagnose und Konfiguration der Feldgeräte.

Für die Gestaltung von Linien-Strukturen gibt es einen Zusammenhang mit den Jitter-Werten des Zweiges: Sind 25 Switches in Reihe geschaltet, führt dies zu einem Jitter von 1 µs. Sind größere Jitter-Werte zulässig, kann die Anzahl in Reihe geschalteter Switches proportional erhöht werden. So resultiert die Zusammenschaltung von z.B. 100 Switches in einem Jitter von 4 µs.

Die Funktionsweise von IRT kann sehr einfach anhand von *Bild 16* erläutert werden. Die Switches sorgen durch den Austausch von Synchronisationstelegrammen untereinander dafür, dass die Zykluszeit sehr präzise in zwei Teile aufgeteilt wird: in einen sog. IRT-Kanal für die Echtzeit-Daten und in einen offenen Kanal für die Nicht-Echtzeit-Daten. Hierfür werden alle auf den Teilstrecken auftretenden Verzögerungszeiten gemessen und von den ASICs entsprechend berücksichtigt. Als Ergebnis steht ein für die Echtzeit-Anwendungen reserviertes Zeitfenster mit dem bereits erwähnten extrem kleinen Jitter von nur 1 µs zur Verfügung. Dieses Fenster wird frei gehalten, unabhängig von den Telegrammen, die im offenen Kanal übertragen werden. Allerdings muss für die Durchleitung eines von externer Quelle kommenden Ethernet-Telegramms mit maximaler Länge im offenen Kanal aufgrund des standardisierten Ethernet-Datenformats eine Zeitdauer von mindestens 124 µs bereitgestellt werden. Für IRT wird daher empfohlen, die Gesamtzykluszeit nicht kleiner

als 250 µs zu wählen.

Die Angaben zur Systemleistung sind in *Tabelle 7* zusammengestellt. Beim Vergleich dieser Werte mit anderen Lösungen ist zu beachten, dass hier ein jeweils angegebener Anteil an Nicht-Echtzeit-Datenverkehr vorhanden ist.

Für die Markteinführung der Switch-

ASICs wurde von Siemens der folgende Zeitplan bekanntgegeben (Muster/Serie):

- Vier-Port-Switch: Sept. 2004/ Dez. 2004
- Zwei-Port-Switch: Mitte 2005/ Ende 2005

Zu den Firmen, die Profinet unterstützen, gehört auch die Firma Phoenix Contact, die den Interbus entwickelt hat.

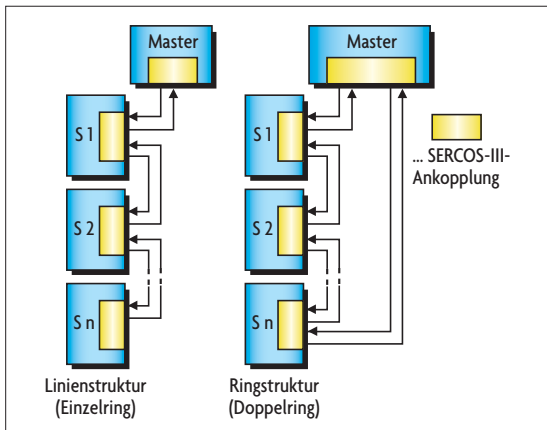
### ■ Echtzeit-Variante SERCOS-III

SERCOS-III stellt die dritte Generation des Bussystems SERCOS interface (Serial Real-time COmmunication System) dar, das Mitte der 80er Jahre von einem Industriekonsortium für Antriebsanwendungen, insbesondere im Bereich der Werkzeugmaschinen, entwickelt wurde. Die zweite Generation ermöglichte 1999 eine Vervielfachung der Übertragungsrate auf 16 Mbit/s unter Beibehaltung des Zeitschlitzverfahrens für den Buszugriff. Mit diesem System kann man bereits 40 Achsen mit einer Zykluszeit von 1 ms und einem Jitter von kleiner 1 µs ansteuern. Beide Generationen verwendeten ausschließlich Lichtwellenleiter als Medium.

Die Nutzergruppe IGS (Interessengemeinschaft SERCOS interface) hat

Zykluszeit [ms]	Anzahl bedienbarer Achsen-Teilnehmer	Verbleibende Bandbreite für offenen Kanal
0,25	35	50 %
1,0	70	75 %
1,0	150	50 %

**Tabelle 7. Performance-Angaben zu Profinet mit IRT** (Quelle: Siemens)



**Bild 17. Topologie SERCOS-III: Linie oder Ring.**

Ende April 2003 bekanntgegeben, dass sie eine Weiterentwicklung des Systems in Richtung Echtzeit-Ethernet plant. Inzwischen liegt ein detailliertes Konzept vor [13]. Dieses sieht vor, in wesentlichen Punkten kompatibel zur zweiten Generation zu sein. Folgende Verbesserungen gegenüber dem bisherigen Standard wurden spezifiziert:

- Die Verwendung der Bitübertragungsschicht (Physical Layer) des Ethernet. Damit sind erstmals bei SERCOS Kupferkabel vorgesehen; dies soll die Kosten für die Hardware verringern und eine redundante Datenübertragung ermöglichen.
- Die Querkommunikation unter den Slaves soll möglich sein.
- Die Integration von Standardprotokollen aus der IT-Welt soll vereinfacht werden.

Bild 17 zeigt die beiden möglichen Topologien der neuen Version. Der Master ist in jedem Fall ohne Hubs oder Switches linienförmig mit den Slaves verbunden. Diese haben zu diesem Zweck zwei Ethernet-Anschlüsse. Wird der zweite Ethernet-Anschluss des letzten Slaves nicht verwendet, stellt die Linie im Detail betrachtet ei-

nen Einzelring dar, der bereits voll funktionsfähig ist. Wird dagegen der zweite Anschluss des letzten Slaves zum Master zurückgeführt, was in der Regel nur wenig Mehraufwand bedeutet, entsteht die Struktur eines Doppelrings. Findet in diesem an beliebiger Stelle eine Kabelunterbrechung statt, kann der Master trotzdem noch mit allen Slaves kommunizieren. Die zusätzliche Leitung führt also zu einer Redundanz im System. Von den in diesem Artikel vorgestellten Echtzeit-Ethernet-Varianten ist SERCOS-III die einzige, die diese Form der Redundanz bereitstellt.

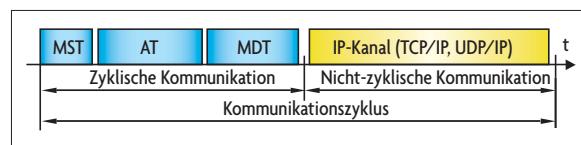
Den zeitlichen Ablauf des Datenaustauschs zeigt Bild 18. Der Kommunikationszyklus ist ähnlich wie bei Profinet mit IRT in zwei Teile gegliedert: Im ersten Teil werden die Soll- und Istwerte zu den Antrieben zyklisch übertragen. Der zweite Teil ist für nicht-zyklische Datenpakete vorgesehen, wie sie bei der TCP/IP-Kommunikation auftreten. Die Umschaltung zwischen beiden Teilen wird in einem speziellen Ethernet-Controller-IC erfolgen. Als minimale Zykluszeit wird die Hälfte der derzeit möglichen spezifiziert: In 32,5 µs wird es künftig möglich sein, mit acht Slaves zu kommunizieren; die Datenlänge beträgt dabei 8 byte. Der Zeitplan für die Realisierung sieht vor, dass Prototypen der SERCOS-III-Hardware im ersten Halbjahr 2004 verfügbar sind. Erste Produkte werden im Jahr 2005 erwartet [13].

Abschließend soll noch die Echtzeit-Varinante „RTnet“ erwähnt werden. RTnet ist eine reine Software-Lösung für Standard-Ethernet-Karten; es wurde

an der Universität Hannover als Open-Source-Software für das Betriebssystem Linux mit Echtzeit-Erweiterung RTAI entwickelt. Das Echtzeit-Verhalten wird realisiert, indem ein Master den Echtzeit-Teilnehmern Zeitschlitze zu-teilt [14]. Nach Angaben der Entwickler können damit 20 bis 30 Teilnehmer mit Zykluszeiten von 1 bis 10 ms bedient werden. Diese Lösung erscheint aufgrund ihrer Herstellerunabhängigkeit besonders interessant.

► **Vergleich der Varianten**

In Tabelle 8 sind die in den beiden Teilen dieses Beitrags beschriebenen Varianten zusammengestellt. Die Mehrzahl der vorgestellten Systeme basiert auf neuen Ethernet-Controllern, die sich zurzeit noch in der Entwicklung befinden.



**Bild 18. Telegrammaufbau SERCOS-III.**

den. Die Tabelle enthält keine Leistungsangaben. Ein korrekter Vergleich ist hier nicht einfach, denn die Hersteller geben oft nur die „Anzahl der Achsen“ an, die mit einer bestimmten Zykluszeit realisierbar sind. Die Datenübermittlung zur Steuerung einer „Maschinenachse“ kann aber mit unterschiedlicher Datenanzahl erfolgen. Außerdem muss unterschieden werden, ob ein Teil der Übertragungskapazität für Nicht-Echtzeit-Daten reserviert wurde oder ob nur der Echtzeit-Verkehr betrachtet wird.

Von einigen der neuen Echtzeit-Lösungen wird behauptet, sie würden nur die Schicht 1 (Physical Layer) von Ethernet nutzen und seien somit keine normgerechten Ethernet-Systeme. Zur Beurteilung der Normkonformität muss selbstverständlich die Realisierung der Schichten 1 und 2 (Data Link Layer) analysiert werden. In der Schicht 2 werden im Wesentlichen der Buszugriff (Medium Access Control), das Datenformat und die Datensicherung (Logical Link Control) festgelegt. Das Datenformat und die Datensicherung der neuen Varianten entsprechen bei fast allen Spezifikationen der Norm,

	EtherCAT	CIP SynC	Ethernet Powerlink	JetSync	Profinet mit IRT	SERCOS-III
<b>Spezieller Ethernet-Controller</b>	ja	ja	nein	nein	ja	ja
<b>Linienstruktur möglich</b>	ja	nein	ja	nein	ja	ja
<b>Lösungsprinzip:</b>						
Zeitteilung durch Master	x		x			x
Synchronisation interner Switches					x	
Zeitstempel		x		x		
<b>Bereits realisierte Anlagen</b>	nein	nein	ja	ja	nein	nein

**Tabelle 8. Übersicht über die behandelten Ethernet-Echtzeit-Varianten. Für den Vergleich mit Feldbussen, die mit ihrer Linienstruktur eine kostengünstige Verkabelungsmöglichkeit darstellen, ist die zweite Zeile von Bedeutung**

spezifische Festlegungen werden in der Regel innerhalb des Nutzdatenblocks definiert, über den frei verfügt werden kann. Beim Buszugriff dagegen müssen neue Verfahren realisiert werden, da das Zeitverhalten des genormten Buszugriffs nicht deterministisch ist. Das klassische Ethernet kennt weder Master noch Zeitstempel. Abweichungen liegen hier in der Natur der Sache, der Ruf nach Normkonformität macht an dieser Stelle wenig Sinn. Die Forderung nach unveränderter Durchleitung eines Ethernet-Rahmens maximaler Länge mit einer Dauer von 122  $\mu$ s ist zum Beispiel sinnlos, wenn gleichzeitig Zykluszeiten im zweistelligen Mikrosekundenbereich gefordert werden.

### ► Ethernet statt Feldbus?

Wird das Echtzeit-Ethernet die Feldbusse verdrängen? Werden die Fabriken der Zukunft nur noch einen einzigen Netzwerktyp besitzen? Zur Beantwortung dieser Frage müssen sämtliche Unterschiede zwischen Feldbussen und Ethernet betrachtet werden. Die Echtzeit-Fähigkeit ist nur eines der Entscheidungskriterien bei der Auswahl eines Kommunikationssystems für die Feldebene. Feldbusse weisen bei einigen Kriterien durchaus Vorteile auf: Kostengünstige Komponenten, kostengünstige Verkabelungsstrukturen, Ver-

fügbare von HCS-Lichtwellenleitern mit Reichweiten von mehr als 200 m bei einfacher Handhabung, leistungsfähige Diagnosewerkzeuge, Systeme mit sicherer Übertragung (Safety) und Datenübertragung ohne Buskabel. Schließlich ist die Anzahl der Hersteller buskompatibler Automatisierungskomponenten – beim Interbus sind dies z.B. über 1000 – eine Tatsache, die bei einer Systemauswahl berücksichtigt werden muss. Aus diesen Gründen ist mit einer großflächigen Verdrängung der Feldbusse nicht zu rechnen. Echtzeit-Ethernet wird aber neue Kommunikationslösungen ermöglichen, insbesondere dort, wo hochgenaue Synchronisation oder die schnelle Übertragung großer Datenmengen gefordert wird. Hier wird Ethernet die Grenzen heutiger Feldbusse überwinden und die Leistungsfähigkeit automatisierter Anlagen steigern.

Die Zahl der Varianten für Echtzeit-Ethernet wird sicher noch zunehmen. Bei der IEC in Genf liegen bereits weitere Vorschläge aus Japan und China zur Normung eines Echtzeit-Ethernets. Wer sich über neue Lösungen und Weiterentwicklungen der bestehenden informieren möchte, findet auf der Internetseite [www.real-time-ethernet.de](http://www.real-time-ethernet.de) des Labors für Prozessdatenverarbeitung der Hochschule Reutlingen hierzu laufend aktualisierte Literaturangaben und Links.

jw

### Literatur

- [8] Pfeiffer, A.: Echt Zeit für Ethernet – Ethernet Powerlink verwendet Zeitscheibenverfahren. *Elektronik* 2003, H. 7, S. 95ff.
- [9] Scheitlin, H.: Ethernet Powerlink: kurz und knapp. [www.ethernet-powerlink.org](http://www.ethernet-powerlink.org)
- [10] Mathematische Echtzeit reicht vollkommen. Interview mit Martin Jetter. *iee* 2003, H. 4, S. 64f.
- [11] PROFInet – Technologie und Anwendung. Systembeschreibung, Stand 11/2003. [www.profibus.de](http://www.profibus.de)
- [12] PROFInet ASICs für „Motion Control“-Anwendungen. Pressemitteilung der PNO vom 26. 11. 2003. [www.profibus.de](http://www.profibus.de)
- [13] Schemm, E.: Sercos – die 3. Generation. *Computer & Automation* 2003, H. 11, S. 68ff.
- [14] Kiszka, J.; Hagge, N.; Hohmann, P.; Wagner, B.: RTnet – Eine Open-Source-Lösung zur Echtzeitkommunikation über Ethernet. *Telematik* 2003. VDI-Berichte 1785, S. 55 – 64., Siegen 17./18. 6. 2003. [www.rts.uni-hannover.de/mitarbeiter/kiszka/Kiszka03-Telematik.pdf](http://www.rts.uni-hannover.de/mitarbeiter/kiszka/Kiszka03-Telematik.pdf)
- [15] Schwager, J.: Ethernet erreicht das Feld, Teil 1. *Elektronik* 2004, H. 11, S. 48ff.

**Prof. Dr.-Ing.  
Jürgen Schwager**

wurde bereits in der *Elektronik*  
2004, H. 11, auf S. 54  
vorgestellt.

► E-Mail: [juergen.schwager@fh-reutlingen.de](mailto:juergen.schwager@fh-reutlingen.de)