

Wie der Engineering-Prozess das Prüfen von Stationsautomatisierungssystemen vereinfachen kann

Eugenio Carnevalheira, Andreas Klien

OMICRON electronics

eugenio.carvalheira@omicronenergy.com

Zusammenfassung – Im Lebenszyklus eines Stationsautomatisierungssystems (SAS) muss viel Mühe und Zeit auf das Prüfen der Kommunikation und der Verriegelungslogiken sowie des ordnungsgemäßen Betriebs aller an die Leitstellensysteme übertragenen Signale aufgewendet werden. In Anlagen, die mit IEC-61850-Kommunikation arbeiten, können alle Engineering- und Konfigurationsdaten in Dateien mit einem Standardformat gespeichert werden, das auf der Konfigurationssprache SCL (System Configuration Language) basiert. In diesem Aufsatz wird ein neuer Prüfansatz vorgestellt, mit dem sich die Automatisierungs- und Steuerfunktionalität eines SAS effizienter prüfen lässt. Der Aufsatz geht auf die Anforderungen an das IED (Intelligent Electronic Device)-Datenmodell und die SCL-Dateien ein, die beim Spezifizieren und Entwickeln eines Systems berücksichtigt werden sollten. Darüber hinaus werden Überlegungen zur Netzwerkauslegung erörtert, die sich positiv auf die Prüfung auswirken.

Stichwörter – IEC 61850, SCL, Prüfung, Simulation, Anlagenautomatisierung, Steuerung

I. EINFÜHRUNG

Wenn es um die Prüfung eines Systems für Schutz, Automatisierung und Steuerung (Protection, Automation and Control - PAC) geht, hat sich das Prüfen der Schutzelementeinstellungen von IEDs und der Schutzsysteme bewährt.[6] Für standardisierte und automatisierte Prüfroutinen stehen entsprechende Prüfinstrumente und -methoden zur Verfügung. Für spezifische Relaisarten und -schutzsysteme können Prüfpläne erstellt werden, die in bestimmten Phasen eines Projekts wiederverwendet werden können, beispielsweise bei Werksabnahmeprüfungen (Factory Acceptance Tests – FAT), bei Inbetriebnahmeprüfungen, bei Abnahmeprüfungen (Site Acceptance Tests – SAT) und bei der Wartung.

Andererseits erfolgt die Prüfung des SAS, insbesondere seiner Automatisierungs-, Steuerungs- und Leitstellenfunktionen, in der Regel manuell. Aktuell ist es so, dass das Prüfen des Automatisierungs- und Kommunikationssystems länger dauert als das Prüfen der Schutzfunktionen. Automatisierungssysteme werden immer komplexer und der Aufwand für das Prüfen der Kommunikation und der Verriegelungslogiken sowie des ordnungsgemäßen Betriebs aller an die Leitstellensysteme übertragenen Signale ist enorm gestiegen.

In Anlagen mit herkömmlich verdrahteten Schnittstellen müssen im Rahmen von FATs und SATs sämtliche Verdrahtungs- und Verkabelungsverbindungen zwischen IEDs geprüft werden. Diese Prüfung erfolgt, indem alle Schnittstellen in gedruckten Funktionsdiagrammen und Schaltplänen in einem manuellen Prozess nacheinander „grün markiert“ werden. Zum Prüfen der Relaislogik müssen die physischen Eingänge erzwungen werden und die Logik ist entweder durch Überwachen der LEDs und Ausgänge oder mithilfe der IED-Software zu verifizieren. Zum Prüfen der Leitstellensignale wird eine End-to-End-Prüfung (auch als Punkt-zu-Punkt-

Prüfung bezeichnet) durchgeführt. Dazu werden die Signale direkt auf Betriebsmittelebene in der Schaltanlage oder durch zwangsweise Auslösung an den IEDs stimuliert. In der Regel sind zusätzliche Unterlagen erforderlich, wie beispielsweise eine Übersicht mit einer Liste von RTU (Remote Terminal Unit)-Signalen und deren Zuordnungen.

In Anlagen mit Schnittstellen auf Basis der IEC-61850-Kommunikation kann der Prozess zur Prüfung von Automatisierung und Steuerung verbessert werden, indem anstelle einiger der oben beschriebenen manuellen Schritte Software eingesetzt wird. Dieser Prozess kann sogar noch effizienter gestaltet werden, wenn bei der Nutzung der Möglichkeiten, die SCL bietet, einige der durch IEC 61850 definierten optionalen Funktionen verwendet werden.

II. IEC 61850 UND DAS SCL-KONZEPT

IEC 61850, die internationale Norm für die Kommunikation in Energieanlagen, definiert nicht nur Kommunikationsprotokolle, sondern auch Datenmodelle für Anlagenkomponenten [3] und abstrakte Kommunikationsdienste. Die drei Arten von Kommunikationsdiensten, die laut Norm für den Schutz, die Automatisierung und die Steuerung von Anlagen zu verwenden sind, sind Client/Server, GOOSE und Sampled Values (SV). Darüber hinaus ist in der Norm auch ein allgemeines, herstellerunabhängiges Konfigurationskonzept spezifiziert. In diesem Prozess werden maschinenlesbare Konfigurationsinformationen in einem XML-basierten standardisierten Format verwendet: SCL [2].

A. SCL Engineering-Prozess

Das SCL-Konzept ist in IEC 61850-6 definiert. Der Hauptzweck von SCL besteht darin, den kompatiblen Austausch von Daten zur Kommunikationssystemkonfiguration zwischen verschiedenen Konfigurations- und Prüftools zu ermöglichen.

In Abb. 1 ist das allgemeine Konzept des Engineering-Prozesses eines SAS unter Verwendung des Datenaustauschformats SCL dargestellt.

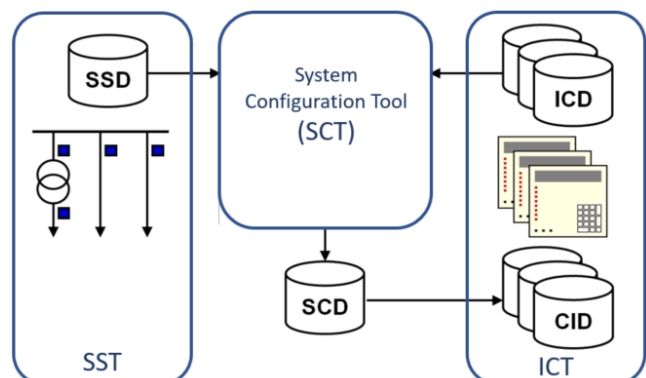


Abb. 1: SCL-Konzept

Für den Austausch von Informationen sind die folgenden Arten von SCL-Dateien spezifiziert (mit jeweils eigener Dateinamenerweiterung):

- SSD (System Specification Description): Dieser Dateityp wird zur Beschreibung des Einliniendiagramms der Anlage, vorhandener Spannungsebenen, der Primärausrüstung und der erforderlichen logischen Knoten für die Implementierung der Anlagenfunktionen verwendet. SSD-Dateien werden von einem SST (System Specification Tool) generiert.
- ICD (IED Capability Description): Dieser Dateityp dient zur Beschreibung der Funktionsmerkmale eines IED-Typs. Für jeden IED-Typ gibt es eine zugehörige ICD-Datei. Sie enthält Angaben zu den logischen Knoten, Daten und unterstützten Diensten für IED und wird vom ICT (IED Configuration Tool) generiert.
- SCD (Substation Configuration Description): Dateien dieses Typs enthalten alle konfigurierten IEDs, die Kommunikationskonfiguration und alle IEC-61850-Aspekte für das jeweilige System. Sie werden vom SCT (System Configuration Tool) generiert.
- CID (Configured IED Description): Dateien dieses Typs enthalten einen Teilsatz der SCD-Datei mit allen Informationen für ein konkretes IED. Private Erweiterungen sind zulässig.

Edition 2 der Norm definiert zwei weitere Dateitypen: IID (Instantiated IED Description) beschreibt ein einzelnes, für ein konkretes Projekt vordefiniertes IED, und SED (System Exchange Description) dient dem Austausch von Daten zwischen zwei verschiedenen Projekten.

Es gibt drei Arten von Engineering-Tools in diesem Prozess: SST (System Specification Tool), SCT (System Configuration Tool) und ICT (IED Configuration Tool).

Das SCT hilft beim Entwickeln und Konfigurieren des systemweiten Datenflusses für die IEC-61850-Kommunikation. Dazu werden ICD-Dateien aus allen IEDs sowie die SSD-Datei in das SCT importiert. Das Tool sollte die Konfiguration IEC-61850-bezogener Merkmale der IEDs, horizontaler Kommunikationsverbindungen (GOOSE und Sampled Values) und vertikaler Kommunikationsverbindungen (Client/Server-Reports) ermöglichen. Durch die Verwendung von Informationen aus der SSD-Datei kann der Ingenieur auch IED-Funktionen (Logical Nodes) den Geräten im Einlinienschaltbild zuordnen. Am Ende generiert das SCT die SCD-Datei, die das vollständige System dokumentiert.

Das ICT ist ein herstellerepezifisches Tool, mit dem die ICD-Dateien generiert und die konfigurierten Dateien im CID-Format in das IED geladen werden.

B. Abdeckungsbereich von SCL

Die Programmiersprache SCL in ihrer Gesamtheit ermöglicht die Beschreibung eines aus drei Grundbausteinen bestehenden Modells:

- Anlage: Beschreibt das Einliniendiagramm einer Schaltanlage und welche Primärausrüstung und Funktionen verwendet werden. Die Ausrüstung und Funktionen der Anlage sind mit logischen Knoten im IED verbunden.
- IED: Beschreibt alle Hardwaregeräte (IEDs), die im Stationsautomatisierungssystem verwendet werden. In diesem Teil wird das im IED implementierte Datenmodell einschließlich seiner logischen Geräte und logischen Knoten beschrieben. Die Verbindung zwischen IEDs und Kommunikationssystem wird über dessen Zugangspunkte hergestellt.
- Kommunikation: Beschreibt die logisch möglichen Verbindungen zwischen den IEDs in Teilnetzwerken über Zugangspunkte (Kommunikationsports).

Eine vollständige SCD-Datei besteht aus diesen drei Teilen und einem Abschnitt mit Datentypvorlagen zur Beschreibung der von den IEDs verwendeten Daten und Attribute.

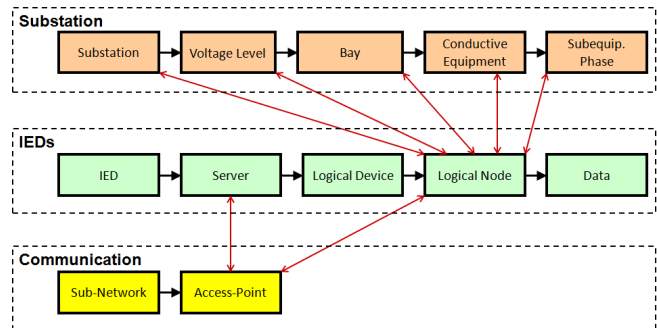


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung des Inhalts einer SCL-Datei

C. Anlagenaufbau und Benennung nach Funktion

Der Anlagenaufbau spiegelt die primäre Systemarchitektur wider und beschreibt, welche Primärausrüstungsfunktionen verwendet werden und wie die Ausrüstung verbunden ist. Die Objekte in dieser Sitzung sind hierarchisch geordnet und gemäß IEC 81346 benannt. Abb. 3 zeigt ein Beispiel für ein Einliniendiagramm einer Schaltanlage, bei dem die Benennungen hinsichtlich Aufbau und Ausrüstung, z. B. hinsichtlich der Trenn- und Leistungsschalter, der Norm IEC 81346 folgen.

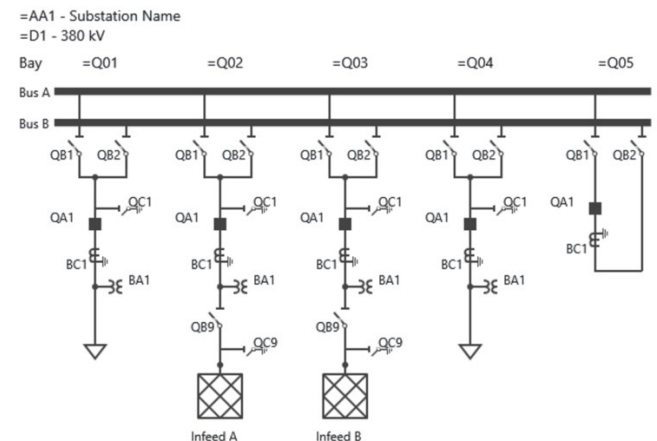


Abb. 3: Beispiel für eine Anlagentopologie

Der Hauptzweck dieses Abschnitts besteht darin, aus dem Anlagenaufbau eine Funktionsbezeichnung für die logischen IED-Knoten abzuleiten. Bei der Benennung von Signalen können Anwendungen die Benennung nach IED oder die Benennung nach Funktion verwenden.

Das Functional Naming ist ein Schema für die Signalbezeichnung die auf der Schaltanlagenstruktur bis hinunter zu den Logischen Knoten (Logical Nodes, LN) basiert. Die Schalterposition von QB1 im Feld Q01 von Abb. 3 könnte demnach mit dem Pfadnamen AA1D1Q01QB1/CSWI.pos.stVal bezeichnet und mit einem logischen CSWI-Knoten eines IED im Feld AA1D1Q01 verknüpft werden, wobei Folgendes gilt:

- AA1: Bezeichnung der Anlage
- D1: Bezeichnung des Spannungspegels
- Q01: Bezeichnung des Feldes
- QB1: Bezeichnung der Ausrüstung (des Trennschalters)

D. Inhalt und Verwendung von SCD-Dateien

Wie oben erläutert ist die SCD-Datei das Endergebnis aus einem vollständigen Systementwurf gemäß IEC 61850. Die SCD-Datei wird nicht nur von Engineering-Tools und zu Dokumentationszwecken, sondern auch von Prüftools verwendet. Prüftools können dabei helfen, Prüfungen effizienter zu machen, indem sie sich bei den Informationen in der SCD-Datei für die zu prüfende Anlage bedienen.

Die Norm gibt zwar ein klares Konzept für den Engineering-Prozess vor, sie enthält aber keinerlei Mindestanforderungen an den Inhalt der SCD-Datei. So ist beispielsweise die Bereitstellung von Topologieinformationen im Abschnitt <Substation> optional. Die Informationen im IED-Abschnitt sind von den Merkmalen der konkreten im Projekt verwendeten IED-Produkte abhängig. Damit ist klar, dass der Effizienzgrad, den Prüftools bieten können, von den Fähigkeiten der gewählten IEDs und den Gesamtinformationen in der SCD-Datei abhängt.

III. ÜBERLEGUNGEN ZUR ENTWICKLUNG IEC-61850-KONFORMER SYSTEME

Prüfanforderungen sollten stets integraler Bestandteil des Engineering-Prozesses sein. Für effizientere Prüfprozesse sollte während der Spezifizierung und in den frühen Entwurfsphasen klar definiert sein, wie das SAS in seinem Lebenszyklus geprüft werden wird.

Im vorherigen Abschnitt wurde auf die Tatsache hingewiesen, dass die Informationen in der SCD-Datei extrem wichtig dafür sind, was die Prüftools leisten können. Daher ist es im Sinne optimaler Prüfungen wichtig, einige der IED- und SCD-Schlüsselanforderungen zu kennen. In diesem Abschnitt werden einige dieser Anforderungen erörtert, es wird darauf eingegangen, was zu berücksichtigen ist, und es wird gezeigt, wie das System konstruiert und entwickelt werden kann.

A. IED-Anforderungen

1. Prüfmodus und Simulations-Flag

Beim Prüfen von Anlagen, die bereits unter Spannung stehen, oder bei Wartungsaktivitäten ist darauf zu achten, dass die zu prüfenden IEDs isoliert werden. So kann eine unbeabsichtigte Auslösung des Leistungsschalters oder ein ungewollter Austausch von Signalen zwischen IEDs durch die Prüfung vermieden werden. IEC 61850 Edition 2 beschreibt zwei erweiterte Funktionen, die zur Abtrennung für die Prüfung verfügbar sein sollten.[5]

Eine der Funktionen ist die Möglichkeit, eine Funktion oder ein IED über das Datenobjekt „Mod“ (Modus) in den Prüfmodus zu versetzen. Der resultierende Prüfmodusstatus wird durch das Attribut „Beh“ (Behavior, Verhalten) anhand des „Mod“-Wertes einzelner logischer Knoten innerhalb eines logischen Geräts ermittelt. IED-Hersteller entscheiden sich normalerweise für eine einfache Implementierung mit nur einem „Mod“-Datenobjekt, mit dem das gesamte IED in den Prüfmodus gesetzt wird. Die möglichen Werte für das „Mod“-Datenobjekt sind „on“, „blocked“, „test“, „test/blocked“ und „off“.

Die andere Funktion ist das Simulations-Flag in GOOSE und Sampled Values. Subscriber sollten das Simulations-Flag unterstützen. Das Datenobjekt „LPHD.Sim“ dient als Schalter zwischen den Nachrichten, die von den echten IEDs im System eingehen, und den simulierten Nachrichten, die von Prüfgeräten oder Prüftools eingehen.

2. LGOS und LSVS

Das Verifizieren von zu veröffentlichenden GOOSE- oder SV-Nachrichten ist nicht kompliziert. Diese Nachrichten verwenden einen Multicast-Mechanismus und lassen sich daher einfach im Netzwerk auffinden. Dagegen ließe es sich ohne die Einführung von logischen Überwachungsknoten im Datenmodell von IEDs deutlich schwieriger herausfinden, ob diese Nachrichten durch andere IEDs subskribiert wurden.

Der LGOS (Logical Node for GOOSE Subscription), der zum Überwachen des Status von GOOSE-Subskriptionen zu verwenden ist, wird durch IEC 61850-7-4 Ed. 2 [3] definiert. Zum Überwachen des Status von SV-Subskriptionen kommt der LSVS (Logical Node for Sampled Values Subscription) zum Einsatz.

Für jede konfigurierte Subskription sollten Instanzen von LGOS- und LSVS-LNs verfügbar sein, damit Prüftools über eine Client/Server-Verbindung den Empfang von Nachrichten automatisch verifizieren können. Wenn die GOOSE-/SV-Nachricht nicht empfangen wurde oder es Unstimmigkeiten bei der Konfiguration von Publisher und Subscriber gibt, kann das Prüftool das Vorliegen eines Problems feststellen.

3. Report-Owner und statische Datasets

„Report“ ist ein in der Norm definierter Client/Server-Dienst, der in Leitstellensystemen zum Übertragen einer Ereignisliste von einem Server (IED) an einen Client (RTU, Gateway oder HMI (Human Machine Interface)) verwendet wird. Er verwendet das MMS (Manufacturing Messaging Specification) Protokoll und baut eine Direktverbindung zwischen Clients und Servern auf.

RCB (Report Control Blocks) im IED-Datenmodell enthalten Konfigurationsparameter für die Reports. Die Norm definiert ein optionales Attribut namens „owner“, mit dem angegeben werden kann, welcher Client den Bericht nutzt. Durch Abfragen des Wertes des RCB-Attributs „owner“ können Prüftools prüfen, ob vorkonfigurierte Client/Server-Verbindungen aktiv sind.

Mithilfe von Datasets können Reports bestimmen, welche Attribute (Signale) des Datenmodells im Report enthalten sein werden. Datasets lassen sich sowohl statisch als auch dynamisch erstellen. Dynamische Datasets werden vom Client nach dem Herstellen der Verbindung zum Server erstellt, das heißt, der Client definiert den Inhalt des Berichts. Der Inhalt der dynamischen Datasets ist nicht in der SCD-Datei beschrieben und wird in der Regel in einer separaten und oft inkonsistenten „SCADA-Signaltabelle“ dokumentiert. Statische Datasets wiederum werden im SCT beim Konfigurieren des IED definiert und können von Clients nicht geändert werden. Die Verwendung statischer Datasets hat den Vorteil, dass die Daten im Report in der SCD-Datei beschrieben und für Dokumentations- und Prüfzwecke verfügbar sind. Das Dataset sollte in jedem Fall nur die Datenobjekte (Signale) enthalten, die vom entsprechenden Client tatsächlich verarbeitet werden. Datasets mit allen Signalen zu überladen, die im Datenmodell des IED verfügbar sind, erzeugt nur unnötige Netzwerklasten, macht die Signalprüfungen schwierig und produziert sehr große SCD-Dateien.

B. Anforderungen an die SCD-Datei

In diesem Abschnitt werden einige Anforderungen an den Inhalt von SCD-Dateien erörtert. Zu Illustrationszwecken wird ein Beispiel von Extrakten aus SCD-Dateien gezeigt, das demonstriert, wie die Informationen aufzunehmen sind und wie Prüftools anschließend davon profitieren. Zu beachten ist dabei, dass Anwender, die das System konfigurieren, diese SCD-Dateien nicht manuell ändern sollten. Das System Configuration Tool sollte eine einfache grafische Benutzeroberfläche für das Erstellen und Konfigurieren der SCD-Datei bieten.

1. Anlagentopologie und Verknüpfung zwischen Schaltanlage und LNs

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, ist der Anlagenteil der SCD-Datei optional. Wenn die Engineering-Tools die Konfiguration unterstützen und dieser Abschnitt ordnungsgemäß aufgebaut ist, können Prüftools die IEDs und die Ausrüstung strukturiert am richtigen Ort anzeigen.

Abb. 4 zeigt einen Teil des SCL-Abschnitts <Substation> für unsere Beispielanlage in Abb. 3. Der hierarchische Aufbau mit Angabe von Anlage (<Substation>), Spannungsebenen (<VoltageLevel>), Feld (<Bay>) und Ausrüstung (<ConductingEquipment>) ist vorhanden und konfiguriert.

```
<Substation desc="Munich" name="AA1" sxy:x="1" sxy:y="5">
  <PowerTransformer name="TA1" sxy:y="9" type="PTR">
  <PowerTransformer name="TA2" sxy:x="15" sxy:y="9" type="PTR">
  <VoltageLevel name="D1">
    <Voltage multiplier="k" unit="V">380</Voltage>
    <Bay desc="TF1" name="Q01" sxy:x="1" sxy:y="2">
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="FDIS" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="PTOC" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3S1S1" lnClass="ATCC" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3T1F1" lnClass="YLTC" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q2" ldInst="T3T1F1" lnClass="YFTR" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="PTRC" lnI
      <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q01F1" lnClass="RBRF" lnI
      <LNNode lnClass="MMXU" lnInst="1"/>
    <ConductingEquipment name="BC1" sxy:y="4" type="CTR">
      <ConductingEquipment name="QA1" sxy:y="5" type="CBR">
        <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="C1LO
        <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="XCBR
        <LNNode iedName="AA1D1Q01Q1" ldInst="C1Q02QA1" lnClass="CSWI
        <Terminal bayName="Q01" cNodeName="L11" name="L11" substation
        <Terminal bayName="Q01" cNodeName="L12" name="L12" substation
      </ConductingEquipment>
    </Bay>
  </VoltageLevel>
</Substation>
```

Abb. 4: Beispiel für den SCL-Abschnitt <Substation>

Abb. 5 zeigt ein Beispiel eines Prüftools nach dem Importieren der SCD-Datei der Beispielanlage aus Abb. 3. Die 5 Felder (in der Abbildung sind nur 3 dargestellt) der 380-kV-Schaltanlage sind entsprechend gruppiert und jedem Feld sind die entsprechenden Leistungs- und Trennschalter zugeordnet. Die IEDs sind ebenfalls den entsprechenden Feldern zugeordnet. Auch wenn in diesem Fall die Einliniendiagramm-Informationen nicht voll vorhanden sind, reichen die Informationen doch aus, damit das Prüftool die Ausrüstung und die IEDs sinnvoll und verständlich anzeigen kann.



Abb. 5: Darstellung der Beispielanlage im Prüftool

Schaltanlagen-ausrüstung (wie Leistungs- und Trennschalter) sollten mit logischen IED-Knoten verknüpft sein. Das Engineering-Tool sollte eine grafische Konfiguration dieser Verknüpfung zulassen und diese im SCL-Abschnitt <Substation> mithilfe der <LNNode>-Verweise definieren. Abb. 4 zeigt das SCL-Beispiel des Leistungsschalters QA1 in Feld Q01, der mit den logischen Knoten „XCBR“, „XSWI“ und „CSWI“ des IED mit der Bezeichnung „AA1D1Q01Q1“ verknüpft ist. Abb. 6 zeigt diese mit dem Leistungsschalter QA1 verknüpften Signale nach Auswahl des Leistungsschalters im Diagramm des Prüftools. Aufgrund der Verknüpfung mit logischen Knoten aus IED-Q1 kann das Tool erkennen, ob diese Signale durch das IED via GOOSE oder Reports übertragen wird. In Abb. 6 sind die GOOSE-Signale durch violette Linien dargestellt, Reports durch grüne Linien.

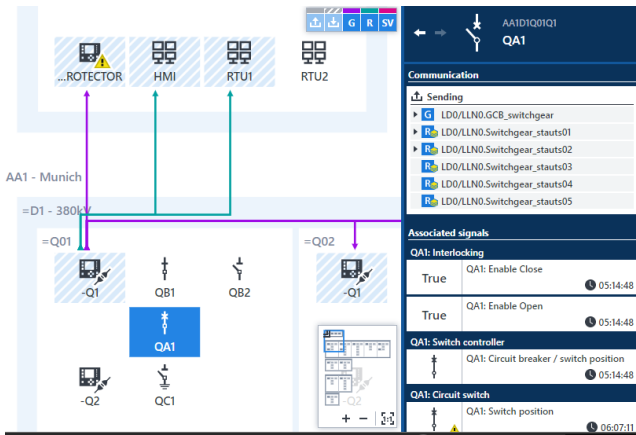


Abb. 6: Mit dem Leistungsschalter QA1 verknüpfte Signale

Genau wie der Leistungsschalter können auch Strom- (CT) und Spannungswandler (VT) <LNode>-Verweise auf „TCTR“- und „TVTR“-LNs von IEDs haben.

2. SCL-Beschreibungsattribute

Wenn Datenobjekte mit SCL-Beschreibungsattributen („desc“) ausgestattet sind, kann das Prüftool den darin enthaltenen Text als Signalbezeichnung anzeigen. Engineering-Tools erlauben häufig das Festlegen von eigenen Bezeichnungen für Datenobjekte. Statt die Bezeichnungen des logischen Knotens, des Datenobjekts und des Attributs gemäß IEC 61850 zu verwenden, kann sich der Anwender die Signale nach seinen eigenen Benennungskonventionen anzeigen lassen. Auf diese Weise lässt sich die IEC-61850-Komplexität verbergen und nur auf Aufforderung hin sichtbar machen. Abb. 7 zeigt eine verständliche Beschreibung der Position des Leistungsschalters. Die Bezeichnung des logischen XCBR-Knotens ist nur in der Detailansicht zu sehen.

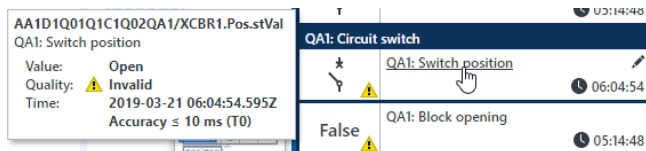


Abb. 7: Anzeige der Signalbeschreibung

3. GOOSE-Konfiguration

Der logische LGOS-Knoten, der im Abschnitt zu den IED-Anforderungen beschrieben wird, definiert, welche GOOSEs subskribiert werden und die Überwachung des Subskriptionsstatus erlauben. Die Programmiersprache SCL bietet für die Beschreibung von Subskriptionen auch andere Möglichkeiten. Subskriptionen können im IED-Abschnitt der SCL-Datei entweder unter Verwendung des Elements <IEDName> unter dem GOOSE-Steuerblock (<GSEControl>) oder unter Verwendung der Elemente <Inputs><ExtRef type="GOOSE"> beschrieben werden. Abb. 8 zeigt die GOOSE-Konfiguration des IED „AA1D1Q01Q1“ in der SCD-Datei für unsere Beispielanlage und beschreibt, dass sie von fünf anderen IEDs subskribiert wurde.

```
<GSEControl name="GCB_switchgear" type="GOOSE" dataSet="
  <IEDName>BB_PROTECTOR</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q02Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q03Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q04Q1</IEDName>
  <IEDName>AA1D1Q05Q1</IEDName>
</GSEControl>
```

Abb. 8: In der SCD-Datei definierte GOOSE-Subskriptionen

Prüftools sind dann, wie in Abb. 9 zu sehen, in der Lage, die GOOSE-Verknüpfungen und die Beziehung zwischen Publisher und Subscribers darzustellen.

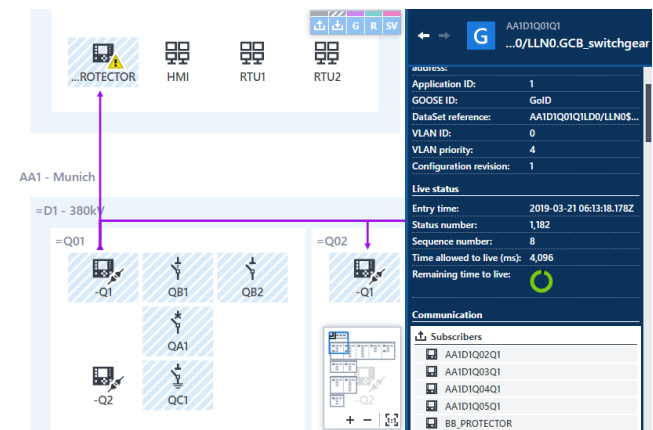


Abb. 9: Darstellung der GOOSE-Verbindungen

Weitere wertvolle Informationen über die GOOSE-Konfiguration, die in der SCD-Datei enthalten sein sollten, sind die Attribute „minTime“ und „maxTime“. Diese Attribute sind optional und beschreiben die minimalen und maximalen Übertragungszeiten, die das IED verwendet, das als GOOSE-Publisher agiert.

4. Report-Konfiguration

Genau wie oben für GOOSE beschrieben, können in der SCD-Datei auch Report-Verbindungen für das SCADA-System beschrieben werden. Für HMIs, RTUs oder Gateways können RCBs reserviert sein. Dies sollte anhand von <ClientLN> im Element <ReportControl> deklariert sein, wie in Abb. 10 und Abb. 11 dargestellt.

```
<ReportControl name="Measurements" buffered="true" bufTime="100" dat
  <TrgOps chg="true" qchg="true" dupd="true" period="true" gi=
  <OptFields seqNum="true" timeStamp="true" dataSet="true" rea=
  <RptEnabled max="5">
  <ClientLN iedName="HMI" ldInst="none" lnInst="1" lnClass="IHMI"/>
  <ClientLN iedName="RTU1" ldInst="none" lnInst="1" lnClass="ITCI"/>
</ReportControl>
```

Abb. 10: RCB mit reservierten Clients

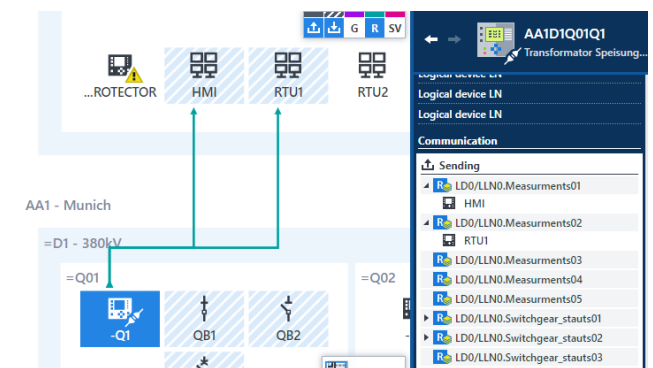


Abb. 11: Anzeige von Report-Verbindungen im Prüftool

C. Netzwerkauslegung

Beim Auslegen des Kommunikationsnetzwerks [4] sollten auch Prüfaspekte berücksichtigt werden. Das Prüfen im Rahmen von FATs mag zwar mehr Flexibilität bieten, wenn es um das Anschließen von Geräten an das Netzwerk bzw. das Trennen von Geräten vom Netzwerk geht, aber sobald

die Anlage unter Spannung steht, sollten strenge Einschränkungen gelten. Während der SAS-Spezifizierungsphase sollten daher klare Prüfverfahren und Prüffälle für verschiedene Szenarien spezifiziert werden. Das Netzwerk sollte Prüfungen ermöglichen, ohne dass das System möglichen Fehlfunktions- oder Cybersicherheitsproblemen ausgesetzt wird.

1. Netzwerktopologie

Beim Entwickeln der Netzwerktopologie sollten zu Prüfzwecken physische Zugangspunkte klar definiert und in der SAS-Dokumentation angegeben werden. Auch der physische Standort der Zugangspunkte ist zu berücksichtigen. Das Prüfpersonal sollte genau darüber informiert werden, wo Prüfgeräte und Prüflaptops für konkrete Prüfereignisse anzuschließen sind. Zur Überwachung des Kommunikationssystems sollten alle Netzwerksegmente, der Prozessbus und der Anlagenbus verfügbar sein und Einsicht in das gesamte System bieten. Bei HSR (High-availability Seamless Redundancy)- und PRP (Parallel Redundancy Protocol)-Netzwerken sollte für den Anschluss von Prüfgeräten über die Verwendung von RedBox (Redundant Box) nachgedacht werden.

2. Steuerung des Netzwerkverkehrs

Um Überlastungen zu vermeiden oder auf ein Minimum zu beschränken, kann unnötiger Verkehr im Netzwerk eingeschränkt werden. Zu den Mechanismen, die zum Steuern des Netzwerkverkehrs eingesetzt werden können, gehören Multicast und VLAN-Filterung. VLAN (Virtual LAN) ermöglicht eine logische Trennung eines Netzwerks. Während des Engineering Design können GOOSEs und Sampled Values VLAN-Domains zugewiesen werden, und für jeden Port in den Schaltern ist festgelegt, zu welchem VLAN er gehört. Beim Einrichten von Maßnahmen zur Verkehrssteuerung sollte die Möglichkeit einer Prüfung des SAS erwogen werden, um zu vermeiden, dass nur für Prüfzwecke nachträglich Konfigurationsänderungen vorgenommen werden müssen. Für eine VLAN-Filterung kann beispielsweise vorab definiert werden, welche Ports für den Anschluss von Prüfgeräten verwendet werden, und die VLAN-Domains für diese Ports können dann entsprechend konfiguriert werden.

IV. PRÜFEN DES STATIONS AUTOMATISIERUNGSSYSTEMS

A. Prüfansatz

Wie oben bereits erwähnt, werden Prüfungen der Automatisierungs- und Steuerungsfunktionalität normalerweise manuell durchgeführt. Es gibt Tools zum Prüfen auf IED-Basis, mit denen IEDs individuell geprüft und simuliert werden können.

Die hier vorgestellte Methode erweitert die Prüfung vom Prüfen und Simulieren einzelner IEDs auf das Prüfen des gesamten SAS. Die Prüfung basiert vollständig auf der SCD-Konfigurationsdatei des Systems. Durch Importieren der SCD-Datei kann das gesamte System visualisiert werden und alle in der SCD-Datei enthaltenen Informationen werden genutzt. Die Informationen im Abschnitt <Substation> werden genutzt, um die IEDs und die Schaltanlagen ausrüstung in ihren Spannungspegeln und Feldern zu platzieren. Wie in Abb. 5 zu sehen, sieht der Prüfer das System auf sehr ähnliche Weise wie im Einliniendiagramm oder im HMI der lokalen

Anlage, also in Darstellungsweisen, mit denen er bereits vertraut ist.

Die vorgeschlagene Methode eignet sich zum Prüfen des SAS während des gesamten Projektlebenszyklus. Die Projektphasen werden in IEC 61850-4 beschrieben und in Abb. 12 dargestellt. Das Tool, das diese Methode verwendet, sollte sowohl das Überwachen als auch das Simulieren des Systems unterstützen. Beim Prüfen des Systems sollte das Prüfgerät Zugriff auf den Netzwerkverkehr haben und über MMS mit den IEDs verbunden sein.

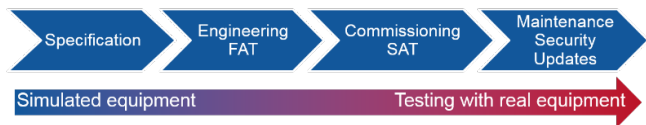


Abb. 12: SAS-Projektlebenszyklus

Während der Spezifizierung kann die SCD-Datei validiert und zur Unterstützung der Konfiguration der Geräte verwendet werden. Das Entwickeln und Prüfen von SCADA-RTUs und -HMIs kann mit der Simulation des Kommunikationsverhaltens aller IEDs im System beginnen. Während FATs können IEDs, die noch nicht vorhanden sind, simuliert werden, um eine Prüfung der bereits installierten und verfügbaren IEDs zu ermöglichen. Wenn das Projekt dann in die Inbetriebnahmephase eintritt, finden mehr Überwachungs- und Prüfaktivitäten als Simulation statt.

Einer der entscheidenden Faktoren für einen effizienten Ansatz ist die Möglichkeit, Prüfpläne zu erstellen. Es ist möglich, ein Prüfverfahren zu dokumentieren und dieses während des gesamten Lebenszyklus des SAS wiederzuverwenden. Prüfsequenzen können automatisch ausgeführt und bewertet werden.

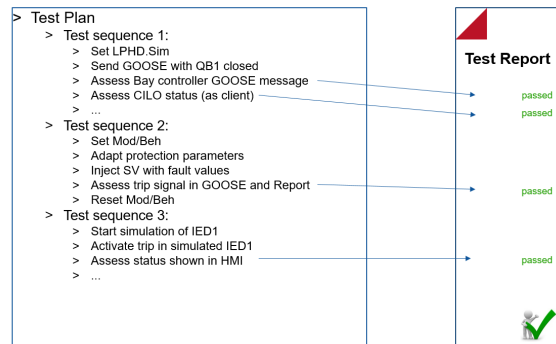


Abb. 13: Beispiel für einen Prüfplan

In den folgenden Abschnitten dieses Aufsatzes werden einige Prüffälle im Zusammenhang mit dem SAS erörtert.

B. Verifizierung der Kommunikationsverbindungen

Wenn die SCD-Datei geladen wird und Zugriff auf den Netzwerkverkehr und die MMS-Verbindung zu den IEDs besteht, kann das Prüftool alle GOOSE-, SV- und Report-Kommunikationsverbindungen automatisch validieren.

Das Prüfgerät kann Attribute in den IEDs abfragen und diese anhand des Modells validieren. Es kann beispielsweise prüfen, ob die RCBs aktiviert sind und ob die Report-Owner die in der SCD-Datei angegebenen Clients sind.

GOOSE-Kommunikationsverbindungen können auf folgende Kriterien geprüft werden:

- GOOSE-Diskrepanz auf Absenderseite: durch Prüfen der Control-Block-Einstellungen
- GOOSE-Publishing-Fehler: durch Abhören des Netzwerks und Vergleichen mit der SCD
- GOOSE-Subskriptionsfehler: durch Prüfen der LGOS-Status an allen IEDs, bei denen es Subskriptionen gibt Diskrepanzen werden ebenfalls geprüft.

Abb. 14 zeigt ein Beispiel, bei dem die von einem IED ausgegebene GOOSE-Nachricht im Netzwerk geprüft und bei einem der Subscriber ein Problem aufgrund einer Diskrepanz in der Konfigurationsrevision festgestellt wird. Das Problem wird dargestellt, indem die entsprechende Verbindung gelb hervorgehoben wird und Warnsymbole angezeigt werden.

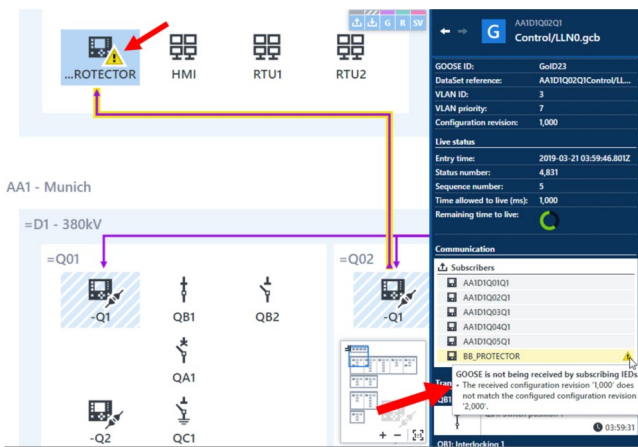


Abb. 14: Prüfung von GOOSE-Publisher-Subscriber-Verbindungen

C. Prüfen von Verriegelungslogiken

IEDs enthalten Logiken für die verschiedensten Automatisierungsfunktionen. Mit dem hier beschriebenen Ansatz können diese Logiken automatisch geprüft werden, indem die Eingaben der Logik (über IED-Simulation oder den tatsächlichen Status der Schaltanlage) simuliert werden, woraufhin dann das Ergebnis der Logik bewertet werden kann. Ein Anwendungsbeispiel ist die Verwendung der Logik für Verriegelungsschemas, um die ordnungsgemäße Betriebsführung von Trenn- und Erdungsschaltern sicherzustellen. Zur Darstellung des Ergebnisses von Verriegelungslogikbedingungen stellt IEC 61850 den Status der Freigabe im logischen Knoten CILO dar. Zu Prüfzwecken können alle Kombinationen von Eingaben geprüft werden, und die Logikausgabe wird bewertet, indem die CILO-Statuswerte automatisch gelesen werden.

▼ Test case Q01-1

Simulation

QB1: QB2: QA1:

Assessments

QB1-CILO: close-locked
 QB2-CILO: open-locked
 QA1-CILO: unlocked

► Test case Q01-2

Abb. 15: Prüfen von Verriegelungsschemas

D. Problembekämpfung durch das Verfolgen von Signalen

In einem SAS finden viele Nachrichten- und Signalübertragungen statt. Ein Signal durchläuft mehrere Schritte, bis es in der Leitstelle eintrifft. Wenn bei dieser Kommunikation ein Fehler auftritt, muss der Inbetriebnehmer das Signal auf seinem Weg durch das SAS verfolgen. Bei herkömmlich verdrahteten Stationen ist das Aufspüren solcher Signalfehler sehr zeitaufwendig. Mithilfe der in diesem Aufsatz beschriebenen Prüfmethode ist es in einer IEC-61850-konformen Anlage möglich zu verfolgen, wie sich die Signale durch das SAS verbreiten.

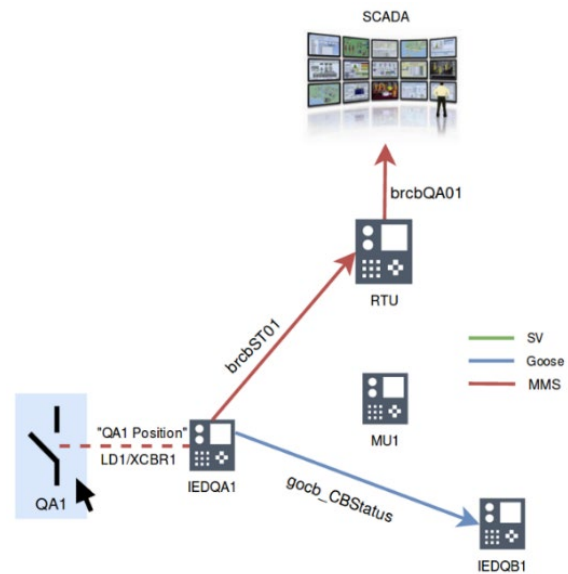


Abb. 16: Übertragung der Position des Leistungsschalters innerhalb des SAS

E. Prüfen der RTU-/Gateway- und der lokalen HMI-Konfiguration

Gateways, RTUs und das lokale HMI kommunizieren normalerweise mit fast allen IEDs im System – hauptsächlich über Reports, aber auch über GOOSE. In der Regel müssen mehrere tausend Signale geprüft werden. Bei der Inbetriebnahme werden zumindest die wichtigsten Signale über die gesamte Übertragungsstrecke hinweg geprüft, wobei das Signal in der Schaltanlage stimuliert wird. Alle anderen Signale können durch ein Prüftool simuliert werden. Zur Beschleunigung der Verifizierung kann ein Prüfplan erstellt werden, bei dem das Prüftool alle IEDs und Signale der Anlage simuliert.

Gateways/RTUs, HMIs und andere IEDs erhalten während ihrer Lebenszeit im Allgemeinen oft Firmwareaktualisierungen und Sicherheitspatches. Nach einer Aktualisierung können die Geräte ganz einfach neu geprüft werden („Sanity Check“), indem der für das betreffende Gerät bereits erstellte Prüfplan ausgeführt wird, bevor das Gerät wieder in Betrieb geht. Solche Prüfungen können in der Anlage stattfinden, wobei alle anderen IEDs durch ein modernes Prüftool simuliert werden, ohne dass die in Betrieb befindlichen Geräte beeinträchtigt werden.

V. FAZIT

Das in IEC 61850-6 beschriebene Schema SCL ist einer der größten Vorteile der Norm. Sie ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen Engineering-Tools. Alle Aspekte des Kommunikationssystems können in einer SCD-Datei gespeichert werden, die die endgültige Dokumentation des Systems darstellt. Dies ist besonders wichtig, da immer mehr Verkabelungen von Signalen zwischen Feldern durch die extensive Verwendung von GOOSE-Diensten ersetzt werden. Damit wird die SCD-Datei genauso relevant wie es früher Klemmpläne und Schaltpläne waren. Die ersten Anwender von SCL hatten jedoch das Problem, dass es an Tools mangelte, die die vollen Möglichkeiten der Programmiersprache ausschöpften. Dank der fortschreitenden Entwicklung der Tools hat sich dies mittlerweile geändert. Außerdem werden inzwischen einige der in der Edition 2 der Norm definierten Schlüsselfunktionen in die IEDs implementiert.

Inbetriebnahme- und Wartungstechniker mit modernen Prüftools profitieren darüber hinaus von der Vielzahl an Informationen, die in den SCD-Dateien gespeichert sind. Um die Tools maximal auszunutzen, sollten wichtige IED- und SCL-Anforderungen erfüllt und folglich in technischen Spezifikationen für Ausschreibungen und Kaufverträge angefordert werden. Diese Anforderungen werden in diesem Aufsatz beschrieben, um Technikern eine Anleitung an die Hand zu geben, wie das SAS spezifiziert und entworfen werden sollte.

Für das Prüfen der Kommunikation, der Automatisierung, der Steuerung und des SCADA-Teils des SAS wurde ein innovativer Prüfansatz vorgestellt, dessen Grundlage die Informationen in der SCD-Datei sind. Es ist jetzt möglich, Prüfpläne zu erstellen, um Prüfverfahren zu dokumentieren und zu automatisieren, die bisher sehr zeitaufwendig waren. Automatisierte Prüfpläne ermöglichen auch schnelle Wiederholungsprüfungen nach dem Installieren der heutzutage recht häufigen Sicherheitspatches und Firmwareaktualisierungen. Das Prüfen wird damit zu einem integralen Bestandteil des Systems und entwickelt sich schnell zu einer Möglichkeit, das System zu überwachen und zu beaufsichtigen.

VI. QUELLENVERZEICHNIS

- [1] IEC 61850-4 Ed.2: 2011 Communication networks and systems for power utility automation – Part 4: System and project management.
- [2] IEC 61850-6 Ed. 2: 2009: Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs.
- [3] IEC 61850-7-4 Ed. 2: 2010: Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data object classes.
- [4] IEC TR 61850-90-4: 2013: Communication networks and systems for power utility automation – Part 90-4: Network engineering guidelines.
- [5] C. Brunner, F. Steinhauser, „Testing and IEC 61850 Edition 2 – what does it mean for the Protection Engineer“, International Protection Testing Symposium, 2010.
- [6] E. Carvalheira, J. Coronel, „A Testing Approach for Commissioning the entire Protection System in Sampled Values Based Substations“, SIPSEP – Simposio Iberoamericano Sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia, Mexico, 2013.
- [7] A. Klien, T. Schossig, „New Methods for Testing Automation and Control“, PACWorld Americas Conference, Raleigh, NC, 2018.

VII. AUTOREN

Eugenio Carvalheira erlangte seinen Bachelor of Science in Elektrotechnik in Brasilien und seinen Master of Science in Computational Engineering in Deutschland. Er hat mehr als 17 Jahre Erfahrungen im Bereich der Entwicklung und Inbetriebnahme von Schutz-, Automatisierungs- und Steuersystemen für Netzwerke. Er begann 2008 bei OMICRON als Anwendungstechniker und arbeitet derzeit als Engineering Manager for North America in Houston, Texas. Außerdem ist er aktives Mitglied des IEEE-PES-PSRC.

Andreas Klien erhielt seinen Master of Science in Computer Engineering an der Technischen Universität Wien. Er kam 2005 zu OMICRON und beschäftigt sich seitdem mit IEC 61850. Seit 2018 ist Andreas bei OMICRON für den Bereich „Kommunikation in Energieanlagen“ zuständig. Er verfügt über Erfahrungen auf den Gebieten Anlagenkommunikation, SCADA und Cybersicherheit von Netzwerken. Als Mitglied der WG10 im TC57 der IEC arbeitet er an der Weiterentwicklung der Normenserie IEC 61850 mit.