

### EINFÜHRUNG

#### Der Einsatz von IEC 61850 ausserhalb von Schaltanlagen

Der ursprüngliche Schwerpunkt von IEC 61850 lag auf der Kommunikation zwischen den Automatisierungsbausteinen einer Schaltanlage. Der Standard nutzt Kommunikationstechnologien auf TCP/IP und Ethernet-Basis und standardisierte Übertragungsprotokolle. Darüber hinaus gibt er die Datenmodelle der Anlagen vor, die vom Automatisierungssystem gesteuert und von den verschiedenen Automatisierungsfunktionen generiert und genutzt werden.

Darüber hinaus wird gerade daran gearbeitet, den Standard für die Kommunikationsübertragung zwischen den Leitstellen und den Schaltanlagen und auch zwischen den Schaltanlagen selbst einzusetzen. Bei diesen Anwendungen muss das Mapping auf ein LAN (Local Area Network), das innerhalb einer Schaltanlage zum Einsatz kommt, durch ein Mapping auf ein WAN (Wide Area Network) ersetzt werden. Aus der Sicht der Kommunikationsarchitektur wird das LAN zum WAN erweitert.

#### Die Kommunikationstechnologie

Kommunikationstechnisch trennt IEC 61850 die Applikation strikt von der Kommunikation. Das ACS/ (Abstract Communication Service Interface) definiert die abstrakten Services, die der Anwendung zur Verfügung stehen. Diese Services werden auf Mainstream-Kommunikationstechnologien abgebildet. Die Art der Abbildung bei Client-Server-basierten Systemen unterscheidet sich von der bei zeitkritischen Services. Letztere werden typischerweise genutzt, um Binärinformationen zur Schutzauslösung und Samples analoger Werte zu übertragen, die man für Schutz- und Messfunktionen benutzt.

Obwohl der IEC 61850-Standard ursprünglich für die Kommunikation innerhalb von Schaltanlagen definiert worden ist, eignet er sich wegen seines Grundkonzepts durchaus auch für andere Automatisierungsanwendungen in der Energieversorgung. Die Industrie hat das längst erkannt. Innerhalb der IEC wurden verschiedene neue Arbeitsgruppen eingerichtet, die auf der Basis von IEC 61850 Standards für neue Anwendungsbereiche vorbereitet haben und immer noch vorbereiten.

### KOMMUNIKATIONSARCHITEKTUR FÜR AUTOMATISIERUNGSSYSTEME

#### IEC 61850 für die Kommunikation in Wide-Area-Netzen

Mit der Nutzung von Mainstream-Kommunikationstechnologien eignet sich IEC 61850 allerdings auch für die Wide Area Kommunikation. Die Einsicht, dass dies möglich ist, hat zu zwei neuem Arbeitsfeldern geführt, die seit 2006 von Arbeitsgruppen bearbeitet werden:

- Die Verwendung von IEC 61850 für die Kommunikation zwischen Schaltanlagen (wird von TC57, WG10 vorbereitet).
- Die Verwendung von IEC 61850 für die Kommunikation zwischen Schaltanlage und zentralem Leitstand (wird von TC57, WG19 vorbereitet).

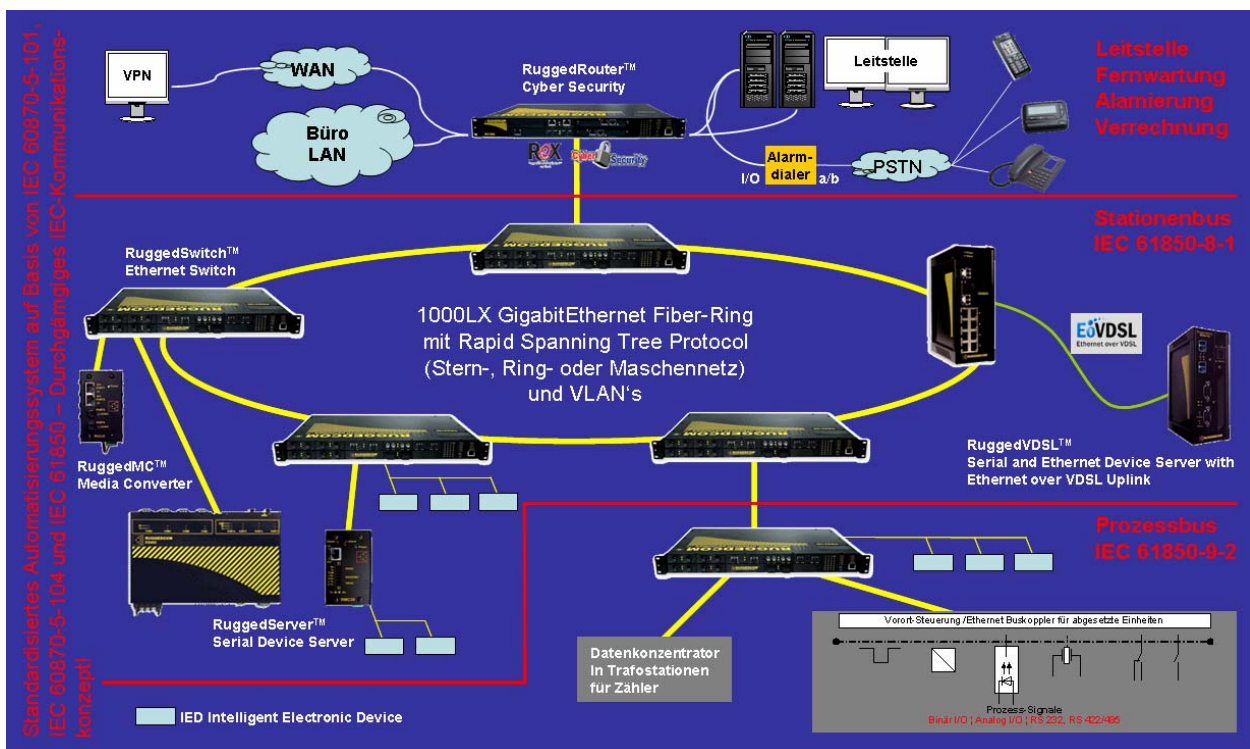
Kommunikation zwischen Schaltanlagen wird typischerweise für die folgenden Anwendungen genutzt, wo Daten zwischen den Anlagen an beiden Enden der Leitung übertragen werden muss:

- Schutzfunktionen wie Differentialschutz, Distanzschutz mit toleranten und blockierenden Systemen), direktionaler und Phasenvergleichsschutz, Umschaltungsauslösung und Wide Area Schutz.
- Steuerungsfunktionen wie automatische Wiedereinschaltung, Kreuztriggerung und Generator oder Lastabwurf.

Einige Themen werden derzeit diskutiert. Das Objektmodell für die einschlägigen Anwendungsfunktionen muss verifiziert und ausgeweitet werden. Das Mapping der Kommunikationsdienste, die im Kommunikationsstack genutzt werden sollen, muss - vor allem auf den unteren Ebenen - noch definiert werden. Mit Blick auf die Konfigurationssprache muss der Inhalt der Stationskonfigurationsbeschreibung noch um einige Daten (z.B. von der nächst gelegenen Schaltanlage) erweitert werden. Derzeit werden Mechanismen diskutiert, die den Transfer von Zugangsrechten für die Modifikation von Daten zwischen unterschiedlichen Anlagenkonfigurationswerkzeugen regeln sollen. Ganz ähnliche Themen werden mit Blick auf die Kommunikation zwischen der Schaltanlage und dem zentralen Leitstand diskutiert. Womöglich muss eine Vorverarbeitung der Daten im Gateway der Substation erfolgen. Auch Sicherheitsaspekte sind sehr wichtig.

### Globale Kommunikationsinfrastruktur

Eine globale Kommunikationsinfrastruktur ist der Zielpunkt der Vision. Die auf IEC 61850 basierende Kommunikationsinfrastruktur verbindet die Anwendungen auf Systemebene mit der Schaltanlage und den Kraftwerken und anderem Feldequipment. Diese Kommunikationsinfrastruktur kann auch für den Datenaustausch zwischen den Feldinstallationen (z.B. zwei Schaltanlagen) an den beiden Enden einer Energieleitung genutzt werden.



### Die Vorteile von IEC 61850

Eine gravierende Herausforderung für die Ingenieure ist es, die Investitionen in die Stationsautomatisierung rechtfertigen zu können. Die positiven Auswirkungen dieser Automatisierung, wie reduzierte Betriebskosten, erhöhte Qualität und insgesamt reduzierte Stromunterbrechungen, sind schon bekannt. Nachfolgend soll deshalb darauf eingegangen werden, welche Auswirkungen die Nutzung von Kommunikationsnormen auf Aufbau und Betrieb einer Station hat.

Die bisherigen Kommunikationsprotokolle wurden üblicherweise unter zwei Zielvorstellungen entwickelt: Einerseits sollten sie die notwendige Funktionalität für die Systeme in der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung liefern. Andererseits sollten sie die Anzahl der zu übertragenden Daten reduzieren und

damit auf die Begrenzung durch die verfügbaren Bandbreiten reagieren, die für die serielle Kommunikation vor zehn bis fünfzehn Jahren - als die meisten Protokolle entwickelt worden sind - typisch war.

Später, als Ethernet und die modernen Netzwerkprotokolle wie TCP/IP weit verbreitet waren, wurden diese Protokolle so modifiziert, dass sie TCP/IP verwenden konnten. Diese Vorgehensweise bot die gleiche Funktionalität für die Systeme in der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung wie unter serieller Kommunikation, jetzt aber verknüpft mit den Vorteilen moderner Netzwerktechnologien. Diese Vorgehensweise hat jedoch einen fundamentalen Fehler: die Protokolle wurden seiner Zeit mit dem Ziel entwickelt, die Anzahl der Bytes, die über die Leitung übertragen werden müssen, zu reduzieren und können deshalb nicht von den Vorteilen profitieren, welche der enorme Zuwachs an den jetzt verfügbaren Bandbreiten liefert.

Indem die von den modernen Netzwerktechnologien bereitgestellten Bandbreiten genutzt werden, kann ein höheres Niveau an Funktionalität bereitgestellt werden. Schliesslich werden dadurch die Implementierungs- und Betriebskosten in der Stationsautomatisierung signifikant reduziert.

IEC 61850 ist im Vergleich zu den herkömmlich verwendeten Kommunikationsprotokollen einzigartig. Denn IEC 61850 ist kein serielles Kommunikationsprotokoll, das auf TCP/IP-Ethernet umgesetzt wurde. IEC 61850 ist von Anfang an darauf konzipiert, unter moderner Netzwerktechnologie betrieben zu werden. IEC 61850 liefert eine beispiellose Menge an Funktionalitäten, die unter den herkömmlichen Kommunikationsprotokollen nicht gegeben ist.

Diese einzigartige Eigenschaft von IEC 61850 hat eine direkte positive Auswirkung auf die Kosten für Konzeption, Implementierung, Installation, Inbetriebnahme und laufenden Betrieb von Systemen in der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung. IEC 61850 ermöglicht eine fundamentale Verbesserung der Prozesse in der Stationsautomatisierung, die auf herkömmliche Weise nicht möglich gewesen wäre, ob mit oder ohne Ethernet -einschliesslich TCP/IP.

IEC 61850 wurde für die Industrie freigegeben. Zehn Teile der Norm sind nun Internationale Standards. Diese Norm spricht die meisten Angelegenheiten an, die die Migration zur digitalen Welt mit sich bringt, besonders die Standardisierung von Datennamen, Schaffung eines umfassenden Satzes an Dienstleistungen, Implementierung über Standardprotokolle und -hardware und Definition eines Prozessbusses.

## **Schlussfolgerungen**

Die Norm IEC 61850 ist in der Industrie ein gut akzeptierter Standard für Daten, Konfiguration und Datenaustausch in Schaltanlagen. Die Vision einer nahtlosen, standardisierten Integrationsarchitektur kann Wirklichkeit werden, wenn man IEC 61850 für den Datenaustausch mit und zwischen Feldeinrichtungen benutzt. Die Nutzung von IEC 61850 in neuen Anwendungsbereichen ist ebenfalls sehr weit fortgeschritten. Der Standard für Windkraftwerke ist kürzlich akzeptiert worden, und der Standard für Wasserkraftwerke ist kurz vor der Freigabe. Die Arbeit an der Nutzung von IEC 61850 für die Wide Area Kommunikation ist aufgenommen worden. Ein wichtiger Aspekt dieser Arbeit ist der Abgleich zwischen CIM und IEC 61850. Sobald diese Arbeit erledigt ist, ist aus der Vision einer nahtlosen Lösung Wirklichkeit geworden.

## **TECHNISCHE ASPEKTE DER REALISIERUNG**

### **Anforderungen an ein globales Kommunikationssystem**

Die Kommunikation hat immer eine kritische Rolle in der Reaktionszeit eines Energiesystems gespielt. Zu Anfang wurde das Telefon benutzt, um Lastwerte zurück an das Kontrollcenter zu melden, aber auch um Schaltoperationen in den Stationen durch Mitarbeiter ausführen zu lassen. Auf Telefonübertragung basierende Fernsteuerungen wurden in den Dreissiger Jahren eingeführt und konnten Statusmeldungen und Steuerfunktionen übertragen. Als die digitale Kommunikation in den 1960er Jahren als praktikable Option funktionsfähig wurde, konnte man mit Data Acquisition Systems (DAS) in Stationen eine Software zur automatischen Abfrage von Messdaten installieren. Da zu dieser Zeit die Bandbreite zur Übertragung noch begrenzt war, wurden die DAS-Kommunikationsprotokolle optimiert, um auch über Kommunikationskanäle mit niedrigerer Bandbreite arbeiten zu können. Kosten für diese Optimierung entstanden durch die benötigte Zeit, um die Position der verschiedenen Datenbits, die vom Protokoll übertragen wurden, zu konfigurieren, abzubilden und zu dokumentieren.

Heute, im digitalen Zeitalter, sind tausende analoge und digitale Datenpunkte in einem einzigen Intelligent Electronic Device (IED) verfügbar und die Kommunikationsbandbreite stellt nicht länger eine Begrenzung der Übertragungsgeschwindigkeit dar.

Schlüsselkomponente eines Kommunikationssystems ist die Fähigkeit, sich sowohl aus einer Datenperspektive, als auch aus einer Diensteperspektive zu beschreiben. An wichtigen Anforderungen seien genannt:

- Hochgeschwindigkeitskommunikation von IED zu IED
- Netzwerkfähigkeit im Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen
- Hohe Nutzbarkeit (Synergien mit weiteren Kommunikationsbedürfnissen von einem Werk)
- Garantierte Übertragungszeiten
- Basierung auf Standards
- Interoperabilität (Fähigkeit zur direkten Kopplung) mit Geräten vieler Anbieter
- Unterstützung von Spannungs und Strom-Momentwerten
- Unterstützung der Dateiübertragung
- Auto-Konfigurierbarkeit/ Unterstützung bei der Konfiguration
- Unterstützung für Sicherheitsfunktionen

Nachdem diese Anforderungen erfüllt waren, begannen die Arbeiten an der nächsten Generation einer Kommunikationsarchitektur mit der Entwicklung der Utility Communication Architecture (UCA) im Jahr 1988. Das Resultat dieser Arbeiten war ein Profil empfohlener Protokolle für die verschiedenen Schichten der International Standards Organization (ISO), ein Open System Interconnect (OSI)-Kommunikationssystem. Diese Architektur führte zur Definition von Protokollen, Datenmodellen und abstrakten Dienstdefinitionen, die als UCA bekannt wurden. Die Konzepte, die in der UCA erarbeitet wurden, bildeten inzwischen die Grundlage für die Aufgaben im Technischen Komitee 57 (TC57), Arbeitsgruppe 10 (WG10), und führten zum nunmehr internationalen Standard IEC 61850 für Kommunikationsnetze und -Systeme.

OSI-Schichten		Einordnung der Orientierung	Standard	TCP/IP-Schicht	Einordnung der Verbindung	Protokoll	Einheiten	Kopplungselemente	
1	Anwendung (Application)	Anwendungsorientiert	FTAM	Anwendung	Ende zu Ende (Multihop)	HTTP FTP HTTPS SMTP LDAP NCP	Daten	Gateway, Content-Switch, Layer 4-7 Switch	
2	Darstellung (Presentation)		ASN.1						
3	Sitzung (Session)		ISO 8326						
4	Transport (Transport)	Transportorientiert	ISO 8073	Transpot	Punkt zu Punkt	TCP UDP SCTP SPX	Segmente	Router, Layer-3-Switch	
5	Vermittlung (Network)		CLNP	Internet		ICMP IGMP IP IPX	Pakete		
6	Sicherung (Data Link)		HDLC	Netzzugang		Ethernet Token Ring FDDI ARCNET	Rahmen (Frames)		Bridge, Switch
7	Bitübertragung (Physical)		Token Bus				Bits		Hub, Repeater

### Einsatz in rauen Umgebungsbedingungen

Die klimatischen Anforderungen an Switches in Substations (beschrieben in der IEC 60870-2-2 class C sheltered locations) sind sehr unterschiedlich, das heißt sie reichen von Temperaturbereichen von -5° bis +45°C, -25° bis +55°C und -40° bis +70°C, in manchen Applikationen sogar von -40° bis +85°C.

Diesen Betriebstemperaturbereichen muss ein Ethernet-Switch ohne den Einsatz eines Lüfters gerecht werden, da dieser aufgrund der geringen Lebensdauer von mechanischen Komponenten zu einem frühen Ausfall des Systems führen würde. Je nach Einsatzbedingungen kann auch das Belackern der Leiterplatte, das conformal coating, notwendig sein, um den Switch vor Feuchtigkeit durch Betauung zu schützen. Eine Hauptanforderung an die meisten IEDs und das Ethernet-LAN in einer Umspannanlage ist, dass sie unter dem Einfluss einer ganzen Reihe von EMI-Phänomenen, die in Umspannanlagen üblicherweise auftreten, zuverlässig korrekt arbeiten müssen. IEC 61850-3 spezifiziert eine Vielzahl von Typenfestigkeitstests, mit denen EMI Phänomene simuliert werden können, zum Beispiel induktive Lastwechsel, Blitzeinschläge, elektrostatische Entladungen durch menschlichen Kontakt, Funkfrequenzinterferenzen (zum Beispiel durch Personal, das tragbare Funkgeräte benutzt), Erdpotentialanstieg als Ergebnis von Hochstromfehlerbedingungen innerhalb der Umspannanlage und eine Reihe weiterer EMI-Phänomene, denen man für gewöhnlich in einer Umspannanlage begegnet.



Jedes von RuggedCom™ hergestellte Netzwerk- und Kommunikationsgerät ist RuggedRated™. RuggedRated™ Zertifizierung steht für Geräte, welche spezifisch entwickelt wurden um unter extremsten Umgebungsbedingungen zu bestehen. Nur Geräte mit den folgenden Voraussetzungen erhalten das Gütesiegel:

**Geprüft für eine fehlerfreie Funktion in rauester Umgebung:**

- IEC 61850-3 and IEEE 1613 (Stromerzeugung und -verteilung)
- IEC 61000-6-2 and IEC 61800-3 (Industrielle Umgebung)
- NEMA TS-2 (Transportautomation)

**Geprüft für eine Funktion unter extremer EMV-Einwirkung:**

- „Zero-Packet-Loss™“ Technologie für Netzwerkgeräte mit LWL-Anschluss
- IEEE 1613 Class 2 fehlerfreie Funktion unter extremer EMV-Einwirkung
- Unterstützung kurzer bis überlanger LWL-Verbindungen

**Geprüft für eine Funktion über einen weiten Temperaturbereich:**

- -40°C bis +85°C (+185°F)
- passive Kühlung ohne Lüfterventilatoren
- CSA/UL 60950 sicherheitsgeprüft bis zu +85°C

**Geprüft für höchste Verfügbarkeit:**

- integriertes einfaches oder doppeltes Netzteil
- Hochspannungsversorgung: 88-300VDC oder 85-264VAC
- Niederspannungsversorgung: 24VDC (9-36VDC) oder 48VDC (36-59VDC)
- doppelte Spannungsversorgung auch mit unterschiedlichen Spannungen möglich

**Geprüft für industrielle Installationen:**

- Metallgehäuse aus 1,02 oder 1,29mm verzinktem Stahl
- Stahlmontageteile verzinkt, für Hutschiene und Schaltschrank
- industrielle Schraubklemmen für Spannungsversorgung und Meldekontakt



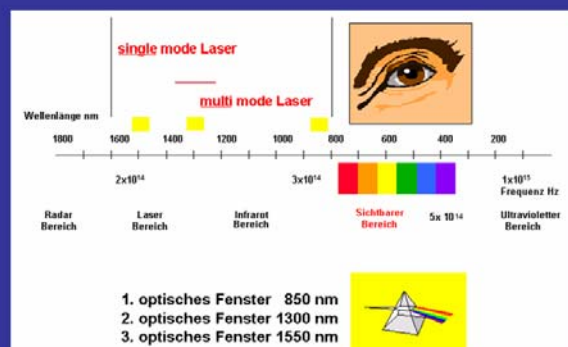
**5 Jahre Gewährleistung –**  
anwendbar auf entwicklungs- und herstellungsbedingte Defekte.

IEEE 1613, ein Standard für Umgebungs- und Testanforderungen für Kommunikationsnetz-Geräte in elektrischen Strom-Umspannanlagen, geht noch einen Schritt weiter und definiert eine Class-2-Operation, die keine Kommunikationsfehler, -verzögerungen oder -unterbrechungen während der Anwendung des Typentests mehr voraussetzt. Die Ethernet-Switches werden oft im gleichen Gehäuse oder sogar auf dem gleichen Einschub wie die Schutz-Relay-IEDs installiert. Daher ist es notwendig, dass auch die Ethernet Komponenten mit Blick auf ihre EMI-Immunität tatsächlich umspannanlagen-fest sind und zwar auf dem gleichen Niveau wie die Schutz-Übertragungs-IEDs. Die Erfordernis der Robustheit gegenüber Umgebungseinflüssen wird unumgänglich, wenn ein LANbasiertes Tripping-System via GOOSE implementiert wird; eine einzige verlorene Nachricht unterscheidet dann über Erfolg oder Misserfolg. Der Designer des Automatisierungssystems muss sicherstellen, dass die Hersteller des Ethernet-Equipments die Übereinstimmung ihrer Komponenten mit den IEC 61850-3-Typentests nachweisen.

### Datenübertragung mittels Glasfaser

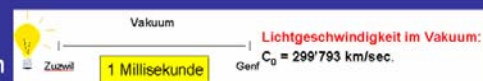


Lichtwellenleiter bieten eine hohe Übertragungskapazität und sind unempfindlich gegen elektrische sowie magnetische Einflüsse!



### Eigenschaften von Glasfasern

- Übertragung über grosse Distanzen
- Übertragung grosser Datenmengen dank enormen Bandbreiten
- keine elektromagnetischen Beeinflussungen
- keine Erdungsprobleme
- dünne und leichte Kabel
- bessere Energie- und Ökobilanz als Kupfer in der Herstellung



Es gibt wohl kaum eine andere Applikation, in welcher der Einsatz von Fiberoptik sinnvoller ist als in Substations. Denn elektrostatische und elektromagnetische Felder, Hochspannungsentladungen und Potenzialausgleichsströme beeinflussen die Datenübertragung via Glasfaser in keiner Weise. Lichtwellenleiter sind mittlerweile eine bewährte Technologie und schon seit Jahrzehnten im Einsatz.

Bei der Datenübertragung unter rauen Umgebungsbedingungen kommen mehrere entscheidende physikalische Unterschiede des Glasfaserkabels im Vergleich zum Kupferkabel zum Tragen: Das Licht wird grundsätzlich nicht durch elektrische oder magnetische Störungen beeinflusst.

Dadurch entsteht für die Anlagenverkabelung der Vorteil, dass die optischen Kabel im Gegensatz zu elektrischen Kabeln ohne Rücksicht auf Energieleitungen oder andere elektromagnetische Störquellen verlegt werden können. Das Lichtwellenleiterkabel ist sozusagen elektrisch gar nicht existent, und daher ist elektromagnetische Verträglichkeit für diese Übertragungsmedium kein Thema.

Des Weiteren bestehen alle Ausführungen von Lichtwellenleitern aus elektrisch nicht leitfähigem Material. Dies gilt unabhängig davon, ob es sich um einen Kunststoff-Lichtwellenleiter für Kurzstreckenübertragungen, eine Multimode-Glasfaser für mittlere Entfernungen oder um eine Singlemode-Glasfaser für grosse Reichweiten handelt.

Die Datenübertragung erfolgt immer über einen elektrischen Isolator. Zwischen den verbundenen Geräten kann somit über die Datenleitung kein Strom fließen. Die bei ausgedehnten Anlagen gefürchteten Potenzialausgleichsströme über Datenleitungen gibt es bei der LWL-Technik überhaupt nicht. Selbst bei Gewittern besteht durch die Isolationseigenschaft der Faser kein Zerstörungsrisiko für die angeschlossenen Geräte. Ausserdem ermöglicht die Glasfaser eine Kombination aus grosser Reichweite und hoher Datenübertragungsrates.

Ethernet unterstützt sowohl Glasfaserkabel als auch die allgegenwärtige CAT5/RJ45-Kabel-Stecker-Kombination, die man praktisch in jedem Heim und Büro rund um den Globus antrifft. Der Designer steht daher vor der schwierigen Entscheidung, wann er Glasfaser und wann er Kupfer einsetzen soll. Das Glasfaserkabel hat viele Vorzüge, von der Unempfindlichkeit gegenüber elektrischen Interferenzen über die Möglichkeit, weite Entfernungen zu überbrücken bis hin zu der Fähigkeit, pakethungrigen Technologien wie dem Videostreaming immense Bandbreiten zur Verfügung zu stellen. Die Kosten pro Port liegen zwar bei Glasfaser höher, aber Glasfaserkabel werden billiger, und auf den Meter Verkabelung gesehen sind sie heute schon billiger als Kupferkabel.

Eine Studie der EPRI hat 1997 einmal die Anfälligkeit von abgeschirmtem und nicht abgeschirmtem CAT5-Kabel gegenüber schnellen Überspannungen untersucht, wie sie in Umspannanlagen gewöhnlich vorkommen. Die Ergebnisse zeigten erhebliche Übertragungs-Frame-Verluste: bis zu 75 Prozent bei 2 kV Störspannungen. Wenn es darum geht, High-Speed-Tripping über das LAN-System anhand von GOOSE Nachrichten zu implementieren, sind derartige Frame-Verluste inakzeptabel.

## **Funktionen eines Ethernet-Switch**

Jedes 61850 IED muss physikalisch mit einem Ethernet-Switch verbunden werden. Ethernet ist eine paket-orientierte Kommunikationstechnologie, bei der ein IED jederzeit mit der Übertragung eines Datenpaket beginnen kann. Der Switch hat nun die Aufgabe, eine Kollision dieser Pakete zu verhindern und das Paket in Richtung des gewünschten Empfängers abzuschicken.

Dafür ist der mit store and forward (Speichern und Übermitteln) bezeichnete Prozess zuständig, der empfangene Pakete bei ihrem Eingang im Speicher puffert, in eine Schlange für den Ausgangsport einreihet und sie überträgt, sobald sie an der Spitze dieser Schlange ankommen. Erst dieser Einreih-Mechanismus verhindert Kollisionen und ermöglicht den Voll-Duplex-Betrieb. Er steht im Gegensatz zu den Repeatern und Hubs der Vergangenheit, die CSMA/CD benutzten, um festzustellen, ob eine Kollision auftrat und diese erst nach einer zufälligen Zeitspanne neu übertragen wurde.

Der Ausgangs-Port wird über eine MAC-Adressensuche und ein Lernen der Adressen ermittelt, was die ganze Operation automatisiert. Diese bisher beschriebene Grundfunktionalität findet man in einem unmanaged switch. Ein managed Switch stellt darüber hinaus zusätzliche Funktionen für die Verwaltung und Optimierung des Netzwerks zur Verfügung. Dazu gehören zum Beispiel:

- Anwenderschnittstellen über RS232, Telnet, SNMP, HTTP
- Werkzeuge für Status, Statistik und Problembehebung
- „Rapid Spanning Tree“ (IEEE 802.1D-2004) für fehlertolerante Topologien
- VLANs (802.1Q)
- Class of Service (CoS) (802.1p)
- SNMPv2, RMON-Gruppen 1, 2, 3, 9
- IGMP (Internet Group Messaging Protocol)

- GMRP (Generic Multicast Registration Protocol)
- GVRP (Generic VLAN Registration Protocol)
- Link aggregation (IEEE 802.3ad)
- Portspiegelung

Der Ethernet-Switch arbeitet als Intelligent Electronic Device mit einer Komplexität, die der von Schutzschalter-IEDs entspricht.


Derzeitige Standardisierungsbemühungen innerhalb von IEEE C37.2 sehen sogar vor, dem Switch eine Netzversorger-Geräte-Funktionsnummer zu geben, so dass er in Zeichnungen auf konsistentere Weise eingebunden werden kann. Die vorgeschlagene ANSI-Gerätenummer ,165' für einen Netzwerk-Switch könnte eines Tages ähnliche Verbreitung in einpoligen Versionen finden wie die ,52' für einen Unterbrecher.

## Netzwerk-Topologie, Redundanz und RSTP

Durch die Verwendung von Redundanzmechanismen wird nicht der Informationsgehalt erhöht, sondern vielmehr die Wahrscheinlichkeit, dass die Information den Empfänger erreicht. Für das Industrienetzwerk ist diese Erkenntnis von elementarer Bedeutung. Denn falls im Büroumfeld eine gesendete Nachricht nicht bei ihrem Empfänger ankommt, kann dieser Fehler durch ein zweites Versenden der Nachricht zu einem späteren Zeitpunkt ausgeglichen werden.

Ethernet Netzwerke werden - als Ganzes gesehen - oft als Stern eingerichtet. Einpolige Diagramme und Zeichnungen von Schutzkonzepten zeigen das Netzwerk oft ebenfalls als Stern oder im einfachsten Fall sogar nur als Linie. Ein Stern-Netzwerk hat den Nachteil des Einzel-Punkt-Fehlers, das heisst: ein einzelner Switch oder Link kann viele Geräte vom Netz abkoppeln. Glücklicherweise ist in einem Ethernet-Netzwerk mit dem Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) jede Topologie realisierbar (Stern, Ring oder Mesh).

Um Netzwerk-Redundanz zu erreichen, braucht man mehr als einen Pfad von einer Quelle zum Ziel, was physikalische Schleifen im Netzwerk impliziert. Eine echte Schleife in einem Netzwerk würde allerdings dazu führen, dass die ursprüngliche Übertragung in einer endlosen Schleife zirkuliert, dabei die komplette verfügbare Bandbreite beanspruchen und letztlich zu einem broadcast storm (Übertragungsfehler) führen würde. RSTP verhindert dieses Problem, indem es rasch eine logische Baumstruktur formt, die alle Switches des Netzwerks umfasst - daher der Name des Protokolls. An der Wurzel des Baumes befindet sich die root bridge, die von allen Switches angewählt wird.



eRSTP™ RSTP IEEE 802.1w Ethernetring

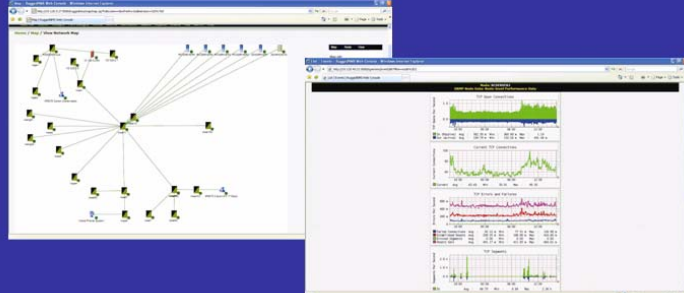
IED Intelligent Electronic Device

**Redundanz mit Ethernetring, dank RSTP ist jede Netzstruktur möglich (Stern, Ring, Maschen)**

- Enhanced IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol
- High-Speed Fault Tolerant Ring Architectures
- Fast Fault Recovery: < 5ms/hop fault recovery
- Large Rings Configurations: up to 160 switches
- Compatible with RSTP (IEEE 802.1w)

**Dual Homing von IEDs**

**Netzüberwachung für Redundanzen**



Bestimmte Links im Netzwerk werden in einen Backup-Status versetzt, so dass kein Traffic durch sie fließen kann. Auf diesem Wege werden alle physikalischen Schleifen im Netzwerk unterbrochen. Die Backup-Links werden im Bedarfsfall (zum Beispiel bei Netzwerk-Problemen) wieder freigegeben, um die Konnektivität aller Geräte wiederherzustellen.

Das Erfreuliche an RSTP ist, dass alles automatisch abläuft und dass es auf jeder beliebigen Netzwerk-topologie funktioniert, so dass der Ingenieur die Freiheit hat, Geräte und Switches auf die Art und Weise miteinander zu verbinden, die dem physischen Arrangement von Gehäusen, Geräten, Verkabelungsinfra-struktur und den Redundanzzielen am besten entspricht. Ausserdem ist RSTP ein Standard, der Interoperabilität zwischen den Switches verschiedener Anbieter zulässt - ganz anders als die vielen proprietären „Ring“-Protokolle, bei denen man auf einen einzelnen Anbieter festgelegt ist.

Die Performance einer guten RSTP-Implementierung - wie RuggedComs enhanced RSTP (eRSTP) – kann zu Worst Case-Ausfall- und Erholzeiten in der Grössenordnung von fünf Millisekunden pro Switch im Netzwerk führen und mehr als einhundert Switches in einem Netzwerk zulassen. Das Stations- und Feld-Schleifendiagramm zeigt ein Beispiel, wie flexibel Netzwerkarchitekturen mit RSTP-basiertem Ethernet realisiert werden können.

### Redundanz und Dual Homing von IEDs

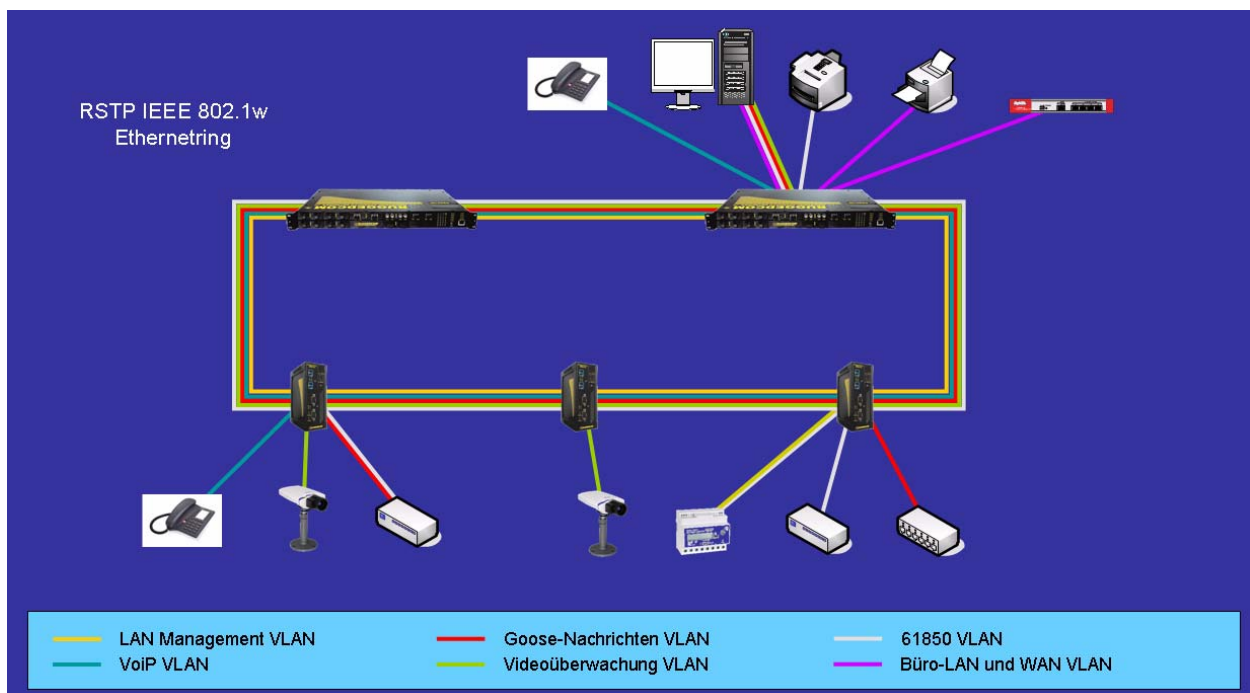
Zusätzliche Fehlertoleranz lässt sich durch das Dual Homing erreichen, bei dem ein IED zwei Verbindungen mit dem LAN über verschiedene Switches hat. Die IEDs vieler Anbieter verfügen über diese Möglichkeit, als Primär-/Backup- Links implementiert zu werden, die eine einzige MAC-Adresse benutzen. Bei anderen IEDs sind beide Links aktiv und benutzen unterschiedliche IP Adressen.

Im ersten Fall ist die Auswahl der richtigen Ethernet-Switches wichtig, denn nicht alle unterstützen failover and recovery bei Glasfaserkabeln. Echte N+1-Redundanz von Netzwerk und IEDs kann man durch ein A+B-Schutzmodell in einem einzigen Ethernet-LAN erreichen. Die Abb. links (A+B-Schutz VLANs und Dual Homing) zeigt ein einfaches Beispiel: der Ausfall jedes beliebigen Netzwerk-Links oder -Switches wird ohne jeden Funktionsverlust toleriert.

### VLANs und ihre Nutzung

Ein virtuelles LAN bringt all die Vorzüge eines logisch separaten Netzwerkes mit sich und teilt sich dabei Verkabelung und Geräte-Infrastruktur mit anderen VLANs, was die Kosten reduziert.

Jedes VLAN hat seine eigene Übertragungs-Domain, das bedeutet: Ethernet-Frames von einem VLAN werden nicht auf ein anderes VLAN übertragen. Diese strikte Trennung ist ein mächtiger Sicherheitsmechanismus. Benutzer und IEDs des einen VLAN können nicht mit anderen VLANs kommunizieren, es sei denn, es wird ein Router eingesetzt, der die beiden VLANs miteinander verbindet.



Auf der Ebene von Bits und Bytes wird das erreicht, indem man einen Tag-Header in den Ethernet-Frame eingefügt, der die Zugehörigkeit zu einem bestimmten VLAN eindeutig angibt, so dass die Switches die Übertragung entsprechend steuern können.

In einem IEC 61850-Stationsnetzwerk gibt es durchaus mehrere Traffic-Flüsse, die eine Unterteilung in unterschiedliche VLANs verdienen würden. Beispiele:

- LAN-Management in der Umspannanlage (zum Beispiel Switches, Routers, Modems, usw.)
- SCADA/Engineering Access
- GOOSE-Nachrichten
- Prozessbus (IEC 61850-9-2 Abtastwerte)
- Synchrophasors
- Schutz A / Schutz B
- Videoüberwachung und Zugangskontrolle

Es hat viele Vorzüge, diese Funktionen getrennt in unterschiedlichen LANs unterzubringen. Geräte mit hohem Traffic-Output (wie Merging Units oder Video-Encoder) überfluten andere Geräte nicht mit Traffic, den sie nicht verkraften können. Der sichere Zugang der Anwender zu verschiedenen VLANs kann einfach an einem zentralen Router-Demarkationspunkt überwacht werden.

Der Zugriff auf Echtzeit-VLANs wie GOOSE und den Prozessbus kann auf die unmittelbar beteiligten Geräte eingeschränkt werden, um Fehlfunktionen zu vermeiden. A+B Schutzsysteme lassen sich mit einem einzigen physikalischen Netzwerk realisieren; so werden ohne Zugeständnisse bei der Zuverlässigkeit Kosten gesenkt.

### **GOOSE und die Netzwerk-Performance**

GOOSE (= Generic Object Oriented Substation Event)-Nachrichten bieten einen äusserst wirkungsvollen Mechanismus für die Nachrichtenübertragung von einem zu einem anderen IED, der die effiziente Vermittlung beliebiger Status- oder Analog-Parameter in Echtzeit ermöglicht. GOOSE ist eine besonders mächtige Eigenschaft der Norm 61850, die dem Designer eines Automatisierungssystems hohe Flexibilität an die Hand gibt.

IEC 61850-5 definiert Performance-Klassen für Nachrichten. Die striktesten Anforderungen gelten für schnelle Nachrichten des Typs 1 A Trip, bei denen eine Gesamtübertragungszeit von drei Millisekunden gefordert ist. Als Übertragungszeit wird dabei die Zeit – einschliesslich der Netzwerk-Wartezeit - verstanden, die die IEDs an beiden Enden für die Verarbeitung brauchen.

GOOSE-Nachrichten haben einen Prioritäts-Tag, so dass sie der höchsten Class of Service (CoS - IEEE 802.1P) im Netzwerk angehören, was die Wartezeit im Netz minimiert. Um das zu realisieren, werden GOOSE-Frames ganz am Anfang der Store and Forward-Schlange eingereiht. Frames, die in diesem Moment gerade gesendet werden, werden dabei nicht unterbrochen.

Man kann den Worst-Case der Netzwerk-Verzögerung abschätzen, indem man die Transit-Verzögerung eines jeden Switches auf dem Übertragungsweg mit 100 ms (bei einer Link-Geschwindigkeit von 100 Mbps) und 10 ms (bei 1 Gbps) aufaddiert. Diese Zahlen gehen davon aus, dass ein 1000-Byte-Frame übertragen wird, wenn der GOOSE-Frame eingereiht ist.

In einem kleineren Netzwerk (oder bei weniger anspruchsvollen Anwendungen) ist die Verzögerung, die die Switches mit sich bringen, akzeptabel. Bei einem grösseren Netzwerk von, sagen wir, zwanzig Switches mit 100-Mbps-Links, könnte eine Verzögerung von 2 ms das Schutzsystem bereits beeinträchtigen. In diesem Falle sollten für den Kern des Netzwerks Gigabit-Links in Betracht gezogen werden.

### **Sicherheitsaspekte**

Eine Abhandlung über Vernetzung ist nicht vollständig ohne Cyber Security wenigstens zu erwähnen. Obwohl das Stations-LAN ein privates Insel-Netzwerk darstellt, ist die Verknüpfung mit einem Wide Area Network (WAN) doch unausweichlich - und damit geht das Risiko der Sabotage einher.

Das Substation-Gateway sollte daher gegen das WAN mit einer Firewall und einer Verschlüsselung des VPN abgesichert sein, aber Konfigurationsfehler kommen vor und Schlupflöcher existieren immer. Die beste Vorgehensweise im Bereich Sicherheit ist immer noch eine mehrstufige Strategie, und der managed Ethernet Switch sieht dazu verschiedene Ansätze vor.

VLANs können das Netzwerk so unterteilen, dass kritische Netzanwendungen wie GOOSE oder Sampled Values isoliert werden. Switches verfügen via SSL/SSH über Management-Security. Port-Security und 801.1x können eingesetzt werden, um physikalische Zugriffe auf das Netz zu verweigern.

Man kann beispielsweise nur eindeutig ausgewiesene Laptops konnektieren. Man kann Übertragungsraten limitieren, um Eindringlinge oder defekte Geräte davon abzuhalten, das ganze Netzwerk zu infizieren. Ausserdem ist die IEC 61850-Arbeitsgruppe gerade dabei, neue Wege zu erkunden, wie IEC 61850 und GOOSE-Nachrichten gegenüber Sabotage noch sicherer werden können. Dies wird zu einer weiteren Stärkung der Cyber Security in Umspannanlagen führen.

## **Abläufe, Administration und Management**

Ethernet Switches sind IEDs wie Schutzschalter und benötigen daher Konfiguration und Überwachung, um im globalen Kommunikationsnetzwerk von einem Werk optimale Performance zu erreichen. Dies wird gelegentlich bei der Planung, bei der Inbetriebnahme oder im Normalbetrieb übersehen. Die meisten Switches verfügen über Plug-and-Play-Eigenschaften, aber für anspruchsvollere Eigenschaften (wie VLANs) sind gewisse Grundkenntnisse Voraussetzung. Eine Schulung des Bedienpersonals ist höchst ratsam.

Während der Inbetriebnahme und im Normalbetrieb können Ethernet-Switches wertvolle diagnostische Informationen zum Beispiel zum Linkstatus oder zur Traffic-Rate liefern.

Als Mindestausstattung sollten Automatisierungssysteme eine Überwachung der Warnmeldungen enthalten, die von den Switches erzeugt werden, so dass präventive Wartung durchgeführt werden kann, bevor ein grösserer Fehler auftritt. So könnten beispielsweise ohne eine Überwachung der Warnmeldungen Link-Fehler unentdeckt bleiben, weil RSTP die Konnektivität wieder herstellt. Ein zweiter Link-Fehler aber könnte bewirken, dass viele IEDs vom Netzwerk getrennt werden, was zu Fehlfunktionen der Schutzsysteme und zu Datenverlusten führen kann.

RuggedSwitch-Produkte bieten ein fehlersicheres Relais, das anzeigt, wenn ein Alarmzustand eingetreten ist. Es kann an einen IED-Eingang angeschlossen werden, um eine Operator-Antwort zu triggern. Das Simple Network Management Protocol (SNMP) lässt sich für den gleichen Zweck einsetzen. Migration: Alte Protokolle und serielle IEDs.

Eine Umspannanlage nach 61850-Standard schliesst veraltete Protokolle nicht von vorn herein aus. In den meisten Systemen wird eine Mischung unterschiedlicher Protokolle zum Einsatz kommen. Ethernet passt sich da ganz einfach an, da es simultan DNP-IP, IEC 60870-5-104, Modbus-TCP und andere beherrscht.

Ältere serielle IEDs können auch über das gleiche Ethernet-Netzwerk betrieben werden, indem man spezielle Server für serielle Geräte nutzt, die die älteren Protokolle in ihr IP-Äquivalent übersetzen.

Darüber hinaus kommen gerade Protokollkonverter für Gateways auf, die Datenpunkte von seriellen IEDs auf die entsprechende Logikknoten-Repräsentation von 61850 abbilden, so dass diese Geräte in die IEC-61850-Automatisierung integriert werden können. All das ermöglicht einen Wechsel auf eine IEC-61850-Lösung, ohne dass man vorhandene Systeme über Bord werfen muss.

## **Schlussfolgerung technische Aspekte**

Ethernet und IEC 61850-basierende Automatisierung in der Umspannanlage haben viele Vorzüge. Kommunikationsnetzwerke gehörten bisher nicht ins traditionelle Aufgabengebiet der Schutz und Steuerungsverantwortlichen, sondern zählten zum Verantwortungsbereich anderer Abteilungen der Stromversorger.

Die Hinwendung zu Ethernet erfasst praktisch alle industriellen Umgebungen. Ethernet ist zu einer Kerntechnologie in Umspannanlagen und zu einem integralen Bestandteil von IEC 61850 geworden, so dass es für jeden P&C Engineer von vitaler Bedeutung ist, elementare Kenntnisse über das Netzwerk zu besitzen.

Ob Sie über den Luxus eines komplett neuen IEC-61850-Automatisierungssystems auf der grünen Wiese oder über ein Hybrid-System mit alten seriellen Protokollen verfügen: Ethernet wird in jedem Fall eine wichtige Rolle spielen.

## **WIRTSCHAFTLICHE GESICHTSPUNKTE**

Herkömmliche Protokolle und Architekturen für die Stationsautomatisierung stellten eine Grundfunktionalität für Energie-Transport und -Verteilung bereit und sind an die technischen Beschränkungen der verfügbaren Netzwerktechnologie angepasst. In jüngerer Zeit gab es grosse Verbesserungen in der Datenübertragungstechnik, so zum Beispiel Switched Ethernet, TCP/IP, Hochgeschwindigkeits-WAN sowie hochleistungsfähige und kostengünstige Computer.

## Alles für die Wirtschaftlichkeit

Trotz der vielfältigen Anforderungen und der rasanten Entwicklung der technischen Möglichkeiten gilt aber nach wie vor, dass der alleinige Massstab für jede technische Lösung der dauerhafte Nutzen für den Betreiber ist. Aus diesem Grund findet man heute in der Stationsautomatisierung Datennetze, die jeweils auf ihre Kommunikationsaufgaben technisch und wirtschaftlich optimiert sind.

Durch die Verwendung von Ethernet profitieren die Anwender von der weltweiten Verbreitung dieser Technologie und der damit verbundenen stetigen Weiterentwicklung. In vielen anderen Bereichen ist Fast Ethernet (100 MBit/s) heute Standard und Gigabit Ethernet (1000 MBit/s) wird immer häufiger verwendet.

Dabei besteht jederzeit die Möglichkeit eines „Upgrades“, da jede höhere Geschwindigkeit stets abwärtskompatibel ist. Redundanzmechanismen, Security und Wireless sind ebenfalls Technologien, die ständig weiterentwickelt werden und somit neue Einsatzmöglichkeiten erschliessen.

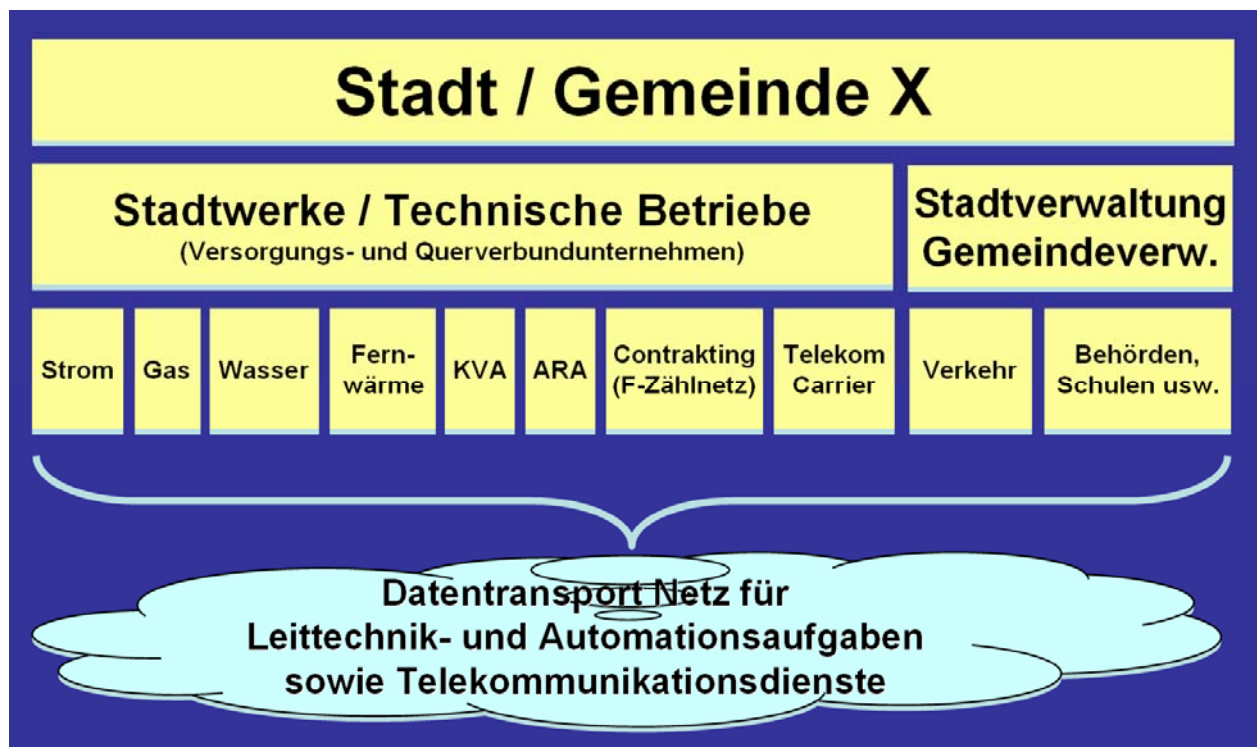
Das Industrial Ethernet, bei dem man Begriffe wie Industrietauglichkeit oder Echtzeitfähigkeit ohne Bedenken verwenden darf, hat indessen nur wenig mit dem über 25 Jahre alten CSMA/CD-Zugriffsprotokoll (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) zu tun. Auch die klassische Bus-Topologie, bei der sich viele Teilnehmer die Bandbreite teilen mussten, was zu Engpässen und Kollisionen führte, ist in modernen Industrienetzen nur noch selten im Einsatz.

Durch die Switching-Technologie können Ethernet-Netze aufgebaut werden, die gegenüber dem ursprünglichen shared Ethernet eine Skalierung der Bandbreite sowie eine nahezu uneingeschränkte Netzausdehnung ermöglichen und darüber hinaus ein wesentlich besseres Verhalten beispielsweise in Bezug auf Echtzeit oder Redundanz aufweisen.

Das ursprüngliche Ethernet (10 MBit/s) benötigt zur Übertragung eines 1518 Byte grossen Paketes maximal 1,2 Millisekunden. Heute kann diese Zeit durch den Einsatz von Fast Ethernet auf 120 Mikrosekunden und durch Gigabit Ethernet sogar auf 12 Mikrosekunden reduziert werden. Noch scheint es bei Ethernet kein Ende der Innovationen zu geben. Denn der Standard für 10 Gigabit-Ethernet ist verabschiedet, und an noch höheren Geschwindigkeiten wird gearbeitet.

Die Möglichkeiten, die sich auf tun, wenn man ein traditionell verkabeltes Ein-/Ausgabesystem durch ein solches Netzwerk ersetzt, sind vielseitig. Als sofortiger Nutzeffekt sind zum Beispiel der geringere Zeichnungs-Overhead oder die niedrigeren Installationskosten wegen der Reduzierung des Verkabelungsaufwandes zu nennen. Auf längere Sicht profitiert man - ein wenig abstrakter - von erhöhter Flexibilität und der Möglichkeit, fortgeschrittenere Schutz und Steuerungsmodelle zu schaffen, ohne je auch nur einen Fuss in die Umspannanlage gesetzt zu haben.

## Zusatznutzen zur Verteilung der Investitionen



Das Glasfasernetz und teilweise auch die Kommunikationsplattform kann für den ganzen Werketeil, die Verwaltung und Schulen bis hin zu einem FTTH-Netz zusätzlich genutzt werden. Damit lassen sich die Investitionen Mehrfach nutzen und die anfallenden Kosten können so verteilt werden.

## FAZIT

Die technologischen Voraussetzungen für den Einsatz von Ethernet in der Automatisierung von Energienetzen sind mittlerweile geschaffen worden. Ausserdem stehen robuste und somit für diese Umgebungsbedingungen geeignete Geräte zur Verfügung.

Da die durchgängige Kommunikation durch den weltweit gültigen und anerkannten Standard IEC 61850 gewährleistet ist, erhalten Anlagebetreiber durch dieses offene und somit interoperable System die notwendige Investitionssicherheit. Somit steht einer anstehenden Modernisierung oder Neuerrichtung von Unterwerken und Transformatorenstationen auf Basis neuester Informationstechnologie nichts mehr im Wege.

Quellen: [1] Praxis Profiline - IEC 61850  
[2] IEC 61850 Communication networks and systems in substations  
[3] E. Voges und K. Petermann: Optische Kommunikationstechnik, Handbuch für Wissenschaft und Industrie

Referent: Kurt Studer  
Funktion: CEO, Optonet AG, +41 79 600 28 67  
Termin: Donnerstag, 25.06.09 nachmittags  
Dauer: ca. 30 Minuten