

# Energieinformationstechnik

## Stationsautomatisierung mit IEC61850

- Beispiel: Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

# Überblick: Beispiel für ein Netz

SWM Infrastruktur GmbH & Co. KG  
110-kV-Netz Versorgungsgebiet  
Schematische Darstellung

Geografische Sicht

-  Hauptspannwerk
-  Umspannwerk / Schaltstelle
-  110 kV Kabel
-  Erzeuger

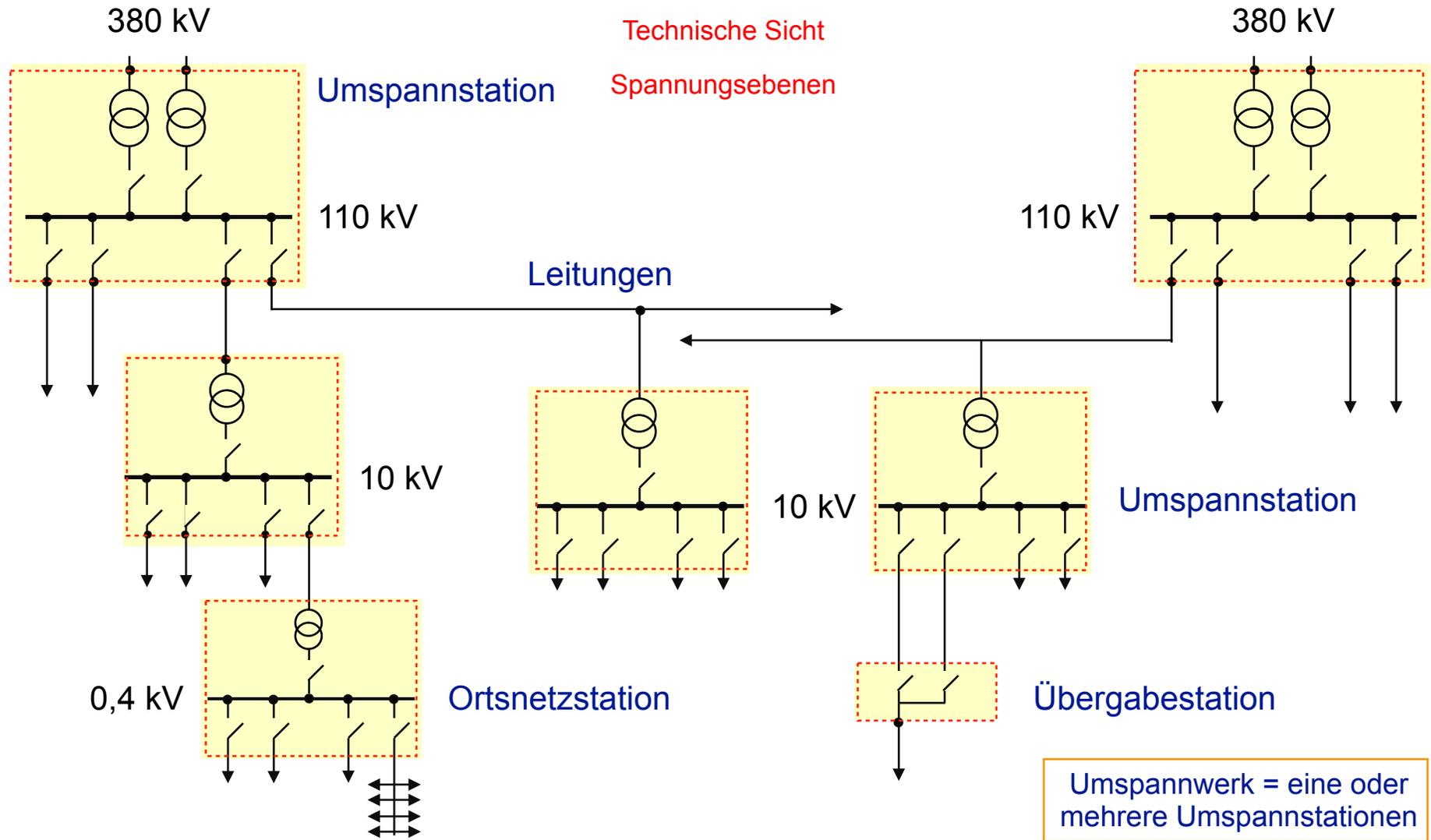


# Überblick: Beispiel für Kennzahlen

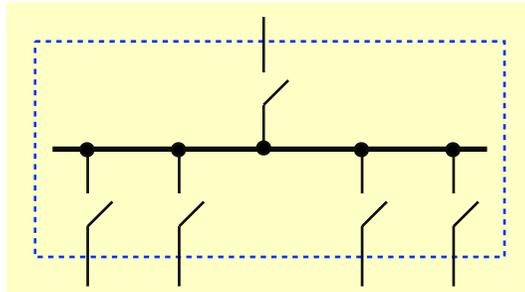
## Kennzahlen (2018)

380	kV	1 km	gasisolierte Leitung	
		69 km	Freileitung	
		HöS		
		3.723 TWh		
		3.711 TWh	2750 MVA	9 Entnahmestellen
		HöS/HS		
110	kV	391 km	Kabel	8 Entnahmestellen
		190 km	Freileitung	
		HS		
		6.913 TWh		
		6.537 TWh	3365 MVA	147 Entnahmestellen
		HS/MS		
10	kV	3416 km	Kabel	752 Entnahmestellen
		57 km	Freileitung	
		MS		
		5.482 TWh		
		3.869 TWh	3248 MVA	5330 Entnahmestellen
		MS/NS		
0.4	kV	7578 km	Kabel	967178 Entnahmestellen
		256 km	Freileitung	
		NS		
		3.864 TWh		

# Überblick: Netz



# Überblick: Umspannwerk - Schaltgeräte

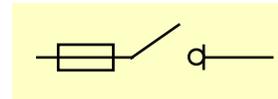
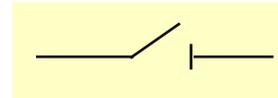
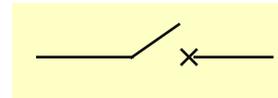
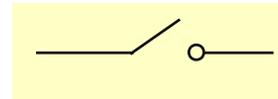
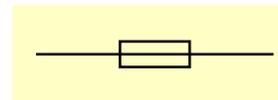


Funktionen der Schaltgeräte (Schalter):

- Zuschalten (Betriebsstrom, Kurzschlussstrom)
- Wegschalten (Betriebsstrom, Kurzschlussstrom)
- Trennen (Spannung)



Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Valley\\_Maxlmühle\\_Umspannwerk.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Valley_Maxlmühle_Umspannwerk.JPG)



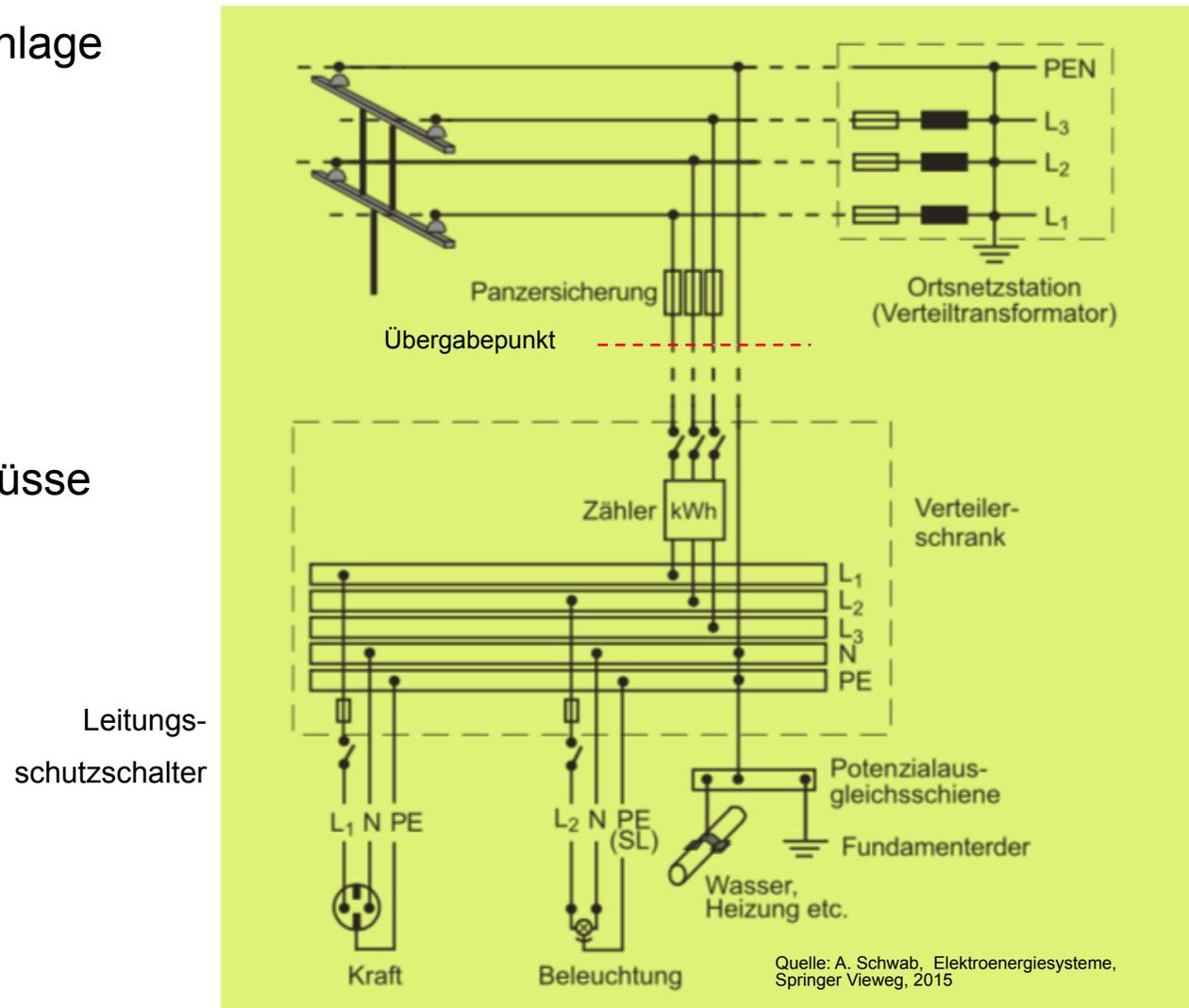
Schaltgeräte (Schalter)

- Sicherungen (Kurzschlussstrom)
- Lastschalter (Betriebsstrom)
- Leistungsschalter (Betriebsstrom und Kurzschlussstrom)
- Trennschalter (Spannung)
- Kombinationen (z.B. Last-trennschalter mit Sicherung)

# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

## Niederspannungsschaltanlage

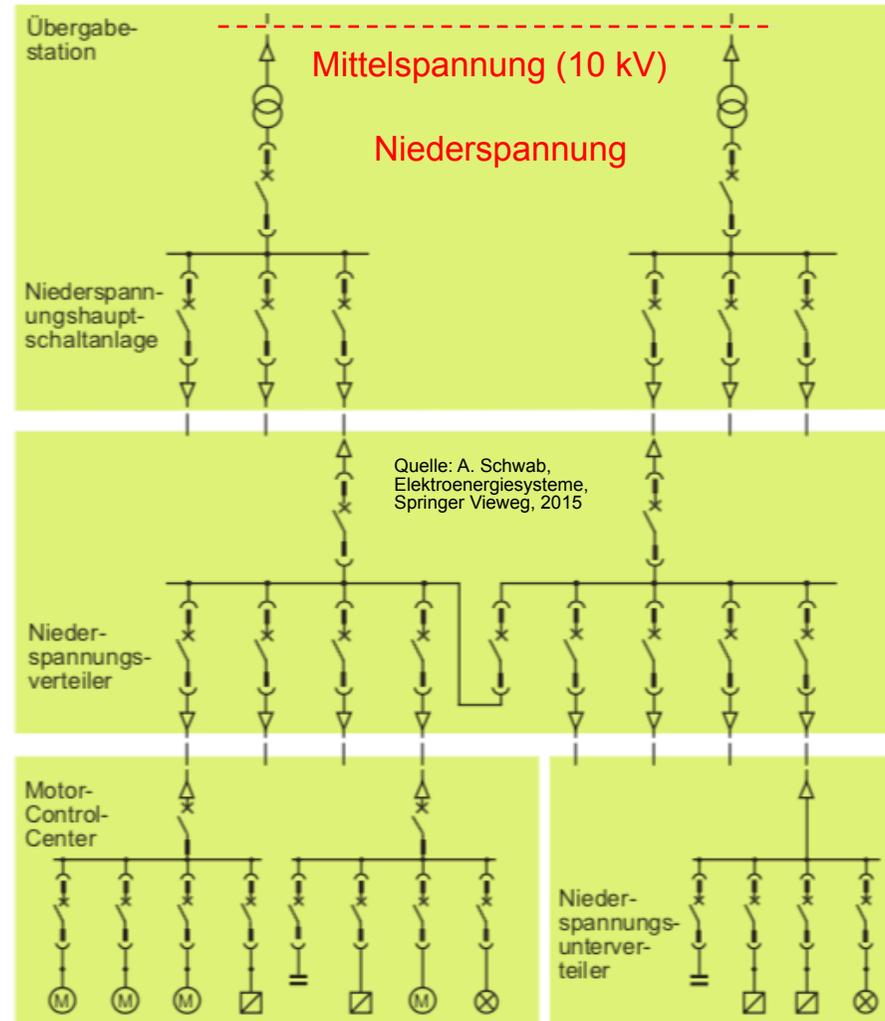
- Sicherung
- Verteilerschrank:
  - Schalter
  - Zähler
  - Sammelschienen
  - gesicherte Anschlüsse
- Erdung



# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

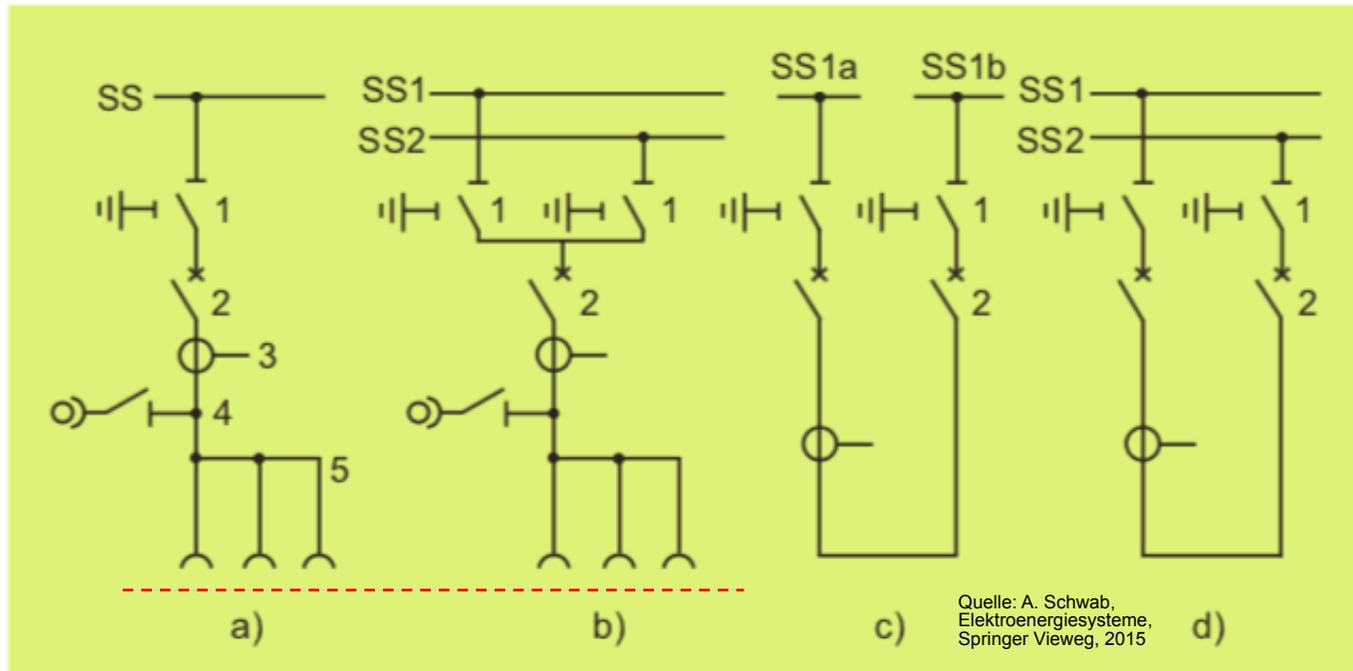
## Niederspannungsschaltanlage in der Industrie

- Übergabestation in der Mittelspannung
- Baumstruktur:
  - Hauptschaltanlage
  - Verteiler
  - Motoren
  - Unterverteiler
- Betriebsströme bis 6300 A



# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

## Mittelspannungsschaltanlagen (10 kV, 20 kV)



1. Sammelschienen-trenner mit Erdungs-kontakt
2. Leistungsschalter \*)
3. Stromwandler \*\*)
4. Spannungswandler \*\*)
5. Abzweige für Abgänge bzw. Einspeisung \*\*\*)

\*) zentrale Komponente des Schaltfeldes

\*\*) Auslösesignale für Schutzgeräte

\*\*\*) mit zusätzlichem Erdungstrennschalter

## Schaltfelder mit Sammelschienen und Abzweigen

a) Einfachsammelschiene

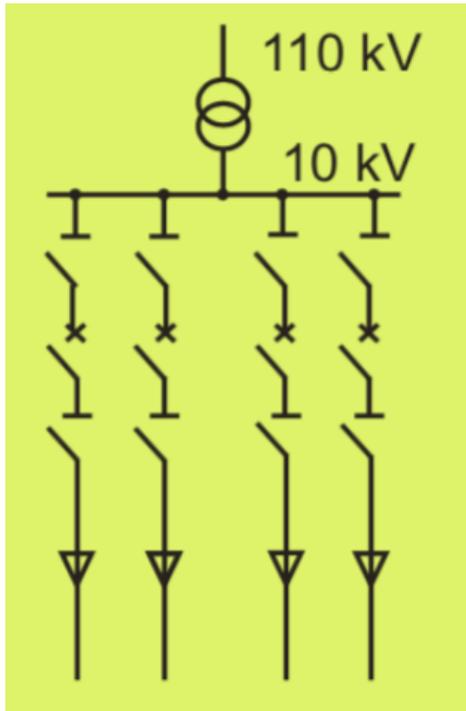
b) Doppelsammelschiene

c) Längskupplung

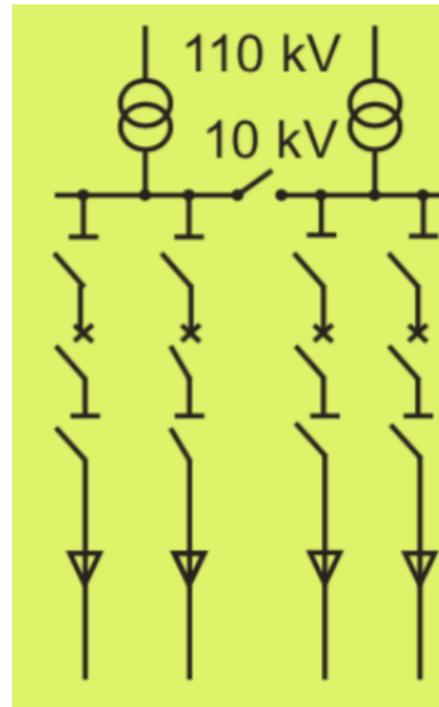
d) Querkupplung

# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

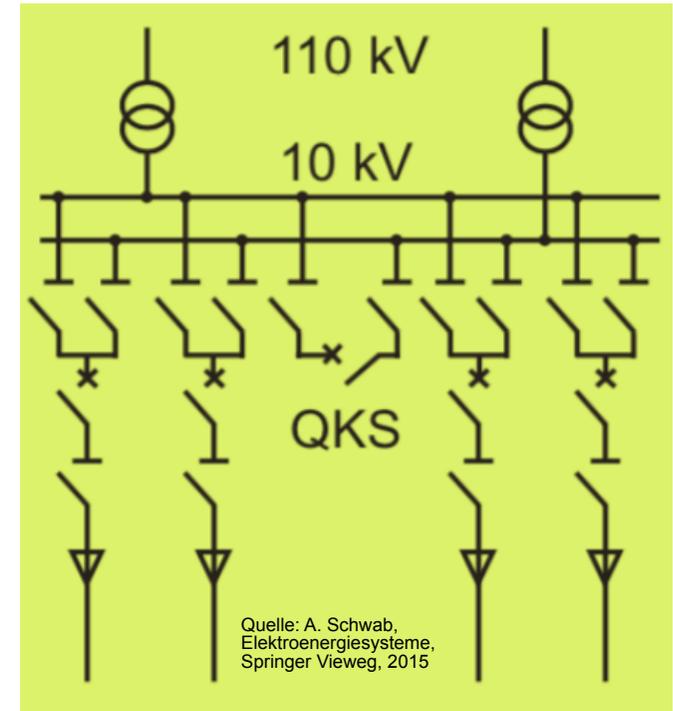
## Mittelspannungsschaltanlage in 110 kV / 10 kV Umspannstationen



Einfachsammelschiene  
mit einer Einspeisung



Unterteilte Einfachsammel-  
schiene mit zwei Einspeisungen,  
gegen Einfachfehler zum Teil  
abgesichert

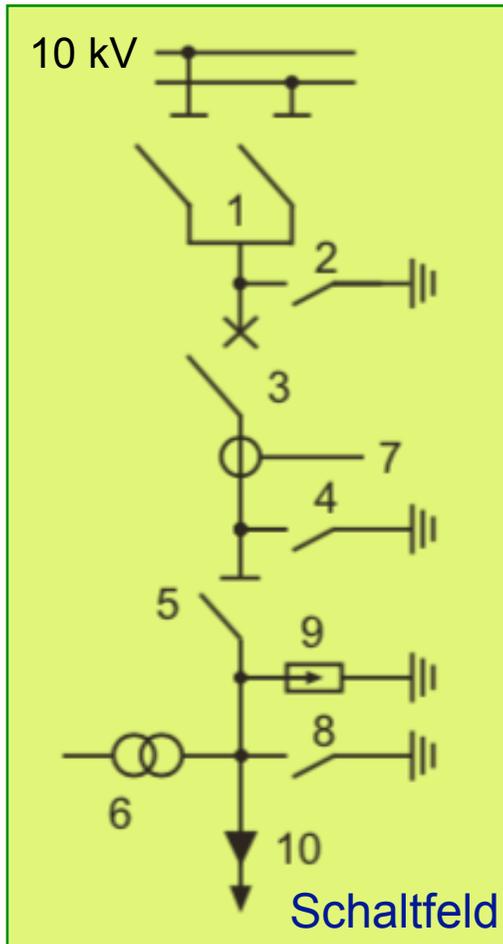


Doppelsammelschiene mit zwei  
Einspeisungen und Querkuppelungs-  
schalter (QKS), gegen Einfachfehler  
abgesichert

Quelle: A. Schwab,  
Elektroenergiesysteme,  
Springer Vieweg, 2015

# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

## Mittelspannungsschaltanlage – Abgangsfeld einer Schaltanlage

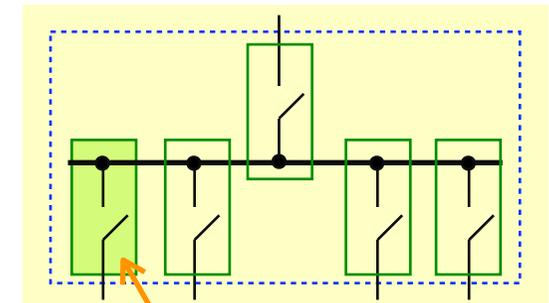


### Doppelsammelschiene

1. Sammelschienenentrenner
2. Erdungsschalter
3. Leistungsschalter
4. Erdungsschalter
5. Abgangstrennschalter
6. Spannungswandler
7. Stromwandler
8. Erdungsschalter
9. Überspannungsableiter
10. Endverschluss des Abgangskabels

Quelle: A. Schwab, Elektroenergiesysteme, Springer Vieweg, 2015

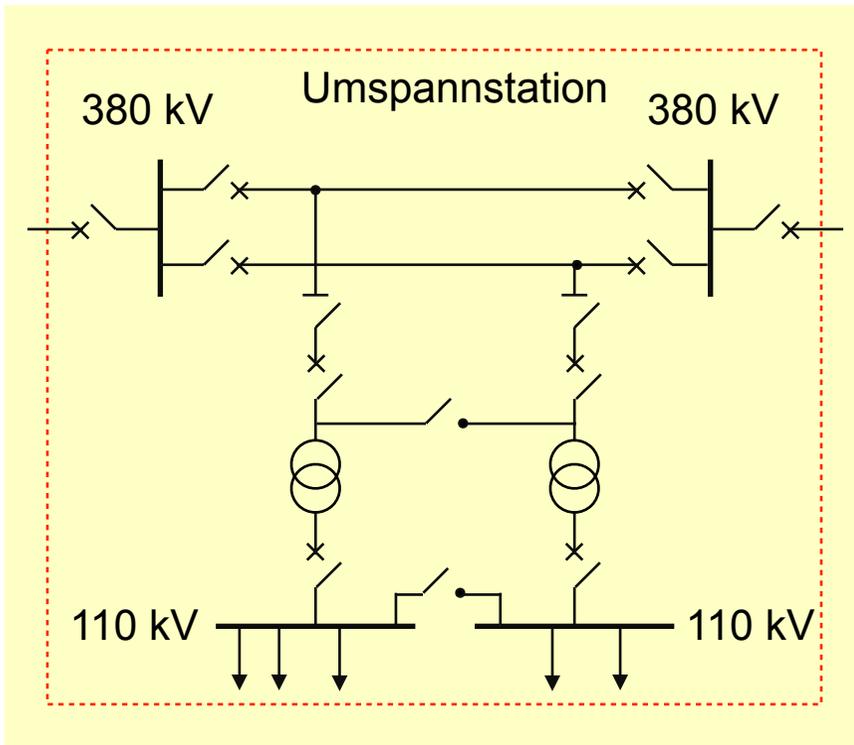
### Schaltanlage



Schaltfelder

# Überblick: Umspannwerk - Schaltanlagen

Hochspannungsschaltanlage mit zweifach gespeistem Lastschwerpunkt



Realisierung als

- Freiluftschaltanlage (Land)
- Gekapselte Schaltanlagen für Innenraum-  
aufstellung

Hohe Ansprüche an die Versorgungssicherheit

- Mehrfache Komponenten
- Umschaltmöglichkeiten im Fehlerfall

Grundsätzlich ähnlicher Aufbau wie Mittel-  
spannungsanlagen

- Höhere Isolationsabstände
- Schaltfelder
- Abzweige für Einspeisung und Abgänge

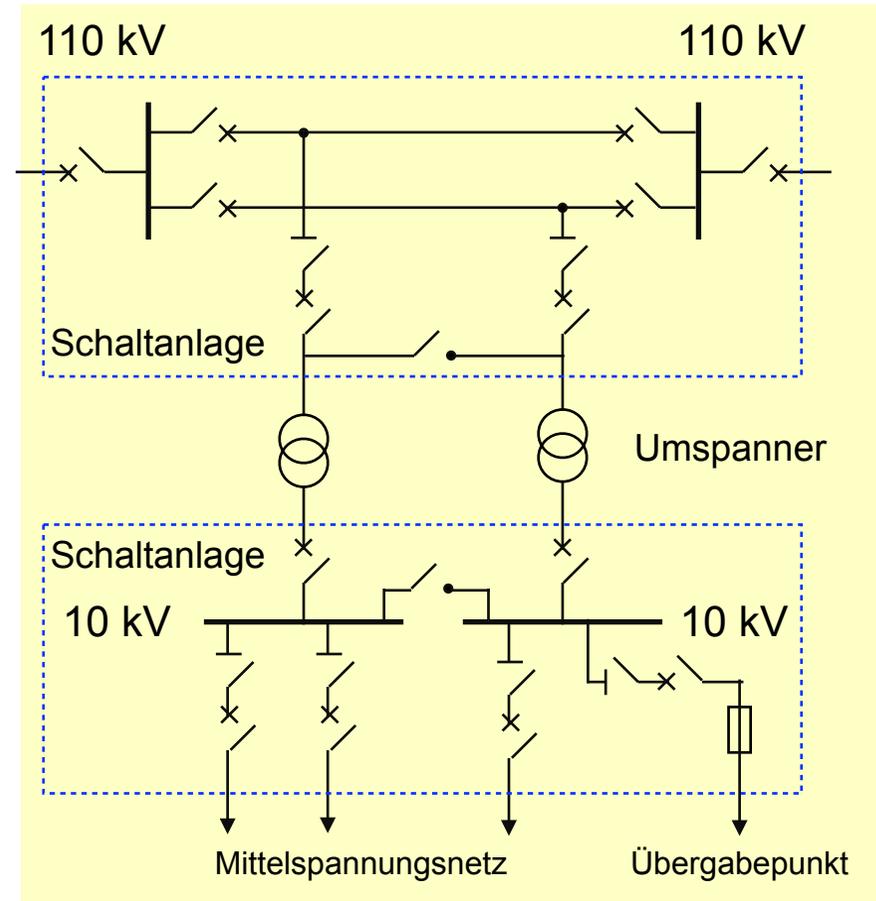
# Überblick: Umspannwerk

## Umspannstation

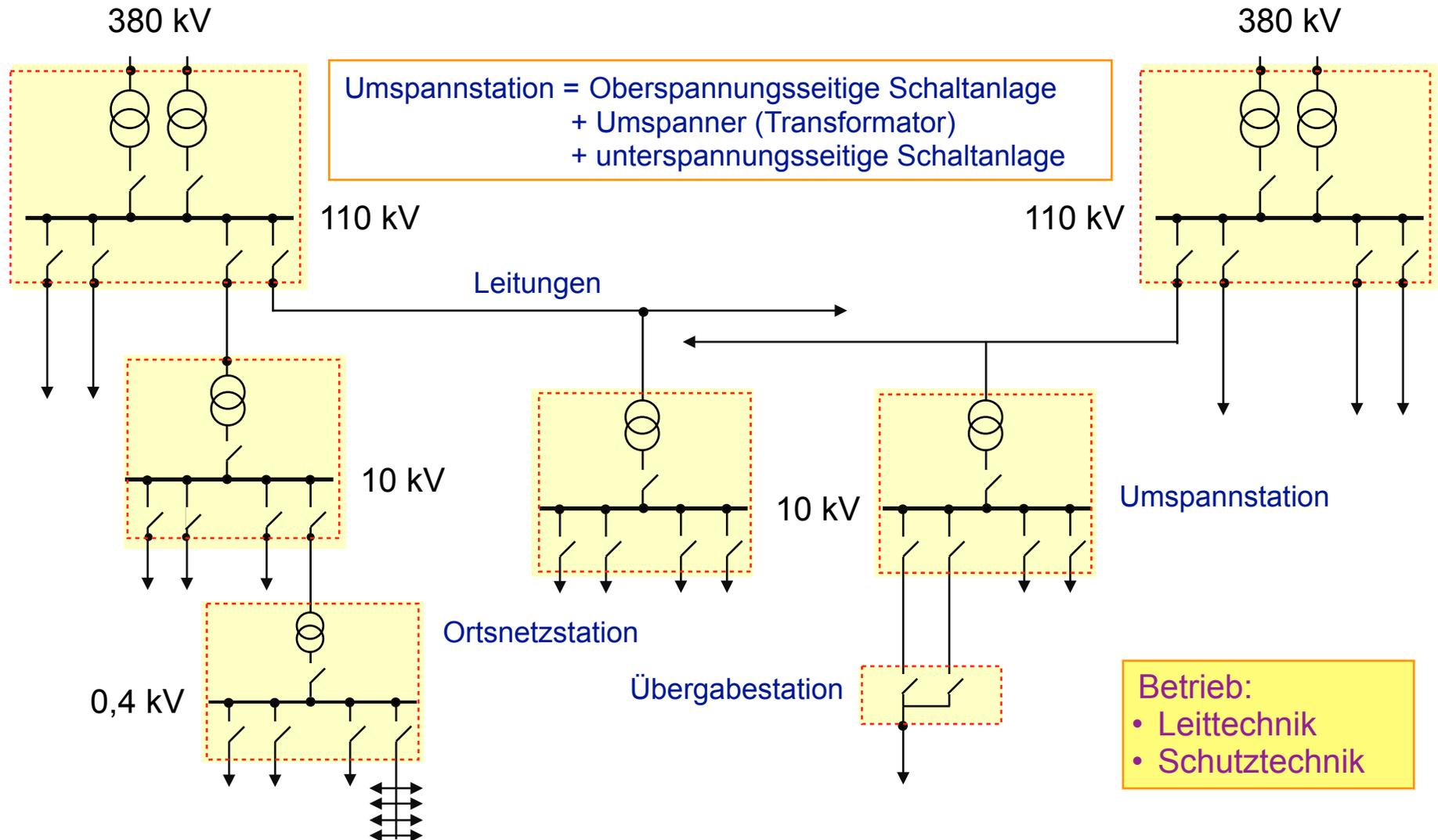
1. Oberspannungsseitige Schaltanlage
2. Transformator (Umspanner)
3. Unterspannungsseitige Schaltanlage

### Beispiele:

- Ortsnetzstation: Übergabepunkte sind Anschlüsse in der Niederspannung
- Übergabestation: Übergabepunkt in der Mittelspannung
- 110 kV Umspannwerk
- 380 kV Umspannwerk



# Überblick: Netz



## Netzleittechnik

- Überwachung, Schalthandlungen und Datenerfassung
  - für den Schichtplan
  - für den Leistungsausgleich
  - für Entstörmaßnahmen und Arbeiten im Werk
  - mit Verriegelung gegen unerlaubte Schaltungen (vgl. Stellwerk der Bahn)
- Netzleitsystem
- Stationsleitreechner bzw. Kraftwerke

Bewusste  
Entscheidungen

## Stationsleittechnik

- Steuerbefehle (Schalthandlungen)
- Regelbefehle (Vorgaben für Regler)
- Meldungen und Messungen (Überwachung)
- Stationsleitreechner:
  - Kommunikation über Feldbus zu den Schaltfeldern bzw. abgesetzten Schaltgeräten
  - Kommunikation über Stationsbus nach außen

➔ Sekundärtechnik (automatisiert)

## Netzschutz

- Überspannungsschutz:
  - Isolationskoordination, Überspannungsableiter
  - ➔ Primärtechnik (physikalisch gelöst, nicht automatisiert)
- Schutztechnik:
  - Schutz vor Überströmen und nicht normalen Betriebszuständen
    - Fehlererkennung
    - Warnungen (z.B. bei zeitweiliger Überlastung)
    - Automatische Korrekturmaßnahmen (z.B. bei Kurzschlüssen)
    - Verriegelung gegen Fehlbedienungen
  - Selektiv: trennt fehlerhafte Komponenten im laufenden Betrieb
  - Erfordert Sensoren, Aktoren und Steuergerät (vgl. Bordcomputer, Schienenfahrzeuge)
  - Kommunikation über Feldbus bei abgesetztem Steuergerät
  - ➔ Sekundärtechnik (automatisiert bzw. über Sensor und Schutzrelais zur Auslösung am Leistungsschalter)



vegetatives  
Nervensystem

## Schutzkonzepte

- **Selektivität** z.B. durch gestaffelte Sicherungen im Strompfad (160 A -> 63 A -> 16 A)
- **Mehrfache Absicherung** z.B. durch vorgelagerte Sicherung und Leistungsschalter bzw. durch kaskadierte Leistungsschalter mit abnehmender Reaktionszeit

## Schutzprinzipien

- **Überstromschutz**: Stromstaffelung, Zeitstaffelung, Kombination (AMZ-Relais, UMZ-Relais), mit automatischer Wiedereinschaltung (AWE) bzw. Kurzunterbrechung (KU) zur Fehlerklärung, mit Richtungskriterium bei Mehrfachspeisung, ...
- **Distanzschutz**: Auslösung bei Impedanzänderungen durch Kurzschluss, zeitlich gestaffelt, mit Überstromanregung für nahe Fehler, Reserveschutz für ferne Fehler, Unterimpedanzanregung für Fehler bei Schwachlast
- **Differenzialschutz** (Vergleichschutz): FI-Sicherung, Erkennen von Fehlerströmen durch Vergleich der Summenströme an Eingängen und Ausgängen, Phasenvergleichsschutz
- **Erdschlussschutz**: Messung von Erdschlussstrom und Verlagerungsspannung ohne Schutzauslösung, Messung von Zündvorgängen zur Fehlerortbestimmung.

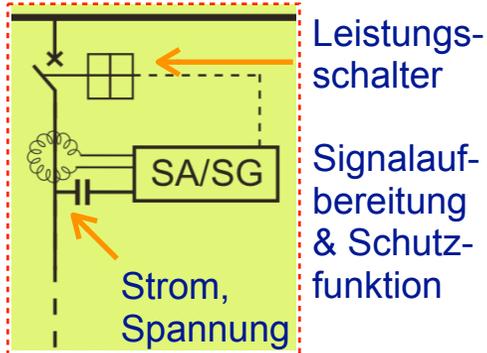
Legende:

AMZ: abhängiger **M**aximalstromzeitschutz

UMZ: unabhängiger **M**aximalstromzeitschutz

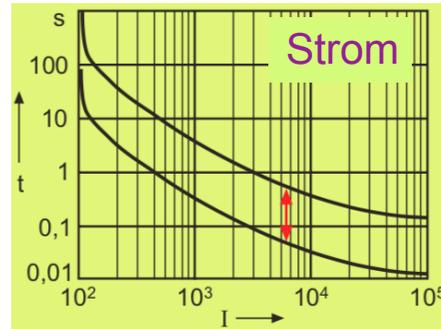
# Überblick: Schutztechnik

## Schutzgeräte (1)

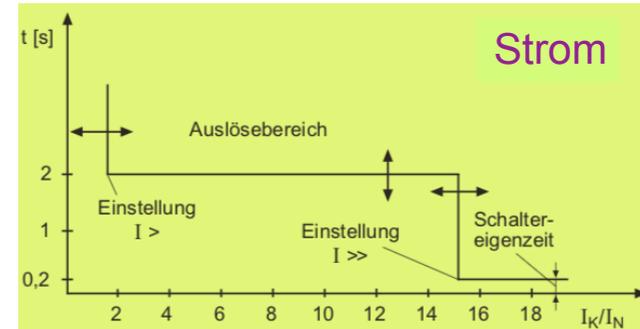


digitales Schutzrelais

## Überstromschutz

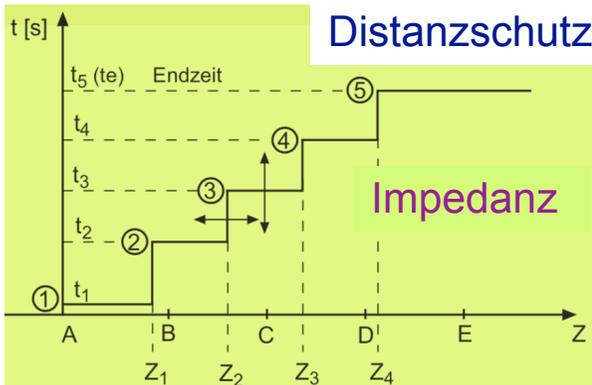


parametrisierbare Kennlinie (AMZ)



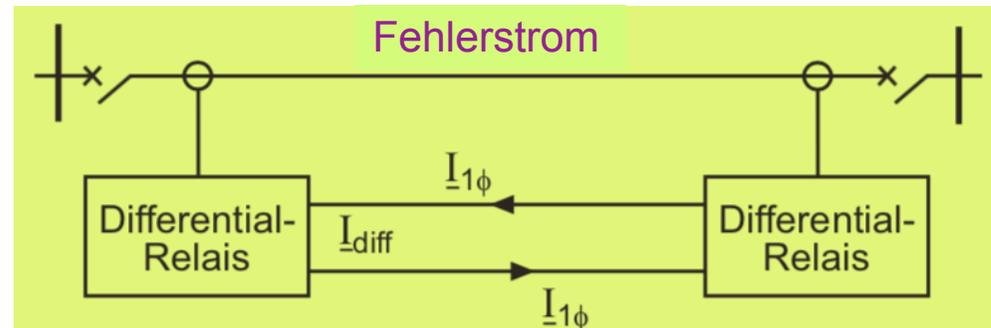
parametrisierbare Kennlinie (UMZ)

Quelle: A. Schwab,  
 Elektroenergiesysteme,  
 Springer Vieweg, 2015



parametrisierbare Kennlinie (Distanzschutz)

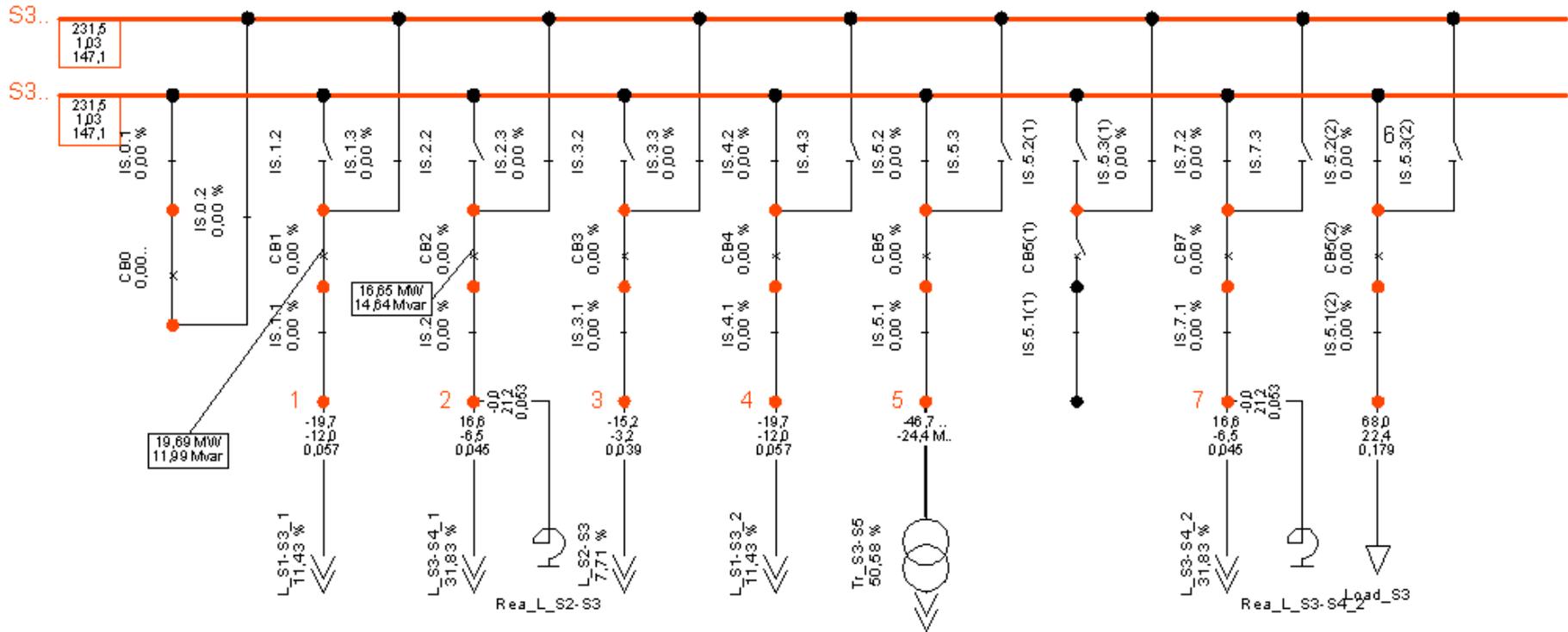
## Differenzialschutz



Eingangsstrom = Ausgangsstrom, andernfalls Fehlerströme

# Überblick: Lastfluss

## Beispiel: Auslastung einer Schaltanlage



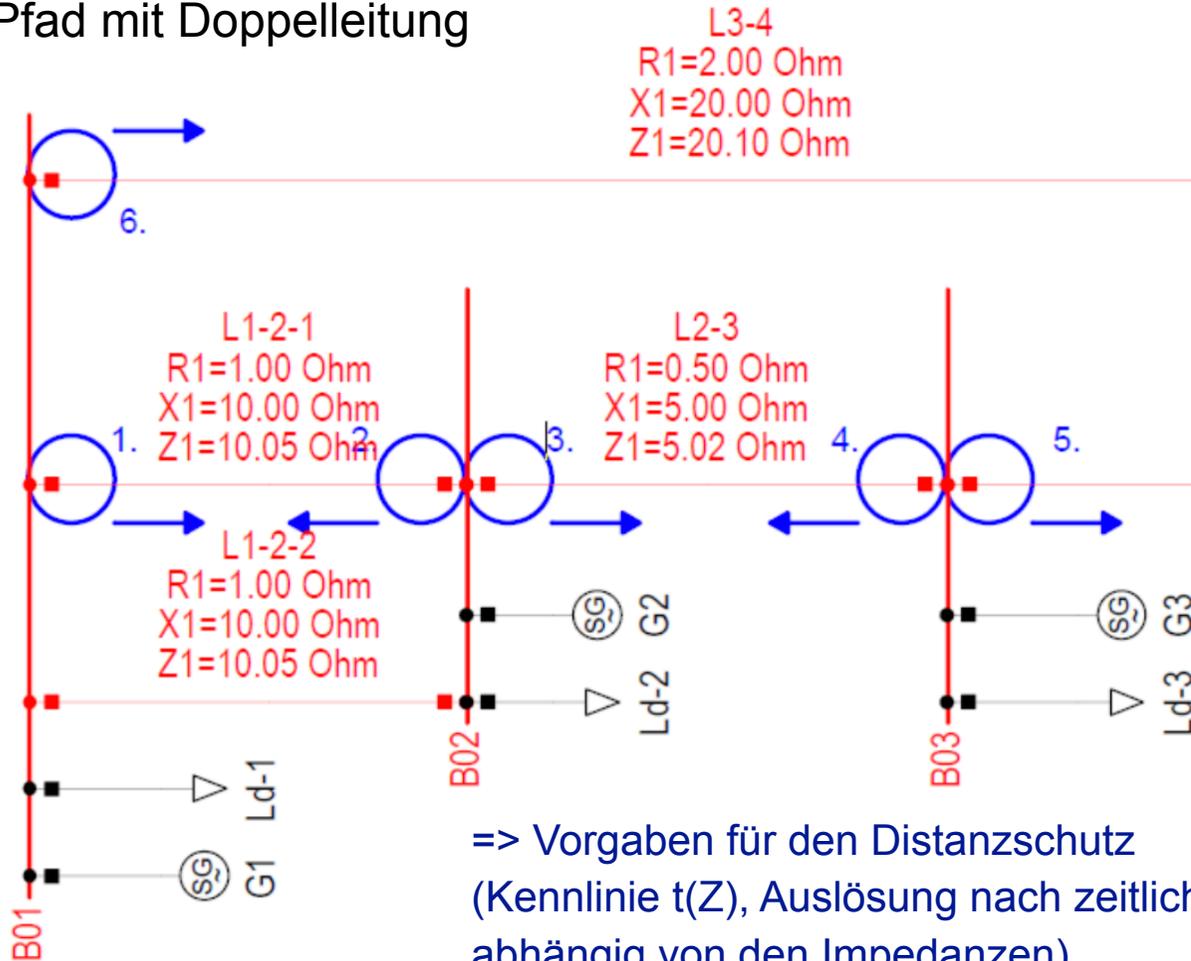
Sammelschiene: Spannung [kV], [pu] und Phasenwinkel  $\varphi_u$

Abzweige: Wirkleistung P [MW], Blindleistung Q [MVar], Strom I [kA]

Quelle: Digsilent PowerFactory, Planungs- und Analysewerkzeug für Netze

# Überblick: Distanzschutz

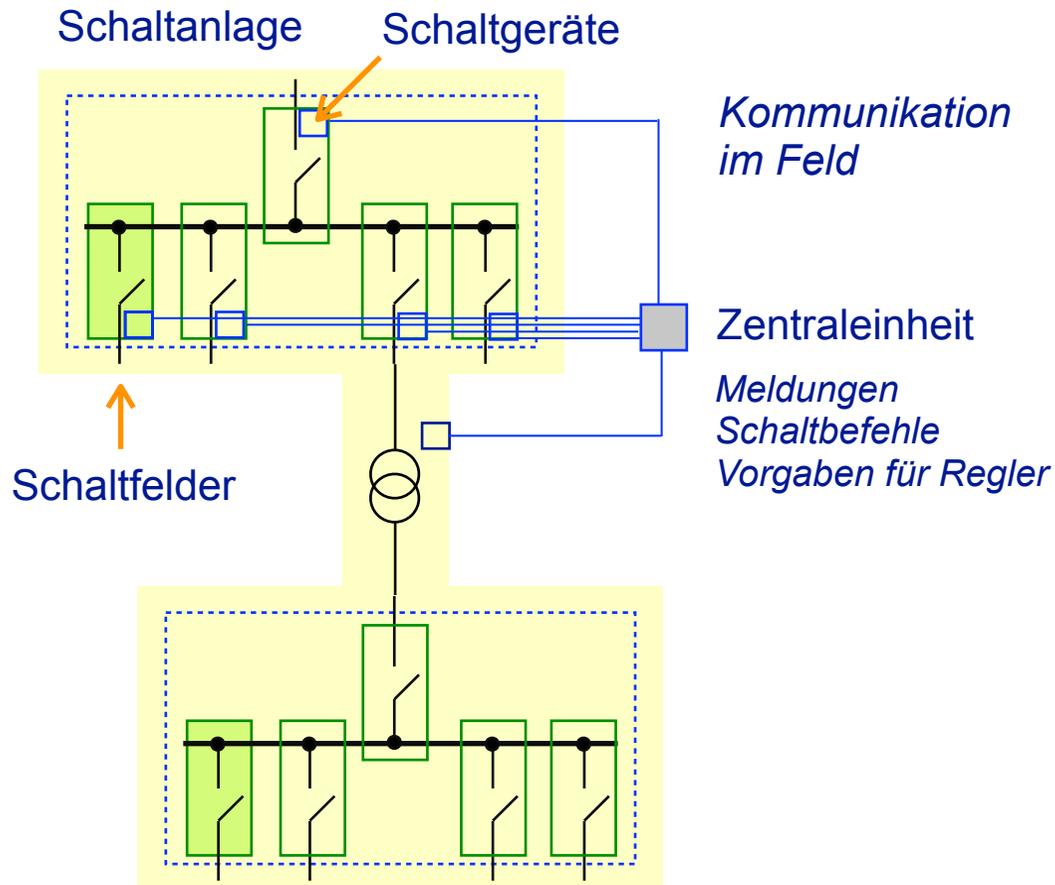
## Beispiel: Pfad mit Doppelleitung



Quelle: Digsilent PowerFactory, Planungs- und Analysewerkzeug für Netze

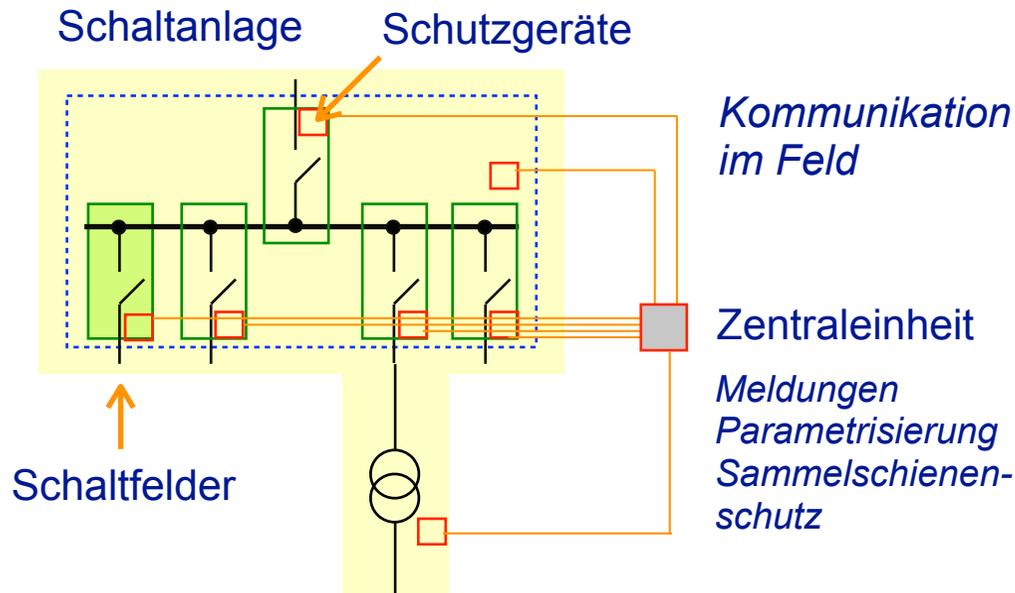
=> Vorgaben für den Distanzschutz  
 (Kennlinie  $t(Z)$ , Auslösung nach zeitlicher Staffel  
 abhängig von den Impedanzen)

- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?



## Leitgeräte im Feld:

- Feldrechner
  - in den Schaltfeldern (10 kV)
  - bzw. abgesetzt (110 kV)
- Schalthandlungen
- Spannungsregler (Transformator)
- lokale Bedieneinheiten
- Schnittstelle zur Fernbedienung
- Prozesszustand von Feld durch Befehlskontakte und Rückmeldekontakte
- Antriebe und Hilfsbetriebe
- Messwerte
- Datenerfassung
- Schaltverriegelung
- ...



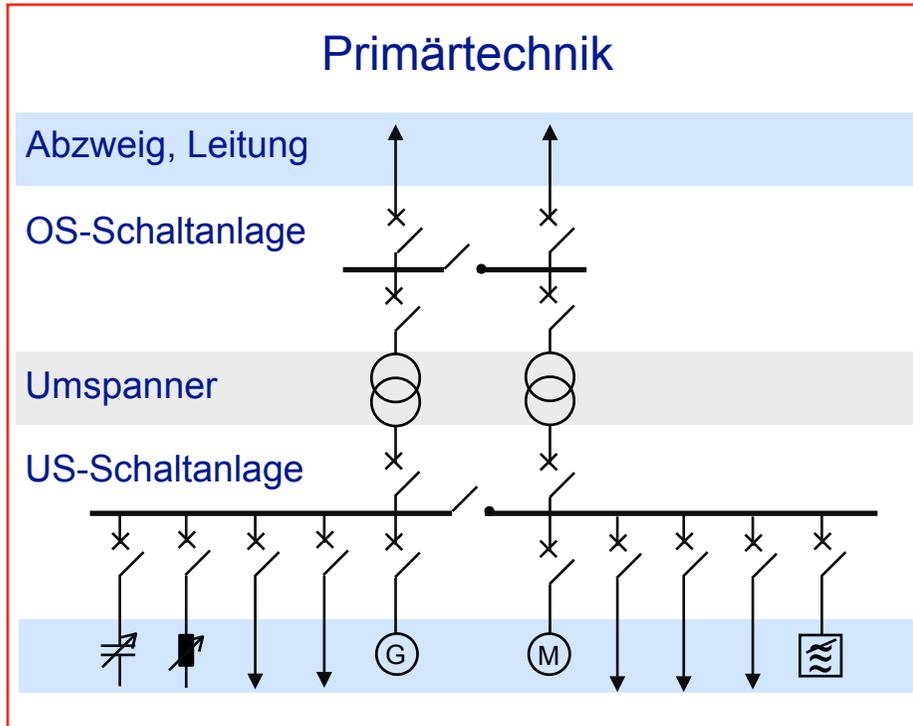
## Sekundärtechnik:

- Bedienungs- bzw. Leittechnik
- Schutztechnik
- benötigt Hilfsenergie (Spannungsversorgung\*)

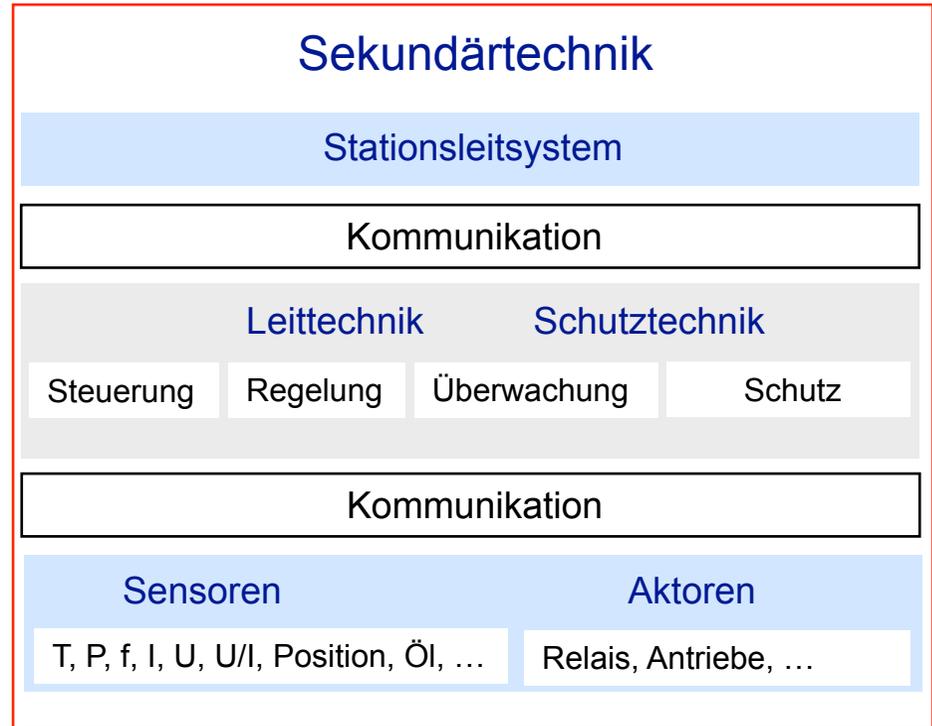
## Schutzgeräte im Feld:

- Überstromschutz
- Distanzschutz
- Differenzialschutz
- Automatische Wiedereinschaltung (Kurzunterbrechung)
- Erdschlussschutz
- Überlastschutz
- Spannungsmessung
- Frequenzmessung
- Buchholzrelais (Transformator)
- Sammelschienenenschutz
- ...

\*) analoges Schutzrelais: Stromwandler mit Bimetall => Primärtechnik



*Betriebsmittel*

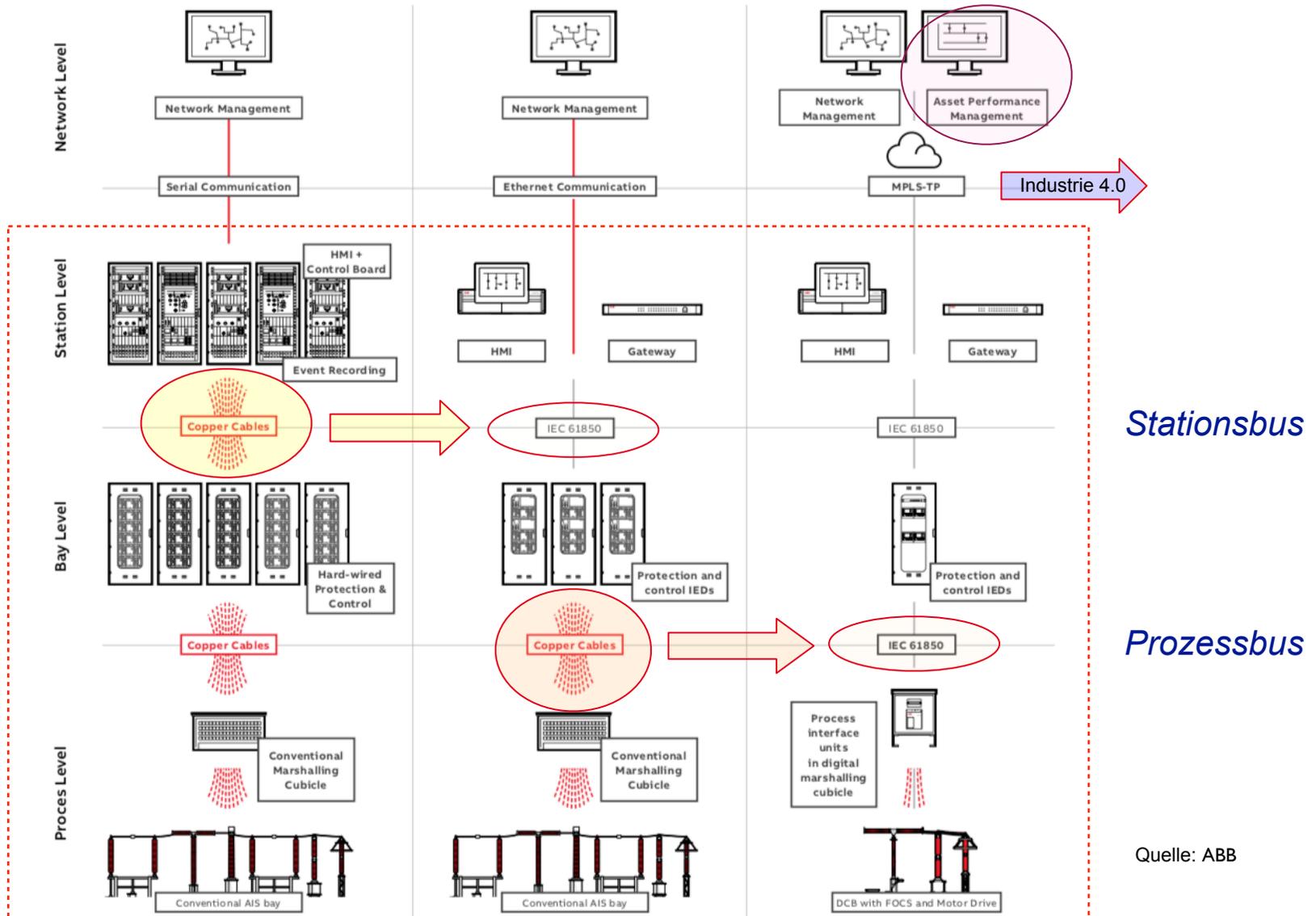


*Informations- und Kommunikationstechnik*

- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

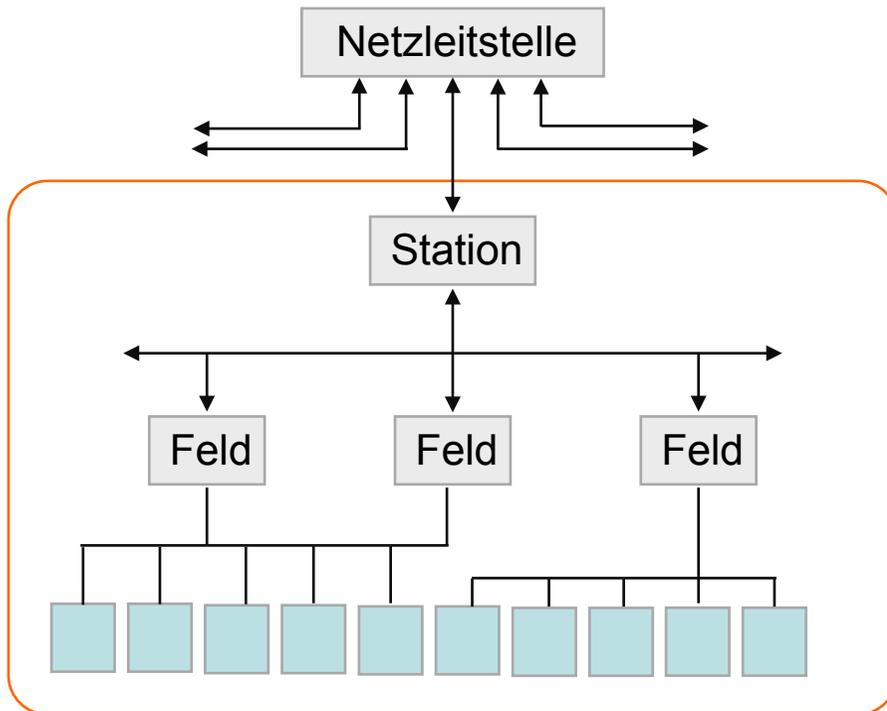
# Anbindung über Feldbus

Umspannstation



Quelle: ABB

# Anbindung über Feldbus



Netzleitebene

zu anderen Schaltanlagen

Stationsleitebene Leitrechner

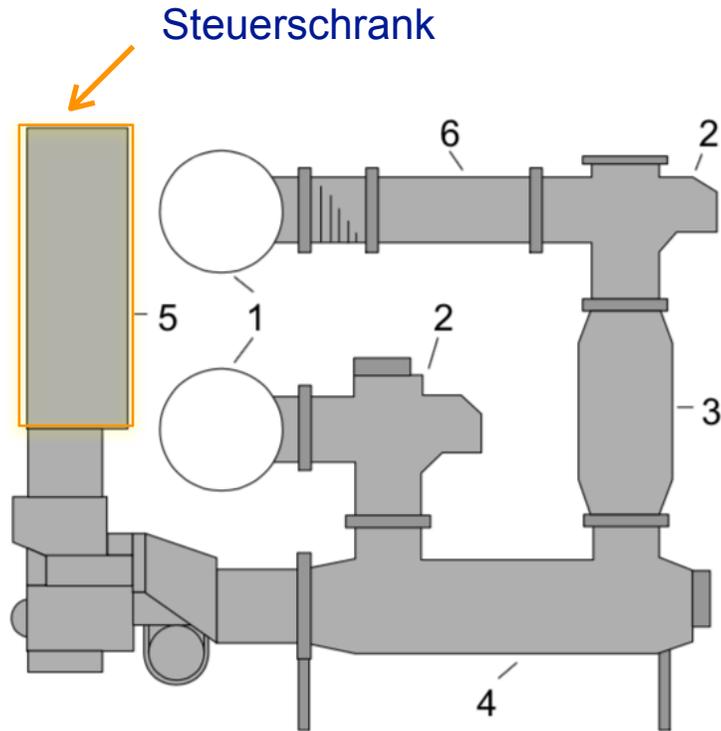
*Stationsbus* ➔ *IEC 61850*

Feldebene Steuerschrank

*Prozessbus* ➔ *IEC 61850*

Prozessebene Sensoren, Aktoren

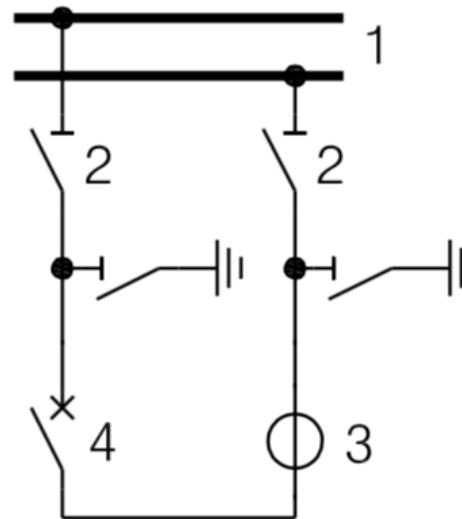
# Anbindung über Feldbus - Schaltfeld



Schaltfeld (Querkupplung)

Quelle: K Heuck, Elektrische Energieversorgung, Vieweg + Teubner, 2010

## Schaltfeld: Querkupplung in GIS (Gasisolierter Schaltanlage)



Schaltplan

Prozessebene:

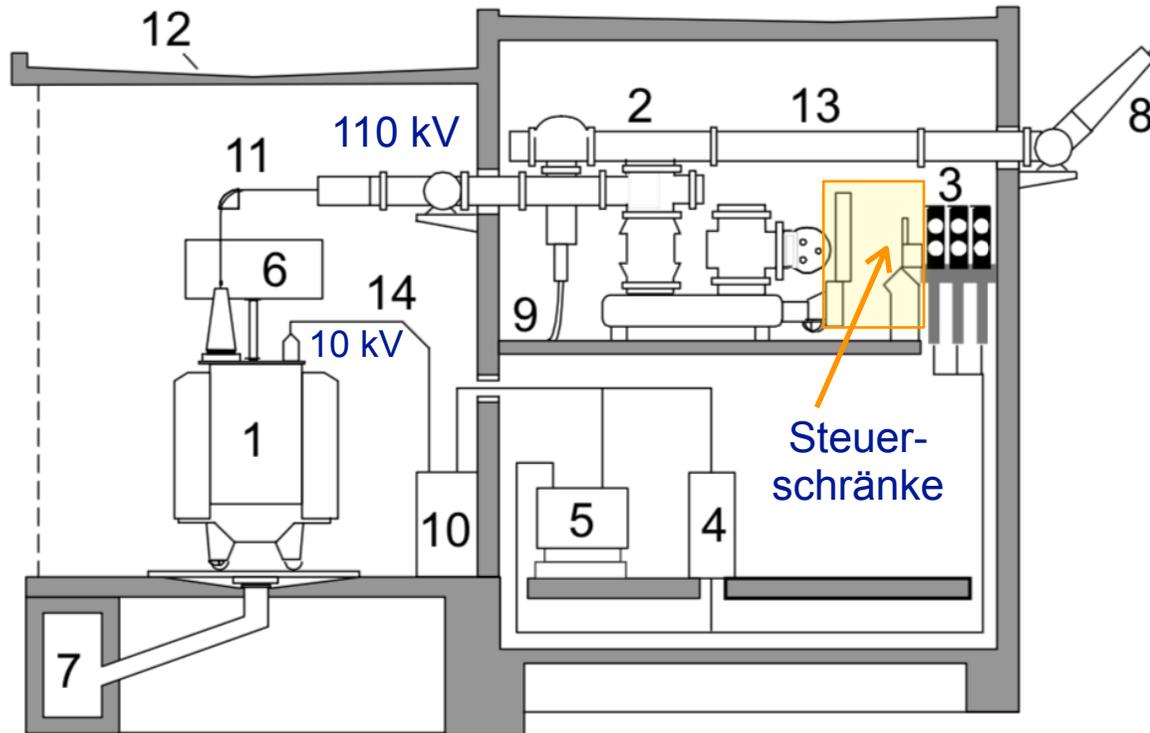
- Trennschalter
- Leistungsschalter
- Stromwandler

Feldebene:

- Steuerschrank

- 1) Sammelschienen
- 2) Sammelschientrennschalter mit Arbeitserder
- 3) Stromwandler
- 4) Leistungsschalter
- 5) Steuerschrank
- 6) Durchgangsmodule

# Anbindung über Feldbus - Umspannstation



## Schaltanlagen

- 110 kV
- 10 kV

## Prozessebene:

- Sensoren und Aktoren

## Feldebene:

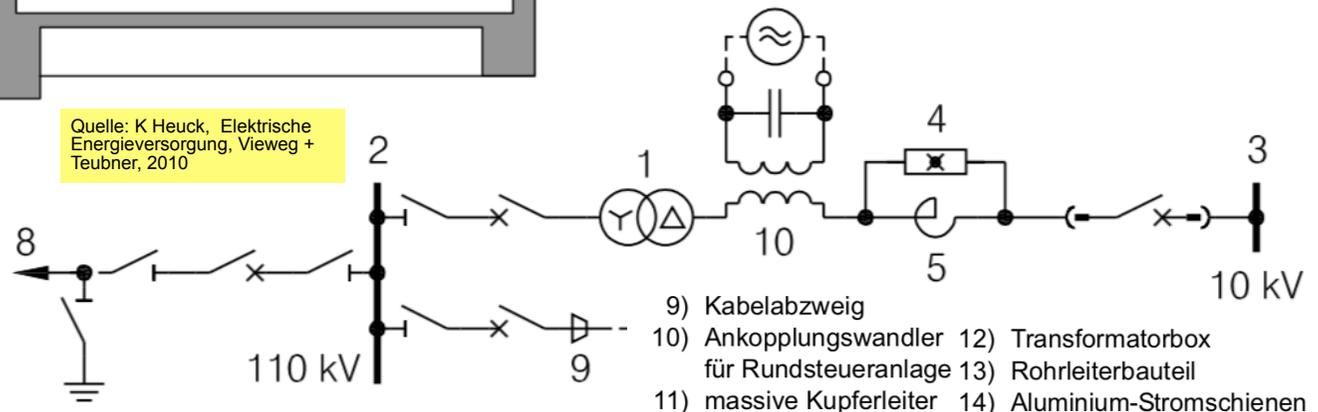
- Steuerschränke

## Stationsebene:

- Stationsrechner/Leitsystem

- 1) 50-MVA-Transformator
- 2) SF<sub>6</sub>-Schaltanlage 110 kV
- 3) SF<sub>6</sub>-Schaltanlage 10 kV
- 4) I<sub>s</sub>-Begrenzer
- 5) Drosselspule
- 6) Ölausdehnungsgefäß
- 7) Ölauffangkanal
- 8) Freileitungsanschluss

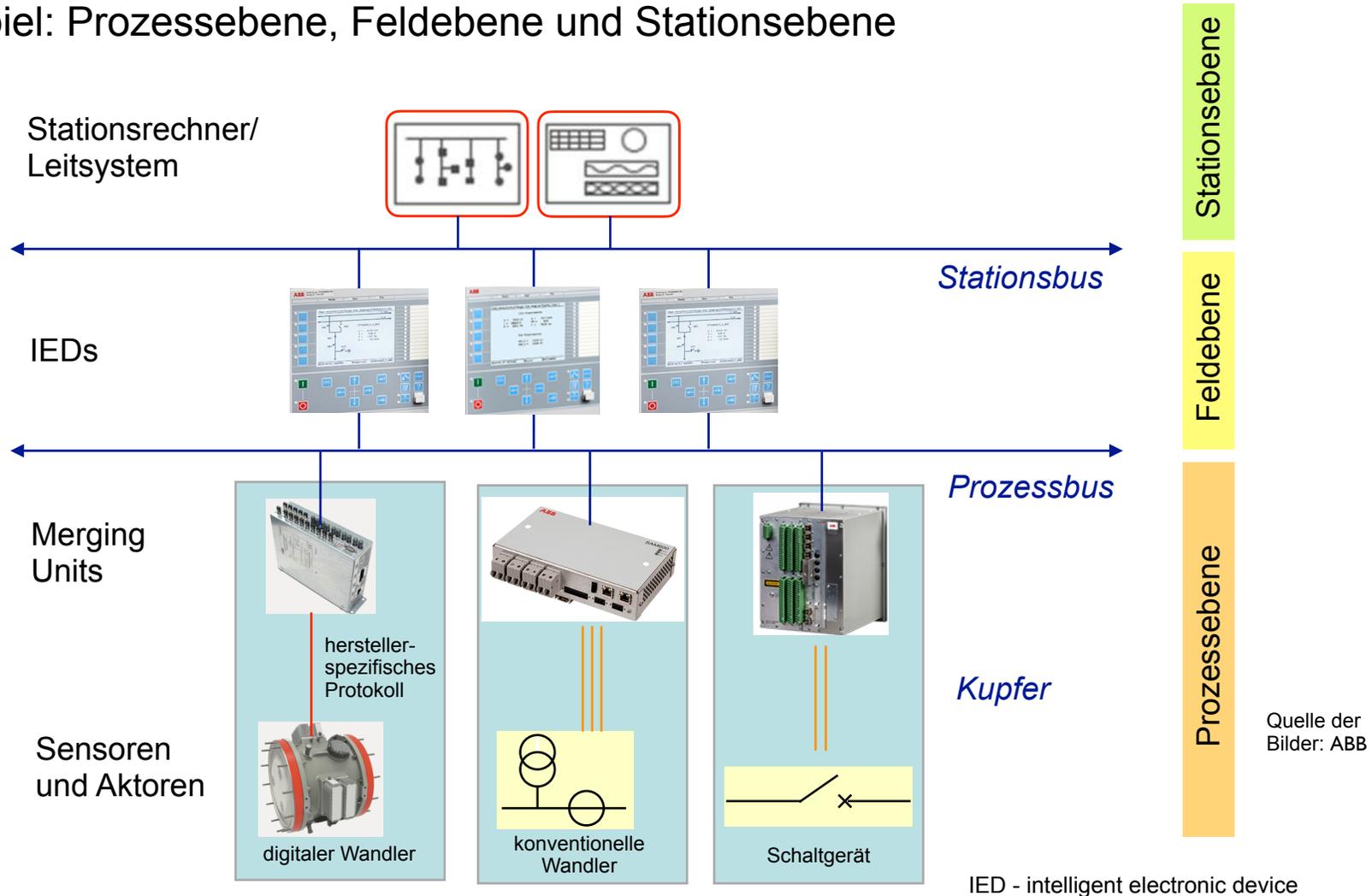
Quelle: K Heuck, Elektrische Energieversorgung, Vieweg + Teubner, 2010



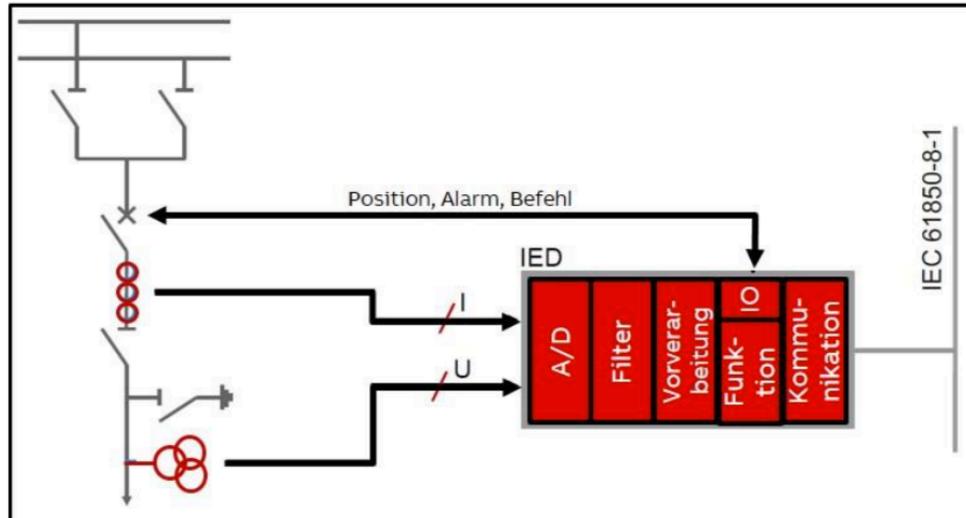
- 9) Kabelabzweig
- 10) Ankopplungswandler
- 11) massive Kupferleiter
- 12) Transformatorbox für Rundsteueranlage
- 13) Rohrleiterbauteil
- 14) Aluminium-Stromschienen

# Kommunikation über Feldbus

Beispiel: Prozessebene, Feldebene und Stationsebene



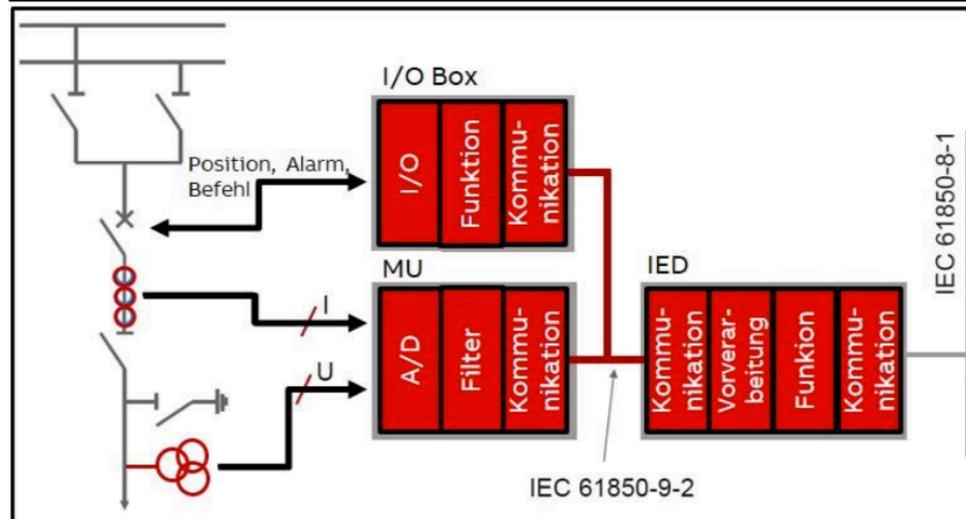
# Kommunikation über Feldbus



Beispiel:

- direkte Anbindung
- IEC 61850-8-1 als Feldbus

bzw.



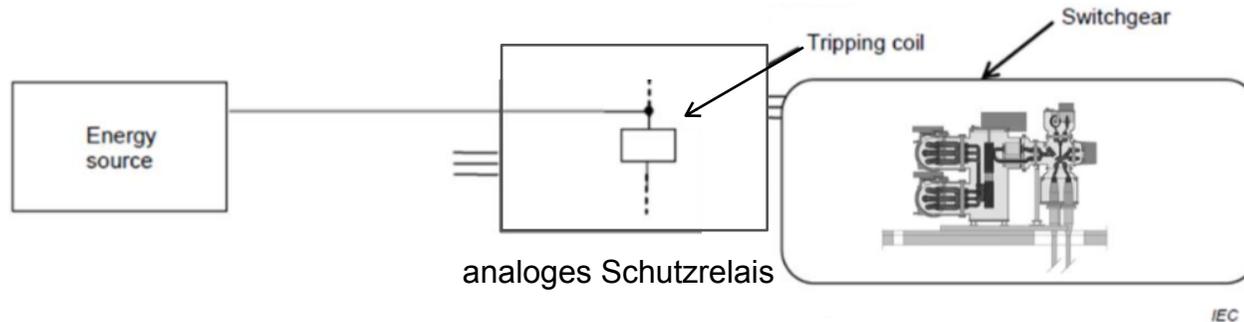
- Anbindung über Anschlussboxen
  - MU - Merging Units mit A/D-Wandlern
  - I/O -Boxen für digitale Ein- und Ausgänge

- IEC 61850-8-1 als Feldbus
- IEC 61850-9-2 für Messwerte

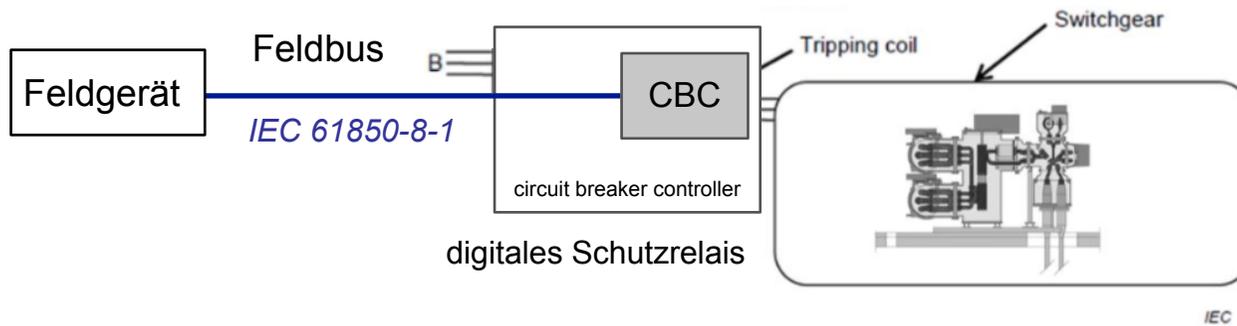
Quelle: ABB

# Kommunikation über Feldbus

Beispiel: Analoges und digitales Schutzrelais



Schalthandlung durch Erregung einer Spule



Schalthandlung durch Sendung einer Nachricht (IEC61850 GOOSE)

GOOSE: Generic Object Oriented Substation Event

Quelle: IEC 62271-3 High-voltage switchgear and controlgear: Part 3: Digital interfaces based on IEC61850

- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

# Kommunikation über Feldbus

## Vorteile der Kommunikation über IEC 61850?

- Strom- und Spannungsschnittstellen:
  - einfach
  - Betreiber arbeitet autonom
- Lösung mit Feldbus:
  - kompliziert
  - **Autonomie muss neu erlernt werden**
  - bessere Diagnoseabdeckung
  - Möglichkeit zur Automatisierung
- IEC 61850 als Feldbus:
  - einheitliches Protokoll (können alle Feldbusse)
  - einheitliches Datenmodell erleichtert die Interoperabilität
  - Möglichkeit zur automatisierten Konfiguration von Anlagen

# Kommunikation über Feldbus

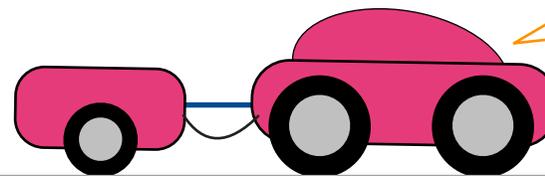
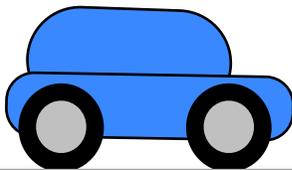
## Beispiel PKW

Baujahr bis 1990:

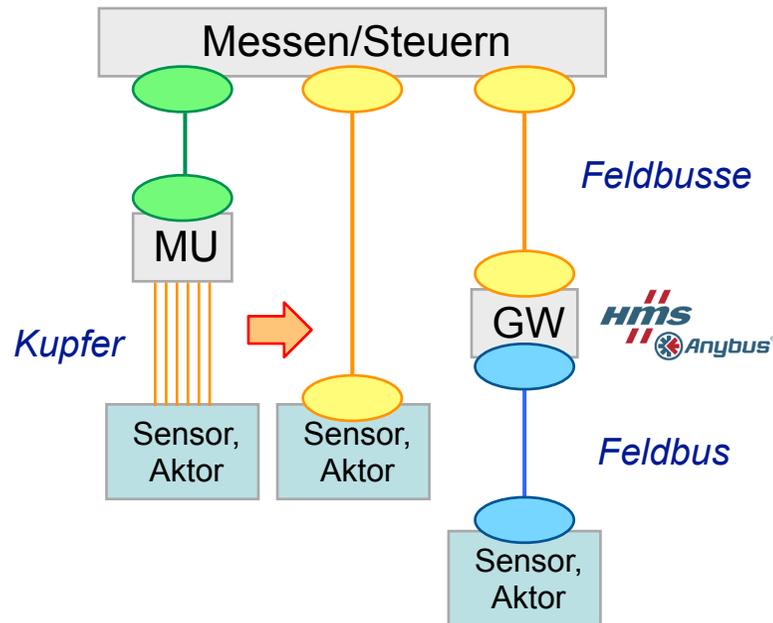
- einfach
- zum Teil selber zu reparieren
- keine Servolenkung
- keine elektrischen Scheibenheber
- keine Assistenzsysteme (ABS, ...)
- keine Mikrocontroller

Baujahr 2010:

- kompliziert
- unzugänglich, selbst Leuchtmittel schwer zu wechseln
- alles elektrisch und elektronisch
- über 50 Mikrocontroller in Mittelklassefahrzeugen
- alles über Feldbus und Bordcomputer



Warnung:  
Rückfahrleuchte am  
Anhänger defekt



MU: Merging Unit (Anschlussbox, I/O-Box)

GW: Gateway für Feldbus-Protokolle

## Feldbusprotokolle:

- lassen sich kombinieren
- jeweils zwei passende Enden erforderlich
- zunehmend intelligente Sensoren und Aktoren (Mikrocontroller plus serielle Leitung)
- Möglichkeit zum Einsatz von Gateways zur Übersetzung zwischen Protokollen

## Technische Basis:

- Traditionell: serielle Verbindungen (CAN-Bus, Modbus RTU, Profibus, ...)
- Stand der Technik: Netzwerkbasierte Protokolle (Modbus TCP, Profinet, EtherCAT, ...)

## Einsatzgebiete:

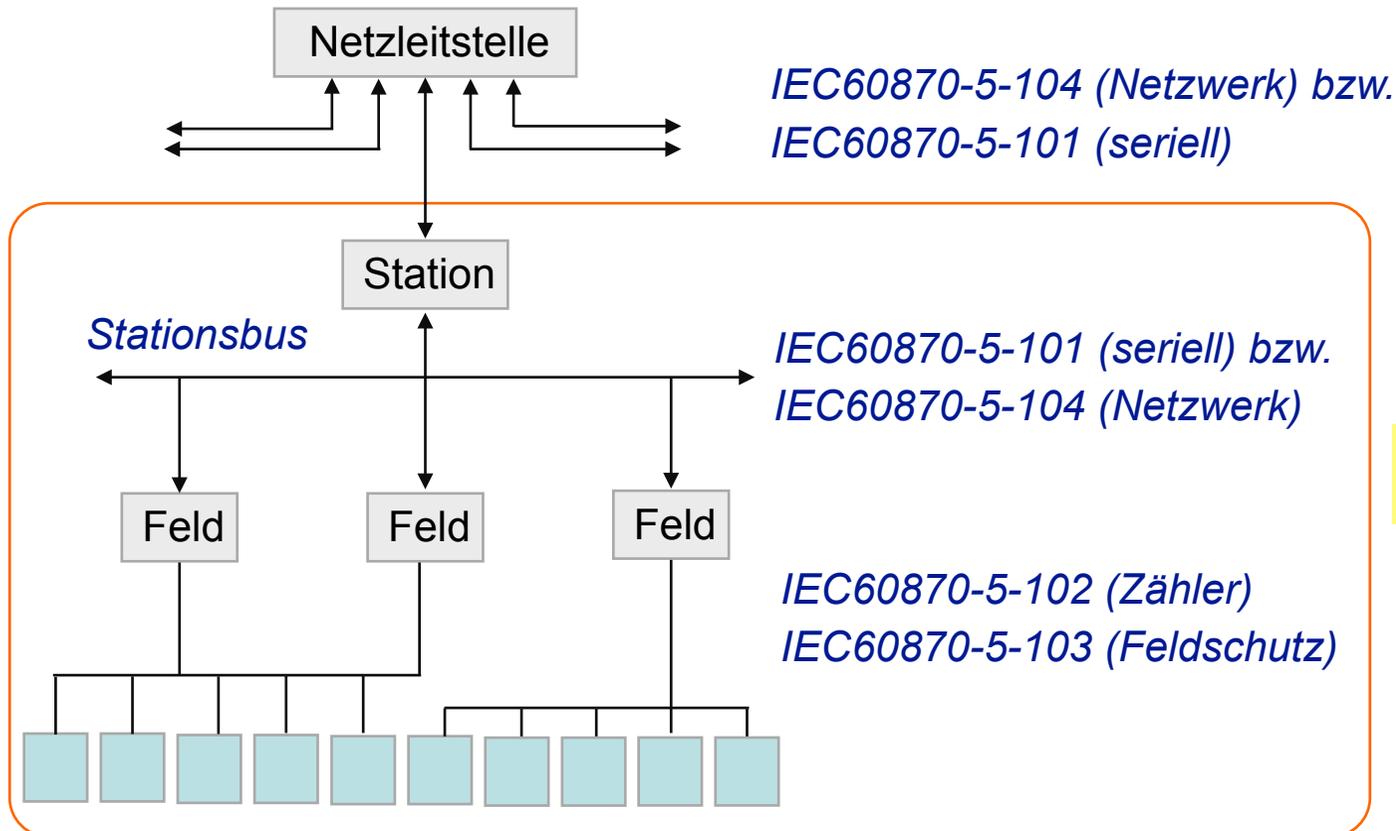
- Automation
- Schienenfahrzeuge, Flugzeuge
- Energieversorgung

# Beispiel: IEC 60870-5

## Feldbus IEC 60870-5 - Stationsbus in Schaltanlagen

- Als Fernwirkprotokoll seit 1988 etablierter **serieller Bus** zur Kommunikation zwischen Steuergeräten in Schaltanlagen und der Leittechnik.
- **Reines Feldbus-Protokoll (signalorientiert, ohne Datenmodell)**
- IEC60870-5-104: **netzwerkbasierte Version** (Ethernet, TCP/IP), ab 2000
- Weitere relevante Spezifikationen:
  - IEC60870-5-101: Rahmenspezifikation für den seriellen Bus
  - IEC60870-5-102: Erweiterung für die Übertragung von **Zählerständen**
  - IEC60870-5-103: Erweiterungen für **Schutzgeräte**
- Transportierte Informationen:
  - Zustände und Steuerbefehle für Schaltanlagen, sowie Gas- und Wassernetz
  - Signalorientiert: Nachrichtenformate für Meldungen und Steuerinformationen, sowie zur Verwaltung der Schnittstelle (Quittungen, Fehlerindikationen, Prüfsummen, ...), Geräteadressen
  - Netzwerkbasierter Version: Verwendung von MAC Adressen bzw. IP-Adressen

# Beispiel: IEC 60870-5



Vergleich serieller Bus und netzwerkbasierter Bus?

# Beispiel: IEC 61850

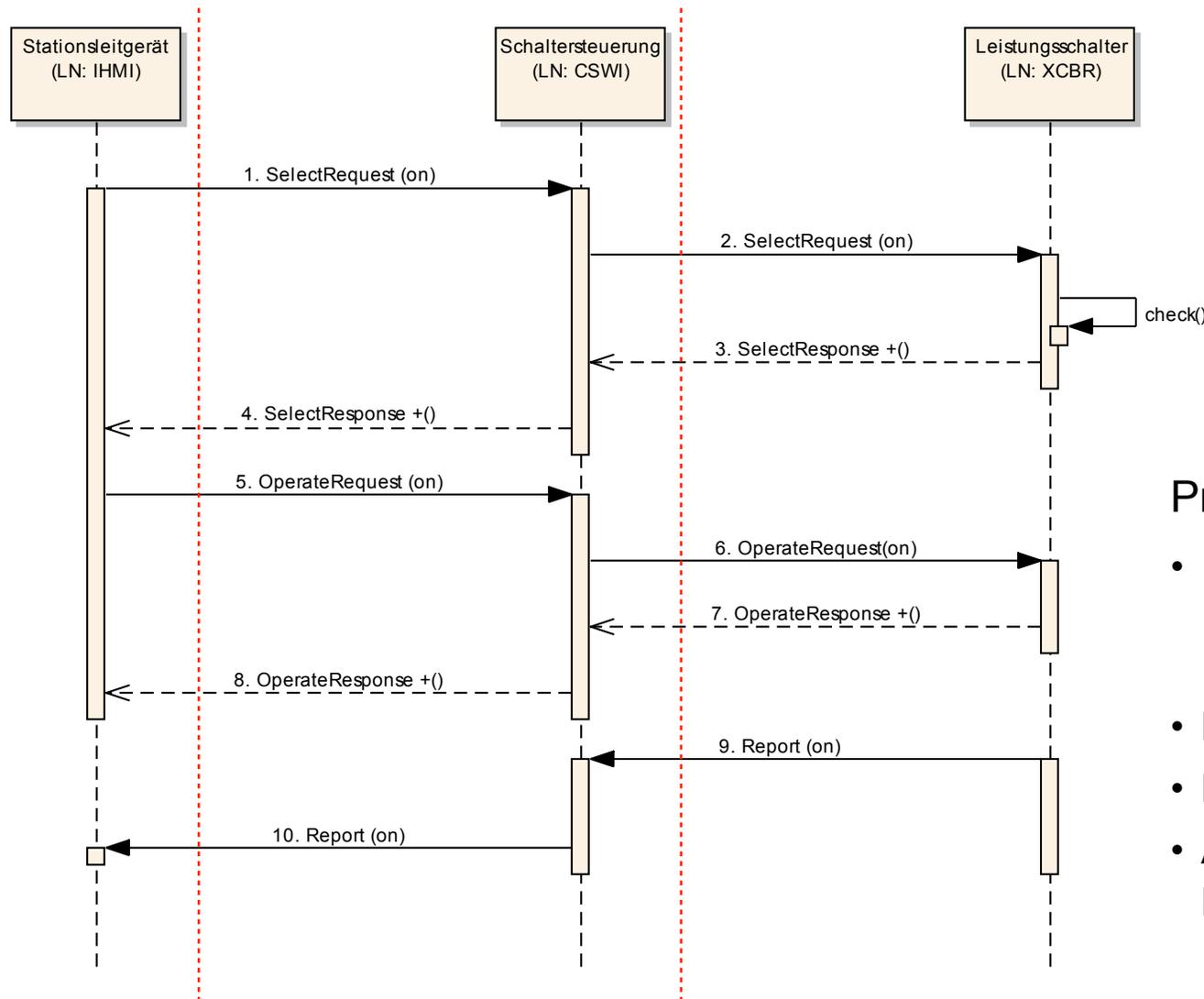
## Feldbus IEC 61850 - Feldbus zur Stationsautomatisierung

- Ergebnis der IEC TC 57, erstmals veröffentlicht 2004
- netzwerkbasierter Feldbus für Schaltanlagen mit Datenmodell
- Bestandteile:
  - IEC61850-6-1 SCL (Substation Configuration Language): Anlagenkonfiguration
  - IEC 61850-7-2 (Abstract Communication Service Interface): Schnittstellenspezifikation
  - IEC 61850-7-3 & 4 (Basic Communication Structure): Datenmodell der Kommunikation
  - IEC 61850-8-1: (Specific Communication Service Mapping): Protokolle
  - IEC 61850-9-2: (Sampled Values): Protokoll zu Kommunikation von Abtastwerten

## Ergänzungen:

- Common Information Model (Primärtechnik, IEC 61970, 61968 und 62325):
  - Datenmodelle für den Austausch von Informationen über Betriebsmittel
  - Energy Management Systems – Application Programming Interfaces (API)
- IEC 62351 bzgl. Sicherheit (Vertraulichkeit, Integrität, Verfügbarkeit), ebenfalls TC 57

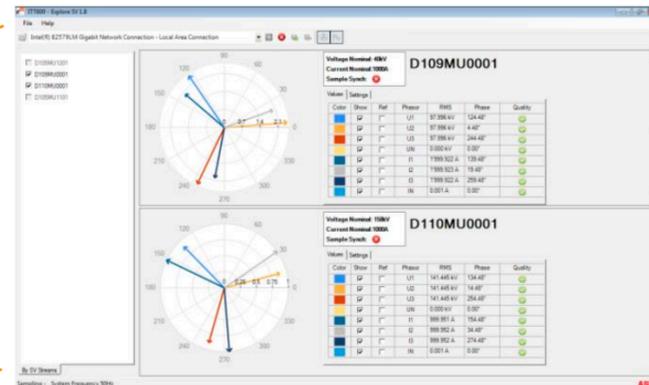
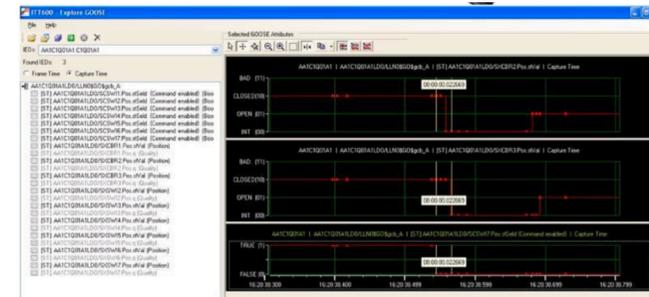
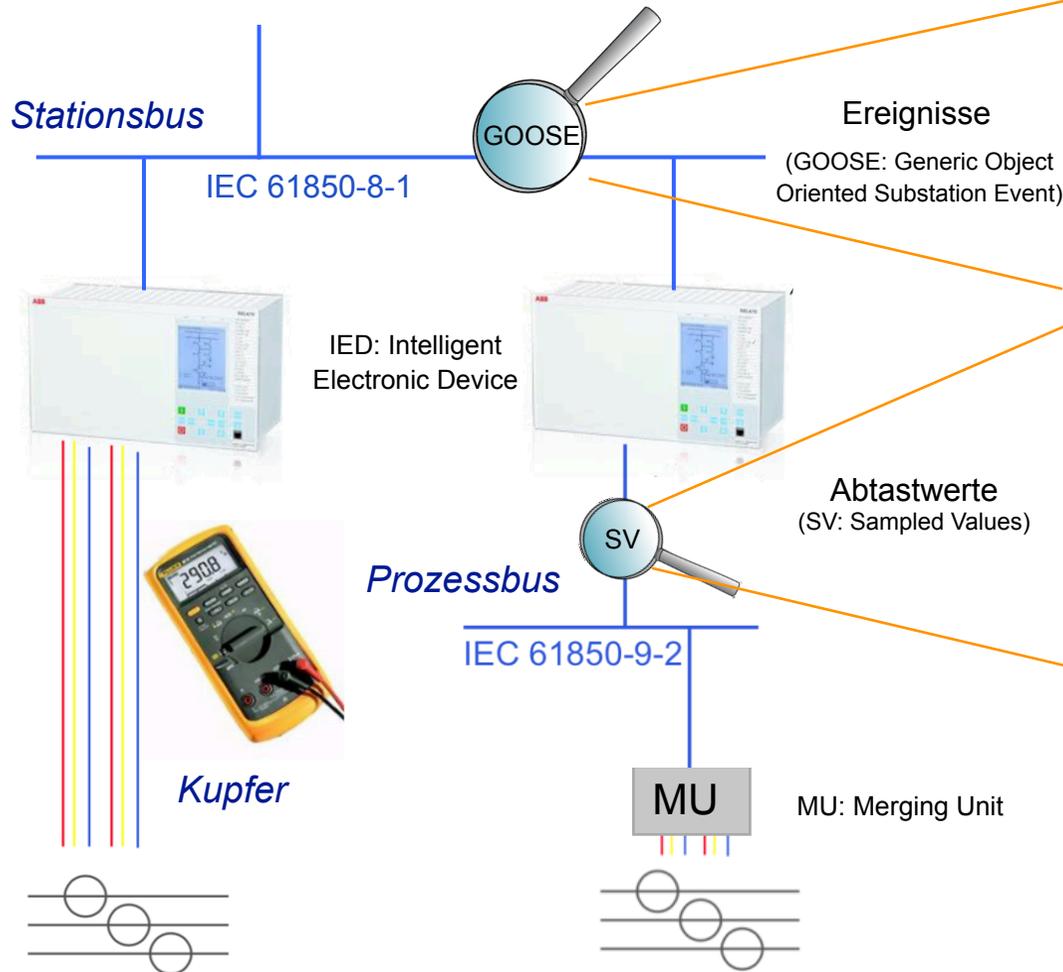
# Beispiel: IEC 61850



## Protokollspezifikation

- Schnittstelle (Funktionsaufrufe, Rückgabewerte mit Datentypen)
- Nachrichtenformate
- Nachrichtensequenzen
- Abbildung auf unterlagerte Protokollschichten

# Tests - Beispiel



Quelle: ABB

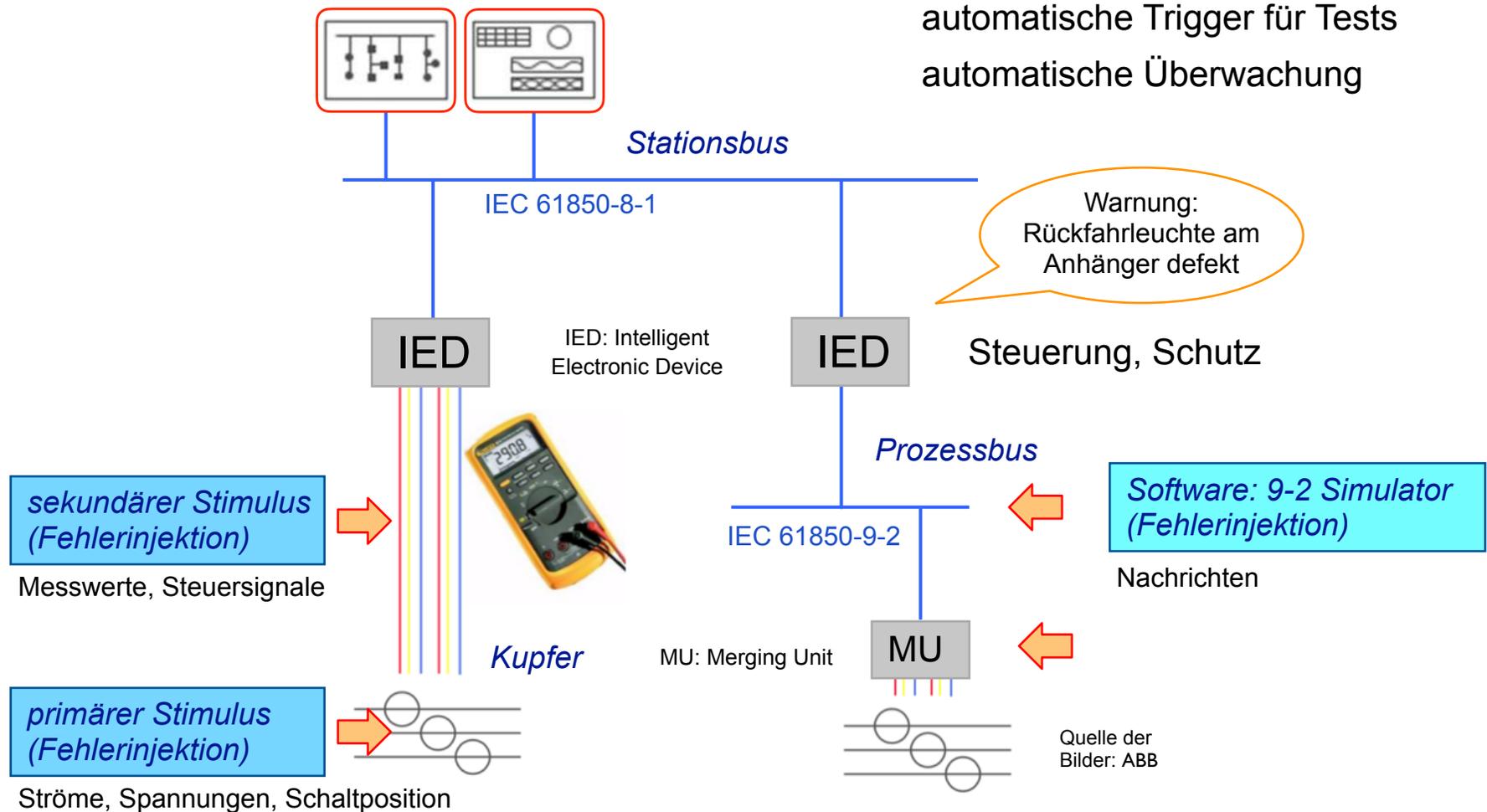
## Analyse von Abtastwerten:

- Oszilloskopansicht U, I
- Zeigerdiagramme
- Werte und Güte der Messung
- On-Line und Off-line

Testen mit Messinstrument

Testen mit Software

# Automatisierung von Tests



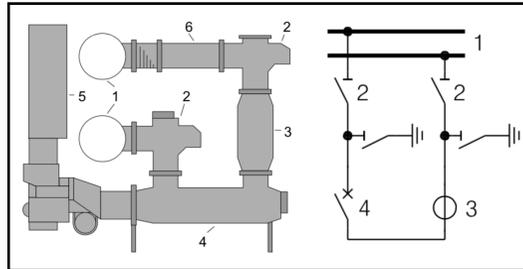
# Kommunikation über Feldbus

Vorteile der Kommunikation über IEC61850?

- Strom- und Spannungsschnittstellen:
  - einfach
  - Betreiber arbeitet autonom
- Lösung mit Feldbus:
  - kompliziert
  - Autonomie muss neu erlernt werden
  - bessere Diagnoseabdeckung
  - Möglichkeit zur Automatisierung
- IEC 61850 als Feldbus:
  - einheitliches Protokoll (können alle Feldbusse)
  - einheitliches Datenmodell erleichtert die Interoperabilität
  - Möglichkeit zur automatisierten Konfiguration von Anlagen

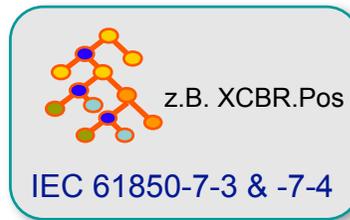
# IEC 61850 - Funktionsumfang

Reale Welt: Gerät, Schaltplan



Quelle: K Heuck, Elektrische Energieversorgung, Vieweg + Teubner, 2010

Abbildung:  
Datenmodell



Dienste (ACSI)  
Schnittstellen-  
spezifikation

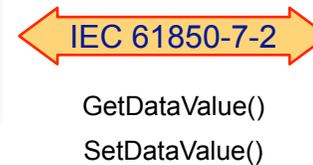
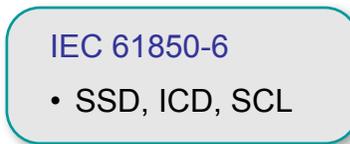
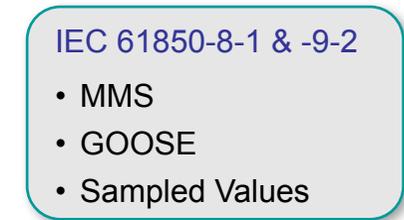
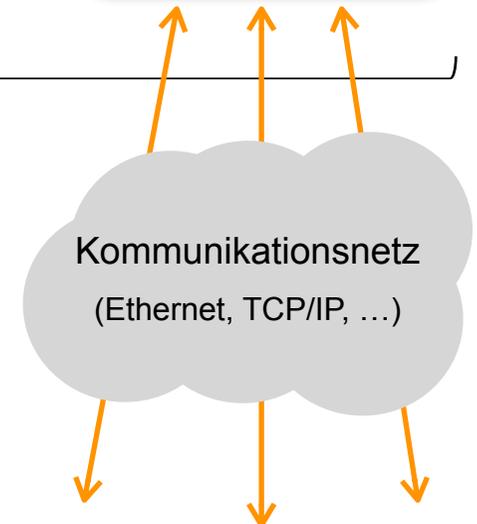


Abbildung:  
Protokolle



Systemkonfiguration



## IEC 61850

- Datenmodell
- Kommunikationsdienste
- Protokolle
- Systemkonfiguration

# IEC61850 Datenmodell - Beispiel

Reale Welt:  
Schaltplan

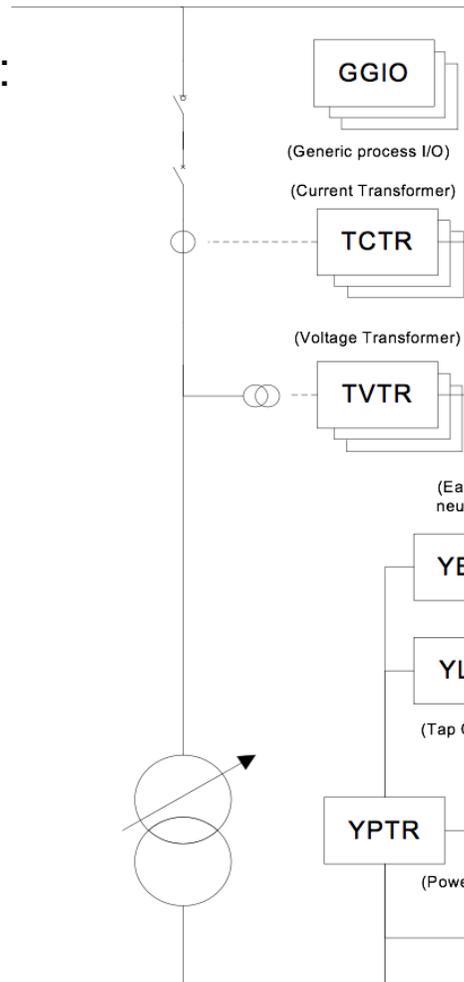
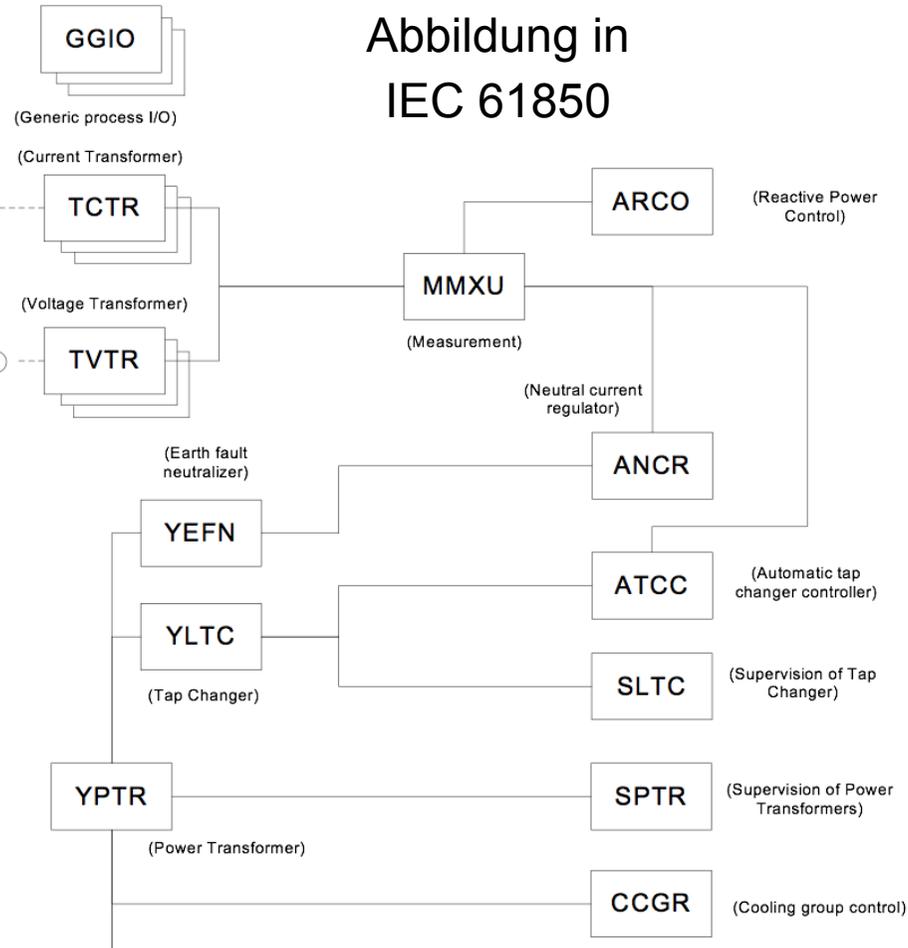
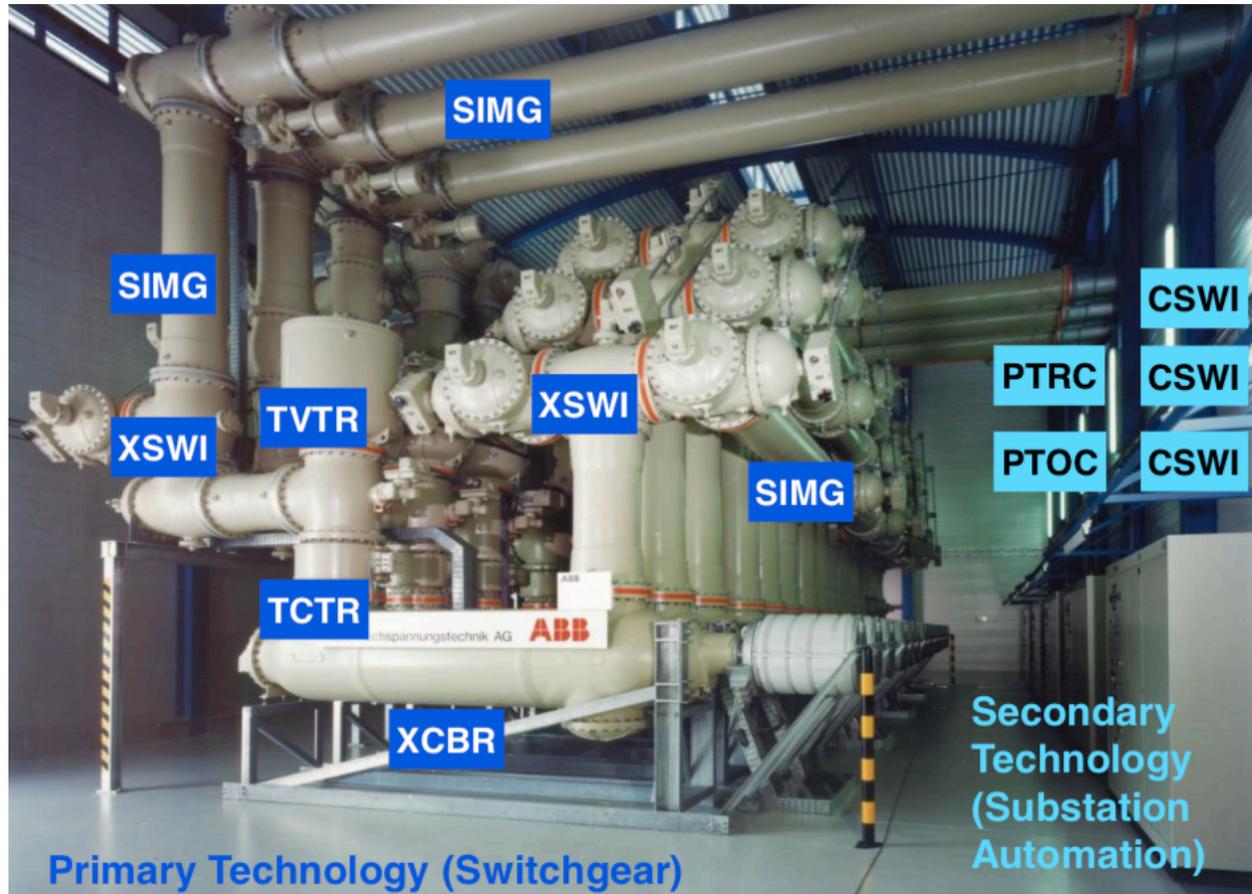


Abbildung in  
IEC 61850



# IEC61850 Datenmodell - Beispiel

## Reale Welt: Schaltanlage



## Abbildung in IEC 61850:

### Primärtechnik:

- XCBR: Circuit Breaker
- SIMG: Insulation Liquid Monitoring
- XSWI: Disconnect Switch
- TVTR: Voltage Transformer
- TCTR: Current Transformer

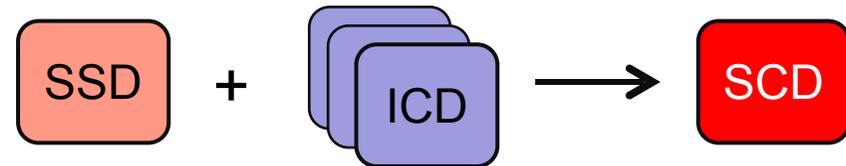
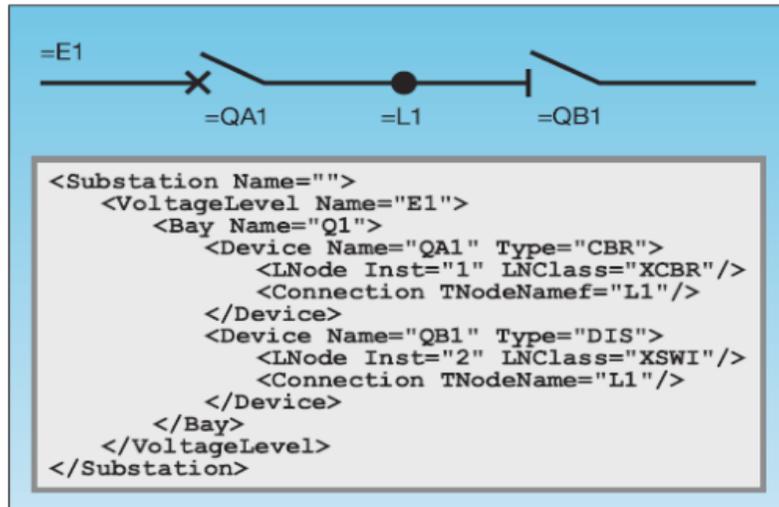
### Sekundärtechnik:

- CSWI: Switch Controller
- PTRC: Protection Trip Conditioning
- PTOC: Protection Time Overcurrent

Quelle: ABB

# IEC61850 Konfigurationsdatei

SCL – Sprache (Substation Configuration Language)



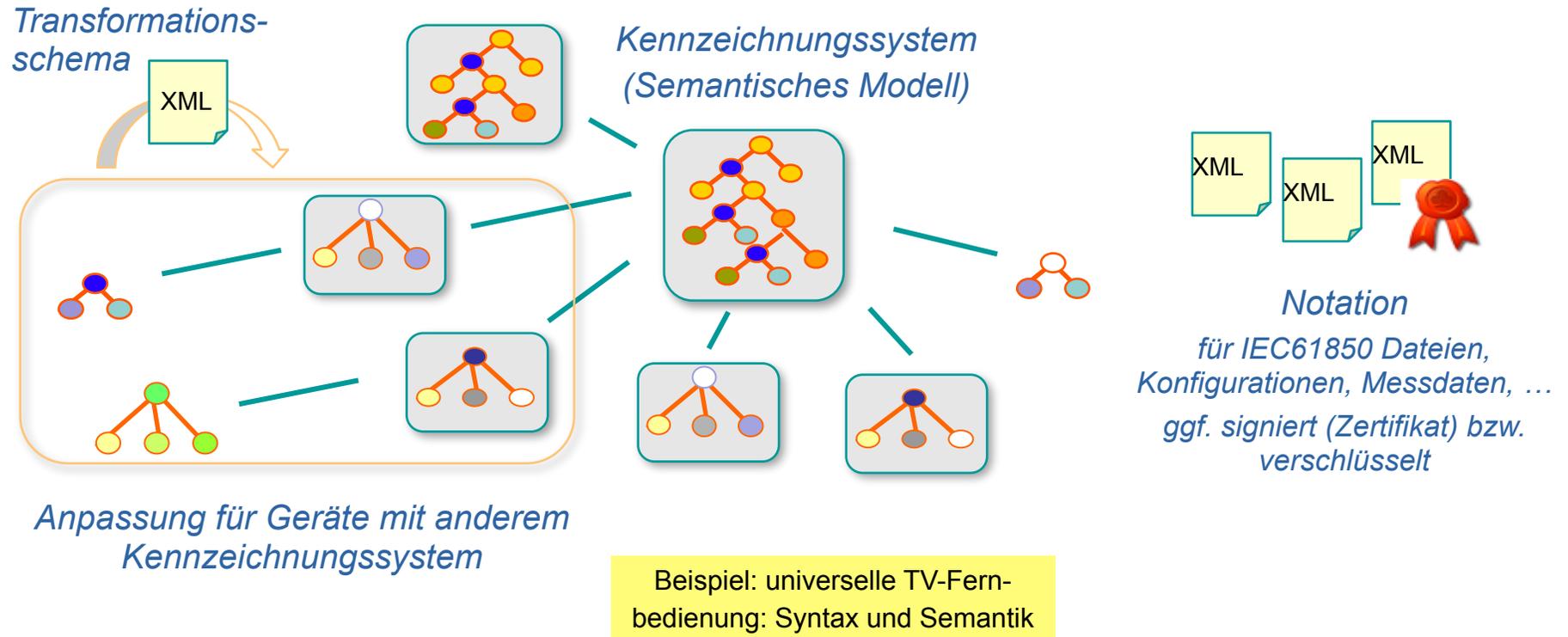
SCL ist durch IEC61870-6 spezifiziert

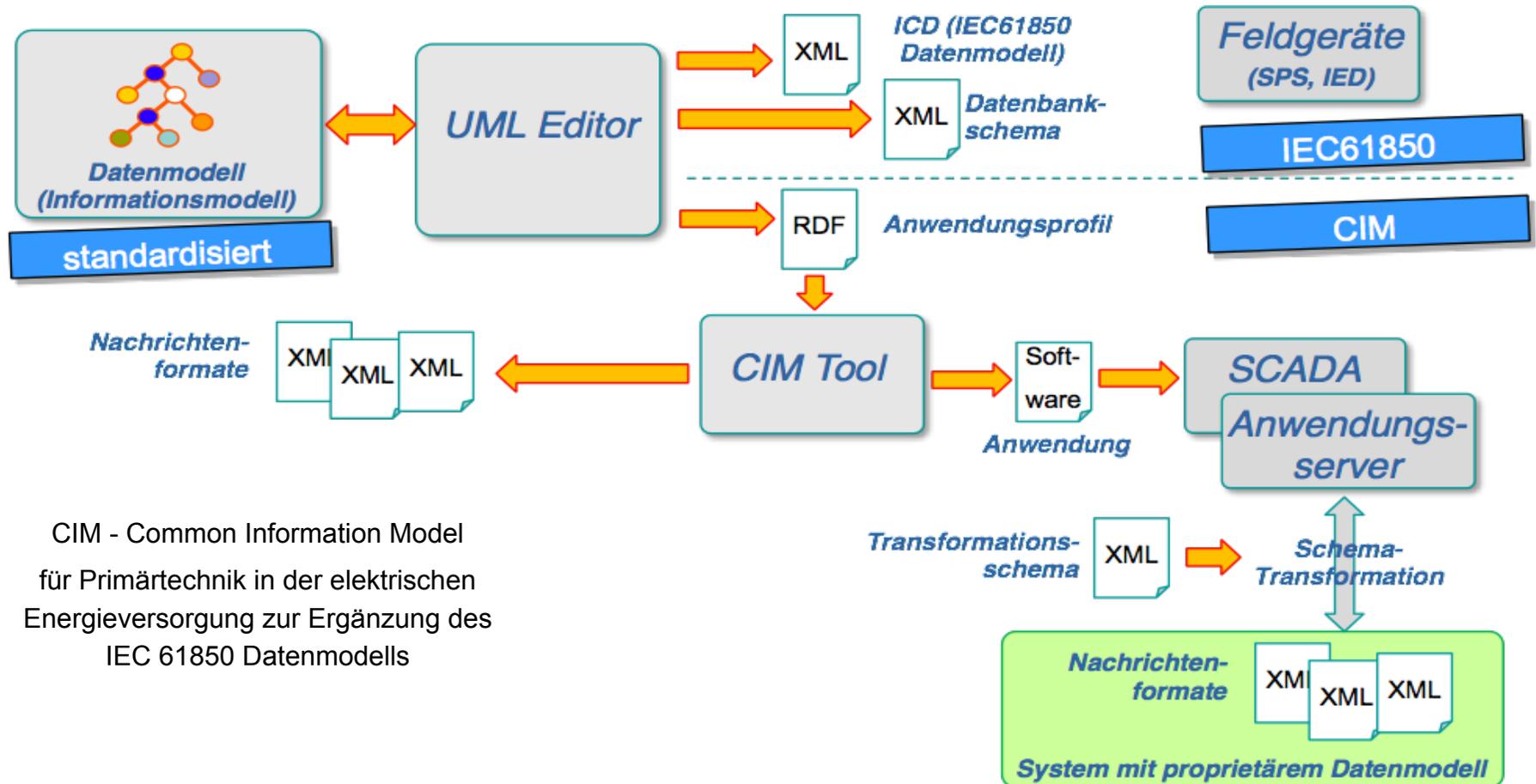
SCL Dateiartern:

- ICD (IED Capability Description)
- SSD (System Specification Description)
- SCD (Substation Configuration Description)

\*) XML-notierte Formate

# Kennzeichnungssysteme zur Datenverarbeitung





CIM - Common Information Model für Primärtechnik in der elektrischen Energieversorgung zur Ergänzung des IEC 61850 Datenmodells

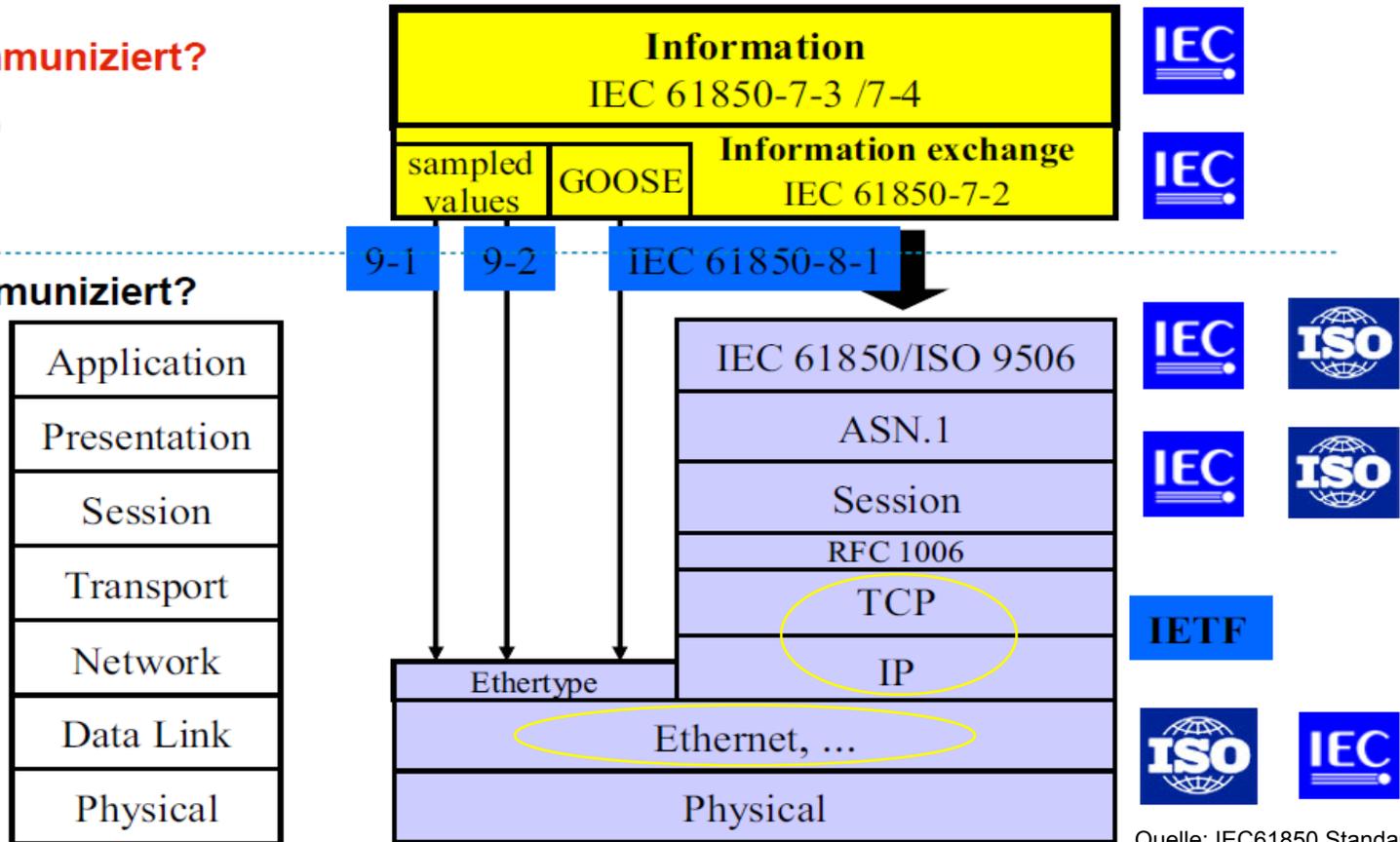
- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

# IEC61850 Standard

Was wird kommuniziert?  
(Datenmodell)

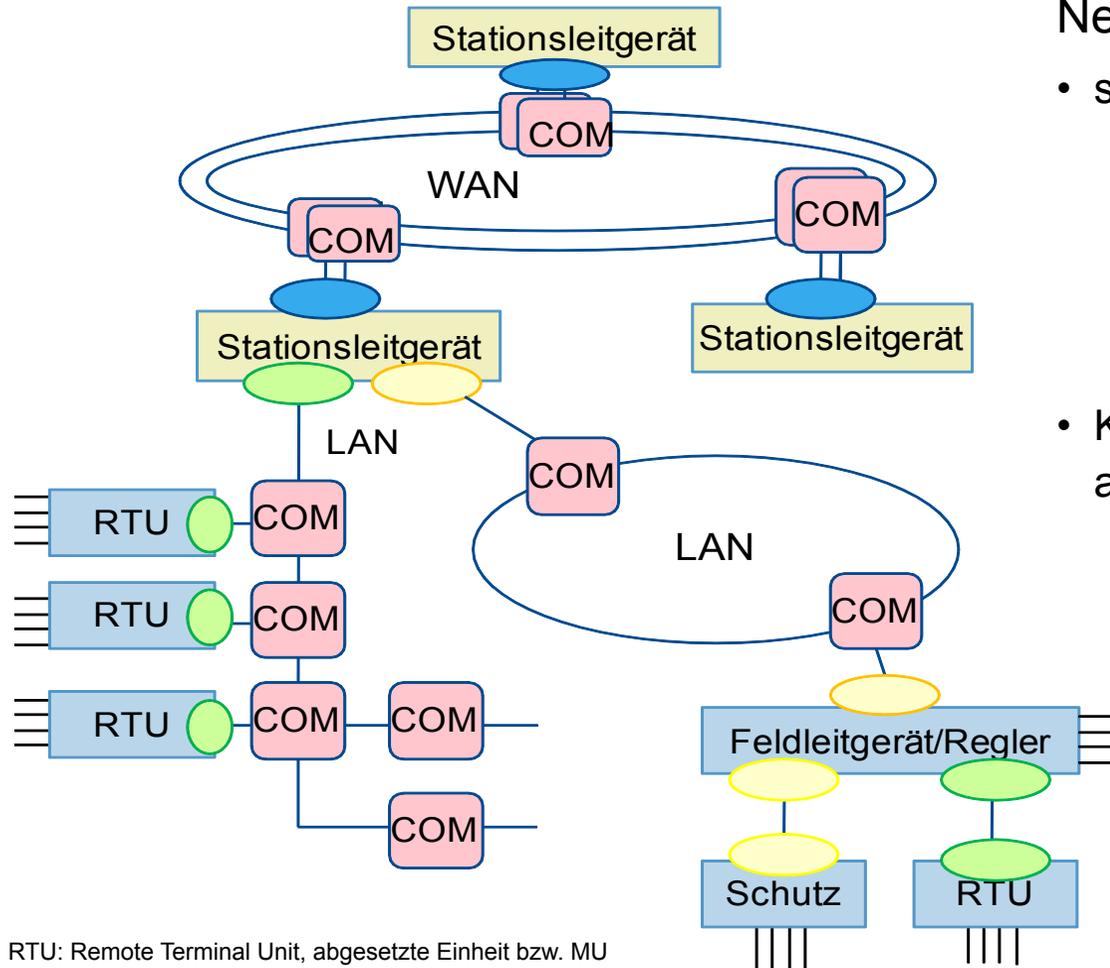
Wie wird kommuniziert?  
(Protokolle)

Beispiele:  
Protokoll-  
schichten?



Quelle: IEC61850 Standard

# Feldbus über Netzwerk



RTU: Remote Terminal Unit, abgesetzte Einheit bzw. MU  
COM: Switch bzw. Router

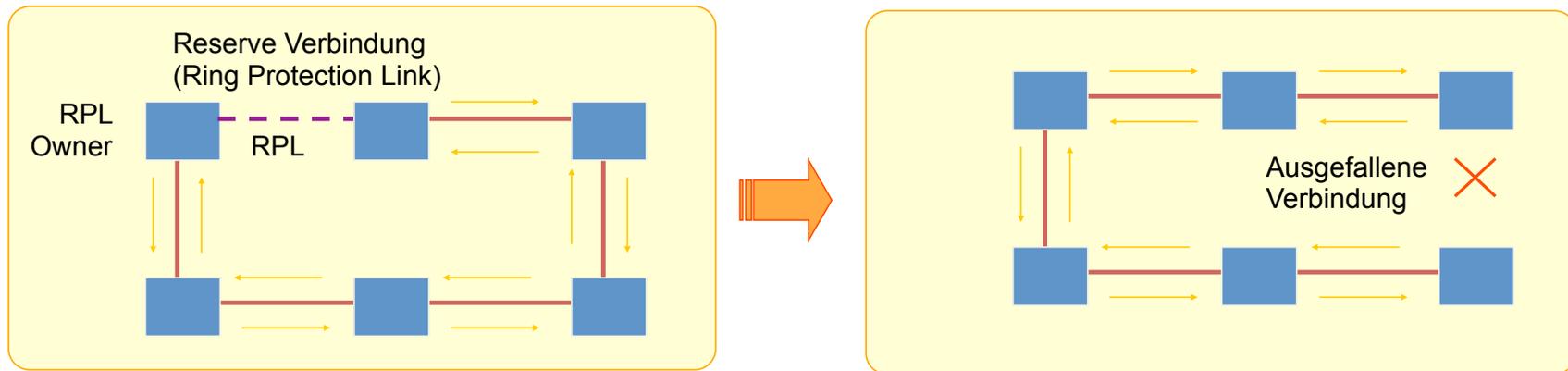
## Netzwerkbasierter Feldbus:

- sämtliche Netztopologien:
  - Ring, Doppelring
  - Stern, Doppelstern
  - Linear
  - Hierarchisch (Baumstruktur)
- Kombinierbar mit seriellen und anderen netzbasierten Feldbussen:
  - mehrere Protokolle pro Gerät
  - Einsatz von Gateways

Beispiele:  
Netztopologien?

Industriestandard in der Automation: MRP (IEC 62439-2, 2016, Hirschmann, Siemens)

- **Media Redundancy Protocol:** Ringredundanz-Protokoll mit Umschaltzeit



Funktionsprinzip:

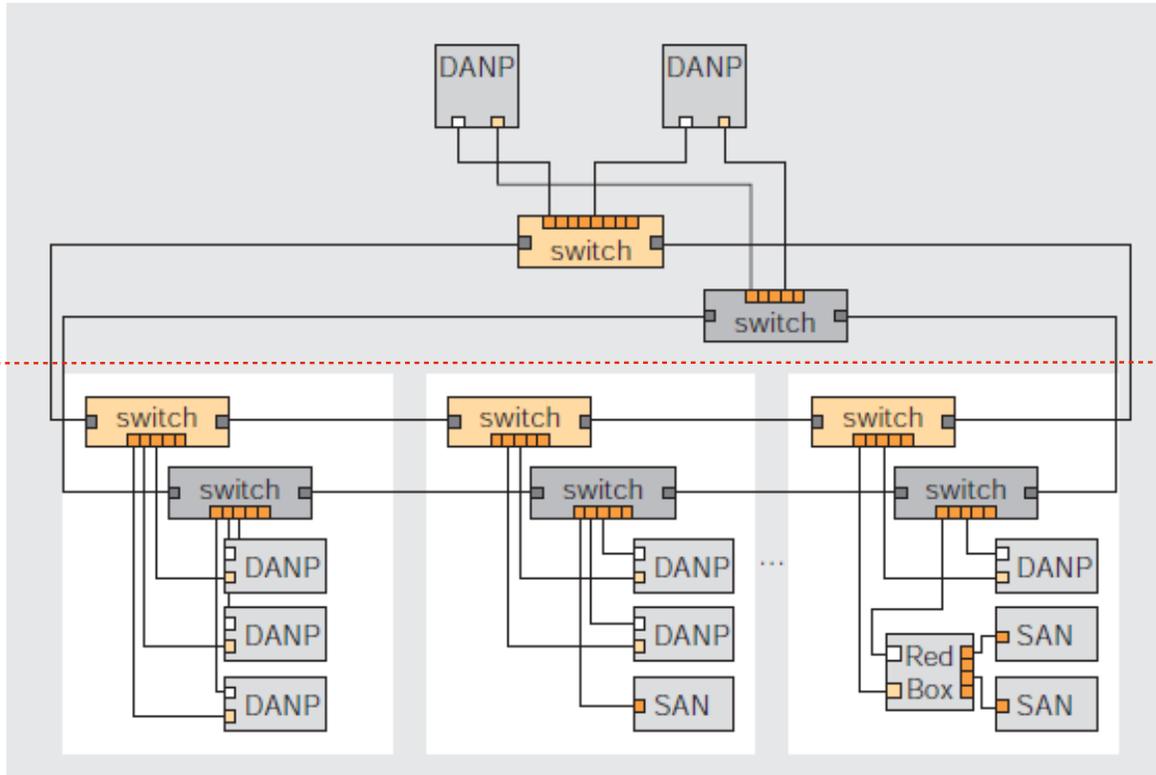
- Betrieb in linearer Konfiguration mit Reserve-Verbindung (Medienredundanz)
  - Ringmaster\*) überwacht Durchgängigkeit in beiden Richtungen durch Testnachrichten
  - In Fehlerfall: Aktivierung der Reserve und erneutes Lernen der MAC-Adressen
- ➔ Umschaltzeit abhängig von der Größe der Konfiguration
- ➔ **Anwendbar in Schaltanlagen?**

\*) Medienredundanz-Manager (MRM)

# Parallel Redundancy Protocol (PRP)

Höhere Anforderungen: PRP und HSR (IEC 62439-3, 2016, Hirschmann, Siemens)

- Doppelte Anbindung kritischer Geräte



Übergeordnete Leitebene:  
Doppelring

DAN: Gerät mit doppeltem  
Anschluss (Double Attached Node)

Untergeordnete Ebene:  
Doppelstern

Red Box: Dopplung der Anschlüsse  
für Geräte mit einfachem Anschluss  
(SAN - Single Attached Node)

Quelle: ABB

# Parallel Redundancy Protocol (PRP)

## Funktionsprinzip:

- Doppelte Anbindung kritischer Geräte
- Absicherung gegen:
  - **Einfachfehler:** einzelne Endgeräte, Leitungen und Netzknoten (Switches) dürfen ausfallen
  - **Umschaltzeiten:** keine, da ein redundanter Pfad aktiv zur Kommunikation mit genutzt wird
- Zwei Netzwerkschnittstellen:
  - Doppelung der Nachrichten beim Sender für beide Pfade
  - Auswahl einer Nachricht beim Empfänger
  - Implementierung im Endgerät (bzw. in einer Anschlussbox) **ohne spezielle Anforderungen an die Ethernet-Switches**
- Ziel: **Herstellung von Netzwerkredundanz**
- Methode: Markierungen für PRP im Frachtraum der Ethernet-Rahmen
  - für spezielle Endgeräte bzw. Anschlussboxen
  - für **beliebige Ethernet-Switches und Netzkonfigurationen**

Beliebiges Netz,  
spezielle Endgeräte

# Verfügbarkeit und Redundanz

Wahrscheinlichkeiten:

- $P_{1,6} = 1/6$
- $P_{2,6} = P_{1,6} * P_{1,6} = 1/36$



(für statistisch unabhängige Prozesse)

Wahrscheinlichkeit als **Ausfallwahrscheinlichkeit**:

- Einfaches System:  $P_{1,6} = 1/6 = 16\%$
- Gedoppeltes System:  $P_{2,6} = P_{1,6} * P_{1,6} = 1/36 = 2,7\%$

**Verfügbarkeit:**

- $P'_{1,6} = 1 - P_{1,6}$  **Wahrscheinlichkeit, dass das System nicht ausgefallen ist**
- Somit
  - für ein einfaches System:  $P'_{1,6} = 1 - P_{1,6} = 84\%$
  - für ein gedoppeltes System:  $P'_{2,6} = 1 - P_{2,6} = 97,3\%$
- Gedoppelt: einfache Redundanz, **(n-1) Redundanz**
- Was bringt (n-2)?

Beispiele:

- benötigte Verfügbarkeit
- Ausfallwahrscheinlichkeiten
- Fehlermodelle (HW, SW)

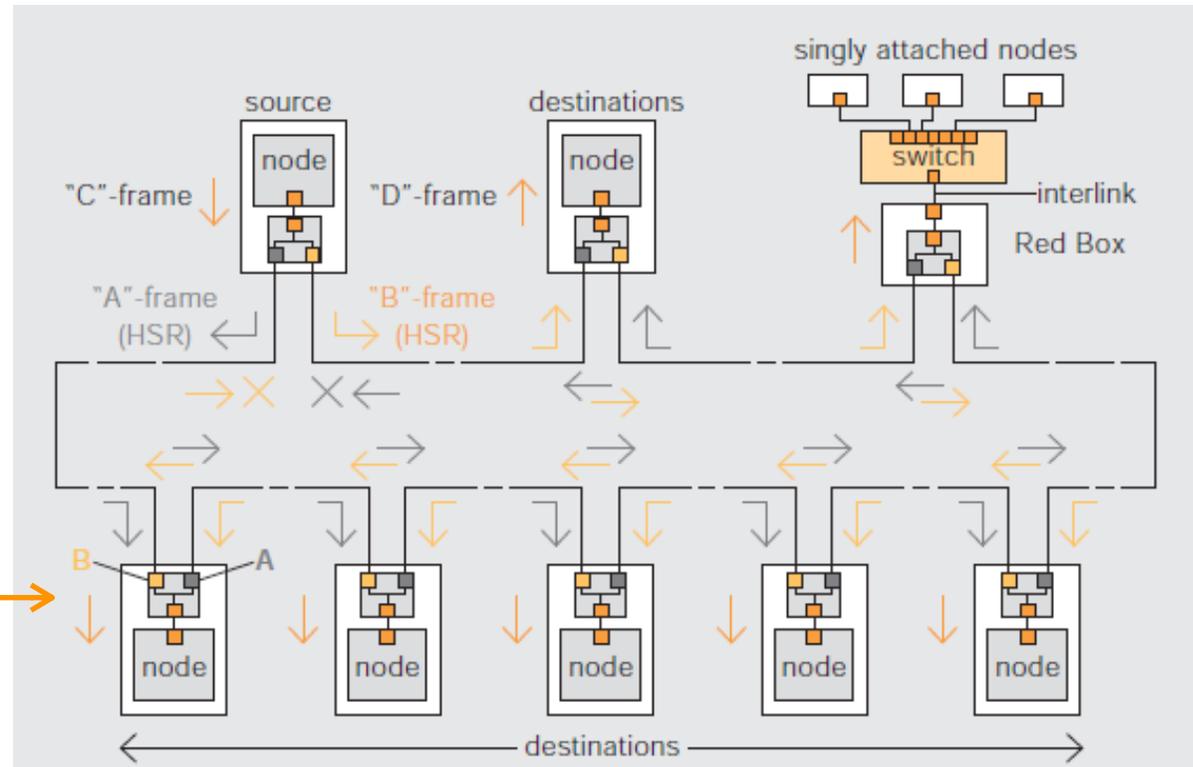
## Ringredundanz mit zwei gleichzeitig betriebenen VLANs

Red Box: Ringswitch mit Dopplung der Anschlüsse für Geräte mit einfachem Anschluss (SAN - Single Attached Node)

Node: Geräte (Feldbus-Controller, Schutzgeräte, Messgeräte)

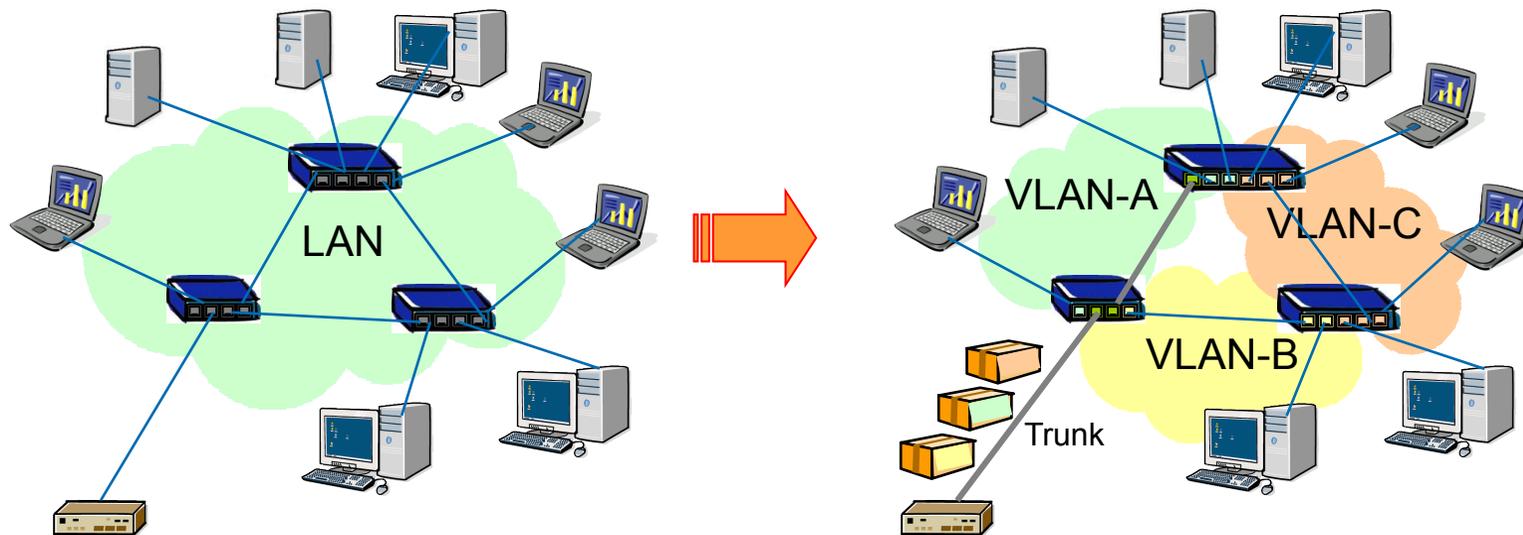
spezielle Switches mit A- und B-Anschluss

Quelle: ABB



## Funktionsprinzip:

- Virtuelle Netze (VLAN) statt doppelter Netze



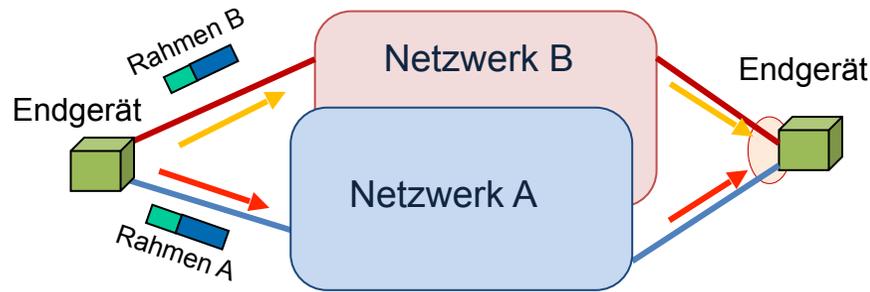
- Markierung der VLAN Pakete nach Eingangsport (VLAN-A bzw. VLAN-B)
  - Zustellung markierter Ethernet-Rahmen nur an passende Ports
- ➔ Verkehrstrennung

## Funktionsprinzip:

- Anbindung kritischer Geräte an gegenläufig betriebene Ringkonfiguration
- Absicherung gegen:
  - **Einfachfehler:** einzelne Endgeräte, Leitungen und Netzknoten (Switches) dürfen ausfallen
  - **Umschaltzeiten:** keine, da ein **virtueller** redundanter Pfad aktiv zur Kommunikation mit genutzt wird
- Netzwerkschnittstelle:
  - Spezialisiert auf Linien- bzw. Ringtopologie (HSR-Ring)
  - Endgeräte (bzw. Anschlussboxen) **mit speziellen Ethernet-Switches**
- Ziel: **Herstellung von Medienredundanz** (gekoppelte Ringkonfiguration)
- Methode: Markierungen für HSR im Paketkopf der Ethernet-Rahmen
  - für spezielle Endgeräte bzw. Anschlussboxen mit integriertem Ethernet Switch
  - für **Ringkonfigurationen ohne reguläre Ethernet-Switches**

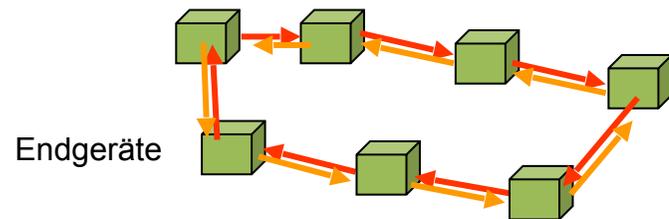
Ringkonfiguration mit  
speziellen Ethernet-Switches

# Vergleich PRP und HSR - Einsatzgebiete



## PRP: Netzwerkredundanz

- beliebige Netztopologien mit Standard Switches
- Endgeräte bedienen redundante Nachrichten über zwei Netze
- mit gewöhnlichen Endgeräten kombinierbar



## HSR: Medienredundanz

- Ringredundanz ohne Umschaltzeit
- nur Geräte mit Doppelanbindung im Ring
- kleinere Linientopologien (viel Durchgangsverkehr, Dopplung der Rahmen)
- spezielle Ethernet-Rahmenbehandlung:
  - Erkennung von Duplikaten
  - Erzeuger löscht Ethernet-Rahmen nach Umlauf
- Option: gekoppelte Ringe

- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

# Industrielle Ethernet-Technik

Ethernet-Switches,  
Redundanzmodule,  
Medienkonverter



Quelle: Hirschmann Belden

I/O Systeme  
mit IEC 61850 SW-  
Unterstützung



Quelle: Beckhoff

Zubehör



Quelle: Phönix Contact



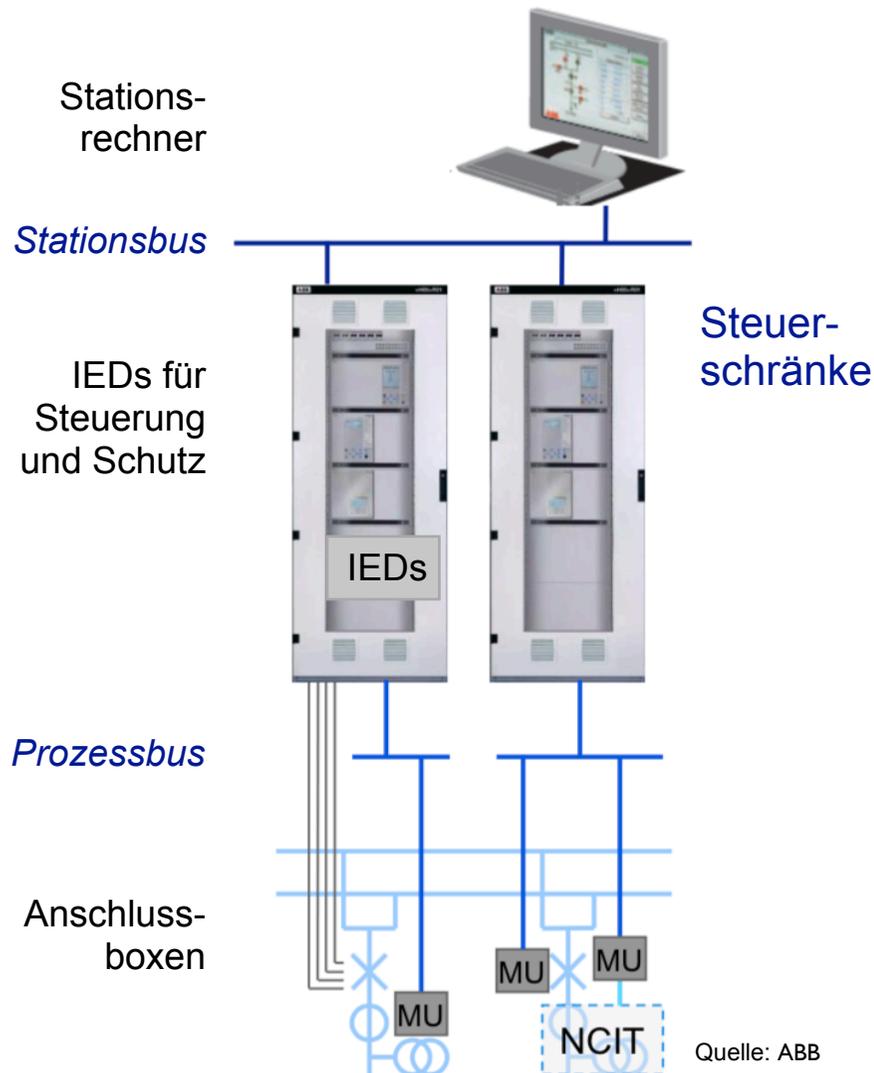
Quelle: Belden

kompakte Bauweise  
für Schaltschränke



Quelle: Wago

# IEC 61850 Komponenten



## Platzbedarf 110 kV Steuerung

- 1 Schrank pro Schaltfeld (2 - 4 IEDs)
  - 600 x 600 x 2000 mm bzw.
  - 800 x 800 x 2200 mm

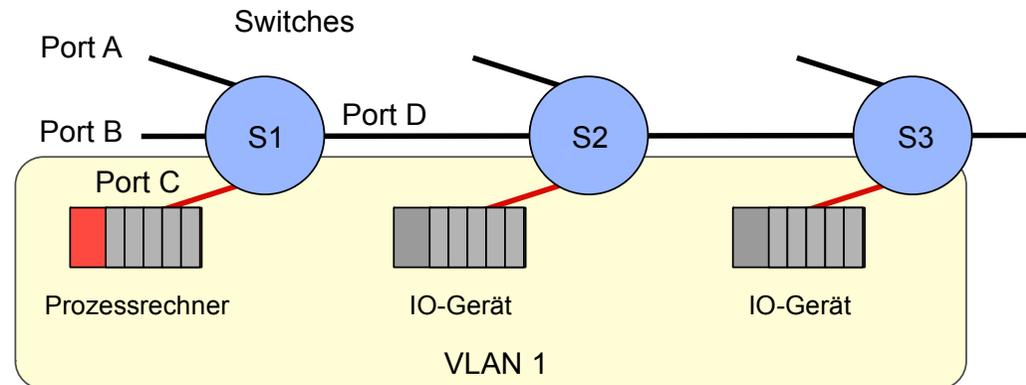
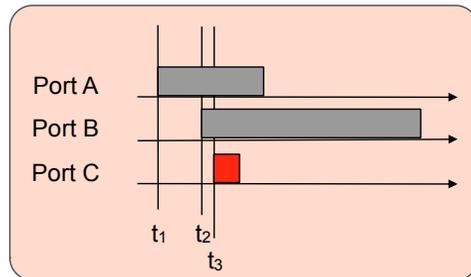
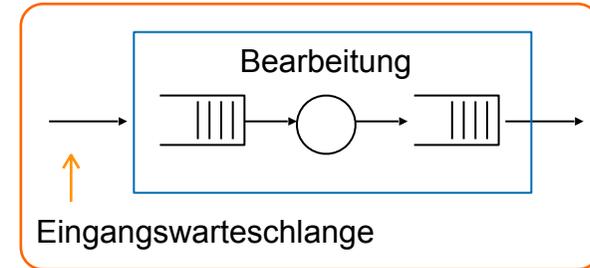


Quelle: ABB, Wikipedia

# Skalierung nach Verkehrsaufkommen und Latenzen

## Beispiel: Linientopologie (Ring)

- **Bearbeitungszeit:** ca. 5  $\mu$ s pro Switch
- **Übertragungszeiten** abhängig von der Rahmenlänge
- **Staus** bei hohem Verkehrsaufkommen



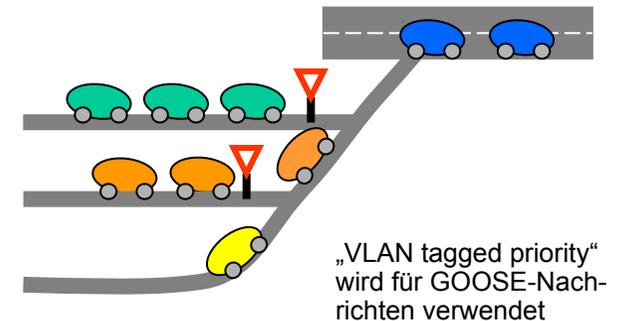
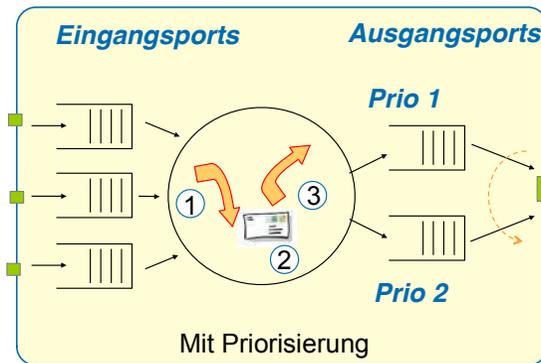
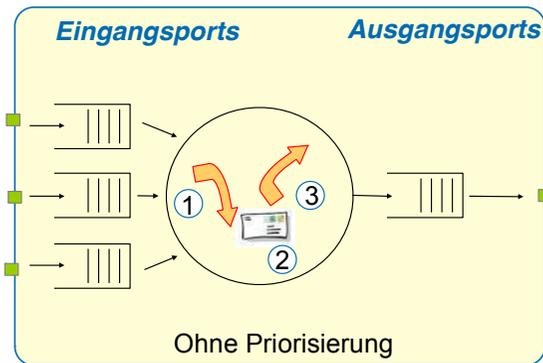
In welcher Reihenfolge treffen die Nachrichten an Port D ein?

Welche Latenzen ergeben sich bei wiederholter Situation an Switch 2 und 3?

# Maßnahmen zur Verkehrstrennung

Hohes Verkehrsaufkommen verursacht Staus.

Abhilfe: Verkehrstrennung (mehr Straßen), ggf. Vorfahrt für Prozessdaten.



## Maßnahmen:

- kleinere Netze (weniger Knoten), Anpassung an den Kommunikationsbedarf
- Rahmenlängen begrenzen
- getrennte Netze für unterschiedliche Verkehrsarten, bzw. VLAN (virtuelle Trennung)
- Priorisierung der Prozessdaten bei der Abfertigung (business class)
- höhere Übertragungsgeschwindigkeit.

# Verkehrsaufkommen GOOSE und SV

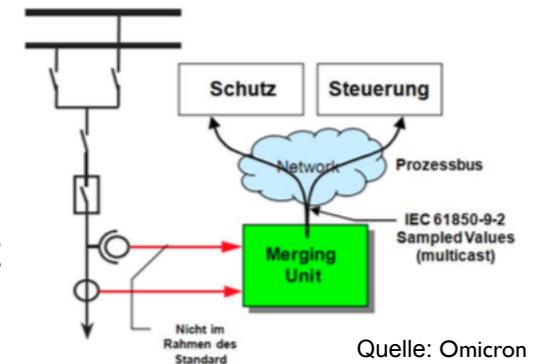
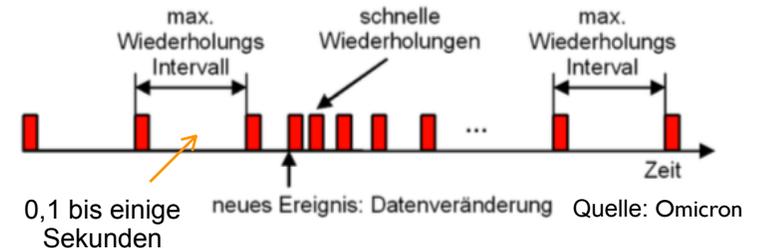
## Nachrichten pro Merging Unit

### GOOSE:

- 256 Bytes pro Nachricht (Ethernet Frame)
- Wiederholrate: 100 ms => **10 Nachrichten/Sekunde**
- bei Statusänderungen kurzzeitig 5-fache Rate
- ➔ **20 kbit/s bis 100 kbit/s pro Merging Unit** für GOOSE Meldungen

### Sampled Values:

- 8 Messwerte (4x Strom, 4x Spannung mit Messgüte) pro Abtastwert
- 256 Bytes pro Nachricht (Ethernet Frame) für jeden Abtastwert
- 80 Abtastwerte pro Zyklus für Schutz und Messungen
- 256 Abtastwerte pro Zyklus für Messungen der Stromqualität (Power Quality)
- 4000 Nachrichten pro Sekunde (bei 50 Hz Netzfrequenz)
- ➔ **8192 kbit/s pro Merging Unit** für Sampled Values



# Verkehrsaufkommen pro Prozessbus

## Prozessbus (100 Mbit/s Ethernet)

- pro Feld (ggf. redundant ausgeführt)
- **2 Merging Units für Messungen** (Ströme, Spannungen) bei redundanter Ausführung (SV, GOOSE)
- **6 Merging Units für Schutz und Steuerung** (GOOSE)

## Nachrichten auf dem Prozessbus

- GOOSE: 8 Merging Units insgesamt:
  - **80 Nachrichten/s** mit **160 kbit/s** mittlerer Datenrate
  - kurzzeitig 5-fache Werte (**400 Nachrichten/s** mit **800 kbit/s**)
- Sampled Values: 2 Merging Units mit
  - **8 Mbit/s** wenn jede MU an einen eigenen (redundanten) Prozessbus angeschlossen ist
  - **16 Mbit/s** für beide MUs an einem Prozessbus
  - **4000 bis 8000 Nachrichten/s**

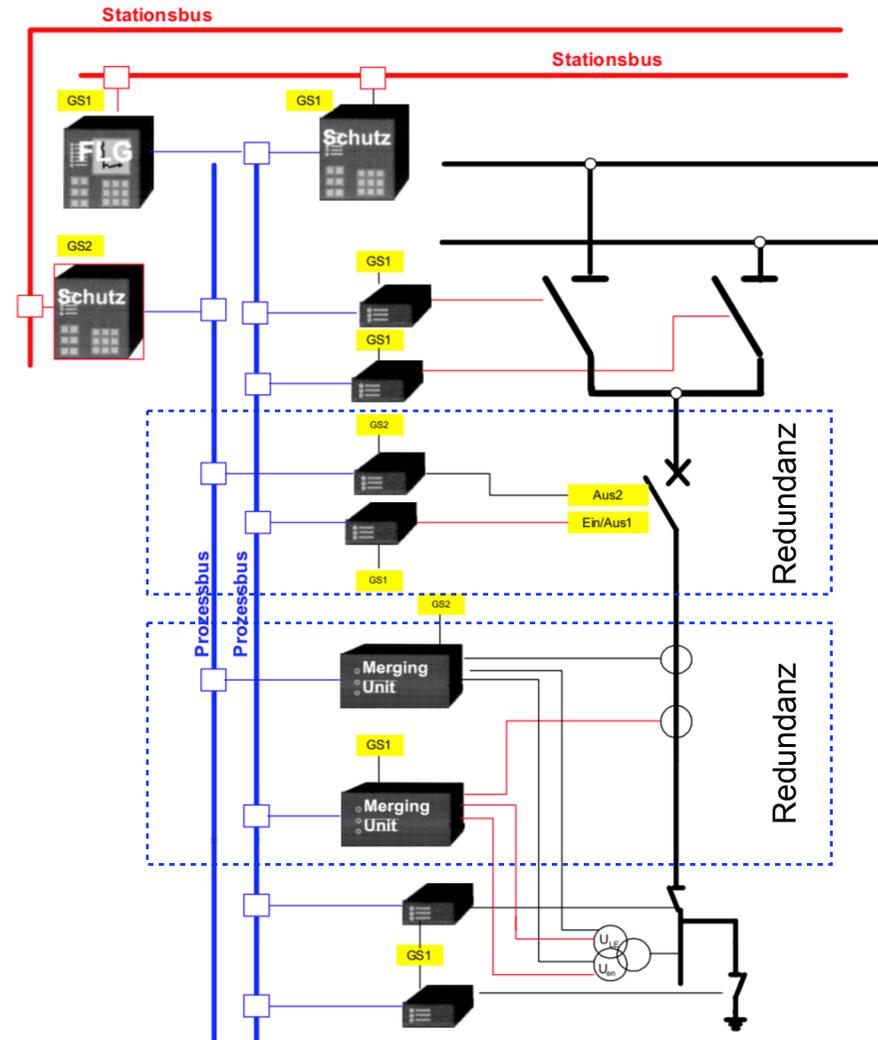
- Überblick über die elektrischen Komponenten in einen Umspannwerk
- Was ist Primär- und Sekundärtechnik?
- Wie sind Komponenten im Umspannwerk bisher angeschlossen und wie wird die Anbindung über einen Feldbus realisiert?
- Überblick und Vorteile einer Kommunikation über einen Feldbus
- IEC61850 Kommunikation mit HSR und PRP
- Wie skalieren diese Techniken bzgl. Fläche und Anzahl Geräte?
- Einsatz von LWL und Kupfer?

Keine Vorgaben im IEC 61850  
Standard über den Stand der Technik  
hinaus.

## Empfehlung des VDN\*)

- Für Leistungsschalter durch Schutzeinrichtung ist zu prüfen ob Prozessbus oder getrenntes System (LWL, Kupfer).
- Redundanz für MUs und Prozessbus bei hohen Anforderungen an die Verfügbarkeit.
- In Zeit und Phasenlage synchrone Messwerte für zeitkritische, feldübergreifende Funktionen.

\*) IEC 61850 – Anforderungen aus Anwendersicht , VDN e.V. 2004

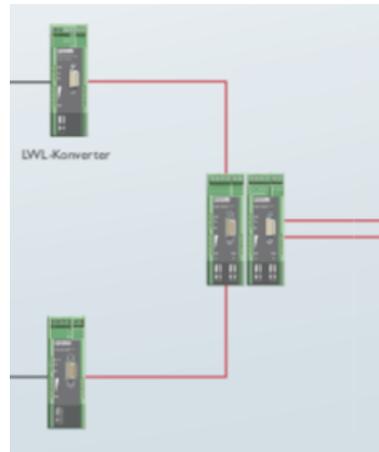


Quelle: VDN-Broschüre: IEC 61850 – Anforderungen aus Anwendersicht, 2004

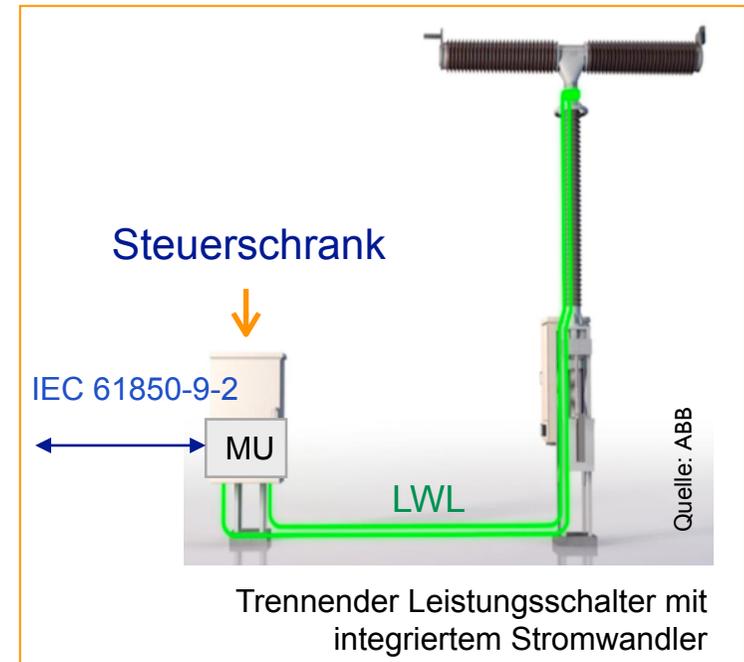
# Einsatz von Lichtwellenleitern - Beispiele

## Anwendungen

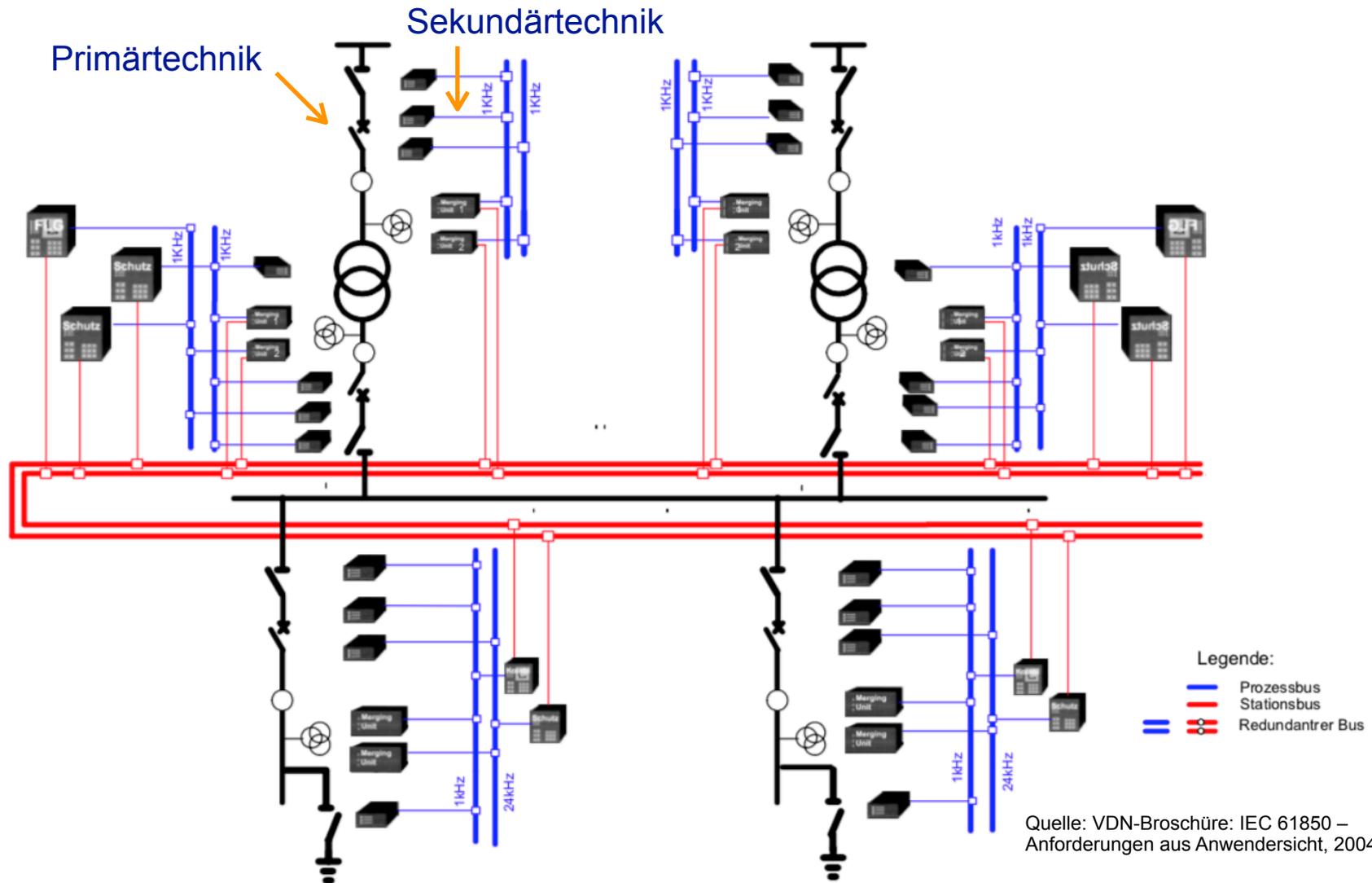
- galvanische Trennung
- Vermeidung induzierter Spannungen und Einstreuungen (EMV, Rauschen)
- große Entfernungen
- große Datenmengen
- Ethernet LWL-Medium ist immer möglich (z.B. SFP)



Quelle: Phönix Contact



# Musterkonfiguration einer Schaltanlage

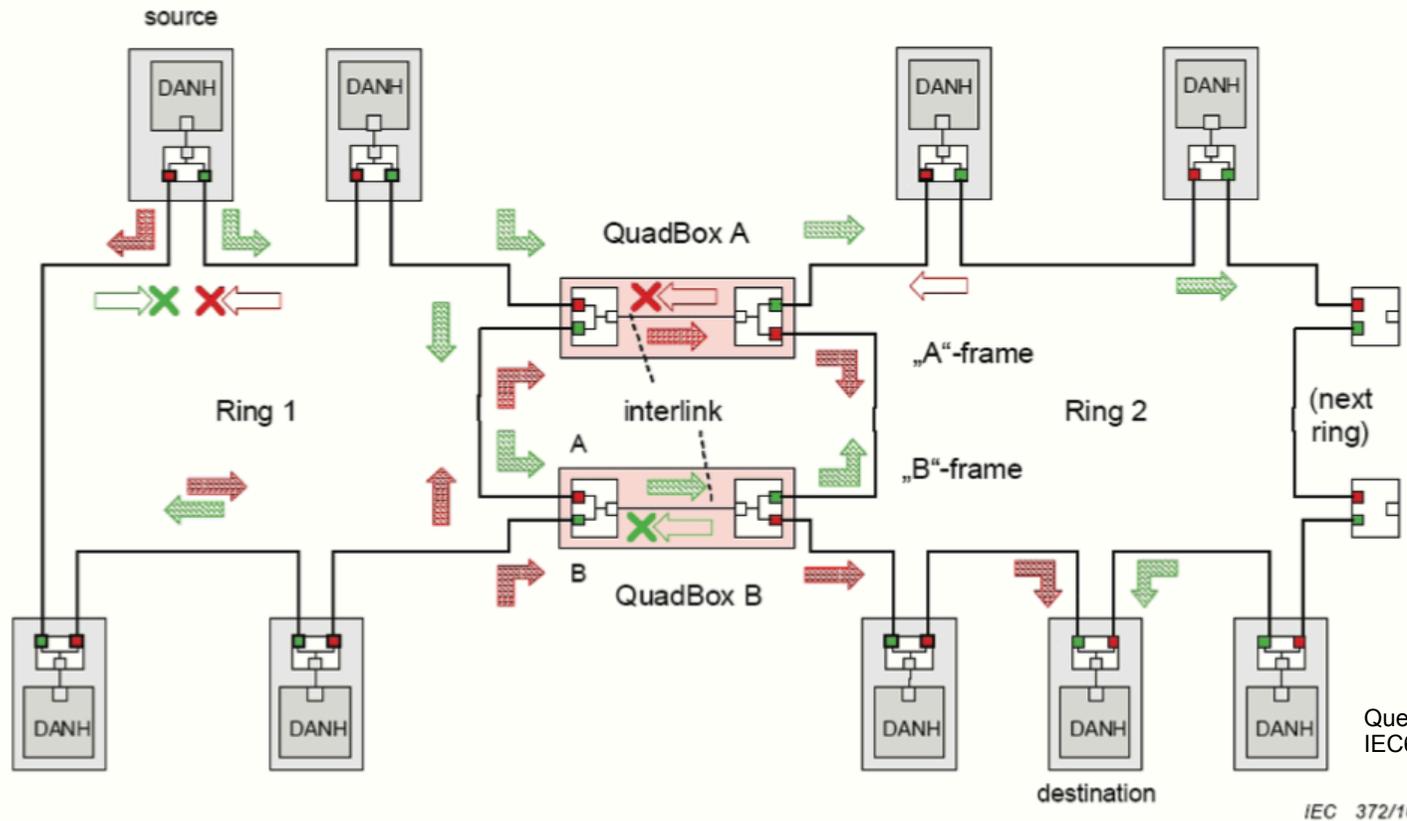


# Ende

## Literatur:

- [1] A. Schwab, Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Springer Vieweg, 2017, ISBN 978-3-662-55316-9
- [2] Klaus Heuck, Klaus-Dieter Dettmann, Detlef Schulz: Elektrische Energieversorgung: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, Vieweg + Teubner Verlag, 8. Auflage, 2010, ISBN 978-3834807366
- [3] ABB Broschüren über digitale Umspannwerke
- [4] S. Rupp, L. Stiegler, Skript Energieinformationstechnik, siehe <https://www.srupp.de>

# HSR - gekoppelte Ringe

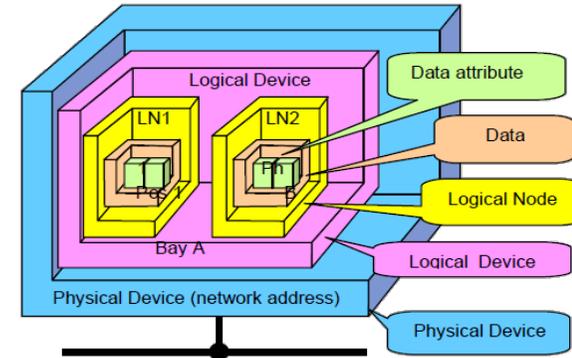
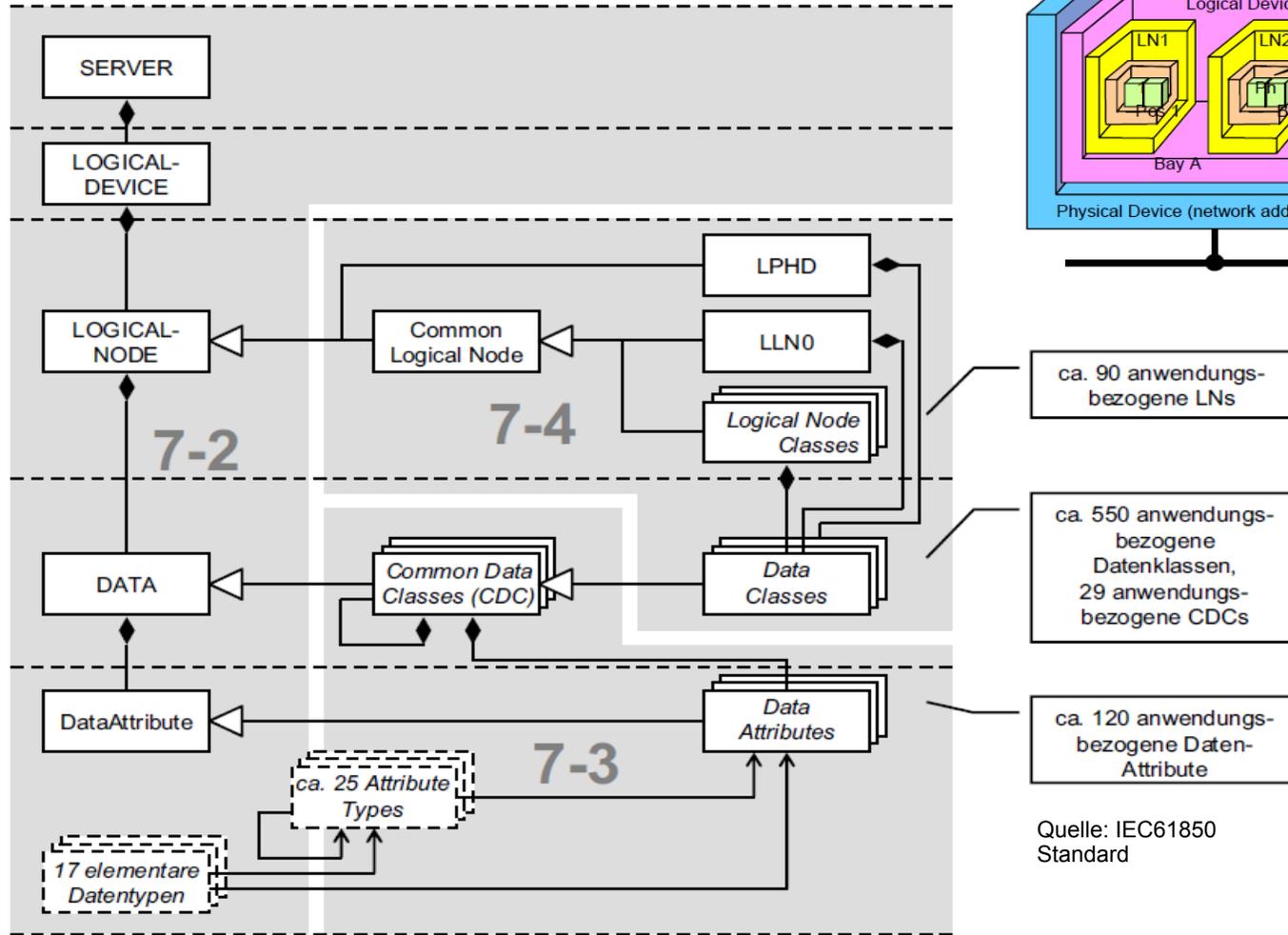


## Ergänzung: Übersicht über das Datenmodell IEC61850 und CIM

siehe Skript Energieinformationstechnik:

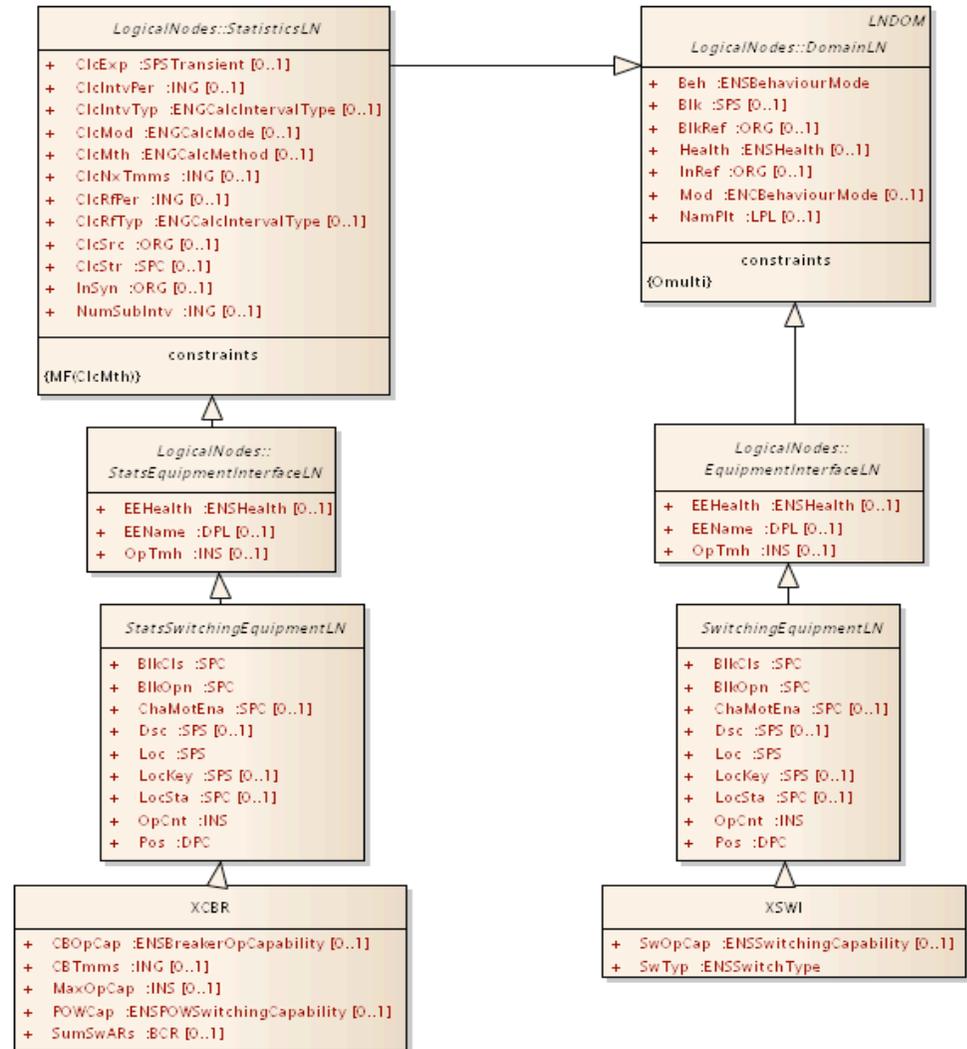
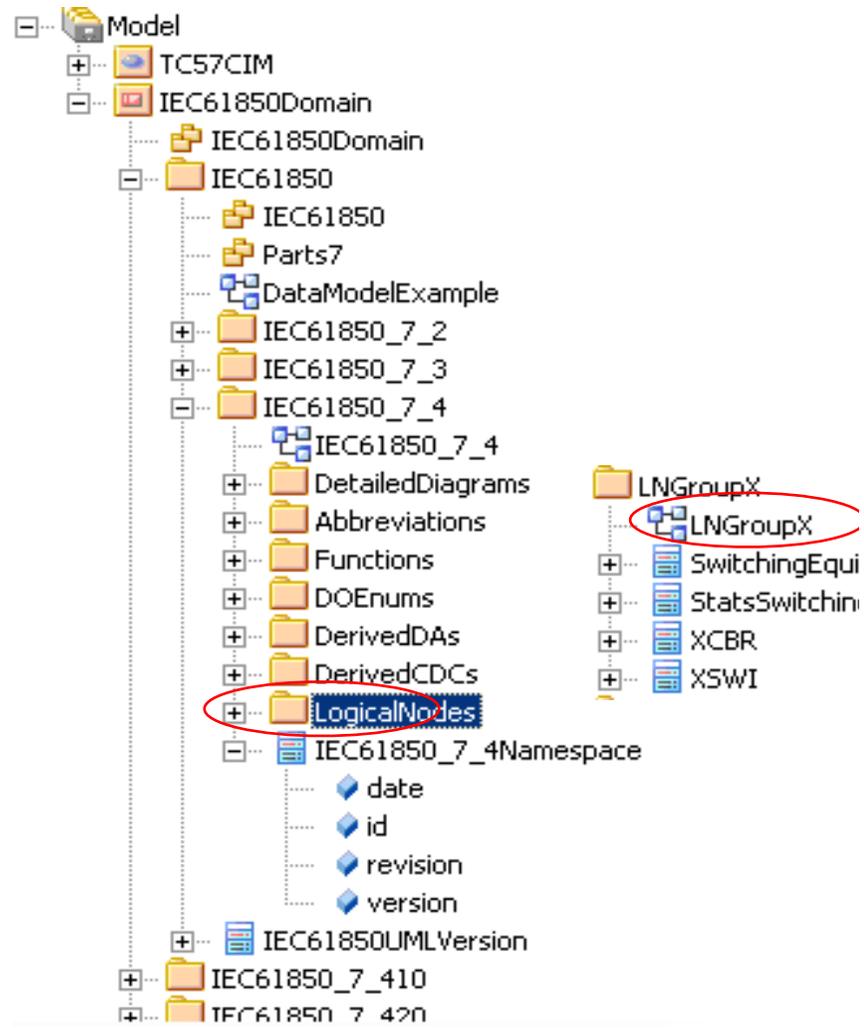
[http://www.srupp.de/ENT/TM20602\\_1\\_Informationstechnik\\_in\\_Energieversorgungsnetzen.pdf](http://www.srupp.de/ENT/TM20602_1_Informationstechnik_in_Energieversorgungsnetzen.pdf)

# IEC61850 Standard - Datenmodell



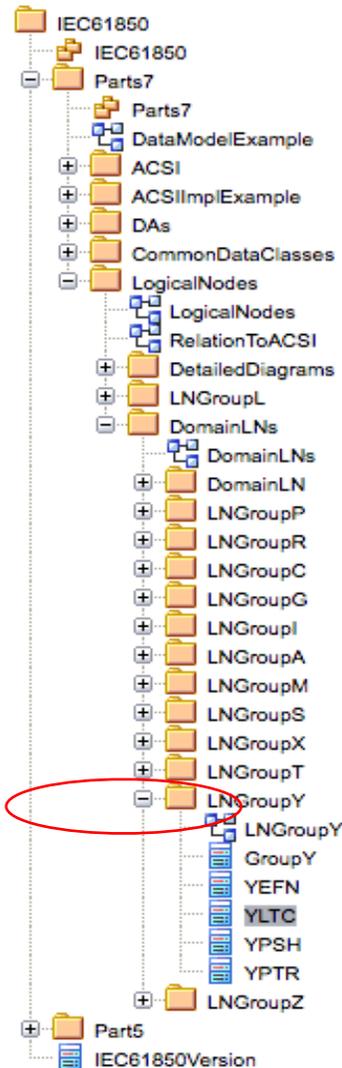
Quelle: IEC61850 Standard

# IEC61850 Standard - Datenmodell



# IEC61850 Spezifikation in UML

## IEC61850 UML model donated by ABB to IEC TC57



### YLTC (Tap changer LN) : public class

Created: 2009-02-04 19:22:56  
Modified: 2009-11-06 14:26:45

- Project:
- Advanced:

(no documentation)  
part 7-4, sec. 5.14.2

Attributes    Constraints    Other Links

#### Attribute

public *INS*  
**OpCnt**

Details:  
Range: 0 to 1

Notes: "YLTC.OpCnt.stVal" is the count of operations of the load tap changer. It is not resettable from remote, but may be reset from

public *MV*  
**Torq**

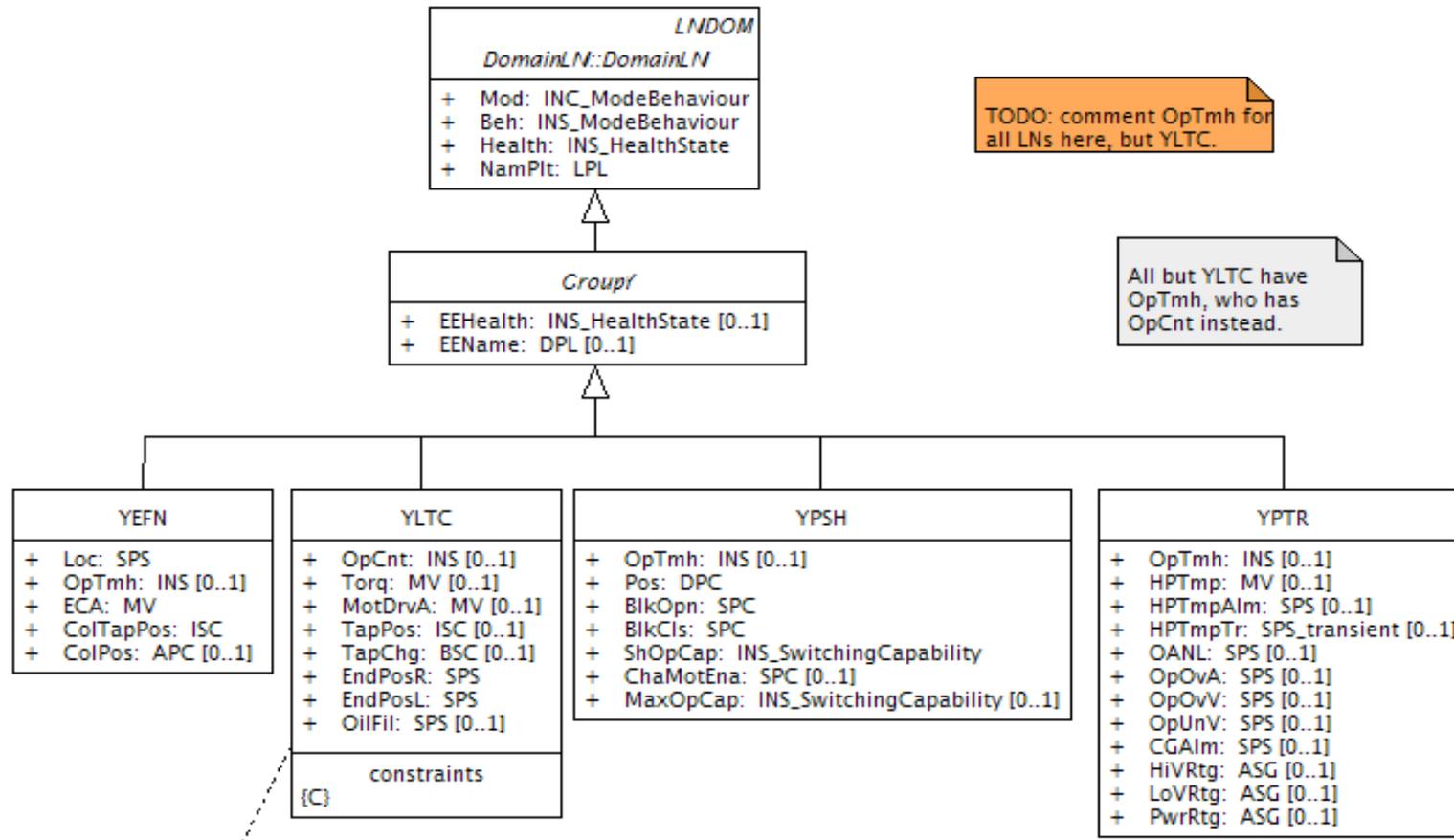
Details:  
Range: 0 to 1

Notes: "YLTC.Torq.mag.f" is drive torque.

public *MV*  
**MotDrvA**

Details:

# IEC61850 Datenmodell - Beispiel



HOME Back Next IEC\_61850\_config.ICD http://www.scl61850.com

### Index

- SCL
- Header
- Subcommunication
  - Subnet
- IED
  - MRISM
- DataTypeTemplates
  - LNodeType
    - CCGR1
    - CCGR2
    - GGIO1
    - GGIO2
    - LN0
    - LPHD1
    - MMXU1
    - SIML1
    - SPTR1
    - YLTC1
    - YPTR1

## SCL

**xmlns** http://www.iec.ch/61850/2003/SCL  
**version** IEC 61850-6:2004 (Edition 1)

## Header

**id** MRISM  
**nameStructure** IEDName

## Subcommunication

Subnet	type	8-MMS
	<b>name</b>	Subnet
	<b>Connected AP</b>	<b>MRISM IEC61850Server IP</b> 192.168.1.201
		<b>IP-GATEWAY</b> 192.168.1.1
		<b>IP-SUBNET</b> 255.255.255.0
		<b>MAC-Address</b> 00-10-7e-03-68-fffffd3
		<b>OSI-PSEL</b> 00000001
		<b>OSI-SSEL</b> 0001
		<b>OSI-TSEL</b> 0001

## IED

# Common Information Model

