

White Paper V1.0/2004

CONNECTED



simatic net
Industrial Ethernet

Industrial Ethernet
Grundlagen

SIEMENS

Zielsetzung

Dieses White Paper soll

- Die Entstehungsgeschichte von Industrial Ethernet beschreiben,
- Zu Ethernet Grundbegriffen, insbesondere im Zusammenhang mit der Automatisierungstechnik, informieren,
- Anforderungen an den industriellen Einsatz und daraus resultierende Produktmerkmale aufzeigen und
- einen Ausblick geben, wie sich das Thema weiter entwickeln wird.

Wesentlich für die Entscheidung zum Einsatz von Industrial Ethernet sind, neben den rein technischen Daten und Kosten, auch die Faktoren:

- Investitionsschutz
- Einfachheit in der Verwendung (Plug & Play)
- Zukünftige Weiterentwicklung der Technologie
- Verwendbarkeit vorhandener Kenntnisse aus dem Bereich Feldbusse



Dieses Symbol kennzeichnet die Hinweise auf SIMATIC NET Produkte oder spezielle SIMATIC NET Lösungen

Herausgeber

SIEMENS AG

Bereich: Automatisierungs- und Antriebstechnik

Geschäftszweig: Industrielle Kommunikation SIMATIC NET

Postfach 4848

90327 Nürnberg

Weitere Unterstützung

Bei weiteren Fragen wenden Sie sich bitte an Ihren Siemens-Ansprechpartner in den für Sie zuständigen Vertretungen und Geschäftsstellen.

Sie finden SIMATIC NET auch im Internet unter



<http://www.siemens.com/net>

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| ZIELSETZUNG | 2 |
| 1. EINFÜHRUNG | 5 |
| 2. HISTORISCHE ENTWICKLUNG DES INDUSTRIAL ETHERNETS | 6 |
| DAS ETHERNET BUSSYSTEM | 6 |
| ETHERNET ALS STERN- BZW. BAUMFÖRMIGES SYSTEM | 6 |
| ETHERNET ALS LINIEN- UND RINGTOPOLOGIE | 7 |
| ETHERNET IM FELDBEREICH | 11 |
| 3. TECHNISCHE GRUNDBEGRIFFE | 13 |
| FULL DUPLEX / HALF DUPLEX | 13 |
| SWITCHING | 15 |
| AUTONEGOTIATION | 17 |
| AUTOSENSING | 17 |
| AUTOCROSSOVER | 18 |
| SPANNING TREE ALGORITHMUS | 18 |
| STANDARDS | 19 |
| ÜBERTRAGUNGSMEDIEN | 20 |
| 4. DER URAHN: ETHERNET ALS BUSSYSTEM | 21 |
| AKTIVE UND PASSIVE NETZKOMPONENTEN DER ETHERNET BUS-TOPOLOGIE | 21 |
| BUS-ZUGRIFFSVERFAHREN | 23 |
| ANPASSUNGEN FÜR DEN EINSATZ IN DER INDUSTRIE | 23 |
| STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DES ETHERNET-BUSSYSTEMS | 24 |
| 5. VOM BUS ZUM STERN/BAUM | 25 |
| AKTIVE UND PASSIVE NETZKOMPONENTEN DER STERN-/BAUM-TOPOLOGIE MIT STERNKOPPLERN | 25 |
| PLANUNGSREGELN BEI STERN-/BAUM-TOPOLOGIE MIT STERNKOPPLERN | 27 |
| STRUKTURIERTE VERKABELUNG NACH EN 50173 | 28 |
| AKTIVE UND PASSIVE NETZKOMPONENTEN DER STERN-/BAUM-TOPOLOGIE MIT BRÜCKEN UND SWITCHES | 29 |
| ANPASSUNGEN FÜR DEN EINSATZ STERN- UND BAUMFÖRMIGER TOPOLOGIEN IN DER INDUSTRIE | 31 |

| | |
|--|-----------|
| STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER STERN-/BAUM-TOPOLOGIE | 34 |
| 6. ETHERNET IN DER AUTOMATISIERUNG: LINIE UND RING | 35 |
| STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER LINIEN-TOPOLOGIE | 37 |
| REDUNDANTE NETZTOPOLOGIEN BEI INDUSTRIAL ETHERNET: RING UND REDUNDANTE RINGKOPPLUNG | 38 |
| STÄRKEN UND SCHWÄCHEN DER RING-TOPOLOGIE | 40 |
| 7. NETZTOPOLOGIEN IM VERGLEICH | 41 |
| 8. FAZIT UND AUSBLICK | 42 |
| 9. GLOSSAR | 43 |
| 10. LITERATUR | 47 |

1. Einführung

Das heutige Ethernet hat seit seiner Geburt im Jahre 1980 viele Innovationszyklen erfahren und stark an Bedeutung gewonnen. Der Einsatz von Ethernet im industriellen Bereich (Industrial Ethernet) hat schon eine lange Historie aufzuweisen: Zentrale Steuerungen und Leitwarte, der sogenannte Control Level einer Anlage, werden seit nahezu 20 Jahren über Ethernet miteinander vernetzt. Im Vergleich hierzu ist der Einsatz von Ethernet im Feldbereich relativ neu und gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Was haben Netzkomponenten für Industrial Ethernet dazu beigetragen, damit dieser Erfolg möglich wurde? Welche Merkmale tragen dazu bei? Antworten zu diesen Fragen soll das White Paper geben.

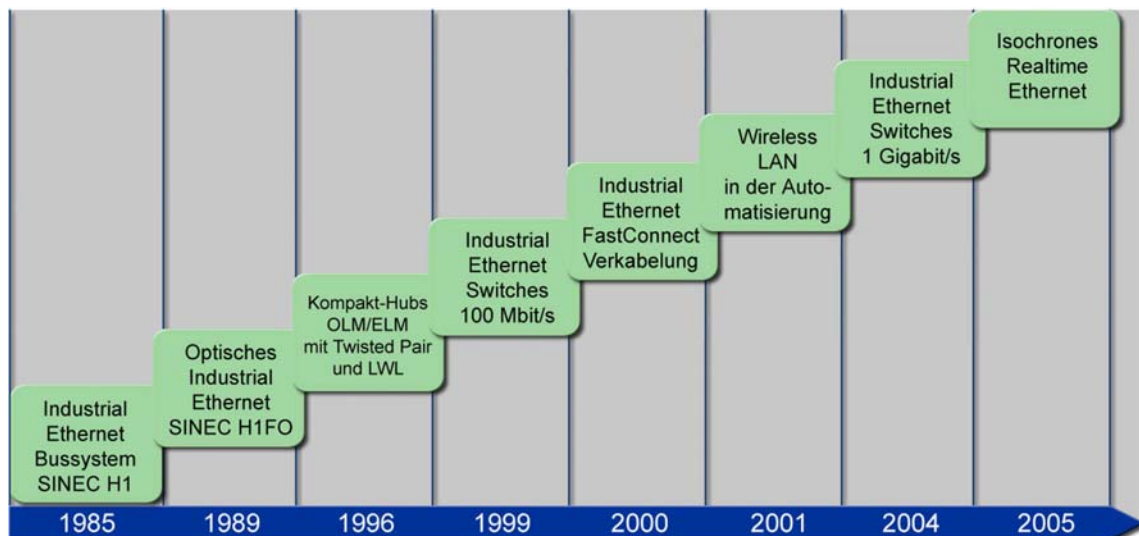
Kapitel 2 enthält einen historischen Überblick zur Entstehung und Weiterentwicklung der Industrial Ethernet Netzkomponenten.

Grundbegriffe der Ethernet-Technologie werden in Kapitel 3 erklärt.

In den nachfolgenden Kapiteln 4 bis 6 werden grundlegenden Netztopologien Bus, Stern/Baum und Linie/Ring betrachtet.

Kapitel 7 enthält eine Gegenüberstellung der zuvor betrachteten Topologien.

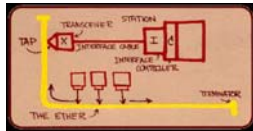
Das Fazit in Kapitel 8 fasst wichtige Punkte zusammen und gibt einen Ausblick über die Weiterentwicklung von Industrial Ethernet Netzkomponenten.



Meilensteine in der Entwicklung von Industrial Ethernet

2. Historische Entwicklung des Industrial Ethernets

Das Ethernet Bussystem



Begonnen hat alles Anfang der achtziger Jahre mit einem Bussystem, ausgelegt für maximal 1024 Teilnehmer, die sich eine Übertragungsbandbreite von etwa 3 bis 4 Mbit/s (30%-40% Nettoübertragungsrate beim 10 Mbit/s Ethernet aufgrund von Kollisionen) teilen. Im Jahre 1983 wurde dieses Bussystem unter IEEE 802.3 standardisiert.

Nach umfangreichen Voruntersuchungen und Ergänzung des Standards um ein durchgängiges Schirm- und Erdungskonzept wurde die Eignung von Ethernet für den industriellen Einsatz nachgewiesen.

In dieser industriellen Ausprägung eroberte das Bussystem seit 1985 als SINEC H1, dem Vorgänger des heutigen SIMATIC NET Industrial Ethernet, die Industrie. Tausende von Anlagen widerlegen die Skeptiker von damals, die ein nicht-deterministisches Zugriffsverfahren wie das bei Ethernet verwendete CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection) für den industriellen Einsatz ungeeignet hielten.

Industrial Ethernet wurde seither konsequent weiterentwickelt. Zur Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit entstanden Ende der achtziger Jahre die ersten redundanten Netze durch den Aufbau eines doppelten Ethernet-Bussystems.



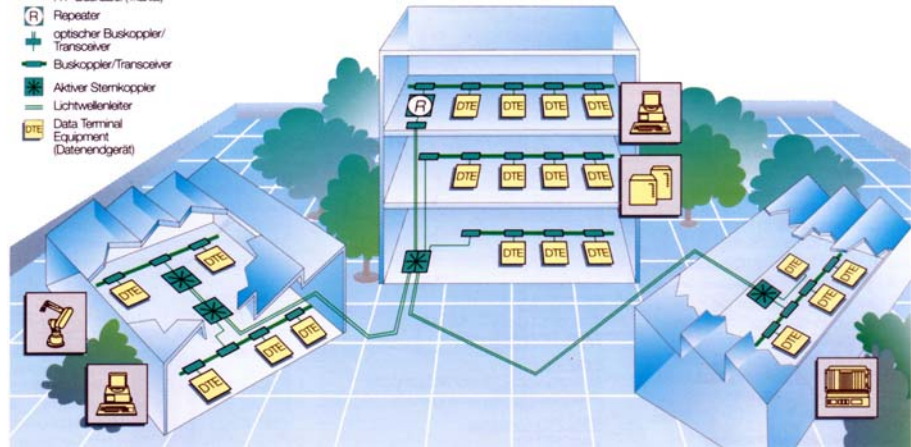
Ethernet als stern- bzw. baumförmiges System

Mit dem Einzug von Lichtwellenleitern begann Ende der achtziger Jahre der Wandel von Ethernet als Bussystem hin zu einem sternförmigen Netz. Endgeräte wurden nicht mehr durch einen gemeinsam benutzten Bus, sondern Punkt-zu-Punkt über eine aktive Netzkomponente, dem Sternkoppler oder Hub, miteinander verbunden. Größere Entfernungen zwischen Teilnehmern wurden möglich, Potentialausgleich oder Blitzschutzmassnahmen konnten entfallen. Dies war die Geburtsstunde des SINEC H1FO Kommunikationssystems.

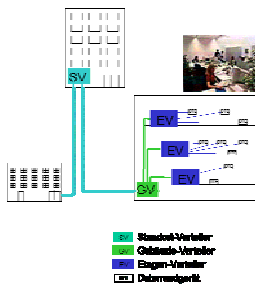




- H1 Transceivorkabel
- H1 Buskabel (Triaxial)
- R Repeater
- + optischer Buskoppler/Transceiver
- + Buskoppler/Transceiver
- + Aktiver Sternkoppler
- + Lichtwellenleiter
- DTE Data Terminal Equipment (Datenendgerät)



Bussystem SINEC H1 und sternförmiges Netz SINEC H1FO, 1989



Vor allem im Endgeräteanschlussbereich etablierte sich Mitte der 90er Jahre „Twisted Pair“ (paarweise verdrehte Adernpaare) als neues Übertragungsmedium, mit dem eine höhere Anschlussdichte zu niedrigeren Anschlusskosten erreicht wurde.

Gleichzeitig wurde die passive Verkabelungstechnik für die Übertragung von Daten und Sprache in der europäischen Norm EN 50173 „Anwendungsneutrale Verkabelungssysteme, 1995“ bzw. im internationalen Pendant ISO/IEC 11801 standardisiert. Firmennetze wurden aufgeteilt in Primärbereich (Netzwerk zwischen Gebäuden), Sekundärbereich (Steigbereich im Gebäude) und Tertiärbereich (Netzwerk in der Etage), es entstand die heute vor allem im Bürobereich eingesetzte baumförmige Netztopologie.

Ethernet als Linien- und Ringtopologie

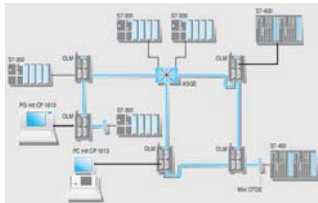


1996 entstanden die für den Vor-Ort-Einsatz im Steuerungsschrank optimierten Sternkoppler in Kompaktbauweise, die SIMATIC NET Industrial Ethernet OLM (Optical Link Module). Der Sternkoppler wurde auf Modulgröße "geschrumpft" und den Umgebungsbedingungen des Steuerungsschranks angepasst (24V-Versorgung, Hutschienenmontage, 0-60°C Betriebstemperatur). Auf einen eigenen Datenschränk für Sternkoppler konnte damit verzichtet werden.

Der Industrial Ethernet OLM wurde fest mit drei Twisted-Pair-Ports ausgestattet, ausreichend für den typischen Endgeräteanschlussbedarf im Steuerungsschrank: Eine Leitsteuerung, ein Vor-Ort Panel und einem freier Port für Diagnosezwecke mittels Programmiergerät war erforderlich.

Als Anschluss technik wurde nicht der RJ45-Stecker, sondern der vom Ethernet-Bussystem bewährte SubD-Stecker verwendet. Damit konnten auch abgesetzte Geräte mit bis zu 100m Leitungslänge direkt angeschlossen werden, ohne auf doppelt geschirmte Leitungen und grosse Aderdurchmesser von 0,64mm verzichten zu müssen.

Zur Verbindung der Steuerungsschränke untereinander bzw. zur Leitwarte wurden ausserdem zwei optische Schnittstellen integriert.



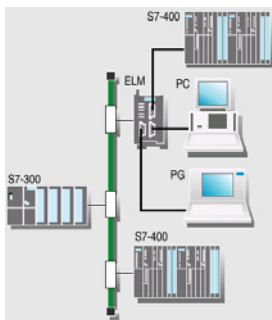
Damit konnte ein Netz in Form einer optischen Linie aufgebaut werden, die kleine Twisted-Pair-Sternverteiler miteinander verbindet.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit des Netzes konnte die optische Linie zu einem Ring geschlossen werden: Bei einem Streckenausfall im Ring ist ein schneller Ersatzweg verfügbar. Die Auswirkungen eines Ausfalls bleiben auf die ausgefallene Netzkomponente und an ihr angeschlossene Endgeräte begrenzt, das restliche Netz zerfällt nicht in zwei Teile.

Zur Diagnose wurde ein Meldekontakt in den Industrial Ethernet OLM integriert. Damit konnte der Gut/Schlecht-Zustand der Netzkomponente direkt von der Steuerung überwacht und somit die Netzkomponenten in die Anlagenüberwachung integriert werden.

Für höheren Portbedarf, z.B. in der Leitwarte, konnte der OLM in Kombination mit Sternkopplern eingesetzt werden.

Pate beim Design des Industrial Ethernet OLM stand sein aus dem Feldbus-Bereich stammender Namensvetter, der PROFIBUS OLM.



Ein wesentlicher Aspekt bei der Weiterentwicklung von Industrial Ethernet war und ist der Investitionsschutz, bedingt durch lange Anlagenbetriebszeiten (z.B. im Kraftwerksbereich über 20 Jahre). Neben langfristiger Ersatzteilversorgung und Reparaturmöglichkeit müssen Anlagen auch erweiterbar sein. In Bezug auf das Netzwerk bedeutet dies kompatible Schnittstellen wie z.B. Twisted Pair bzw. die Verfügbarkeit von Umsetzern.

Ein Beispiel hierfür ist der Industrial Ethernet ELM (Electrical Link Module), mit dem vorhandene SINEC H1 Ethernet Bussysteme an die neue Twisted Pair-Welt angebunden werden können.



Mit dem Industrial Ethernet OLM etablierte sich neben der Stern- und Baum-Topologie die für den industriellen Einsatz optimierte Linien- bzw. Ring-Topologie als redundante Ausprägung der Linie. Damit konnte die Netztopologie dezentralisiert, sowie der Struktur und dem Geräteanschlussbedarf von Automatisierungslösungen angepasst werden.

Jedoch waren erreichbare Kaskadertiefe (Anzahl der Netzkomponenten, die bei der Verbindung von zwei Geräten durchlaufen werden), Maximalausdehnung und Übertragungsbandbreite stark eingeschränkt:

- Die OLM arbeiteten immer noch als Hubs nach dem CSMA/CD-Prinzip, die Kollisionserkennung schränkte das Mengengerüst stark ein. So konnten beispielsweise maximal 11 OLM in einer optischen Linie bei einer maximalen Netzausdehnung von 1180m hintereinandergeschaltet werden.
- Alle angeschlossenen Geräte, auch die Server der Leitwarte, teilten sich die effektiv nutzbare Bandbreite von ca. 3 bis 4 Mbit/s.
- Die Funktionsfähigkeit des Netzes musste durch aufwändige Berechnungen nachgewiesen werden (Überprüfung des sog. Laufzeitäquivalents und des Variability Values), auch bei jeder Erweiterung.

Zwei Weiterentwicklungen der Ethernet-Technologie brachten Mitte der neunziger Jahre Abhilfe:

- Die kollisionsfreie Arbeitsweise des Netzwerks (Full Duplex Übertragung und Zwischenspeicherung von Daten in Netzkomponenten),

sowie

- die Steigerung des Datendurchsatzes im Netz (Steigerung der Übertragungsrates von 10Mbit/s auf 100Mbit/s mit Fast Ethernet, Filterung des Datenverkehrs in Netzkomponenten).

Für die Migration von 10 Mbit/s auf 100 Mbit/s waren Netzkomponenten erforderlich, die beide Übertragungsgeschwindigkeiten beherrschten und kollisionsfrei arbeiteten. Sternkoppler bzw. einfache Hubs waren nicht geeignet.

Es entstanden neue Netzkomponenten, die Brücken sowie deren Nachfolger, die Switches.

Das Übertragungsmedium Twisted Pair mit einer maximalen Streckenlänge von 100m wurde im Grundprinzip beibehalten, die elektrischen Parameter präzisiert. Um fehlerhafte Einstellungen beim Endgeräteanschluss mit Twisted Pair zu vermeiden, erfolgt normalerweise ein automatisches Aushandeln von Geschwindigkeit (1000, 100 oder 10 Mbit/s) und Duplexität (Voll- oder Halb-Duplex). Dies erleichtert den Umstieg auf neue Technologien erheblich.

Mit 100BaseFX wurde ausserdem Fast Ethernet für Lichtwellenleiter standardisiert, jedoch ist dieser Standard durch Nutzung des 1300nm Wellenlängenbereichs nicht kompatibel zum bisherigen Standard 10BaseFL mit einer Wellenlänge von 850nm.

Zusammen mit den Brücken entstand auch der erste Standard für den redundanten Aufbau von Netzwerken, das Spanning Tree Protokoll STP (IEEE 801.2D und IEEE 802.1t). Damit wurde es möglich, Querverbindungen (Maschen, Schleifen) in die Baum-Topologie einzubringen. Aufgrund der hohen Rekonfigurationszeit bis in den Minutenbereich konnte sich dieser Standard jedoch nicht in industriellen Anwendungen durchsetzen.



Die ersten SIMATIC NET Industrial Ethernet Switches wurden Ende der neunziger Jahre am Markt eingeführt. Die OSM (Optical Switch Module) und ESM (Electrical Switch Module) wurden speziell für den Einsatz im Anlagen- und Terminalnetzwerk eines Prozessleitsystems konzipiert. Sie waren die ersten Vertreter einer neuen Produktgruppe, der *Control Level Switches*.

Viele Eigenschaften der Industrial Ethernet OLMs, die in heutigen Anlagen fast vollständig durch die neuen Switches ersetzt wurden, finden sich bei den Control Level Switches wieder:

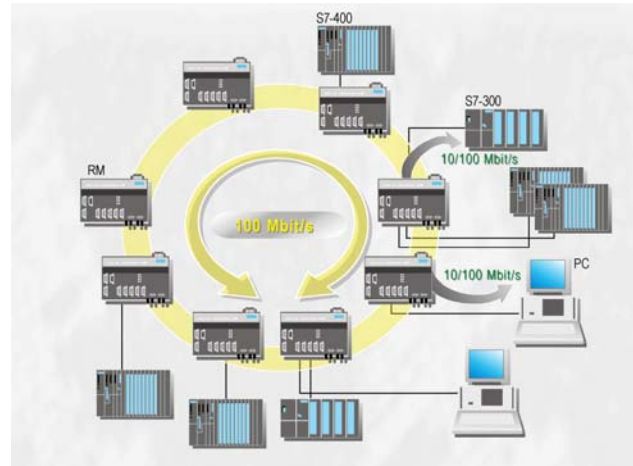
Optimiert für den Einsatz im Steuerungsschrank mit kompakter Bauweise, Hutschienenmontage, 0°C - 60°C Umgebungstemperatur, DC 24V Versorgung.

Hinzu kamen eine wesentlich vereinfachte Netzwerkplanung, mit umfangreichem Mengengerüst (bis zu 50 Switches können kaskadiert



werden), die Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit auf 100 Mbit/s, eine höhere Port-Anzahl pro Netzkomponente, eine Langstreckenvariante für Einzelstreckenlängen bis 26km mit Singlemode-Lichtwellenleiter sowie die Remote-Diagnose über den SNMP-Standard.

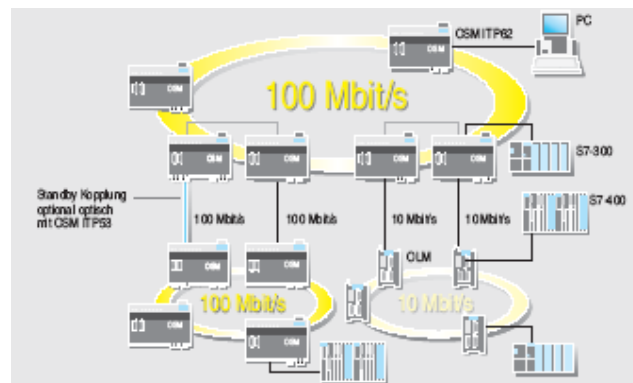
Auch die bei den Industrial Ethernet OLMs bewährte Ring-Topologie konnte auf die Control Level Switches übertragen werden, eine Grundvoraussetzung für den Einsatz in Anlagennetzwerken.



High Speed Redundancy Ring mit OSM

Die schnelle Ring-Redundanz (High Speed Redundancy, HSR) mit einer Rekonfigurationszeit kleiner 300msec stellt sicher, dass das Ethernet-Netz bei einem Leitungsbruch im Ring oder dem Ausfall eines Switches nicht in zwei voneinander getrennte Teilnetze zerfällt und die Kommunikationsverbindungen zwischen Steuerungen und der Zentrale erhalten bleiben. Der Spanning Tree Standard, auch in seiner aktuellen Version als Rapid Spanning Tree Protocol RSTP, kann diese Anforderung nicht erfüllen.

Eine weitere Neuerung bei den SIMATIC NET Industrial Ethernet Switches war die Standby-Funktionalität:



Redundante Kopplung von Ringen

Mehrere Ringe, OSM- oder auch OLM-Ringe mit 10 Mbit/s, konnten über Standby-Verbindungsstrecken miteinander verbunden werden, ohne dabei die schnelle Medienredundanz zu verlieren. Immer größere, aus mehreren Teilanlagen bestehende Anlagen wurden mit den Control Level Switches realisiert.

Durch die permanente Weiterentwicklung von Twisted Pair, LWL und der Switching-Technologie entstehen immer performantere Lösungen. Im Sommer 1999 wurde der Gigabit Ethernet Standard verabschiedet. Ebenso wie bei der Standardisierung von Fast Ethernet wurde darauf geachtet, dass eine stufenweise Migration von 10 Mbit/s über 100 Mbit/s auf 1 Gbit/s möglich ist.



Die ersten Gigabit Ethernet Switches für den Einsatz im Steuerungsschrank sind die modularen Industrial Ethernet Switches SCALANCE X-400 von SIMATIC NET. Damit werden hochperformante Anlagen- und Terminalnetzwerke in Ring-Topologie mit einer Datenrate von 1 Gbit/s ermöglicht. Mit bis zu 26 Ports Maximalausbau pro Switch eignet sich dieser auch für sternförmige Vernetzung bei hoher Gerätedichte, z.B. in Leitwarten oder in Bearbeitungszentren.

Ethernet im Feldbereich

Neben dem schon klassischen Einsatz von Industrial Ethernet im Control Level dringt Industrial Ethernet immer weiter in den Feldbereich, den *Field Level*, vor. Neben den industriellen Betriebsbedingungen spielen Kriterien wie einfache Handhabung, Einbindung in Projektierung und Diagnose der Automatisierungslösung sowie günstiger Preis eine wichtige Rolle.

Heute dominieren noch Feldbusse das Field Level. Als häufigste Netzwerktopologie kommt die Bus-Topologie zum Einsatz, z.B. bei PROFIBUS oder bei INTERBUS.

Die Feldbusse haben die sternförmige Verdrahtung von Ein-/Ausgängen einer Steuerung überflüssig gemacht: Intelligente Klemmen setzen die Ein-/Ausgangssignale direkt vor Ort in Telegramme um. Die Klemmen werden über den Feldbus miteinander und mit der Steuerung verbunden. Das spart Leitungen, erhöht die Übersichtlichkeit im Aufbau und verbessert die Diagnose.

Durch den linearen Aufbau passt sich der Feldbus dem linearen Aufbau eines Fertigungs- bzw. Transportprozesses optimal an.



Fertigungsstrasse



Förderband

Die ersten Anwendungen für Industrial Ethernet im Feldbereich beschränkten sich auf zeitunkritische Aufgaben wie z.B. Betriebsdatenerfassung und Vor-Ort-Visualisierungen, die Übertragung von zeitkritischen Daten (Realtime) blieb Aufgabe der etablierten Feldbusse. Mit den Industrial Ethernet ELS (Electrical Lean Switch) wurden 2001 die



1. Generation an Field Level Switches von SIMATIC NET für derartige Einsatzfälle vorgestellt.

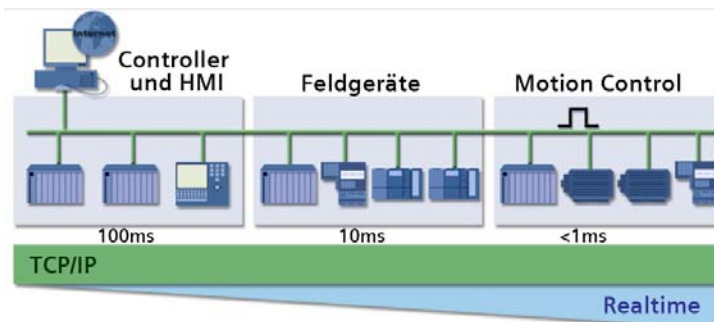
Die Industrial Ethernet ELS TP40 (Electrical Lean Switch) mit zwei integrierten FastConnect Schnellanschluss-Ports für FastConnect Twisted Pair Installationsleitungen eignen sich zum Aufbau von Netzen in Linien-Topologie und bilden damit die Busstruktur der Feldbusse nach. Über zwei weitere RJ45-Ports erfolgt der Geräteanschluss oder z.B. der Anschluss eines Programmiergeräts zur Diagnose. Die Linientopologie wird häufig in Kombination mit der Sterntopologie eingesetzt, z.B. in Fertigungszellen. Gut geeignet dafür erscheint die Gerätevariante ELS TP80 mit seinen 8 Twisted Pair Ports.

Eine Innovation machte die einfache Twisted Pair Verkabelung in der Linie erst möglich: Auto-Crossover, das automatische Kreuzen von Sendepaar und Empfangspaar in der Twisted Pair Leitung in Verbindung mit Auto-Negotiation. Man muss nicht mehr zwischen gekreuzten Twisted-Pair-Leitungen zum Kaskadieren von Switches und 1:1 verdrahteten Leitungen für den Geräteanschluss unterscheiden.

Die systematische Weiterentwicklung der FieldLevel Switches durch SIMATIC NET brachte Mitte 2004 die neue Gerätegeneration mit den Produktlinien SCALANCE X-100 (unmanaged Switches) und SCALANCE X-200 (managed Switches) an den Markt. Mit einer Vielfalt an elektrischen und optischen Anschlüssen sowie Geräten in hoher Schutzart IP65 und für isochrones Real-Time ist hier für jeden Einsatzfall eine geeignete Gerätevariante verfügbar.

Mit PROFINET, dem offenen Standard für die Automatisierung, geht man noch einen Schritt weiter: Echtzeit- und IT-Kommunikation können zusammen auf demselben Netz betrieben werden.

PROFINET basiert auf Industrial Ethernet und ermöglicht die Geräteanbindung von der Feldebene bis in die Leitebene. Neben dem direkten Anschluss von dezentralen Feldgeräten, den intelligenten Klemmen, an Industrial Ethernet können auch takttsynchrone Motion Control Anwendungen realisiert werden.



Zeitanforderungen

Netzkomponenten wie z.B. die neue Produktlinie SCALANCE X-200 managed Switches von SIMATIC NET werden bei PROFINET in die Projektierung und Diagnose der Automatisierungslösung eingebunden.

3. Technische Grundbegriffe

Full Duplex / Half Duplex

Full Duplex (FDX) und Half Duplex (HDX) sind Betriebsarten im Netz. Während die Teilnehmer bei HDX abwechselnd Daten senden und empfangen, sind sie in der Betriebsart FDX in der Lage, gleichzeitig Daten zu senden und zu empfangen. Bei Verwendung von FDX wird die Kollisionserkennung der beteiligten Teilnehmer automatisch deaktiviert; es treten keine Kollisionen auf.

Die beiden Begriffe Full Duplex und Half Duplex stammen ursprünglich aus der seriellen Datenkommunikation. Sie beschreiben die Art und Weise des Datenaustausches auf einer Punkt zu Punkt Verbindung. Im Laufe der Zeit haben diese Begriffe auch Einzug in die Datenkommunikation gehalten.

Full Duplex ist keine Netztopologie, sondern eine Methode des Datenaustausches, die zwischen je zwei Teilnehmern festgelegt wird, also jeweils eine Punkt-zu-Punkt Verbindung.

Full Duplex muß nicht im gesamten Netzwerk einheitlich verwendet werden. Es ist durchaus möglich, nur einige Verbindungen zwischen bestimmten Knoten im Full Duplex Modus zu betreiben, z.B. um vorhandene Geräte an ein modernes Netz anzuschliessen.

Voraussetzung für FDX ist die Verwendung von Übertragungsmedien mit getrennten Sende- und Empfangskanälen, da zum gleichzeitigen Senden und Empfangen von Daten unterschiedliche Pfade benötigt werden.

Zum einen müssen die beteiligten Knoten die Betriebsart Full Duplex unterstützen. Andererseits muß das Medium (Leitung) in der Lage sein, Sende- und Empfangskanal zu trennen. Dies ist bei LWL und Twisted Pair gegeben.

Bei Lichtwellenleitern wird dies durch die zwei unterschiedlichen Fasern für Senden (Transmit) und Empfangen (Receive) realisiert.

Bei der Twisted Pair Leitung geschieht dies in ähnlicher Weise über die beiden getrennten Leiterpaare für Senden und Empfangen.

Beim Half Duplex Betrieb einer Verbindung benutzen Sender und Empfänger das gleiche physikalische Medium (Leitung).

Zu einer Zeit kann jeweils nur ein Partner senden, der andere empfängt Daten. Die Kommunikationspartner wechseln sich in der Nutzung des Mediums zum Senden von Daten ab.

Die Koaxialleitung im klassischen 10 Mbit/s Ethernet ist ein typisches Beispiel für ein Half Duplex Medium.

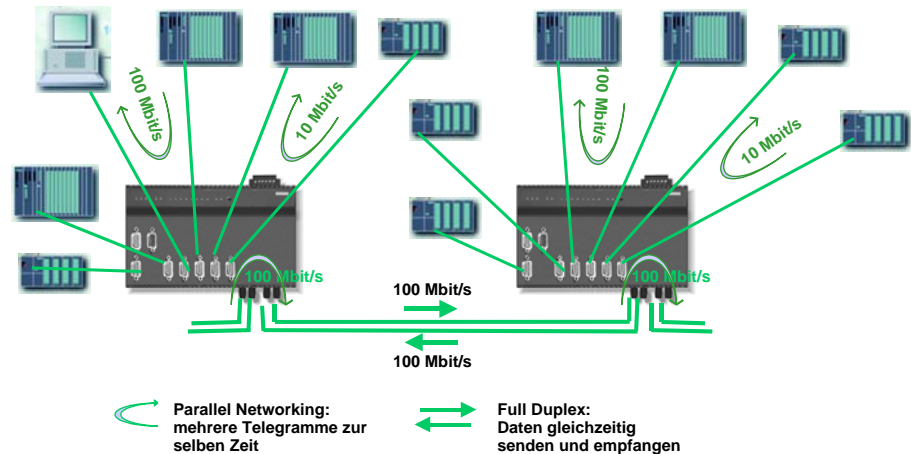


Bild: Full Duplex und Parallele Kommunikation

Der Full Duplex Betrieb bringt zwei entscheidende Vorteile mit sich:

- Da bei FDX keine Kollisionen auftreten erhöht sich der Datendurchsatz auf die doppelte nominale Datenrate des Netzes, z.B. auf 200 Mbit/s bei Fast Ethernet oder 2 Gbit/s bei Gigabit Ethernet.
- FDX ermöglicht eine Vergrößerung der Netzausdehnung bis zur Leistungsgrenze der verwendeten Send- und Empfangskomponenten. Dies kommt insbesondere in Verbindung mit LWL zum Tragen.
Im Standard 100BaseFX ist als maximale Länge mit Glasfaserkabeln 62,5/125 µm bzw. 50/125 µm die Entfernung 2000 m festgelegt.



Da im industriellen Umfeld, insbesondere im Großanlagenbau, diese Entfernung mitunter etwas knapp bemessen ist, wurden für SIMATIC NET Switches besonders leistungsfähige Send- und Empfangselemente ausgewählt, die bei Fast Ethernet Entfernungen bis zu 3000 Meter zwischen zwei Switches ermöglichen.

Switching

Beim Switching werden Datenpakete anhand der Adressinformationen im Datenpaket direkt vom Eingangsport an den entsprechenden Ausgangsport weitergereicht/vermittelt. Switches arbeiten sozusagen im Direktvermittlungsverfahren.

Switches sind eine Weiterentwicklung der Bridges, besitzen aber im Gegensatz zu Bridges die Eigenschaft, mehrere Datenpakete gleichzeitig bearbeiten zu können.

Switches haben im wesentlichen folgende Funktionen:

- Verbindung von Kollisionsdomänen / Teilnetzen
Da Repeater / Hubs auf der physikalischen Ebene arbeiten, ist ihr Einsatz auf die Ausdehnung einer Kollisionsdomäne beschränkt. Switches verbinden Kollisionsdomänen. Ihr Einsatz ist daher nicht auf die max. Ausdehnung eines Repeater-Netzes beschränkt. Vielmehr lassen sich mit Switches sehr große Netze mit Ausdehnungen von 150 km und mehr aufbauen. Für die maximale Ausdehnung ist nur die Verzögerung der Datenpakete zwischen zwei Teilnehmern zu beachten.
- Lastentkopplung:
Durch Filterung des Datenverkehrs anhand der Ethernet (MAC)-Adressen wird erreicht, daß lokaler Datenverkehr lokal bleibt. Im Unterschied zu Repeatern, die Daten ungefiltert an alle Ports / Netzteilnehmer verteilen, arbeiten Switches im Direktvermittlungsverfahren. Nur Daten an Teilnehmer eines anderen Teilnetzes werden vom Eingangsport an den entsprechenden Ausgangsport des Switches weitertransportiert. Dazu wird vom Switch im Selbstlernmodus pro Port eine Tabelle der Ethernet (MAC) Adressen aufgebaut. Im Ethernet-Umfeld wird auch häufig vom sogenannten Frame-switching gesprochen, der Vermittlung kompletter Datenpakete unterschiedlicher Länge. Im Gegensatz dazu steht das sogenannte Cell-Switching, bei dem Zellen fester Länge transportiert werden (z.B. ATM).
- Begrenzung der Fehlerausbreitung auf das betroffene Teilnetz:
Durch die Überprüfung der Gültigkeit eines Datenpaketes anhand der Prüfsumme, die jedes Datenpaket enthält, stellt der Switch sicher, daß fehlerhafte Datenpakete nicht weitertransportiert werden. Auch Kollisionen in einem Netzsegment werden nicht in andere Segmente weitergeleitet.
- Höhere Anzahl anschließbarer Endgeräte im Vergleich zu einem klassischen Ethernet
- Parallele Kommunikation
Switches besitzen die Eigenschaft, mehrere Datenpakete zwischen unterschiedlichen Netzsegmenten oder Teilnehmern

gleichzeitig bzw. parallel zu bearbeiten.
 Abhängig von der Anzahl seiner Ports stellt der Switch temporär und dynamisch mehrere Verbindungen zwischen verschiedenen Paaren von Netzsegmenten/Endgeräten her.
 Dadurch ist eine enorme Erhöhung des Datendurchsatzes im Netzwerk und damit eine deutliche Steigerung der Netzwerkeffizienz zu erreichen.

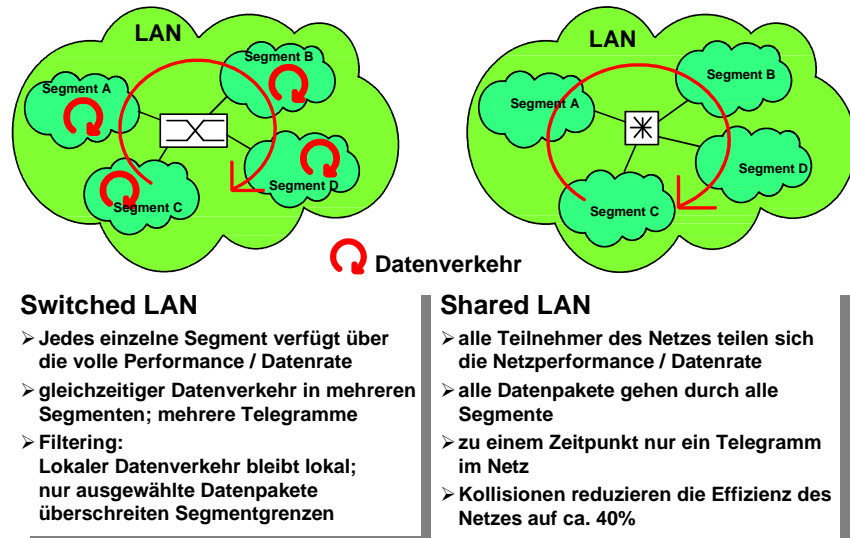


Bild: Switched LAN / Shared LAN im Vergleich

In Kombination verwendet ergeben die neuen Technologien:

- Steigerung der Datenrate von 10 Mbit/s auf 100 Mbit/s, 1 Gbit/s und höher
- Switching
- Full Duplex

eine deutliche Steigerung der Performance im Netz im Vergleich zum klassischen Ethernet (CSMA/CD) von Faktor 500 und mehr.

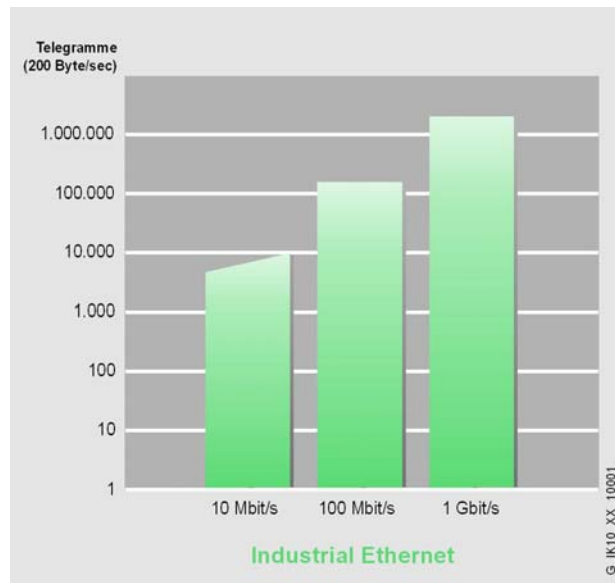


Bild: Steigerung der Netzperformance

Autonegotiation

Autonegotiation ermöglicht den beteiligten Geräten, vor der Übertragung der ersten Datenpakete einen kompatiblen Modus für die Datenübertragung auszuhandeln und zu vereinbaren.

Sobald zwei Geräte miteinander verbunden sind, wird automatisch der höchstpriorre Modus für die Datenübertragung ermittelt. Dies geschieht nach folgender Prioritäts-Liste:

1. 1000BaseTX Full-Duplex
2. 100BaseTX Full-Duplex
3. 100BaseTX Half-Duplex
4. 10BaseT Full-Duplex
5. 10BaseT Half-Duplex

Um eine explizite Konfiguration sicherzustellen ist es auch möglich, Autonegotiation zu deaktivieren.

Autosensing

Autosensing beschreibt die Eigenschaft von Endgeräten und Netzkomponenten, automatisch die Datenrate eines Signals (10Mbit/s, 100 Mbit/s bzw. 1 Gbit/s) zu erkennen.

Autocrossover

Verfahren für Twisted Pair Ports, mit dem automatisch zwischen nicht-gekreuzter Belegung (MDI) und gekreuzter Belegung (MDI-X) der Signal-Pins umgeschaltet wird.

Bei Twisted Pair werden Sende- und Empfangsdaten auf getrennten Adern übertragen. Die Datenübertragung zwischen zwei Ethernet-Geräten ist nur dann möglich, wenn die Sendedaten des einen Gerätes auf die Empfangsdaten des anderen Gerätes übertragen werden und umgekehrt. Es muss also eine Kreuzung zwischen Sende- und Empfangsdaten zwischen den Geräten stattfinden.

Diese Kreuzung wird bei Netzkomponenten Geräte-intern vorgenommen (MDI-X-Portbelegung, gekreuzt). Damit können zum Anschluss von Endgeräte (MDI-Portbelegung, 1:1) 1:1-verdrahtete, ungekreuzte Leitungen verwendet werden.

Sollen jedoch gleichartige Geräte wie z.B. zwei Netzkomponenten über Twisted Pair Ports miteinander verbunden werden, dann muss eine zusätzliche Kreuzung im Leitungsweg vorgenommen werden. Bei Twisted Pair Ports mit Autocrossover-Funktion wird diese Kreuzung automatisch vorgenommen, gekreuzte Leitungen sind nicht erforderlich.

Voraussetzung für die Autocrossover-Funktion ist, dass die Ports auf Autonegotiation-Betriebsart eingestellt sind.

Spanning Tree Algorithmus

Im Standard IEEE 802.1d wird der Spanning Tree Algorithmus beschrieben, der der Organisation beliebig vermaschter Ethernet-Strukturen aus Bridges/Switches dient. Um zu verhindern, daß Datenpakete im Netz kreisen, werden bei geschlossenen Maschen verschiedene Verbindungen in Standby geschaltet, sodaß aus der vermaschten Struktur eine offene Baumstruktur entsteht.

Die Bridges/Switches verständigen sich dazu über das Spanning Tree Protocol. Da dieses Protokoll beliebige Strukturen beherrschen muß, ist es sehr aufwendig.

Die Organisation von Netzstrukturen mit dem Spanning Tree Protocol beansprucht Zeiten von ca. 30–60 Sekunden. In dieser Zeit ist produktive Kommunikation für eine zuverlässige Visualisierung oder Prozessführung im Netzwerk nicht möglich.

In der zeitoptimierten Variante „Rapid Spanning Tree“ nach IEEE 802.1w werden bei maximal 10 hintereinander geschalteten Switches diese Zeiten auf einige Sekunden verkürzt.

Zur Anbindung an Büronetze unterstützen SIMATIC NET Switches der Produktlinie SCALANCE X-400 das Rapid Spanning Tree Protocol.



Diese Verzögerungszeiten und Beschränkung der Kaskadertiefe von Switches mögen im Büroumfeld tolerabel sein, meist können die Anforderungen der industriellen Kommunikation an eine schnelle Reaktionszeit der Netzinfrastruktur im Fehlerfall allerdings nicht erfüllt werden.

Um die geforderten sehr schnellen Reaktionszeiten zu erreichen, verwendet SIMATIC NET zur Steuerung der Redundanz das speziell für industrielle Anwendungen entwickelte High Speed Redundancy (HSR) Verfahren. Die Wiederherstellung einer funktionsfähigen Netzinfrastruktur wird dadurch im weniger als 0,3 Sekunden sichergestellt.

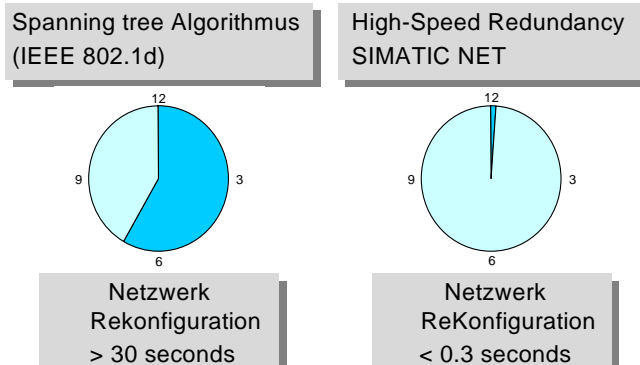


Bild 7: High Speed Redundancy von SIMATIC NET

Standards

Für Industrial Ethernet gilt: Normkonform plus nutzbringende Zusatzeigenschaften!

Industrial Ethernet basiert auf den relevanten internationalen Standards (z.B. IEEE 802.3, ISO/IEC 11801, EN 50173). Das problemlose Zusammenspiel von Industrial Ethernet mit konventionellen Ethernet Komponenten ist damit in jedem Fall gegeben.

Nur dort, wo die Festlegungen der Norm die harten Anforderungen in der Fertigung bzw. im Prozessumfeld nicht berücksichtigen weicht Industrial Ethernet von der Norm ab (z.B. Anschlußtechnik und einfache Handhabung bei Industrial Twisted Pair FastConnect; Anforderungen an redundante Netze).

Neben den normgemäßen Details bietet Industrial Ethernet eine Vielzahl nützlicher Funktionen bzw. Eigenschaften für den industriellen Einsatz. Dadurch werden Lösungen ermöglicht, die konventionelle Ethernet Komponenten nicht bieten.

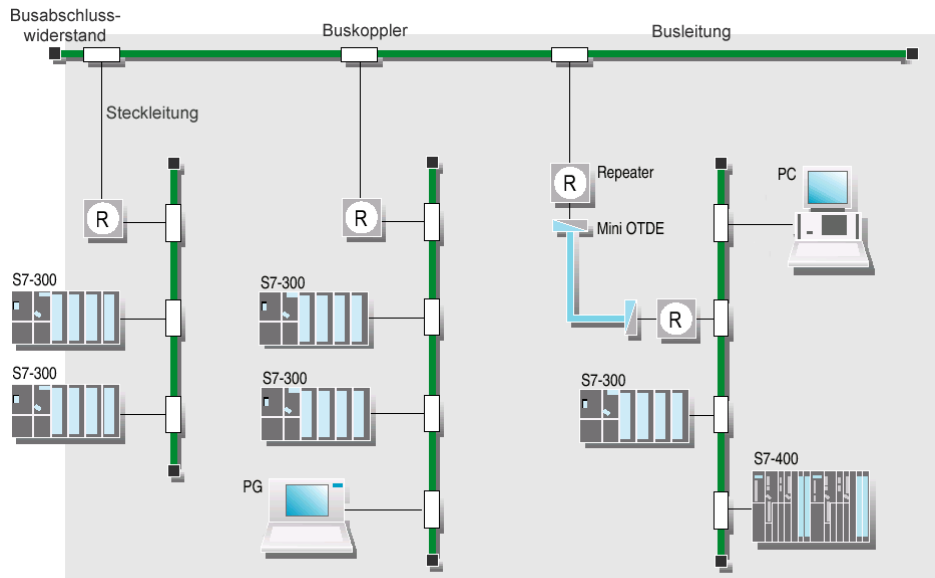
Übertragungsmedien

Die folgende Tabelle enthält die wichtigsten durch den Standard IEEE 802.3 festgelegten Übertragungsmedien:

| Übertragungsmedium | | Übertragungs- geschwindigkeit | Strecken- länge | Standard | | |
|--------------------|--|----------------------------------|---------------------|------------|---------|-------|
| elektrisch | Koaxial (dick) | 10 Mbit/s | bis 500m | 10Base5 | 802.3 | -1985 |
| | Koaxial (dünn, RG58) | 10 Mbit/s | bis 185m | 10Base2 | 802.3a | -1988 |
| | Twisted Pair (UTP CAT3, 2 Paare) | 10 Mbit/s | bis 100m | 10BaseT | 802.3i | -1990 |
| | Twisted Pair (UTP/STP CAT5, 2 Paare) | 10/100 Mbit/s | bis 100m | 100BaseT | 802.3u | -1995 |
| | Twisted Pair (UTP CAT5, 4 Paare) | 10/100/1000 Mbit/s | bis 100m | 1000BaseT | 802.3ab | -1999 |
| optisch | Glas-LWL 62,5µm, BFOC-Stecker | 10 Mbit/s | bis 2 km | 10BaseFL | 802.3j | -1993 |
| | Glas-LWL 62,5µm od. 50µm, BFOC- od. SC-Stecker | 100 Mbit/s | bis 2 km | 100BaseFX | 802.3u | -1995 |
| | Glas-LWL 62,5µm od. 50µm, z.B. SC-Stecker | 1 Gbit/s | 2m - 550m (50µm) | 1000BaseSX | 802.3z | -1998 |
| | Glas-LWL 62,5µm, 50µm od. 10µm, z.B. SC-Stecker | 1 Gbit/s | 2m - 5 km (10µm) | 1000BaseLX | 802.3z | -1998 |

Die angegebenen Leitungslängen können auch überschritten werden und sind dennoch normkonform, falls alle anderen in der Norm festgelegten Parameter wie z.B. die minimale Leitungslänge eingehalten werden.

4. Der Urahn: Ethernet als Bussystem



Ethernet-Bus bestehend aus einem Hauptsegment und drei unterlagerten Teilsegmenten

Aktive und passive Netzkomponenten der Ethernet Bus-Topologie

Mit den folgenden Grundkomponenten wird ein Ethernet-Bus aufgebaut:

- Busleitung (Yellow Cable)**
 Als Busleitung wird eine Koaxialleitung mit einem Wellenwiderstand von 50 Ohm und einer Maximallänge von 500 m eingesetzt. Die Aussenmantelfarbe ist gelb, weswegen die Busleitung auch als "Yellow Cable" bezeichnet wird.
 Auf dieser Busleitung werden Daten mit einer Übertragungsrate von 10 Mbit/s übertragen. Alle an die Busleitung angeschlossenen Teilnehmer teilen sich diese Busleitung, d.h. zu einem Zeitpunkt kann nur ein Teilnehmer Daten senden oder Daten empfangen. Man spricht daher beim Ethernet-Bus von einem "Shared LAN". Wenn mehrere Teilnehmer gleichzeitig auf die Busleitung zugreifen, kommt es zu einer Kollision und damit zur Zerstörung der Daten.
 Am Anfang und Ende wird die Busleitung mit je einem Busabschlusswiderstand abgeschlossen. Diese stellen sicher, dass Daten am Leitungsende nicht reflektiert werden, dieses Echo würde das Datensignal zerstören.
- Buskoppler (Transceiver)**
 Der Buskoppler bietet die Schnittstelle zum Anschluss eines Teilnehmers (Attachment Unit Interface, AUI, über 15-poligen SubD-Stecker) an die Busleitung. Der Anschluss des Buskopplers an die Busleitung erfolgt nach IEEE-Norm 802.3 über einen Dorn im Busanschlussstück, der den Mantel sowie den Aussenleiter der Busleitung durchsticht und den Innenleiter kontaktiert (Vampir-Anschlusstechnik).

Seine Aufgabe besteht ausserdem darin, das elektrische Potential der Teilnehmerseite durch eine induktive Ankopplung vom Potential der Busleitung zu trennen sowie gleichzeitige Zugriffe auf die Busleitung zu erkennen (Kollisionserkennung durch erhöhten Signalpegel auf der Busleitung) und dem Teilnehmer zu melden. Weitere Aufgaben des Buskopplers sind der Schutz der Busleitung vor Dauerbelegung (Jabber Control) sowie die Überwachung der Anschlussleitung zum Teilnehmer (Heart beat, optional).

Die Energieversorgung des Buskopplers erfolgt durch den angeschlossenen Teilnehmer.

Es dürfen maximal 100 Teilnehmer an eine 500 m lange Busleitung, einem Bussegment, angeschlossen werden.



- **Steckleitung (Drop Cable)**

Über die Steckleitung erfolgt der Teilnehmeranschluss von der Netzwerkkarte des Teilnehmers (AUI-Buchse) zum Buskoppler. Die maximale Länge der Steckleitung beträgt 50 m.

Der Teilnehmer kann im laufenden Betrieb an den Buskoppler angeschlossen oder von diesem abgezogen werden.

Zur Erweiterung der erreichbaren Netzausdehnung und zur Erhöhung der Teilnehmeranschlussdichte wurden folgende Netzkomponenten entwickelt:

- **Busverstärker (Repeater)**

Aufgabe des Repeaters ist es, zwei Bussegmente miteinander zu verbinden. Dazu wird je Segment ein freier Buskoppler benötigt, an die der Repeater über Steckleitungen angeschlossen wird. Bei der Verbindung von Bussegmenten muss die Qualität des Empfangssignals vor der Weiterleitung ins zweite Segment verbessert werden (Signalregenerierung in Amplitude und Zeit, Wiederherstellung der Synchronisationsbits in der sog. Präambel des Telegramms).

Zwischen zwei Endgeräten dürfen im Signalweg höchstens vier Repeater liegen.



- **Optischer Buskoppler (Optical Transceiver)**

Zur Vergrößerung der erreichbaren Entfernung zwischen zwei Repeatern wurde das Fiber Optic Inter Repeater Link (FOIRL), die optische Verbindung zweier Repeater, entwickelt. Hierzu ist es erforderlich, die AUI-Schnittstelle in eine optische Schnittstelle umzusetzen und umgekehrt. Diese Aufgabe übernimmt der optische Buskoppler.

Die optischen Buskoppler werden - je nach Bauform - über eine Steckleitung an den Repeater angeschlossen oder direkt auf dessen AUI-Schnittstelle aufgesteckt. Die Verbindung zwischen zwei optischen Buskopplern erfolgt über einen Glas-Lichtwellenleiter mit max. 1000m Länge.



- **Schnittstellenervielfacher (Fan Out Unit) und Buskoppler mit mehreren Teilnehmeranschlüssen**

Um mehr als einen Teilnehmer an einen Buskoppler anzuschliessen, kann ein Schnittstellenervielfacher zwischen die Teilnehmer und den Buskoppler über Steckleitungen zwischengeschaltet werden.



Zum Anschluss z.B. von zwei Teilnehmern gibt es auch Buskoppler mit zwei Teilnehmeranschlüssen.

Bus-Zugriffsverfahren

Um den Zugang der Teilnehmer zum gemeinsam benutzten Bus zu regeln, wird das CSMA/CD-Verfahren (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection) eingesetzt:

- Die sendewilligen Teilnehmer hören, ob Datenverkehr auf dem Bus stattfindet (Carrier Sense), und warten bis der Bus frei ist.



Sobald der Bus frei ist kann gesendet werden, wobei alle Teilnehmer gleichberechtigt sind und von sich aus auf den Bus zugreifen können (Multiple Access).

- Versuchen zwei oder mehrere Teilnehmer quasi gleichzeitig bei freiem Bus Daten zu senden, dann kommt es zu einer Kollision. Alle an der Kollision beteiligten Daten gehen dabei verloren. Diese Kollision wird durch einen erhöhten Signalpegel von den beteiligten Buskopplern erkannt und an die aktiven Teilnehmer gemeldet (Collision Detection).



Die Kollisionserkennung erfolgt nur während eines Sendevorgangs.

- Erkennt der Teilnehmer eine Kollision, so bricht er seinen Sendeversuch ab und startet diesen nach Ablauf einer zufallsgesteuerten Wartezeit erneut. Bei erneuter Kollision wird das Intervall, aus dem die Wartezeit mittels eines Zufallsgenerators bestimmt wird, jeweils verdoppelt. Hierdurch verringert sich für die Teilnehmer mit jedem Sendeversuch die Wahrscheinlichkeit, durch die gleiche Wartezeit erneut zu kollidieren.



Damit die Kollisionserkennung des Zugriffsverfahrens CSMA/CD zuverlässig arbeitet, muss die maximale Gesamtausdehnung sowie die Kaskadertiefe von Repeatern begrenzt werden. Die maximal erreichbare Gesamtausdehnung des Ethernet-Bussystems liegt bei 3000m.

Anpassungen für den Einsatz in der Industrie



Bevor Ethernet in rauher Industrieumgebung eingesetzt werden konnte, waren einige Verbesserungen erforderlich:

- SINEC H1 Busleitung mit verbesserten Eigenschaften:**

Das Yellow Cable wurde mit einem Schirm aus Aluminium und einem zusätzlichen Mantel umgeben. Über diesen Schirm, der an jedem Buskoppler geerdet wird, werden EMV-Störbeeinflussungen gegen Masse abgeführt und das Datensignal geschützt. Damit ist die SINEC H1 Busleitung auch für die Verlegung in elektromagnetisch belasteter Industrieumgebung geeignet.

Der äußere Aufbau der SINEC H1 Busleitung wirkt als Dampfsperre, daher ist die Busleitung auch für Erdverlegung und für die Verlegung in Süßwasser geeignet.

- SINEC H1 Buskoppler für durchgängiges Erdungskonzept, sicheren Kontakt und einfache Diagnose**

Die SINEC H1 Buskoppler wurden mit einem robusten Metallge-



häuse sowie einer Montageplatte versehen. Im Gegensatz zur Büroausführung wird die Busleitung über robuste Stecker an den Buskoppler angeschlossen und der Schirm der SINEC H1 Busleitung auf die geerdete Montageplatte aufgelegt. Störeinkopplungen werden vom Schirm abgefangen und auf kürzestem Weg über die Montageplatte gegen Masse abgeführt.

Einfache Vor-Ort-Diagnose wurde durch LED-Anzeigen für Send- und Empfangsdaten sowie Kollision ermöglicht.

Stärken und Schwächen des Ethernet-Bussystems

Der Ethernet-Bus besitzt folgende Stärken:

- Der Bus ist ein passives Übertragungsmedium, ein Spannungsausfall an einem Gerät wirkt sich nur auf dieses Geräte aus, alle anderen Geräte sind nicht betroffen.
- Die eingesetzten Komponenten sind grösstenteils passiv und äusserst robust, dadurch ergibt sich eine hohe MTBF.
- Zur Analyse von Kommunikationsproblemen zwischen Teilnehmern kann an beliebiger Stelle ein Protokollanalysator angeschlossen werden, da überall alle Daten sichtbar sind.

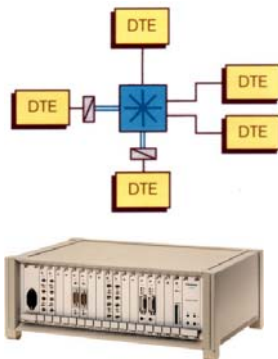
Jedoch nimmt die Bedeutung des Ethernet-Busses aufgrund folgender Einschränkungen stark ab:

- Die Übertragungsrates sind auf 10 Mbit/s begrenzt, die verfügbare Bandbreite reduziert sich aufgrund von Kollisionen auf ca. 30 bis 40%.
- Alle Busteilnehmer teilen sich diese Bandbreite.
- Die gleichzeitige Übertragung von Send- und Empfangsdaten, der Voll-Duplex-Betrieb, ist nicht möglich.
- Das CSMA/CD Zugriffsverfahren begrenzt die Netzausdehnung, die eingesetzten Übertragungsmedien begrenzen die zulässige Entfernung zwischen Teilnehmern.
- Störungen breiten sich auf einem ganzen Bussegment aus, die Fehlerlokalisierung ist aufwändig (Reflexionsmessung am stillgelegten Bus).
- Die starre Busleitung ist nur aufwändig verlegbar.
- Die Abkündigung von Bauteilen gefährdet die Verfügbarkeit von Produkten.
- Für die moderne Netzwerkadministration ist der Bus ungeeignet.

Heute überwiegen die Nachteile des Ethernet-Bussystems. Daher ist es nicht empfehlenswert, die Bustechnologie für Neuprojekte einzusetzen. Die vorhandenen Busse lassen sich über Koppellelemente an eine neue Netzwerkinfrastruktur mit verdrehter Zweidrahtleitung (Twisted Pair) anbinden, wodurch ein nahtloser Übergang von der 10 Mbit/s-Welt in die 100 Mbit/s- und 1 Gbit/s-Welt ermöglicht wird.

5. Vom Bus zum Stern/Baum

Aktive und passive Netzkomponenten der Stern-/Baum-Topologie mit Sternkopplern



Basierend auf der Repeatertechnologie des Ethernet-Bussystems entstanden Anfang der neunziger Jahre neue Netzkomponenten, die sogenannten Sternkoppler (Hubs). Im wesentlichen handelt es sich hierbei um Multiport-Repeater, die zum Aufbau grösserer Netze mehrere Segmente an einem Ort miteinander verbinden, wodurch eine Sternstruktur entsteht.

Sternkoppler wie z. B. der 1989 vorgestellte SINEC H1FO AS101 waren modular aufgebaut: Je nach Aufgabenstellung konnte ein Grundrahmen mit optischen oder elektrischen Interfacekarten bestückt werden. Ausserdem verfügten sie über eine redundante Spannungsversorgung:

Im Gegensatz zum passiven Ethernet-Bus benötigt der Sternkoppler eine eigene Spannungsversorgung. Fällt diese aus, dann ist die Kommunikation aller über diesen Sternkoppler verbundener Teilnehmer unterbrochen.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit werden Sternkoppler daher mit einer redundanten Spannungsversorgung ausgestattet.

Folgende Schnittstellen und Übertragungsmedien wurden zunächst durch Sternkoppler unterstützt:

- Teilnehmer-Anschluss mit Attachement Unit Interface (AUI)
Damit konnten einzelne Teilnehmer, die für den Anschluss an Transceiver ausgelegt waren, auch direkt an Sternkoppler angeschlossen werden.
Übertragungsmedium war das Drop Cable mit seiner Maximallänge von 50m.
- Ethernet-Segment-Anschluss für 10Base5 („Yellow Cable“) und auch 10Base2 (Cheapernet)
Ganze Bus-Segmente konnten eingebunden werden.
Übertragungsmedium war die Coax-Busleitung mit einer Maximallänge von 500m (10Base5).
- Optische Schnittstelle 10BaseFL (FOIRL)
Sternkoppler konnten hierüber kaskadiert werden. Über optische Buskoppler konnten auch abgesetzte Teilnehmer angeschlossen werden.
Übertragungsmedium ist ein Multimode-Lichtwellenleiter mit zwei Glasfasern vom Typ 62,5/125 μm (je 1 Faser für Sende- bzw. Empfangsdaten) mit einer Maximallänge von 2km.

Alle für das Ethernet-Bussystem entwickelten Geräte konnten damit an das sternförmige Netzwerk angeschlossen werden.

Um die Teilnehmeranschlusskosten zu senken und gleichzeitig die Teilnehmeranschlussdichte weiter zu erhöhen wurde Anfang der neunziger Jahre alternativ zur AUI-Schnittstelle eine Verkabelungstechnik basierend auf verdrahter Zweidrahtleitung (Twisted Pair) entwickelt und unter IEEE 802.3i (10BASE-T) standardisiert. Übertra-



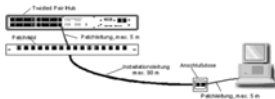
gungsmedium ist hierbei eine 2x2-adrige S/STP-Leitung (Screened/Shielded Twisted Pair).

Twisted Pair-Verbindungen sind Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen einem Teilnehmer und dem Port eines Sternkopplers oder zwischen Sternkopplern mit einer maximalen Länge von 100m.



Als Steckverbinder wurde der RJ45-Stecker festgelegt, der aufgrund seiner kompakten Bauweise eine hohe Anschlussdichte zulässt. Allerdings konnten die damals verfügbaren RJ45-Stecker nur Leitungen mit geringen Aderdurchmessern aufnehmen, was Rückwirkungen auf die maximal zulässige Leitungslänge hat.

Die 100m Maximal-Länge konnten nur durch Einsatz der sogenannten Patch-Technik erreicht werden. Dies bedeutet, dass die Verbindungen zwischen den Komponenten aus festverlegten Installationsleitungen (grosser Aderquerschnitt) und Anschlusschnüre (Patchleitungen, Litze) bestehen. Die festverlegten Installationsleitungen werden auf sogenannte Patchfelder aufgelegt. Von diesen Patch-Feldern wird die Verbindung zu den aktiven Ports der Netzkomponenten über Anschlusschnüre (Patchleitungen) hergestellt. Auf Endgeräteseite wird die Installationsleitung an eine Anschlussdose angeschlossen, das Endgerät mit einer Patchleitung daran angeschlossen.

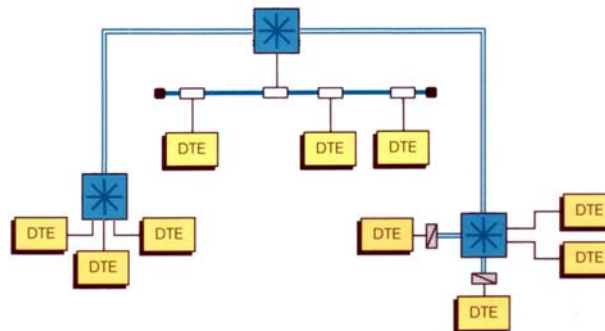


Ein Twisted-Pair-Anschluss vom Endgerät zum Hub mit einer maximalen Gesamtlänge von 100m besteht aus drei Teilstrecken:

- Einer fest verlegten Installationsleitung mit max. 90m Länge und
- zwei rechts und links der Installationsleitung angeschlossenen Patchleitungen mit zusammen maximal 10m Länge. Die Längenaufteilung auf beiden Seiten kann je nach Anforderung unterschiedlich sein.

Zum Aufbau grösserer Netzwerke war es erforderlich, mehrere Sternkoppler einzusetzen. Hierzu wurden mehrere Sternkoppler kaskadiert, als Übertragungsmedium zwischen Sternkopplern wurde vorzugsweise Lichtwellenleiter eingesetzt. So entstand die Baum-Topologie:

- Der Endgeräteanschluss erfolgte sternförmig vorzugsweise über elektrischen Anschluss an Sternkoppler,
- Sternkoppler wurden sternförmig vorzugsweise optisch miteinander verbunden.



Baumförmiges Netz

Planungsregeln bei Stern-/Baum-Topologie mit Sternkopplern

Die Planungsregeln für baumförmige Netze mit Sternkopplern wurden im Vergleich zum Ethernet-Bussystem mit seinen einfachen Regeln wesentlich komplexer. Ursache hierfür war das CSMA/CD Zugriffsverfahren, das nach wie vor im gesamten Netzwerk Gültigkeit hat. Es musste sichergestellt sein, dass der gleichzeitige Sendeversuch von zwei beliebigen Teilnehmern im Netz, auch bei minimaler Telegrammlänge, von beiden sicher erkannt wird. Würden Kollisionen zu spät, d.h. erst nach Abschluss des Sendevorgangs erkannt, hätte dies Datenverlust und damit ein instabiles Netzwerk zur Folge.

Ausserdem musste sichergestellt werden, dass zwischen zwei Telegrammen ein minimaler Telegrammabstand nicht unterschritten wird. Ein Unterschreiten des Telegrammabstands kann dazu führen, dass zwei aufeinanderfolgende Telegramme zu einem Telegramm verschmelzen, Datenverlust wäre die Folge. Beim Ethernet-Bussystem wurde dies durch die Planungsregel, maximal vier Repeater im Übertragungsweg zweier beliebiger Netzteilnehmer zu durchlaufen, ausgeschlossen.

Um dennoch hohe Kaskadertiefen von Sternkopplern zu erreichen, wurden folgende Planungsregeln eingeführt:

- *Überprüfung der Signallaufzeit*
Zwischen zwei beliebigen Teilnehmern im Netz darf die maximale Netzausdehnung 4520m nicht überschreiten. Die Durchlaufverzögerung von aktiven Netzkomponenten wird zur einfacheren Berechnung als sogenanntes Laufzeitäquivalent angegeben. Das Laufzeitäquivalent (Meterangabe) entspricht der Distanz, die ein Signal auf einer Übertragungsleitung innerhalb der Signallaufzeit durch den Sternkoppler zurücklegen könnte.

Bei umfangreichen Netzwerken besteht das Kunststück darin, den Worst-Case-Pfad mit der grössten Länge zwischen zwei Teilnehmern herauszufinden. Auf diesem Pfad werden alle Leitungslängen sowie die Laufzeitäquivalente aller durchlaufener aktiven Netzkomponenten aufaddiert, die Summe muss beim klassischen Ethernet mit 10Mbit/s kleiner 4.520m sein. Indizien für den Worst-Case-Pfad sind grosse Leitungslängen, aber auch hohe Kaskadertiefen von aktiven Netzkomponenten.

Die Werte für Laufzeitäquivalente von Hubs sind gerätespezifisch, sie liegen z.B. bei einem Industrial Ethernet OLM für den LWL-nach-LWL-Durchlauf bei 260m.

- *Überprüfung des Path Variability Value PVV*
Die Telegrammlaufzeit durch eine aktive Netzkomponente schwankt von Telegramm zu Telegramm. Der Betrag dieser Schwankung, angegeben in Bitzeiten, ist der Variability Value dieser Netzkomponente. Die Summe der Variability Values aller aktiven Netzkomponenten entlang eines Pfades zwischen zwei Teilnehmer ist der PVV. Er darf höchstens 40 Bitzeiten betragen.

Auch der Variability Value ist gerätespezifisch, er liegt z.B. bei einem Industrial Ethernet OLM für den LWL-nach-LWL-Durchlauf bei 3 Bitzeiten.

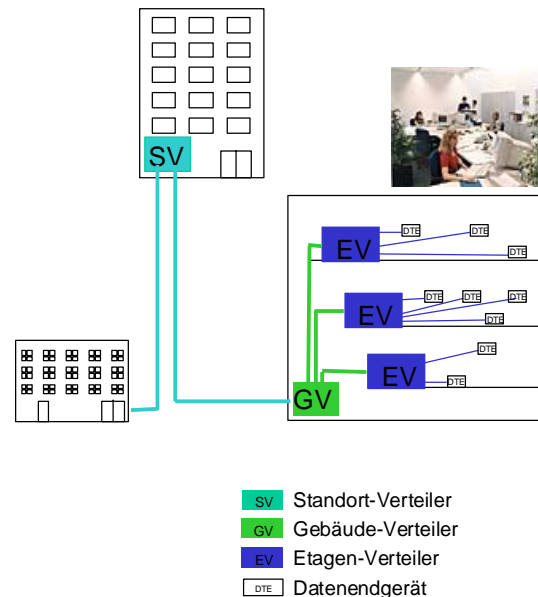
Die Überprüfung auf Einhaltung dieser Regeln musste bei der Neuplanung und bei jeder Netzwerkerweiterung durchgeführt werden. In

der Praxis ergaben sich maximale Kaskadertiefen von bis zu 11 Hubs bei einer maximalen Netzausdehnung von 1,2km.

Um trotz dieser Einschränkungen eine flächendeckende Versorgung einer immer steigenden Teilnehmeranzahl zu gewährleisten, wurde an Verkabelungssystemen gearbeitet.

Strukturierte Verkabelung nach EN 50173

Die zunehmende Zahl von Netzteilnehmern insbesondere im Bürobereich erforderte neben den aktiven Komponenten wie den Sternkoppeln ausserdem eine passive Verkabelungstechnik, die unter Einhaltung der Planungsregeln eine einfache Erweiterung des Netzwerks um neue Teilnehmer zulässt. Es entstand die „Strukturierte Verkabelung“ nach der europäischen Norm EN 50173 „Anwendungsneutrale Verkabelungssysteme, 1995“ bzw. ISO/IEC11801.



Das Verkabelungskonzept umfasst mehrere Gebäude eines Standorts, jedes Gebäude kann mehrere Etagen besitzen. Es wird eine büroähnliche Nutzung der Gebäude zugrundegelegt.

Das Netzwerk kann unterschiedliche Dienste wie Sprache, Daten, Bilder oder Video übertragen und wird in folgende Bereiche unterteilt:

- **Primärbereich:**
Sternförmige Verbindung mehrerer Gebäude über einen Standort-Verteiler oder mehrere Gebäudeverteiler.
Standort- bzw. Gebäudeverteiler sind in eigenen Räumen, meist zusammen mit zentralen Servern untergebracht.
Als Übertragungsmedien zwischen den Standort- und Gebäudeverteilern werden Lichtwellenleiter eingesetzt (grosse Entfernungen, Blitzschutz).
- **Sekundärbereich:**
Sternförmige Verbindung der Etagenverteiler mehrerer Etagen innerhalb eines Gebäudes über einen Gebäude-Verteiler.

Für die Netzkomponenten werden pro Etage Etagenverteileräume eingerichtet. Die Etagenverteileräume werden über einen Steigbereich miteinander und zum Gebäudeverteilerraum verbunden.

Es werden vorzugsweise Lichtwellenleiter eingesetzt (mittlere Entfernungen, Potentialtrennung).

- Tertiärbereich:

Sternförmige Verbindung mehrerer Geräte in einer Etage über einen Etagen-Verteiler.

Als Übertragungsmedien werden vorwiegend Twisted Pair Leitungen eingesetzt, die in Zwischenböden oder in abgesenkten Deckenbereich vom Etagenverteilerraum zum Arbeitsplatz verlegt werden.

So entsteht eine baumförmige, anwendungsneutrale, den gesamten Standort erschliessende Kommunikationsinfrastruktur bei minimaler Kaskadertiefe.

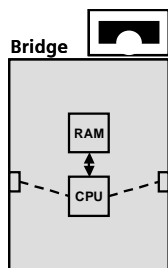
Aktive und passive Netzkomponenten der Stern-/Baum-Topologie mit Brücken und Switches

Die Planungsregeln für Ethernet-Netzwerke wurden durch zwei Weiterentwicklungen der Ethernet-Technologie Mitte der neunziger Jahre und daraus resultierenden neuen Netzkomponenten, den Brücken und heutigen Switches, wesentlich vereinfacht und das Mengengerüst heutiger Netzwerke bzgl. Anzahl Teilnehmer, Kaskadertiefe von Netzkomponenten, Netzausdehnung und Übertragungskapazität deutlich ausgeweitet:

Die kollisionsfreie Arbeitsweise des Netzwerks wurde ermöglicht durch die gleichzeitige Übertragung von Sende- und Empfangsdaten auf Twisted-Pair und Lichtwellenleitern (Full Duplex Übertragung) und der Möglichkeit, Daten in Netzkomponenten zwischenspeichern zu können.

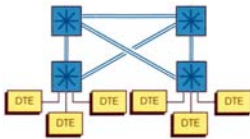
Der Datendurchsatz im Netzwerk konnte durch Filterung des Datenverkehrs in Netzkomponenten weiter gesteigert werden: Die Daten wurden gezielt über die Ports der Netzkomponenten weitergeleitet, über welche der oder die Empfänger erreicht wurden. Lokaler Verkehr blieb lokal und wurde nicht weitergeleitet.

Es entstanden neue Netzkomponenten, die Brücken, sowie deren Nachfolger, die Switches.



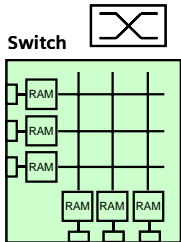
Die ersten Brücken (engl. Bridge) wurden zu Beginn der 90er Jahre entwickelt, um mehrere Ethernet-Netze miteinander zu verbinden. Für jedes Netz sieht die Brücke wie ein Netzteilnehmer aus. Das CSMA/CD-Verfahren, das die erreichbare Netzausdehnung begrenzt und die Planung von grossen Netzen mit Sternkopplern kompliziert macht, endet am Anschluss zur Brücke. Für die Weiterleitung der Daten ist die Brücke verantwortlich. Um diese Aufgabe auch bei belegtem Zielnetz zu erfüllen, kann die Brücke Daten zwischenspeichern.

Ausserdem filtert die Brücke den Datenverkehr: Lokaler Datenverkehr eines Netzes wird nicht in das andere Netz weitergeleitet. Damit steigt die Bandbreite des Gesamtnetzes, da sich nicht mehr alle Teilnehmer die Bandbreite teilen müssen.



Zusammen mit den Brücken entstand auch der erste Standard für den redundanten Aufbau von Netzwerken, das Spanning Tree Protokoll STP (IEEE 801.2D und IEEE 802.1t). Damit wurde es möglich, Querverbindungen (Maschen, Schleifen) in die Baum-Topologie einzubringen.

Aufgrund der hohen Rekonfigurationszeit bis in den Minutenbereich konnte sich dieser Standard jedoch nicht in industriellen Anwendungen durchsetzen.



Der klassische diskrete Hardwareaufbau von Brücken mit zwei LAN-Controllern, Prozessor (CPU) und Speicher (RAM) wurden durch hochintegrierte Switches verdrängt. Switches haben meist sehr viele Anschlüsse (Ports), die über einen Kreuzschienenverteiler (Crossbar, Switching Matrix) intern miteinander verbunden werden. Durch Beschränkung der Medien auf Twisted Pair und LWL sind Switches ausserdem in der Lage, gleichzeitig Daten zu senden und zu empfangen (Full Duplex) und damit kollisionsfrei zu arbeiten. Mit dieser Hardware-Architektur wird eine sehr hohe Vermittlungsleistung zwischen den Switch-Ports erreicht, die Netzausdehnung wird nur noch durch die eingesetzten Übertragungsstrecken und Überwachungszeiten der verwendeten Protokolle begrenzt.

Der Datendurchsatz im Netzwerk konnte durch die Erhöhung der Übertragungsrates von 10Mbit/s auf 100Mbit/s mit Fast Ethernet weiter gesteigert werden. Für die Migration von 10 Mbit/s auf 100 Mbit/s waren Netzkomponenten erforderlich, die beide Übertragungsgeschwindigkeiten beherrschten. Brücken und Switches waren durch ihre Fähigkeit, Daten zwischenspeichern, dazu in der Lage. Damit war ein stufenweiser Übergang von 10Mbit/s auf 100Mbit/s bei der Standardisierung von Fast Ethernet (IEEE 802.3u, 100BaseT) 1995 möglich.

Das Übertragungsmedium Twisted Pair mit einer maximalen Streckenlänge von 100m wurde im Grundprinzip beibehalten, die elektrischen Parameter präzisiert (CAT5).

Mit 100BaseFX wurde ausserdem Fast Ethernet für Lichtwellenleiter standardisiert, jedoch ist dieser Standard durch Nutzung des 1300nm Wellenlängenbereichs nicht kompatibel zum bisherigen Standard 10BaseFL mit einer Wellenlänge von 850nm.

Eine weitere Steigerung des Datendurchsatzes erfolgte mit der Standardisierung von Gigabit Ethernet (IEEE 802.3ab, 1000BaseT, 1999) für Twisted Pair sowie 1000BaseSX und 1000BaseLX für Lichtwellenleiter (IEEE 802.3z).

Das Übertragungsmedium Twisted Pair mit einer maximalen Streckenlänge von 100m wurde auch bei Gigabit Ethernet beibehalten, jedoch werden gegenüber Fast Ethernet vier Adernpaare benötigt und die elektrischen Parameter müssen höheren Anforderungen genügen (CAT5e).

Per Autonegotiation kann ein Gigabit Twisted Pair Port mit 10Mbit/s, 100Mbit/s oder 1Gbit/s betrieben werden. Vorhandene Geräte mit Twisted Pair Ports können damit leicht in ein Gigabit Ethernet Netzwerk integriert werden.

Mit 1000BaseSX und 1000BaseLX wurde ausserdem Gigabit Ethernet für Lichtwellenleiter standardisiert, wie bei der Einführung von

Fast Ethernet jedoch auch hier nicht kompatibel zu früheren LWL-Standards.

Und die Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit geht weiter: Erste Standards für 10Gbit/s sind bereits verabschiedet (IEEE 802.3ae, 2002).

Mit den Switches haben die Planungsregeln der Sternkoppler (Laufzeitäquivalent und Variability Value) an Bedeutung verloren. Netzwerkerweiterungen können durchgeführt werden, ohne das bereits installierte Netzwerk neu überprüfen zu müssen. Der Datendurchsatz konnte durch Filterung, kollisionsfreien Full-Duplex-Betrieb und Steigerung der Übertragungsrates wesentlich gesteigert werden. Datenverlust bei hoher Kaskadertiefe von Netzkomponenten, wie er bei der Kaskadierung von Hubs auftreten konnte, stellt ebenfalls kein Problem mehr dar.

Durch die Autonegotiation-Funktion an den Switch-Ports können vorhandene Twisted-Pair-Endgeräte mit 10Mbit/s, 100Mbit/s oder mit 1Gbit/s zusammen im Netzwerk betrieben werden. Dies schliesst fehlerhafte Porteeinstellungen aus, sichert einmal getätigten Invest und erleichtert den Umstieg auf neue Technologien erheblich.

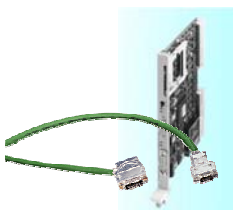
Anpassungen für den Einsatz stern- und baumförmiger Topologien in der Industrie



Für den Einsatz im industriellen Umfeld wurden folgende Anpassungen durchgeführt:

- *Schnellanschlusstechnik auf Basis Twisted Pair*

In der Fertigungshalle sind die Ethernet-Geräte oft über eine grosse Fläche verteilt. Verkabelungsänderungen sind relativ selten, die Flexibilität der Patch-Technik nicht erforderlich und zu teuer. In derartigen Anwendungsfällen wird eine einfache Direktverkabelung mit Leitungslängen bis zu 100m vom Industrial Ethernet Gerät zum Sternverteiler (Sternkoppler oder Switch) ohne Patch-Technik gefordert.



Das Industrial Twisted Pair (ITP) Verkabelungssystem mit SubD-Anschlussstechnik erfüllte diese Anforderung bereits 1995: Durch Doppelbelegung der vom Ethernet Bussystem bewährten AUI-Schnittstelle mit einer Twisted Pair Schnittstelle unter Beibehaltung der 15-poligen SubD-Buchse beim Endgerät und einer 9-poligen SubD-Buchse bei den Netzkomponenten konnte hier eine Lösung angeboten werden. Die SubD-Anschlussstechnik konnte die doppelt geschirmten, bis zu 100m langen Twisted Pair Installationsleitungen aufnehmen und den Schirm zuverlässig über Stecker und Gerät gegen Masse auflegen. Vorkonfektionierte ITP-Leitungen erleichterten die Installation.

Durch die Doppelbelegung der Endgeräteschnittstellen wurde ausserdem die Migration vom Ethernet-Bussystem zum heute dominierenden Geräteanschluss über Twisted Pair unterstützt.

Eine Weiterentwicklung der Direktverkabelungstechnik auf Basis Twisted Pair stellt das Industrial Ethernet FastConnect (IE FC) System bestehend aus dem Stecker IE FC RJ45 PLUG 180, di-



versen Installationsleitungen wie z.B. IE FC Standard Cable 2x2 sowie dem Abisolierwerkzeug IE FC Stripping Tool dar. Das System kombiniert RJ45-Anschlussstechnik mit einfachster Handhabung, Feldkonfektionierbarkeit und Direktanschluss bis 100m Leitungslänge. Das 4-adrige FastConnect Verkabelungssystem eignet sich für 10Mbit/s und 100Mbit/s Übertragungsgeschwindigkeit und wird die SubD-basierende Anschlussstechnik im industriellen Bereich ersetzen.



Für die stehende Verdrahtung (Installationsleitungen werden fest verlegt, der Anschluss von Endgeräten und aktiven Netzkomponenten erfolgt über Anschlussleitungen) stehen zusätzlich das IE FC Outlet RJ45 mit Schnellanschlussstechnik für Installationsleitungen sowie diverse Twisted Pair Cords für den Geräteanschluss zur Verfügung. Das IE FC Outlet RJ45 ist zugleich eine Hutschienen-montierbare Anschlussdose als auch - bei Aneinanderreihung mehrerer Outlets - ein modulares Patchfeld. Damit kann auch im industriellen Umfeld mit strukturierter Verkabelung gearbeitet werden, falls es die Anwendung erfordert.



Eine weitere Ergänzung von FastConnect ist das neue 8-adrige Verkabelungssystem von SIMATIC NET. Es ermöglicht Übertragungsraten von 10/100/1000 Mbit/s bei Industrial Ethernet und bei der dienstneutralen Verkabelung aus dem Bürobereich. Durch die 8-adrige Verkabelung kann man heute 2 Industrial Ethernet-Anschlüsse für Fast Ethernet realisieren, ist aber auch zukünftig in der Lage, auf einen Gigabit-Ethernet-Anschluss umzurüsten, ohne die Verkabelung austauschen zu müssen. Der Übergang vom 4-adrigen Industrial Ethernet FastConnect TP-Verkabelungssystem mit 10/100 Mbit/s zum 8-adrigen, gigabitfähigen Verkabelungssystem ist damit realisiert.

Hinweis:

weitere Informationen finden Sie im SIMATIC NET White Paper Industrial Ethernet Cabeling /2/.

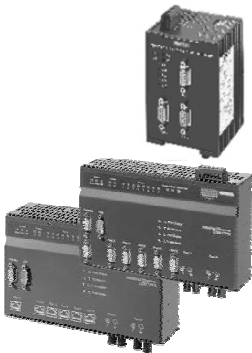
- *Sternkoppler und Switches für den direkten Einsatz im Automatisierungsschrank*

Sternkoppler und Switches, die direkt im Automatisierungsschrank untergebracht werden sollen, müssen dieselben Umweltbedingungen wie z.B. Steuerungen erfüllen:

- Kompakte Bauweise für den Einsatz in Schaltkästen,
- Speisung mit sicherer Kleinspannung 24V DC,
- Hutschienen-Montage,
- 0-60°C Betriebstemperatur,
- lüfterloser Betrieb.

Die Portanzahl und Portart der Netzkomponente richtet sich nach dem Bedarf im Schaltschrank und seiner unmittelbaren Umgebung. Typischerweise über Twisted Pair angeschlossen werden:

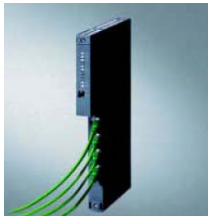
- Eine Steuerung,
- ein Vor-Ort Panel,
- temporär für Diagnosezwecke ein Programmiergerät.



- Mit zunehmendem Einsatz von Ethernet im Feldbereich werden als weitere Teilnehmer Feldgeräte mit Ethernet-Anschluss hinzukommen. Erhöhter Portbedarf im industriellen Bereich besteht in Bereichen mit hoher Gerätedichte bei geringen Längenausdehnungen.

Zur Verbindung der Schaltschränke untereinander werden zusätzlich zu Twisted Pair auch optische Ports angeboten. Dadurch können die Bezugspotentiale der Schaltschränke voneinander getrennt und Leitungslängen grösser 100m zwischen Schaltschränken überbrückt werden.

Als einfache Diagnoseschnittstelle stellen Industrial Ethernet Sternkoppler und Switches einen binären Meldekontakt zur Verfügung. Damit lässt sich der gut/schlecht Zustand der Netzkomponente über einen Digitaleingang der Steuerung einfach vor Ort überwachen.



- *Endgeräte mit integrierter Switch-Funktionalität*

Die Integration des Sternverteilers in das Automatisierungsgerät ermöglicht den Vor-Ort-Bedarf im Automatisierungsschrank zu decken und dabei Einbauplatz und Verkabelungsaufwand einzusparen.

Beispiele hierfür sind die Kommunikationsbaugruppe CP 443-1 Advanced für SIMATIC S7-400 oder der CP 1616 für Industrie-PC.

Die Anwendung von sternförmigen Netzwerken im industriellen Bereich sind Gebiete mit hoher Gerätedichte und einer kaum linearen Ausbreitung, wie z.B.:

- Kleine Produktionsbereiche,
- einzelne Produktionsmaschinen,
- Leitwarte einer Anlage.

Stärken und Schwächen der Stern-/Baum-Topologie

Die Vorteile einer Stern-/Baum-Topologie sind:

- Niedrige Anschlusskosten pro Port bei Verwendung zentraler Switches mit hoher Portdichte
- Flexibles Hinzufügen und Entfernen von Teilnehmern bei Vorhandensein einer strukturierten Verkabelung
- Einfache Administration, Auswertung und Diagnose des Netzwerkes (zentraler Switch, dedizierte Leitungen zu einzelnen Geräten)
- Hohe Übertragungsbandbreite vom gesamten Netzwerk, da der lokale Verkehr innerhalb eines Sternpunktes bleibt
- Skalierbare Übertragungsbandbreite: Übertragungswege können nach Bedarf dimensioniert werden
- Kurze Durchlaufverzögerung durch Begrenzung der Kaskadiertiefe von Netzkomponenten
- Höhere Datensicherheit, da der lokale Verkehr innerhalb eines Sternpunktes bleibt

Folgende Punkte sind aber zu beachten:

- Hohe Kosten und Verkablungsaufwand für eine flächendeckende Verkabelungsinfrastruktur bei zentraler Anordnung der Netzkomponenten, insbesondere bei linearer Ausdehnung der Anlage
- Reduzierte Verfügbarkeit bei Ausfall eines zentraler Sternpunkts (Netzwerk zerfällt in mehrere Teilnetzwerke)
- Realisierung von redundanten Systemen verlangt eine Verdopplung der zentralen Sternpunkte und damit einen hohen Aufwand
- Netzwerkteilnehmer verlangen hauptsächlich einen Twisted Pair Anschluss, was die Entfernungen ohne Einsatz weiterer aktiver Komponenten auf 100m Leitungslänge begrenzt

6. Ethernet in der Automatisierung: Linie und Ring



Die Randbedingungen für Automatisierungsnetze unterscheiden sich in vielen Belangen wesentlich von Office-Netzen.

| Merkmal | Industrie | Office |
|-------------------------|--|--|
| Einsatzort | Einsatz im Schaltschrank vor Ort: Hutschienenmontage, 24V-Versorgung (sichere Kleinspannung), 0 bis 60°C Umgebungstemperatur, z.T. Vibrationsbelastung | Einsatz im abgesetzten Etagenverteiler- raum: Planung und Baumaßnahmen für Netz- infrastruktur, 19-Zoll-Montage, 110/220V-Versorgung, 0-45°C Umge- bungstemperatur |
| Gerätedichte | Im Feld meist niedrige Gerätedichte, Switches mit wenigen Ports (mögli- che Fehler wirken sich nur begrenzt aus, Senkung von Produktionsaus- fallkosten) | Hohe Gerätedichte (Cluster), Switches mit hoher Portanzahl (Kostensenkung pro Port) |
| Netzausdehnung | Bis zu mehreren hundert Metern Ab- stand zwischen Geräten in einer Fer- tigungshalle | Vorwiegend Geräte innerhalb benach- barter Räume und Etagen |
| Topologie | Linienförmige Verkabelung (optional Ring) mit übergeordnetem Anlagen- bus und Warte (Produktionslinie/ Teilanlage/ Fabrikgebäude) | Baumförmige strukturierte Verkabelung (Etage/ Steigbereich/ Gebäude) |
| Verfügbarkeit | Sehr hohe Verfügbarkeitsanforderun- gen bis zum einzelnen Gerät, Netzausfallzeiten <300ms zur Ver- meidung von Anlagenstillständen gefordert | Mittlere Verfügbarkeitsanforderungen für das Backbone Netz, Netzausfallzeiten im Sekunden bis Minutenbereich werden oft akzeptiert. Höhere Verfügbarkeitsanforderungen bestehen z.B. bei Sprach-/Datennetzen, Banken und Buchungssystemen. |
| Bandbreitennut- zung | Lastspitzen z.B. bei einem Melde- schwall nach einer Störung führen zu keinem Engpass | Übertragungswege werden „überbucht“, Dimensionierung nach gemitteltem Be- darf |
| Kommunikationsart | Fest eingerichtete, projektierte Kom- munikation, Verbindungen stehen nach einmaligem Aufbau dauerhaft bereit. | Kommunikationsverbindungen werden dynamisch auf- und abgebaut, Client- Server-Betrieb |
| Reaktionszeiten | Garantierte Reaktionszeiten | Bestmögliche Reaktionszeiten ohne Gewähr |
| Installation | Netzeinstallation durch Anlage-IBS- Personal (z.T. angelernte Kräfte) | Netzeinstallation durch Fachpersonal |
| Überwachung | Netzüberwachung als Bestandteil der Anlagenüberwachung (HMI System) | Netzüberwachung durch ausgebildete Fachkraft (Netzwerkadministrator an Netzwerkmanagement-Konsole) |
| Änderungen | Installierte Anlagen werden oft lange unverändert betrieben, z. Teil erwei- tert (Direktverbindung zwischen Switches und Endgeräten) | Häufige Umzüge: Geräte kommen hinzu oder entfallen (Flächendeckende Infrastrukturverkabe- lung mit Anschlußdosen und Patchfel- dern) |

Tabelle: Unterschiede Industrie vs. Office

Diese Unterschiede haben zur Folge, dass die aus dem Office-Bereich hervorgegangenen stern- bzw. baumförmigen Netztopologien für Automatisierungsaufgaben mit linearer Struktur, wie sie häufig an-

zutreffen sind, nicht in jedem Fall geeignet sind. Für viele Anwender ist unverständlich, warum der Anfang der 90er Jahre einsetzende Wandel von der diskret und sternförmig verkabelten Steuerungsperipherie zu einer Busstruktur beim Ethernet-Netz rückgängig gemacht werden soll und die mit der Dezentralisierung erzielten Kosteneinsparungen bei Installation und Änderungen aufgegeben werden sollen. Daher wurden Netztopologien entwickelt, welche die industriellen Anforderungen bei linearen Systemstrukturen optimal berücksichtigen.

Viele Anwendungen im Feldbereich werden heute mit Feldbussen wie z.B. PROFIBUS in elektrischer Bus-Topologie realisiert. Einen einfachen Umstieg auf Industrial Ethernet unter Verwendung zukunftssicherer Technologien ermöglicht die Linien-Topologie:



Industrial Ethernet in Linien-Topologie mit ELS TP40

Dabei wird der Bus durch hintereinandergeschaltete aktive Netzkomponenten nachgebildet. An jeder Netzkomponente ist mindestens ein Gerät, meist jedoch auch mehrere Geräte angeschlossen. Damit stellt jede Netzkomponente in der Linie einen Sternpunkt dar.

Switches haben Anfang 2000 nach und nach die zuvor eingesetzten Hubs als Netzkomponenten ersetzt. Während bei Hubs wie z.B. dem Industrial Ethernet OLM maximal 11 Geräte kaskadierbar waren, wird durch Einsatz von Switches wie z.B. dem ELS TP40 oder SCALANCE X204-2 die maximale Kaskadertiefe nur durch Laufzeiten begrenzt.

Auf Grund der günstigeren Kosten und der einfachen Handhabung wird im Feldbereich vorwiegend die elektrische Twisted-Pair-Verkabelung sowohl zum Aufbau der Linie als auch für den Endgeräteeanschluss eingesetzt. Die maximale Länge jeder einzelnen Twisted-Pair-Strecke beträgt bis zu 100m.

Falls jedoch widrige EMV-Bedingungen herrschen, grosse Potentialunterschiede auftreten können oder Blitzschlag droht, sind Lichtwellenleiter die geeignetere Wahl zum Aufbau der Linie. Gleichzeitig wird die maximale Streckenlänge zwischen zwei Switches erweitert, je nach Übertragungsrate und LWL-Typ auf bis zu 26km pro Einzelstrecke.

Stärken und Schwächen der Linien-Topologie

Vorteile der Linien-Topologie sind:

- Minimaler Verkabelungsaufwand für Material und Montage bei linearen Anwendungen wie z.B. Transferstrassen oder KFZ-Rohbau
- Geringer Platzbedarf z.B. für Kabelpools und damit Reduzierung von Zusatzkosten
- Beibehaltung der von den Feldbussen bekannten Netzstrukturen vermeidet Umprojektierung von bestehenden Automatisierungskonzepten
- Grosse Netzausdehnung auch mit Twisted Pair Verkabelung erreichbar
- Maschinen und Fertigungslinien bringen ihr Netzwerk mit und können ohne Standortnetzwerk in Betrieb genommen werden, Entfall zentraler Sternpunkte und von Netzwerk-Schränken
- Einfache Erweiterung des Netzes durch Anfügen von Geräten
- Einsetzbar auch bei bewegten Teilen, z.B. Kräne (bei geeigneter Vernetzung wird nur eine Leitung, nicht mehrere bewegt)
- Integration von Mehrport-Switches in Endgeräte führt zu kostenoptimierten Lösungen

Folgendes sollte jedoch beachtet werden:

- Aktive Netzkomponenten wie z.B. Hubs und Switches müssen mit Energie versorgt werden. Bei Spannungsausfall an einer Netzkomponente zerfällt die Linie in zwei voneinander getrennte Teilnetze.
Zur Absicherung gegen einen Spannungsausfall sind die meisten industriellen Netzkomponenten mit einer redundanten Einspeisung versehen, an die zwei voneinander unabhängigen Spannungsquellen angeschlossen werden können.
- Die Durchlaufverzögerungen der aktiven Netzkomponenten in einer Linie addieren sich auf. Bei der Übertragung von Echtzeit-Daten kann dies zu Restriktionen bei der zulässigen maximalen Kaskadertiefe führen oder es müssen spezielle Netzkomponenten mit geringer Durchlaufzeit bzw. mit Bandbreitenreservierung eingesetzt werden.
- Die Linie ist ein von mehreren Endgeräten gemeinsam benutzter Übertragungsweg, der Bandbreitenbedarf der einzelnen Endgeräte zu zentralen Geräten wie z.B. einem HMI-System addiert sich in der Linie auf.
- Die Ausfallwahrscheinlichkeit der Linie steigt mit zunehmender Kaskadertiefe. Es sollten nur Netzkomponenten mit geringer Ausfallwahrscheinlichkeit (hoher MTBF) eingesetzt werden.

Redundante Netztopologien bei Industrial Ethernet: Ring und redundante Ringkopplung

Bei Ausfall einer Netzkomponente, sei es ein Leitungsbruch oder der Ausfall eines Switches, zerfällt das Netz ohne Gegenmassnahmen in mehrere Teilnetze. An einer einzelnen Maschine oder Produktionslinie, die durch den Ausfall in Stop geht, mag dies toleriert werden.

Bei einem anlagenweiten Netzwerk, das mehrere Produktionslinien mit einer Leitwarte verbindet, wird dies nicht toleriert. Hier besteht die Forderung, dass sich der Ausfall auf einen möglichst kleinen Teilbereich beschränkt. Alle nicht betroffenen Bereiche müssen weiter mit der Leitwarte in Verbindung bleiben, um eine Notabschaltung zu verhindern. Derartige Anforderungen bestehen teilweise auch im feldnahen Bereich, z.B. in der Prozessautomatisierung, wo ein unkontrollierter Abbruch eines kontinuierlichen Prozesses zu Schäden an den Produktionseinrichtungen führen kann.

Um beim Ausfall einer Übertragungsstrecke oder einer Netzkomponente zu verhindern, dass das Netzwerk in mehrere voneinander getrennte Teilnetzwerke zerfällt, muss ein alternativer Übertragungsweg, eine „redundante“ Übertragungsstrecke, vorhanden sein. Unverzichtbar für industrielle Anwendungen ist dabei die sehr schnelle Verfügbarkeit des alternativen Übertragungswegs nach einem Fehler, um die Kommunikationsverbindungen zwischen den Endgeräten zu erhalten.

Eine einfache und kostengünstige Möglichkeit für eine redundante Übertragungsstrecke ist es, ein linienförmiges Netzwerk zu einem Ring zu schliessen. Eine Netzkomponente arbeitet dabei als sogenannter Redundanzmanager.

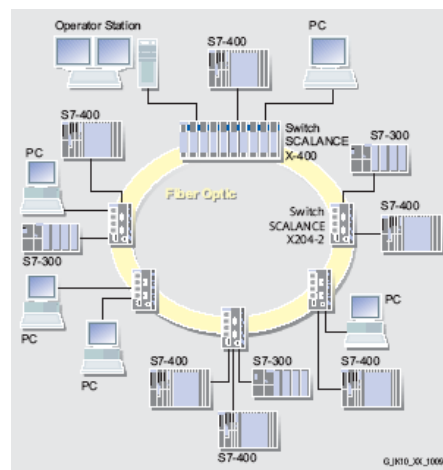


Bild: Optischer Ring mit High Speed Redundancy

Die Rekonfiguration eines Netzes zu einer funktionsfähigen Netzinfrastruktur wird dadurch im Subsekundenbereich sichergestellt. So ist in einem Ring aus 50 Switches die Rekonfiguration des Netzes nach einem Fehler (Leitungsbruch oder Ausfall eines Switches) in weniger als 0,3 Sekunden abgeschlossen. Die angeschlossenen Endgeräte bleiben dadurch von der Änderung im Netz weitestgehend unbeein-

flusst, es werden keine logischen Verbindungen abgebaut. Die Kontrolle über Prozess bzw. Anwendung bleibt erhalten.

Ein Ring kann sowohl optisch als auch elektrisch aufgebaut werden. Ebenso wie bei der Linientopologie sind an jeder Netzkomponente im Ring meist mehrere Geräte angeschlossen, jeder Ringpunkt wird zu einem Sternpunkt.

Durch die Ringbildung ist sichergestellt, dass bei einem einzelnen Fehler das Netzwerk nicht in zwei isolierte Teilnetzwerke zerfällt. Für ein kleines Netzwerk mag es ausreichend sein, alle Teilnehmer in einem einzigen Ring zusammenzufassen, jedoch nicht für grössere Anlagen mit folgenden Randbedingungen:

- Die Anlage besteht aus mehreren Teilanlagen oder Teilprozessen
- Die Teile arbeiten weitestgehend unabhängig voneinander
- Wartung und Instandhaltung der Teile erfolgt durch dediziert zugeordnetes Personal

Unter diesen Randbedingungen ist der Einsatz eines einzelnen, grossen Rings nicht sinnvoll. Die Wechselwirkungen zwischen den Teilanlagen bzw. Teilprozessen und der damit verbundene Abstimmungsaufwand wären zu hoch.

Um die Wechselwirkung zwischen den Teilanlagen bzw. Teilprozessen zu minimieren, kann jedem Teil eine eigene Netzwerkinfrastruktur zugeordnet werden. Diese Teilnetzwerke werden dann zu einem Gesamtnetzwerk verbunden. Ergänzend zur schnellen Medienredundanz im Ring bieten SIMATIC NET Switches auch die benötigte Funktionalität zur schnellen redundanten Kopplung von Ringen bzw. Teilnetzen. Über je zwei Switches können Ringe oder beliebig strukturierte Teilnetze gekoppelt werden.

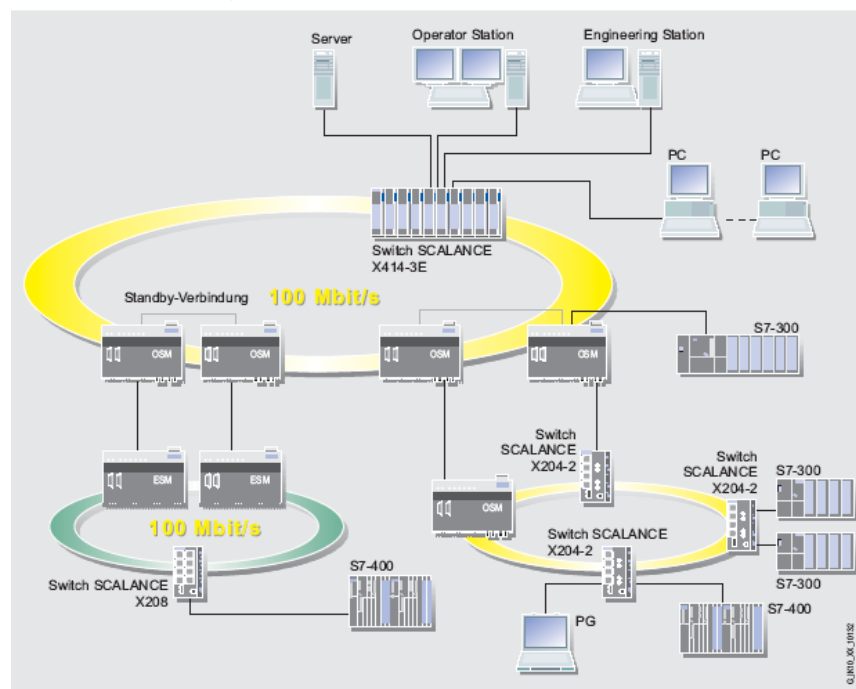


Bild: Redundante Kopplung von Ringen

Stärken und Schwächen der Ring-Topologie

Vorteile der Ring-Topologie sind:

- Mit nur einer zusätzlichen Übertragungsstrecke und Verwendung geeigneter Netzkomponenten können alle Netzkomponenten in Linie abgesichert werden, bei Ausfall oder Abschaltung einer Netzkomponente wird der Zerfall des Netzwerks in mehrere Teilnetzwerke verhindert
- Geringer Platzbedarf z.B. für Kabelpools und damit Reduzierung von Zusatzkosten
- Grosse Netzausdehnung auch mit Twisted Pair Verkabelung erreichbar
- Teilanlagen und Teilprozesse bringen ihr Netzwerk mit und können ohne Standortnetzwerk in Betrieb genommen werden, Entfall zentraler Sternpunkte, von Netzwerk-Schränken und Absicherungsmaßnahmen dieser zentralen Elemente, eindeutige Zuordnung der Verantwortlichkeit
- Einfache Erweiterung des Rings durch Einfügen von Netzkomponenten
- Durch die schnelle redundante Kopplung von Ringen bzw. Teilnetzen sind auch strukturierte grosse Anlagen realisierbar

Folgendes sollte jedoch beachtet werden:

- Der Ring ist ein von mehreren Endgeräten bzw. Teilnetzwerken gemeinsam benutzter Übertragungsweg, der Bandbreitenbedarf der einzelnen Endgeräte zu zentralen Geräten wie z.B. einem HMI-System addiert sich im Ring auf.

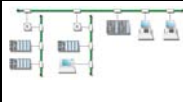
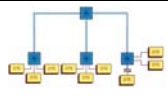
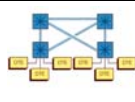
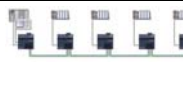

Bei sehr hohem Bandbreitenbedarf ist der Einsatz von Gigabit Ethernet im zentralen Ring z.B. mit SCALANCE X-400 sinnvoll.

- Die Durchlaufverzögerungen der aktiven Netzkomponenten in einem Ring addieren sich auf.

Bei der Übertragung von Echtzeit-Daten im Feldbereich kann dies zu Restriktionen bei der zulässigen maximalen Kaskadertiefe führen oder es müssen spezielle Netzkomponenten mit geringer Durchlaufzeit bzw. mit Bandbreitenreservierung eingesetzt werden.

Im Anlagennetzwerk kann der Einsatz von Gigabit Ethernet auch hierbei sinnvoll sein, denn neben der höheren Bandbreite werden die Durchlaufverzögerungen gegenüber Fast Ethernet auf bis zu 1/10 reduziert.

7. Netztopologien im Vergleich

| Topologie | Bus | Stern/Baum | Baum/Masche | Linie | Ring |
|--|---|---|--|---|---|
| |  |  |  |  |  |
| Planungsgrundaufwand | gering (einzelnes Bussegment) bis mittel | gering (Verteiler) bis hoch (strukturierte Verkabelung) | hoch | gering | mittel (redundanter Weg) |
| Verkabelungsaufwand | gering | hoch | hoch | gering | mittel |
| Bandbreite | gering | hoch | hoch | mittel | mittel |
| Verfügbarkeit | gering | gering (Sternpunkt) | hoch | gering | hoch |
| Rekonfigurationszeit bei Fehler | - | - | <1s bis Sekunden | - | <300ms durch HSR |
| Aufwand zur Lokalisierung von Leitungsstörungen | gering | mittel | hoch | mittel | hoch |
| Unterstützung zentraler Management-Tools | gering (Segmentausfall, unmanaged) | hoch (bei managed Switches) | hoch (bei managed Switches) | hoch (bei managed Switches) | hoch (bei managed Switches) |
| Potential für Integration in Endgeräte | hoch (Cheaper-net 10Base2) | gering (Sternpunkt mit hoher Portanzahl) | gering (Sternpunkt) | hoch (integrierter Mehrport-Switch) | hoch (integrierter Mehrport-Switch) |
| Unterstützung optischer Medien | gering | Hoch | hoch | hoch | hoch |
| Bedarf an Produktvarianten | gering | Hoch | hoch | gering | mittel |
| Erweiterungsfähigkeit | gering | hoch (soweit geplant) | hoch (soweit geplant) | mittel | hoch |
| Auswirkung des Ausfalls einer aktiven Netzkomponente | gering | mittel bis hoch | gering | mittel bis hoch | gering |

Hinweis:

weitere Informationen zu Netztopologien finden Sie im SIMATIC NET White Paper „Industrial Ethernet Netzwerk-Topologien“ /1/.

8. Fazit und Ausblick

SIMATIC NET Industrial Ethernet ist ein standard-basiertes Netzwerk, das für die Anforderungen der industriellen Kommunikation optimiert ist. Seit fast 20 Jahren definiert Industrial Ethernet die Trends in der industriellen Kommunikation.

Mit Industrial Ethernet Control Level Switches SCALANCE X-400 und OSM/ESM stehen massgeschneiderte Netzkomponenten für den Einsatz im Anlagennetzwerk zur Verfügung, die Industrial Ethernet Switches ELS, SCALANCE X-100 und SCALANCE X-200 sind durch ihre besonders einfache Handhabung prädestiniert für den Einsatz im Feldbereich, wo zunehmend Ethernet-Technologie neben den etablierten Feldbussen, wie z.B. PROFIBUS, eingesetzt wird.

Richtet man den Blick etwas in die Zukunft, sind weitere Trends erkennbar:

- die Verwendung der Ethernet-Technologie im Feldbereich auch in zeitkritischen Anwendungen (isochrone Echtzeit) wie z.B. Motion-Control-Anwendungen
- die Integration der Switching-Funktionalität direkt in die Feldgeräte reduziert den Verkabelungsaufwand weiter und macht den Einsatz von Industrial Ethernet auch hier immer wirtschaftlicher
- Spezial-Busse werden immer weiter durch Industrial Ethernet verdrängt, z.B. in der Energieerzeugung und Energieverteilung oder in der Verkehrstechnik
- Neben der reinen Datenkommunikation werden auch Sprach- und Bilddaten auf den Automatisierungsnetzen übertragen, die erforderliche Bandbreite wird durch vermehrten Einsatz von Gigabit Ethernet und 10 Gigabit Ethernet bereitgestellt.

Industrial Ethernet ist und bleibt der Defacto-Standard für Ethernet Netze unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen im industriellen Umfeld, z.B. in Automobil-, Prozessindustrie oder im Anlagenbau, wo Robustheit, Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und lange Anlagenbetriebszeit wichtige Kriterien sind. Durch die evolutionäre Weiterentwicklung der Netzinfrastruktur können vorhandene Industrial Ethernet Netze mit neuen SIMATIC NET Produkten erweitert werden, wodurch bereits getätigte Investitionen abgesichert werden.

9. Glossar

| | |
|---------------|---|
| 10Base2 | IEEE 802.3a Standard für Übertragung von 10Mbit/s Ethernet auf dünnen Koaxialkabeln; Segmentlänge 185 Meter |
| 10Base5 | IEEE 802.3 Standard für Übertragung von 10 Mbit/s Ethernet auf Koaxialkabeln (Yellow Cable); Segmentlänge 500 Meter |
| 10BaseFL | IEEE 802.3j Standard für Übertragung von 10Mbit/s Ethernet auf Glasfaserkabeln (Fiber Link) |
| 10BaseT | IEEE 802.3i Standard für Übertragung von 10 Mbit/s Ethernet auf 4-adrigen Twisted Pair Leitungen |
| 100BaseT | IEEE 802.3u Standard Fast Ethernet für Übertragung von 100 Mbit/s auf Twisted Pair 4-adrigen Leitungen |
| 100BaseFX | IEEE 802.3u Standard Fast Ethernet für Datenübertragung auf Glas-Lichtwellenleiter |
| 1000BaseT | IEEE 802.3ab Standard für Übertragung von 1 Gbit/s auf Twisted Pair 8-adrigen Leitungen |
| 1000BaseSX | IEEE 802.3z Standard für Übertragung von 1 Gbit/s auf Lichtwellenleiter (Multimode, 850nm Wellenlänge) |
| 1000BaseLX | IEEE 802.3z Standard für Übertragung von 1 Gbit/s auf Lichtwellenleiter (Singlemode, 1300nm Wellenlänge) |
| AUI | Attachment Unit Interface, Schnittstelle des Ethernet Bussystems zwischen Teilnehmer und Buskoppler. |
| Autosensing | Fähigkeit eines Gerätes, automatisch die Datenrate (10, 100 oder 1000 Mbit/s) zu erkennen |
| Autocrossover | Verfahren für Twisted Pair Ports, mit dem automatisch zwischen nicht-gekreuzter Belegung (MDI) und gekreuzter Belegung (MDI-X) der Signal-Pins umgeschaltet wird |
| Bridge | Eine Netzkomponente, die Netzsegmente miteinander verbindet. Sie stellt sicher, daß lokaler Datenverkehr lokal bleibt, d.h. nur Datenpakete zu einem Teilnehmer des anderen Segmentes durch die Bridge weitergeleitet werden. Fehler in einem Netzsegment bleiben auf das jeweilige Netzsegment begrenzt. Bridges können zu einem Zeitpunkt im Gegensatz zu Switches nur einen Datenfluß beherrschen. |
| Burst | kurzzeitig erhöhte Netzlast (Datenschauer / Meldeschwall) |
| CSMA/CD | Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection Kollisionszugriffsverfahren im Ethernet |
| DTE | Data Terminal Equipment An ein Ethernet-Netz angeschlossener Teilnehmer/Endgerät. |
| ESM | Electrical Switch Module; Industrial Ethernet Switch mit Twisted Pair Anschlußtechnik (Sub-D bzw. RJ45) |
| FC | FastConnect, Verkabelungssystem mit feldkonfektionierbarer Schnellanschlusstechnik von SIMATIC NET |

| | |
|------------------|---|
| Filtering | Ein Switch filtert Datenverkehr anhand der Quell- und Zieladressen in einem Datenpaket. Ein ankommendes Datenpaket wird vom Switch nur an den Port weitergeleitet, an dem das Endgerät mit der entsprechenden Zieladresse angeschlossen ist. |
| FDX | Full Duplex |
| FOIRL | Fiber Optic Inter Repeater Link, Standard für die Lichtwellenleiterverbindung zwischen zwei Repeatern des Ethernet Bussystems. |
| Full Duplex | Fähigkeit eines Gerätes gleichzeitig Daten zu senden und zu empfangen. Bei Full Duplex ist die Kollisionserkennung deaktiviert. |
| Half Duplex | Ein Gerät kann zu einem Zeitpunkt entweder Daten empfangen oder senden. |
| HDX | Half Duplex |
| HSR | High Speed Redundancy, Ring-Redundanz mit schneller Rekonfigurationszeit < 300ms von SIMATIC NET |
| Hub | Aktive Netzwerkkomponente mit Repeaterfunktionalität, Synonym für Sternkoppler |
| IEEE 802 | Institute of Electrical and Electronics Engineers LAN/MAN Standards Committee |
| IEEE 802.3 | Institute of Electrical and Electronics Engineers Arbeitsgruppe Ethernet |
| IEEE 802.3u | Institute of Electrical and Electronics Engineers Arbeitsgruppe Fast Ethernet |
| ITP | Industrial Twisted Pair; besonders effizient geschirmtes Twisted Pair Kabel für den industriellen Einsatz |
| Kollisionsdomäne | Um die Funktion des Kollisionszugriffsverfahren CSMA/CD sicherzustellen, ist die Laufzeit eines Datenpaketes von einem Teilnehmer zu anderen beschränkt. Über diese Laufzeit ergibt sich abhängig von der Datenrate eine räumlich begrenzte Ausdehnung des Netzes, die sogenannte Kollisionsdomäne. Beim 10 Mbit/s Ethernet sind dies 4520m bei Fast Ethernet sind dies 412m. Mehrere Kollisionsdomänen können über Bridges/Switches miteinander verbunden werden. Full Duplex ermöglicht Ausdehnungen über eine Kollisionsdomäne hinaus. |
| Lastentkopplung | Aufgrund des Filtering sorgt ein Switch dafür, daß lokaler Datenverkehr lokal bleibt, lokale Netzlast eines Segmentes wird so vom Rest des Netzes entkoppelt. |
| LWL | Lichtwellenleiter |
| Medienredundanz | Redundanz in der Netzwerk-Infrastruktur (Kabel und aktive Komponenten wie OLM oder OSM/ORM) |
| MTBF | Mean time between failure, Mass für die Ausfallwahrscheinlichkeit |
| OLM | Optical Link Module Industrial Ethernet™ Netzkomponente mit Repeater-Funktionalität |
| ORM | Optical Redundancy Manager Steuert die Medienredundanz in einem OSM Ring |
| OSM | Optical Switch Module |

| | |
|----------------------------|--|
| | Industrial Ethernet Netzkomponente mit Switch-Funktionalität; Besitz Fiber Optic und Twisted Pair Ports |
| PVV | Path Variability Value Die Telegrammlaufzeit durch eine aktive Netzkomponente schwankt von Telegramm zu Telegramm. Der Betrag dieser Schwankung, angegeben in Bitzeiten, ist der Variability Value dieser Netzkomponente. Die Summe der Variability Values aller aktiven Netzkomponenten entlang eines Pfades zwischen zwei Teilnehmer ist der PVV. |
| RJ45 | Symmetrischer Stecker für Datenleitungen. Wird auch Westernstecker oder Western-Plug genannt. Verbreiteter Steckverbinder in der Telefon- bzw. ISDN-Technik, findet Anwendung bei LAN-Installationen im Büro- und Industriebereich. |
| Router | Aktive Netzkomponente, die den Datenverkehr anhand der IP-Adresse steuert. Router besitzen umfangreiche Filterfunktionen. |
| SCALANCE | Scalable Performance , Name der SIMATIC NET Produktgeneration für aktive Industrial Ethernet Netzinfrastruktur-Komponenten |
| Signallaufzeit | Zeit, die ein Datenpaket auf dem Weg durch das Netz benötigt |
| Shared LAN | Alle Komponenten in einem Shared LAN teilen (to share = teilen) sich die nominale Datenrate. Shared LANs sind mit Repeatern/ Hubs aufgebaut. |
| SNMP | Simple Network Management Protocol standardisiertes Protokoll zum Transport von Netzwerkmanagement Informationen |
| Standby | Verfahren zur redundanten Kopplung mehrerer Teilnetzwerke mit schneller Rekonfigurationszeit < 300ms von SIMATIC NET |
| Spanning Tree Protocol STP | Im IEEE 802.1D Standard spezifiziertes Konfigurationsprotokoll von Bridges. Um in einer beliebig vermaschten Struktur aus Bridges ein Kreisen von Datenpaketen im Netz zu verhindern werden verschiedene Ports in den Bridges in Stand-By geschaltet. So entsteht ein funktionierendes Netz in Baumstruktur. Die Stand-By Ports/Verbindungen stehen im Fehlerfall als redundante Verbindungen zur Verfügung. Die Rekonfiguration des Netzes über Spanning Tree Protocol dauert mehrere Sekunden und ist daher für industrielle Zwecke nicht geeignet. |
| Switch, Switching | Ein Switch ist eine Netzkomponente, die prinzipiell die gleichen Eigenschaften besitzt wie eine Bridge. Im Gegensatz zur Bridge kann der Switch jedoch gleichzeitig mehrere Verbindungen zwischen den Ports herstellen. Diese Verbindungen werden dynamisch und temporär je nach Datenverkehr aufgebaut. Jede Verbindung verfügt über die volle nominale Bandbreite. |
| Triaxialkabel | Die SIMATIC NET Busleitung 727-0 basiert auf der im 10Base5 Standard (IEEE 802.3) spezifizierten Koaxialleitung ist jedoch mit einem massiven Aluminium-Außenmantel für den industriellen Einsatz ertüchtigt. |

| | |
|--------------|---|
| Twisted Pair | Datenkabel mit verdrehten Leiterpaaren. Der Drill in den Leiterpaaren sorgt für günstige Übertragungseigenschaften und verhindert elektromagnetische Störeinflüsse. Twisted Pair Kabel sind in verschiedenen Qualitäten für verschiedene Übertragungsraten verfügbar. |
|--------------|---|

10. Literatur

Weitere Informationen zu Industrial Ethernet finden Sie in folgenden White Papers:

- /1/ SIMATIC NET White Paper „Industrial Ethernet Netzwerk-Topologien“, Dezember 2004
- /2/ SIMATIC NET White Paper „Industrial Ethernet Cabeling“, März 2004
- /3/ SIMATIC NET White Paper „Industrial Wireless LAN“, Oktober 2003
- /4/ SIMATIC NET White Paper „Netzwerkmanagement“, Mai 2003
- /5/ SIMATIC NET White Paper „Datensicherheit in der industriellen Kommunikation“, November 2003