



# Schlussbericht zum Forschungsprojekt **i-Autonomous**

„Standardisierung und Integration modular-autonomer  
Automatisierungskomponenten in neuartige,  
intelligente Ortsnetzstationen“

Teilvorhaben:

Durchgängigkeit und Standardisierung des Projektierungs-, Prüf- und  
Lifecycleprozesses

Projektlaufzeit: 01.10.2019 – 31.03.2023

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Dipl.-Ing. (FH) Jan Arph M. Eng.

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende  
Vorhaben wurde mit Mitteln des  
Bundesministeriums für Wirtschaft und  
Energie unter dem Förderkennzeichen  
03EI6001D gefördert.

Dortmund, 27.09.2023

# Inhalt

Abkürzungsverzeichnis .....	II
1 Projektbeschreibung .....	1
1.1 Aufgabenstellung.....	2
1.2 Voraussetzungen .....	3
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.4 Stand der Wissenschaft und Technik .....	5
1.5 Zusammenarbeit .....	8
1.5.1 Technische Universität Dortmund (ie3) .....	8
1.5.2 Westnetz GmbH (WN).....	9
1.5.3 OFFIS – Institut für Informatik (OFFIS) .....	9
1.5.4 H & S Hard- und Software Technologie GmbH & Co. KG (H & S) .....	9
1.5.5 KoCoS Messtechnik AG (KoCoS) .....	10
1.5.6 Energie Waldeck-Frankenberg GmbH (EWF) .....	10
2 Projektergebnisse.....	11
2.1 Technische und wissenschaftliche Ergebnisse .....	11
2.1.1 Engineeringprozess - Top-Down-Engineering .....	11
2.1.2 Private Informationen .....	11
2.1.3 Automatisierte Applikations- und Netzmodellerstellung.....	14
2.1.4 Automatisierte Systemprüfungen (StateEstimation) .....	14
2.1.5 Systemvisualisierung .....	20
2.1.6 Zusammenfassung und tabellarischer Vergleich von Zielen und Ergebnissen .....	22
2.3 Verwendung der Zuwendung.....	24
2.4 Verwertbarkeit .....	24
2.5 Fortschritt anderer Stellen .....	25
2.6 Veröffentlichungen.....	25
3 Literaturverzeichnis.....	27
4 Abbildungsverzeichnis.....	28
6 Tabellenverzeichnis .....	29

## Abkürzungsverzeichnis

CIM	Common Information Model
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
MMS	Manufacturing Messaging Specification
ONS	Ortsnetzstation
SCL	Substation Configuration description Language
UW	Umspannwerk
viED	Virtual Intelligent Electronic Device
ICD	IED Capabilty Description
IID	Instanciated IED description
SSD	System Specification Description
SCD	System Configuration Description
CID	Configured IED Description

# 1 Projektbeschreibung

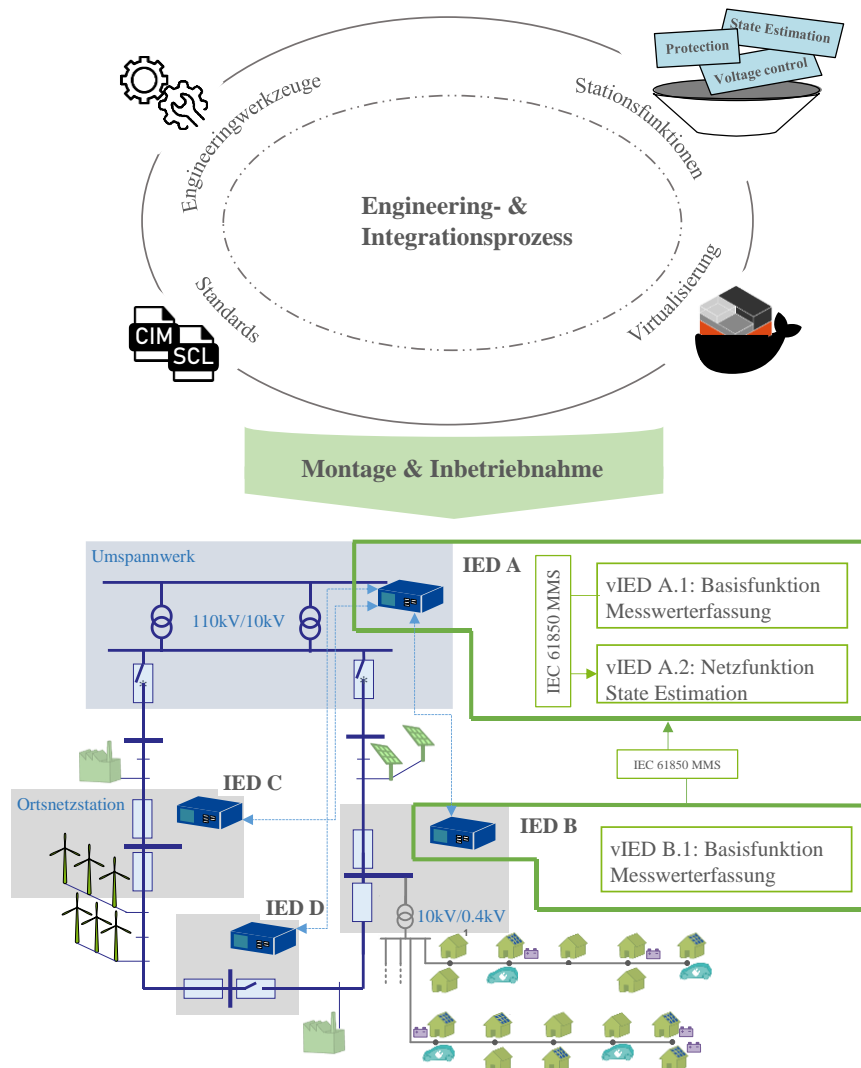
Die Integration von dezentralen, erneuerbaren Energiequellen wie Photovoltaik- und Windkraftanlagen, neuartigen Lasten wie Wärmepumpen und Elektromobilität sowie Speichern in das elektrische Energieversorgungsnetz wirken sich aufgrund ihrer Anschlussleistung insbesondere auf die Betriebsmittel der Verteilnetzebene aus. Der Einfluss und die damit einhergehenden Auswirkungen der volatilen Netzteilnehmer auf die Mittel- und Niederspannungsnetze lässt sich mithilfe von intelligenten Hard- und Softwarekomponenten identifizieren, die zusammenwirkend ein Verteilnetzautomatisierungssystem beschreiben. Ein solches System bestehend aus Mess- und Automatisierungskomponenten sowie Netzfunktionen ermöglicht die Zustandsbeurteilung der Primärtechnik um daraus Maßnahmen für einen effizienten und vor allem sicheren Netzbetrieb abzuleiten.

Die Umsetzung eines solchen Gesamtsystems erfordert sorgfältige Planung, Koordination und Überwachung. Während in verschiedenen anderen Forschungsprojekten lediglich die Hardware- und Softwareintegration und deren prototypische Erprobung im Vordergrund stand, war das Ziel des Forschungsprojekts i-Autonomous, ein Konzept zu entwerfen und zu erproben, welches die Prozesse von der Anforderungsanalyse bis hin zur Inbetriebnahme von Verteilnetzautomatisierungssystemen beschreibt um im Anschluss eine einheitliche Integration solcher spezifizierten Systeme zu realisieren. Ein besonderer Schwerpunkt war dabei der Aufbau eines standardisierten Vorgehens und somit ein Engineering- und Integrationskonzept zu erarbeiten um möglichst effizient, dynamisch und nachhaltig Automatisierungssysteme in die Netzebenen unterhalb von 110kV zu integrieren.

Die wesentlichen Kernaspekte eines Automatisierungssystems für Verteilnetze im Rahmen von i-Autonomous sind: *Standardisierung, Stationsfunktionen, Virtualisierung* sowie die Anwendung von *Engineeringwerkzeuge*. Durch eine Standardisierung gemäß IEC 61850-6 (Substation Configuration description Language, SCL) [1] und IEC 61970-301 (Common Information Models, CIM) [2] soll ein Zusammenspiel verschiedener Systeme ohne erheblichen Engineeringaufwand ermöglicht werden. Dadurch kann die Kompatibilität verbessert sowie wiederholte Prozesse optimiert werden. Mithilfe von Stationsfunktionen lassen sich Zustände analysieren und beurteilen. Auf der Höchst- und Hochspannungsebene sind derartige Funktionen in Umspannwerken schon seit längerer Zeit etabliert und können zukünftig auch bei Verteilnetzen in Ortsnetzstationen Anwendung finden. Die Virtualisierung erhöht die Flexibilität und Skalierbarkeit von Automatisierungssystemen. Die zuvor erwähnten Stationsfunktionen können dadurch beliebig verteilt, instanziiert und überwacht werden. Die Verwendung von Engineeringwerkzeuge ist ein essentieller Bestandteil vom Forschungsvorhaben i-Autonomous. Hierbei sind insbesondere die Modellierung und Simulation sowie die Automatisierung von Prozessen gemeint, die letztlich zur Minimierung von Fehlern im Engineering sowie Verifikation und Validierung solcher Systeme dienlich sein können.

Das Zusammenspiel dieser Kernaspekte soll die Beschreibung von Automatisierungssystemen für Verteilnetze ermöglichen und die Integration dieser beschleunigen um zeitgleich eine erhöhte Durchdringung von erneuerbaren Energien sowie Starklasten wie Elektromobilität und Wärmepumpen zu ermöglichen. In Abbildung 1.1 wird das Gesamtkonzept von Aufbau bis hin zur Inbetriebnahme derartiger Systeme veranschaulicht dargestellt. Die Berücksichtigung der Kernaspekte innerhalb eines fest definierten Engineering- und Integrationsprozesses soll eine einheitliche Inbetriebnahme und Betriebsführung gewährleisten und dadurch virtuelle Stationsfunktionen, sogenannte vIEDs (virtual electronic devices), möglichst einfach auf die

physikalischen IEDs (intelligent electronic devices) einer Umspannanlage oder Ortsnetzstation übertragen.



**Abbildung 1.1: Architekturbild des Gesamtvorhabens**

## 1.1 Aufgabenstellung

Im Forschungsprojekt i-Autonomous soll ein durchgängig (teil-) automatisierter Engineeringprozess zur einheitlichen und flexiblen Integration von Verteilnetzautomatisierungssystemen implementiert und die Funktionsfähigkeit nachgewiesen werden. Im Detail sind folgende Ausgaben durchzuführen:

- Konzeptionierung eines Smart-Grid-Engineeringprozesses und Unterteilung in modular aufbauende Teilprozesse zur funktionalen Beschreibung, Integration und Prüfung zukünftiger Verteilnetzautomatisierungssysteme
- Verfahren zur Identifikation und Bewertung von Ortsnetzstationen sowie Netzbereichen für die Integration von Automatisierungssystemen
- Automatisierte Erstellung von Stations- und Netztopologiedaten auf Basis von und durch Erweiterung von SCL-Datenmodellen
- Harmonisierung von Stations- und Netztopologiedatenmodellen auf Basis von CIM-CGMES sowie der IEC 61850 Beschreibungsnorm

- Ausarbeitung von Anforderung an zukünftige Ortsnetzstationen hinsichtlich Funktionalität sowie Bewertung und Auswahl von Stationsfunktionen, die im Rahmen des Projekts implementiert werden sollen
- Implementierung der gewählten Stationsfunktionen (Neuimplementierung und/oder Portierung vorhandener Funktionen auf die Systemarchitektur)
- Konzeptionierung und Umsetzung von Retro fit Lösungen zur Nachrüstung bestehender Ortsnetzstationen durch Messtechnik und Algorithmen
- Aufbau geeigneter Laborprüfprozesse zur vorbereitenden Integration von Verteilnetzautomatisierungssystemen für den Netzbetrieb in der Mittelspannung
- Durchführung kontinuierlicher Laborprüfungen zur Verifikation und Optimierung der Implementierungen
- Vorbereitung und Durchführung des Feldtests, um das Verhalten der gewählten Funktionen unter Bedingungen eines realen Netzbetriebs zu analysieren

## 1.2 Voraussetzungen

H & S übernimmt im Projekt i-Autonomous Aufgaben um die Durchgängigkeit und Standardisierung des Projektierungs-, Prüfprozesses im Projekt zu realisieren. Aufgrund der langjährigen Erfahrung in Planung von Schaltanlagen, sowie der Entwicklung von Engineering- und Prüfwerkzeugen kann H & S bewährte Verfahren der Industrie umsetzen, um die industrielle Relevanz der Projektergebnisse sicherzustellen. Zusätzlich verfügt H & S über die notwendigen Verfahren und Werkzeuge zur Spezifikation und Durchführung von Engineering-Prozessen sowie zur Durchführung von Werksabnahmen für Stationsautomatisierungssysteme. Als einer der ersten Systemintegratoren ist H & S in der Lage, den Top-Down-Prozess der Planung gemäß IEC 61850-6 durchzuführen. Zu diesem Zweck hat H & S das Projektierungswerkzeug Substation Configuration Tool (SCT) entwickelt. SCT ist eine Software für PC-Systeme, mit der Systemintegratoren die Planung von Schaltanlagen durchführen können. Daher stellt dieses Software-Tool zusammen mit H & S' Betriebserfahrung die ideale Grundlage dar, um die Umsetzung der Projektaufgaben in Bezug auf Projektierungs-, Prüfprozesses zu implementieren und zu überprüfen. Zudem wurden seitens H&S in Vorgängerprojekten wichtige Ergebnisse erarbeitet, die unmittelbar für die Arbeiten im vorliegenden Projekt i-Autonomous angewendet und eingesetzt werden können.

**i-Automate** – Modular konfigurier- und prüfbare Automatisierungsarchitektur für zukünftige aktive elektrische Energienetze

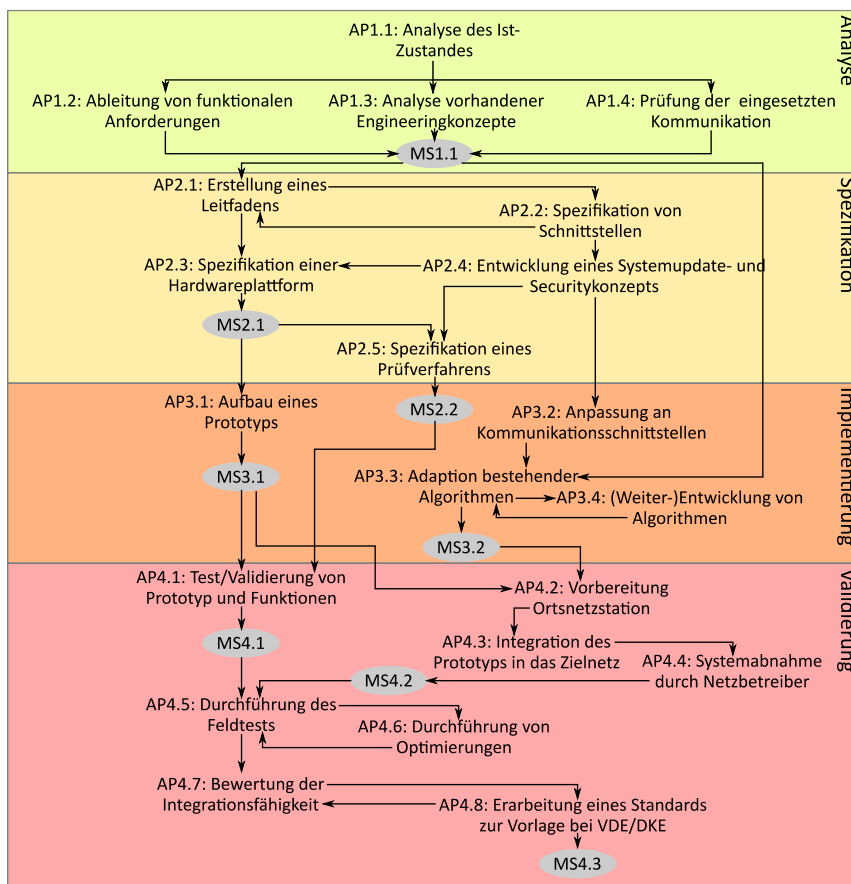
In diesem Projekt wird eine flexible Systemarchitektur erforscht, um sowohl schutz- und leittechnische Funktionen als insbesondere auch Smart-Grid-Automatisierungsfunktionen auf einer standardisierten Hardware abzubilden. Dabei hat H & S bei der Erstellung von Datenmodellen sowie bei der Implementierung einer automatisierten Konfiguration beigetragen und die Projektpartner bei der Umsetzung von Kommunikationsprotokollen unterstützt.

**i-Protect** – Intelligente Schutz- und Leittechnik für elektrische Energienetze basierend auf

zukünftigen IKT- und Automatisierungsarchitekturen Dieses Projekt erforschte eine neuartige Schutz- und Leitsystemarchitektur auf Basis industrieller Automatisierungstechnik zur Trennung von Hard- und Software. Hierbei konnte H & S die vorhandene Expertise im Bereich des Engineerings von Schutzfunktionen in Netzstationen und das entsprechende Fachwissen bezüglich des Standards IEC 61850 in das Projekt einbringen.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Hauptziel dieses Forschungsvorhabens ist die Erstellung und Erprobung eines standardisierten Ansatzes zur Integration und zum Betrieb von intelligenten Automatisierungssystemen in Ortsnetzstationen von Smart Grids. Dabei soll sich dieser Standard nicht allein auf die Hardwareintegration als solches beschränken, sondern ebenfalls Inbetriebnahme, Parametrierung und Updateprozesse sowie Kommunikation und Security berücksichtigen. Um einen möglichst universellen Standard zu schaffen sollen dabei verschiedene Rollen berücksichtigt werden, die durch die Projektpartner vertreten werden. Hierzu zählen Netzbetreiber (Westnetz und EWF), Unternehmen aus dem Bereich Anlagenprojektierung (H & S), Hardwarehersteller (KoCoS) sowie Forschungseinrichtungen aus den Bereichen Energiesysteme (ie3) und Energieinformatik (OFFIS). Die Projektstruktur bildet sich wie folgt ab:



**Abbildung 1.2: Projekttablaufdiagramm**

Wie in Abbildung 1.2 zu sehen ist teilt sich das Projekt in vier Teilaspekte auf. Um das primäre Hauptziel zu erreichen, wird zunächst der Ist-Zustand analysiert und darauf aufbauend ein Leitfaden für die Integration von Automatisierungssystemen in automatisierte Ortsnetzstationen erstellt. Anschließend werden Hardware, Kommunikation, Security und Prüfverfahren spezifiziert. Darauf aufbauend wird ein weiteres Teilziel des Projektes umgesetzt. Dieses Teilziel ist der Aufbau eines standardisierten Prototyps, bei dessen Umsetzung die Anforderungen, die sich aus dem Leitfaden ergeben, berücksichtigt werden. Dieser Prototyp soll im Rahmen eines Feldtests getestet und validiert werden. Die wesentlichsten Aspekte, die bei dieser Validierung untersucht werden, sind neben der reinen Funktionalität insbesondere auch die Erprobung des standardisierten Verfahrens.

Die Prozesse, die bei der Integration des Prototyps in das Zielnetz befolgt werden müssen, werden entsprechend dokumentiert. Um die Ergebnisse, die sich aus diesem Projekt ergeben, für möglichst viele Netzbetreiber und Hersteller von Automatisierungssystemen nutzbar zu machen, werden die Ergebnisse aus diesem Projekt in einem Standard-Entwurf zusammengefasst und bei den Normungsgremien von VDE und DKE vorgelegt.

## 1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

In den Hoch- und Höchstspannungsebenen der Übertragungsnetzbetreiber ist die Integration sekundärtechnischer Geräte bereits in hohem Maße standardisiert, was den Bau von Stationen nach einheitlichen Konzepten erlaubt. Die Vorgänge in höheren Spannungsebenen unterscheiden sich jedoch erheblich von denen, wie sie in Ortsnetzstationen umzusetzen sind und sind daher nicht direkt übertragbar. Im Gegensatz zum diversitären Ansatz in der Hoch-/Höchstspannungsebene mit einer Trennung von Automatisierungs- und Schutzfunktionen sind in der Mittel-/Niederspannungsebene möglichst kostengünstige, verschiedene Funktionen in eine Hardware integrierende Varianten angestrebt. Die Forschung untersucht solche Systeme zwar, bisher jedoch nicht mit Fokus auf der Kombination von Schutz- und Automatisierungsfunktionen. In i-Protect und i-Automate wurde dieser Ansatz zwar eingeschlagen, Funktionen und Hardware jedoch nicht auf eine standardisierte Integration ausgelegt [3] [4].

Die Standardisierung von Schutz- und Automatisierungssystemen in den Ortsnetzstationen ist ein wesentlicher Aspekt, um die Kosten für den flächendeckenden Einsatz von Mess- und Automatisierungstechnik in fernsteuerbaren Ortsnetzstationen erheblich zu reduzieren. In der Vergangenheit implementierten verschiedene Projekte ähnliche Systeme zu intelligente Ortsnetzstationen (z.B. i3S – Intelligente Ortsnetzstationen im Rahmen des Projekts Smart Area Aachen; Projekte zu iNES – intelligentes Verteilnetzmanagement-System, Bergische Universität Wuppertal). Hierbei handelt es sich aber ähnlich wie bei i-Automate hauptsächlich um angepasste Prototypen, die für einen flächendeckenden Einsatz bislang zu komplex oder unflexibel sind. [5][6][7][8][9]

Aufgrund der Tatsache, dass keine Standards existieren, die als Definition für Schutz- und Automatisierungssysteme innerhalb von automatisierten Ortsnetzstationen genutzt werden könnten, sind auch keine standardisierten Systeme auf dem Markt erhältlich. Sicherlich sind industrielle Lösungen für den Einbau in Ortsnetzstationen verfügbar, allerdings handelt es sich entweder um proprietäre Komplettsysteme, die dadurch nicht kompatibel zu existierenden Systemen im Netz sind, oder um Systeme, die individuell an die jeweiligen Gegebenheiten des Kunden – insbesondere mit Hinblick auf die Schnittstellen, Sensorik sowie den Engineering- und Inbetriebnahmeprozess – angepasst wurden. Insbesondere beim Einbau von solchen Systemen in nicht automatisierten Bestandsanlagen ist dies mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Vor dem Hintergrund, dass es bislang nur einen sehr kleinen Anteil automatisierter Ortsnetzstationen im Netz gibt, und der größte Teil der zu automatisierenden Ortsnetzstationen im Bestand umgesetzt werden muss, ist daher die Nutzung eines vollständig standardisierten Systems inklusive standardisierten Prozessen vorteilhaft. Für den Netzbetreiber ergibt sich daher in der Regel die Notwendigkeit, eine Spezifikation für ein Automatisierungssystem für den Einsatz in Ortsnetzstationen zu erstellen. Hierbei ergeben sich verschiedene Problematiken:

- Je nach Netzbetreiber können sich unterschiedliche Spezifikationen ergeben. Sobald ein Hersteller ein System für Netzbetreiber A definiert, kann es möglicherweise für Netzbetreiber B nicht nutzbar sein. Der Hardwarelieferant hat damit keinerlei Sicherheit, dass ein einmal definiertes System sich auch an andere Netzbetreiber vermarkten lässt.
- Die vom Netzbetreiber aufgestellten Spezifikationen könnten durch potentielle Lieferanten falsch interpretiert werden. Insbesondere bei der hohen Anzahl an verschiedenen Netzbetreibern sowie Lieferanten kann sich ein unterschiedliches Verständnis bezüglich der einzuhaltenden Spezifikationen ergeben.
- Insbesondere bei der Automatisierung von Ortsnetzstationen ergibt sich aufgrund der fehlenden Standardisierung ein Mehraufwand für die Netzbetreiber. Es muss im Einzelfall geprüft werden, ob die verfügbaren Automatisierungssysteme für den Einsatz in existierenden Ortsnetzstationen geeignet sind.
- In derzeitigen Ortsnetzstationen ist bislang keine Sensorik vorhanden. Sobald jedoch ein Hersteller ein System anbietet ist dazu in der Regel eine spezifische Sensorik erforderlich. Solange keine diesbezügliche Standardisierung existiert, ist eine solche Sensorik im Zweifelsfall mit dem System eines anderen Herstellers nicht kompatibel.
- Bei jedem Ein-, Um- und Ausbau von Stationen muss eine Spezifikation überdacht werden, weil die Systeme nicht nach einem einheitlichen Schema umgesetzt sind.
- Die Projektierung und Parametrierung eines Automatisierungssystems in Ortsnetzstation erfolgt bisher in der Regel proprietär mit herstellerspezifischen Werkzeugen und wird anlagenspezifisch durchgeführt. Dies führt zu erhöhtem Personalaufwand und Kosten, da sich die ausführenden Mitarbeiter des Netzbetreibers einer Einarbeitung bzw. Schulung in die jeweiligen herstellerspezifischen Werkzeuge unterziehen müssen. Ein einheitliches Engineeringkonzept mit herstellerunabhängigen Werkzeugen kann dazu beitragen Aufwand und Kosten zu reduzieren.
- Die Netzbetreiber sind bei der Wahl eines Herstellers sehr unflexibel, da es bei den Systemen verschiedener Hersteller keine sinnvollen Vergleichsmöglichkeiten gibt.
- Für die initiale Definition eines für einen Netzbetreiber spezifischen Systems wird ein Hersteller in der Regel einen Teil seiner Entwicklungskosten auf diesen Netzbetreiber umlegen. Dadurch ist der Netzbetreiber in der Wahl eines zweiten Herstellers eingeschränkt, da in diesem Falle erneut Entwicklungskosten durch den zweiten Hersteller entstehen würden.

Neben der in i-Autonomous umzusetzenden Standardisierung gibt es ebenfalls Standardisierungsbemühungen im Bereich der Primärtechnik von (Kompakt-) Ortsnetzstationen. Hierbei sind insbesondere (regelbare) Transformatoren, aber auch die umzusetzende Schalttechnik (Lasttrennschalter/Leistungsschalter) sowie der mechanische Aufbau der Ortsnetzstation selbst im Fokus. Unter anderem ist auch die Westnetz GmbH an solchen Standardisierungsbemühungen beteiligt. Die in i-Autonomous angedachten Ziele ergänzen diese Bemühungen, da hier die Standardisierung der Sekundärtechnik im Mittelpunkt steht.

Insbesondere vor dem Hintergrund, dass die Ortsnetzstationen schrittweise automatisiert werden, ist die Entwicklung einer Standardisierung vorteilhaft. Die Ortsnetzstationen werden nicht in einem einzigen Schritt automatisiert. Zunächst wird Sensorik genutzt, um das Netz beobachten zu können.

Als nächster Schritt werden die Stationen fernsteuer- bzw. fernschaltbar. Dies sind Schritte, die derzeit bereits umgesetzt werden. Die Standardisierung hilft bei diesem Prozess, da so gewährleistet ist, dass weitere, später erfolgende Modernisierungen einheitlich umgesetzt werden können.

Innerhalb der Westnetz GmbH wird geplant, eine mittlere dreistellige Zahl an Ortsnetzstationen innerhalb der nächsten Jahre zu automatisieren bzw. zunächst messtechnisch und kommunikationstechnisch anzubinden. Für diese Messtechnik gibt es bereits eine interne Richtlinie, an denen sich auch die Entwicklung eines Standards orientieren kann.

Ein Konzept, wie eine automatisierte Ortsnetzstation aussehen könnte, zeigt Abbildung 1.3.

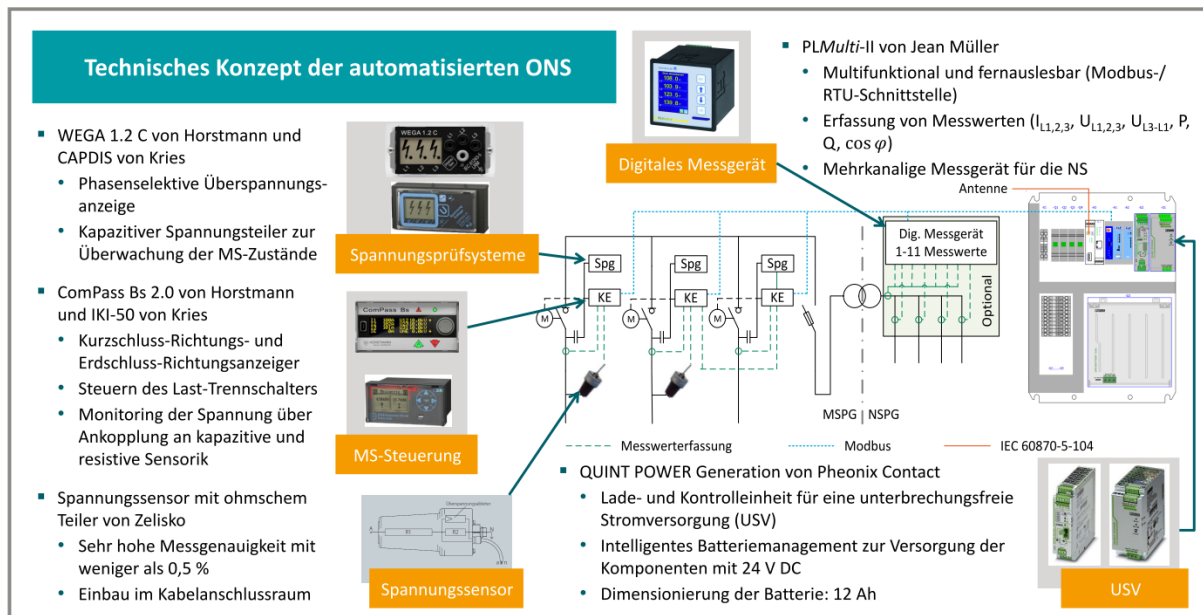
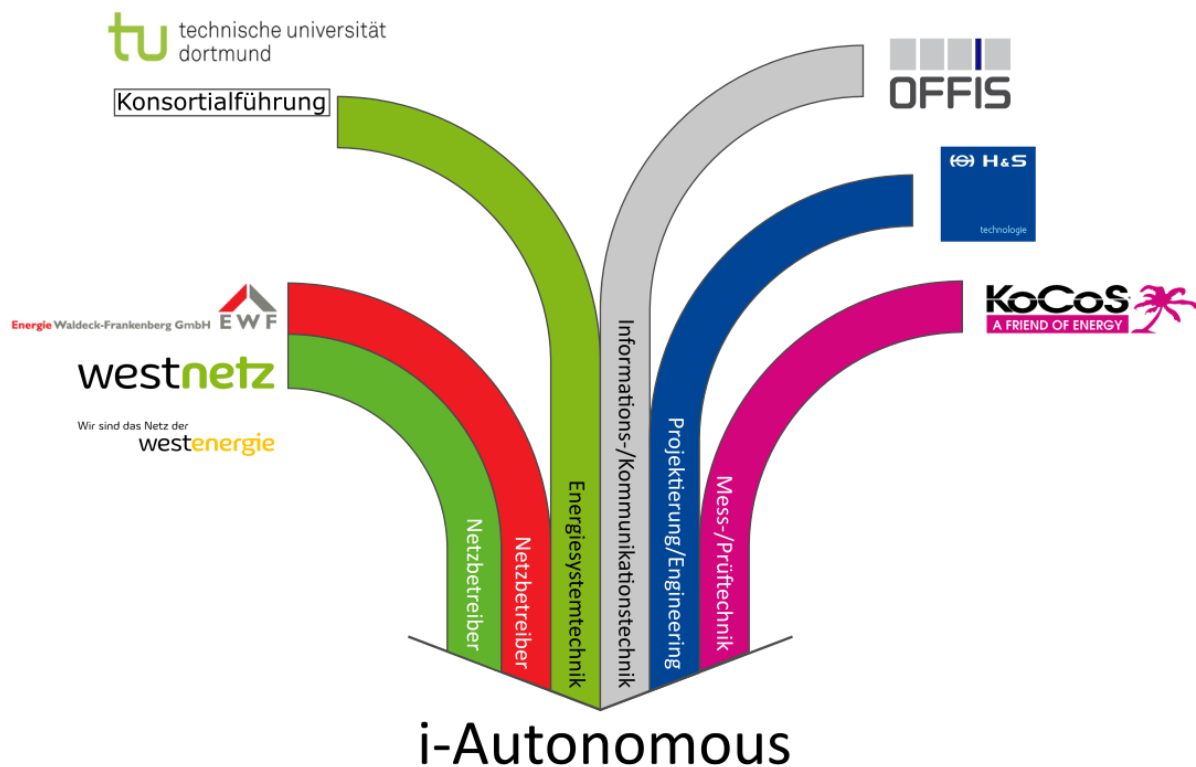


Abbildung 1.3: Technisches Konzept der automatisierten ONS

## 1.5 Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit der Projektpartner wurde maßgeblich durch projektinterne Schnittstellen bestimmt. Eine Übersicht der Projektpartner und ihrer Kernkompetenzen innerhalb des Projekts ist in Abbildung 1.4 dargestellt:



**Abbildung 1.4: Übersicht der Projektpartner und ihrer Kernkompetenzen**

### 1.5.1 Technische Universität Dortmund (ie3)

Das Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz und Energiewirtschaft (ie3) hat das vorliegende Projekt für die TU Dortmund ausgeführt. An diesem Institut werden seit vielen Jahren national und international anerkannte Forschungsvorhaben mit dem Schwerpunkt auf der systemtechnischen Betrachtung für eine zukunftsfähige Energieversorgung durchgeführt. Dabei werden Technologien der Schutz- und Leittechnik, der zentralen, dezentralen und insbesondere der regenerativen Energien sowie der Elektromobilität erforscht, die zukünftig in das Gesamtsystem der Energieversorgung unter Berücksichtigung energiewirtschaftlicher Aspekte integriert werden.

Das ie3 pflegt Partnerschaften und Kooperationen zu vielfältigen nationalen und internationalen Energieversorgern, Herstellern, Universitäten und Forschungsstätten. Die Kooperationen umfassen Projekte, Auftragsforschungen, Gutachten und Studien. Schließlich arbeitet das ie3 in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien bei der Normungsarbeit im Umfeld der elektrischen Energieversorgung (VDE, FNN, IEEE, CIGRÉ).

Im Rahmen des Projekts hat das ie3 ausgewählte schutz- und leittechnische Funktionen sowie Smart-Grid-Automatisierungsfunktionen als auch ein Engineering- und Integrationskonzept auf Basis von SCL-Datenmodellen konzipiert und auf der Systemplattform implementiert. Parallel zur

Implementierung erfolgte eine kontinuierliche Verifikation der Prozesse mit Hilfe des im Labor des ie3 vorhandenen Echtzeitsimulators sowie weiterer Prüfsysteme.

### 1.5.2 Westnetz GmbH (WN)

Als unabhängiger Verteilnetzbetreiber betreibt Westnetz regionale und kommunale Strom- und Gas-Netze. Das Netzgebiet von Westnetz umfasst rund 182.000 Kilometer Stromnetz und rund 24.000 Kilometer Gasnetz auf einer Fläche von rund 51.000 km<sup>2</sup>. Es werden rund 5.000.000 Strom- sowie rund 448.000 Gas-Kundenanschlüsse und dadurch ca. 7,5 Millionen Menschen versorgt. Darüber hinaus sind rund 160.500 Einspeiser auf Basis Erneuerbarer Energien an das Stromnetz angeschlossen. Westnetz unterstützt die Energiewende in Deutschland mit zukunftsorientiertem Aus- und Umbau der Netze sowie zahlreichen Innovationsprojekten.

Als Netzbetreiber hat die Westnetz GmbH im Rahmen des Projekts Daten zur Auswahl eines Netzbereichs zur Verfügung gestellt. Die von Westnetz bereitgestellten Netzmodelle dienten im Labor zur Verifikation der implementierten Funktionen. Für den anschließenden Feldtest wurden Geräte der Systemplattform durch die Westnetz in ihrem Netz installiert und boten so Gelegenheit, Messwerte aufzuzeichnen und Funktionen unter realistischen Bedingungen zu validieren.

### 1.5.3 OFFIS – Institut für Informatik (OFFIS)

Das Forschungsinstitut OFFIS ist ein anwendungsorientiertes An-Institut an die Universität Oldenburg und arbeitet eng mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Informatik der Universität Oldenburg zusammen. Das OFFIS entwickelt neue Formen computergestützter Informationsverarbeitung in Hard- und Softwaresystemen und setzt die Ergebnisse in anwendungsnahe Entwicklungen um. Es beschäftigt knapp 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und erhält institutionelle Förderung durch das Land Niedersachsen. Im Themenfeld IT-Technologien in der Energiewirtschaft wird seit vielen Jahren insbesondere am dezentralen Energiemanagement gearbeitet. Das OFFIS engagiert sich in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien und Arbeitskreisen im Umfeld der für das Projekt relevanten Themen.

OFFIS war verantwortlich für die Virtualisierung der Funktionen sowie federführend daran beteiligt die Orchestrierung der Container zu ermöglichen. OFFIS war maßgeblich an der Umsetzung der Serverplattform bei der Westnetz beteiligt und die anschließende Überwachung der Funktionscontainer.

### 1.5.4 H & S Hard- und Software Technologie GmbH & Co. KG (H & S)

Die H & S Hard- und Software Technologie GmbH & Co. KG beschäftigt am Standort Dortmund 45 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Als mittelständisches Unternehmen ist H & S für verschiedene Energieversorgungsunternehmen in der Projektierung und Montage von Sekundärtechnik in Hoch- und Höchstspannungsschaltanlagen tätig. Hierbei kommt u.a. auch die selbstentwickelte innovative Projektierungssoftware SCT (Substation Configuration Tool) zum Einsatz, die den herstellernerneutralen Engineeringansatz der IEC 61850-6 unterstützt und zunehmend nationale und internationale Beachtung findet.

H & S konnte seine Erfahrungen rund um den Standard IEC 61850 in das Projekt einfließen lassen und wirkte bei der Konzipierung eines Projektierungs- und Engineeringprozesses auf Basis von SCL-Datenmodellen mit. Zudem stellte H & S ihren IEC-61850-Kommunikationsstack, ihre

Projektierungssoftware SCT, ihre IED-Simulation zur Kommunikations- und Funktionsprüfung und diverse Bibliotheken für die Implementierung von weiteren Engineeringwerkzeugen zur Verfügung.

#### 1.5.5 KoCoS Messtechnik AG (KoCoS)

Die KoCoS Messtechnik AG mit Sitz in Korbach beschäftigt in Deutschland ca. 90 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. KoCoS ist spezialisiert auf Lösungen für die Mess- und Prüftechnik im Umfeld der elektrischen Energietechnik, bietet aber auch Produkte und Dienstleistungen für die Automobil-, Halbleiter- und Verpackungsindustrie an. Die im Umfeld der elektrischen Energietechnik angebotenen Dienstleistungen umfassen u.a. Inbetriebnahmen und Prüfungen von Mess- und Schutzsystemen, Energieberatung, Beratungen im Bereich der Netzplanung sowie Durchführung und Analyse von Messungen zur Energiequalität.

KoCoS stellte ihre Power-Quality-Messgeräte der Serien SHERLOG CRX im Projekt als Systemplattform zur Verfügung und nahm hierzu erforderliche Anpassungen an den Messgeräten vor. Zudem unterstützte KoCoS die Projektpartner bei der Implementierung der Funktionen auf der Systemplattform.

#### 1.5.6 Energie Waldeck-Frankenberg GmbH (EWF)

Die Energie Waldeck-Frankenberg GmbH ist ein regionales Versorgungsunternehmen mit ca. 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Sie versorgt Teile der Landkreise Waldeck-Frankenberg, Kassel und Schwalm-Eder und fördert die wirtschaftliche Entwicklung in der Region. Das Netzgebiet erstreckt sich über eine Fläche von 1628 km<sup>2</sup>, auf der über 90.000 Haushalte mit Strom, Gas, Wasser und Wärme versorgt werden. Neben den Versorgungssparten organisiert die EWF GmbH den öffentlichen Nahverkehr, unterstützt kommunale Projekte, betreibt Schwimmbäder und berät bei Energiefragen.

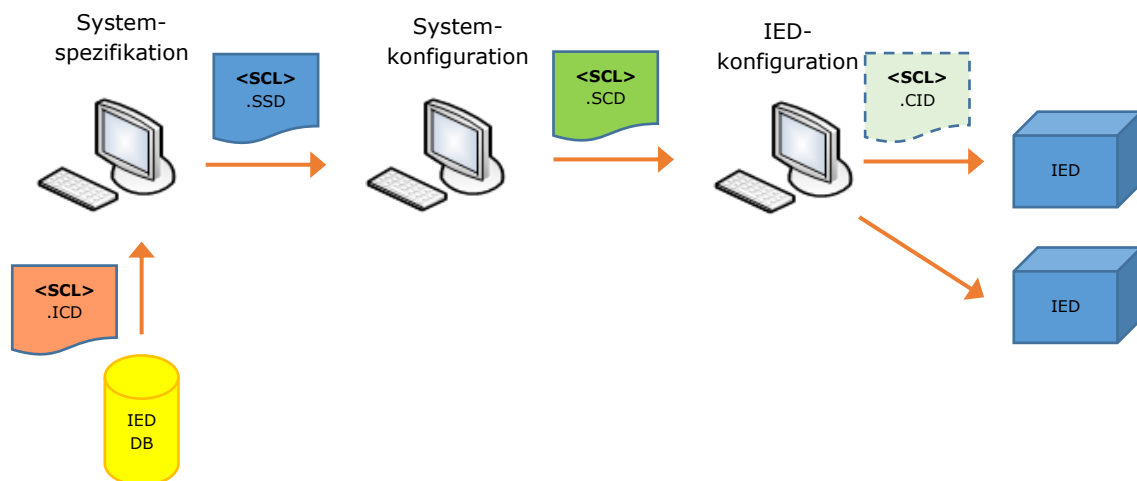
Als Netzbetreiber hat die Energie Waldeck-Frankenberg GmbH im Rahmen des Projekts Erfahrungen aus dem Vorgängerprojekt zum Feldtest mit einfließen lassen. EWF unterstützte insbesondere bei der Konzeptionierung der Systemplattform sowie Installationslösungen im Feld.

## 2 Projektergebnisse

### 2.1 Technische und wissenschaftliche Ergebnisse

#### 2.1.1 Engineeringprozess - Top-Down-Engineering

Eine zentrale Anforderung von Netzbetreibern bezüglich der einzusetzenden Komponenten in Schutz- und leittechnischen Systemen ist die, dass Herstellerspezifika möglichst gering, im Idealfall gar nicht vorhanden sind. Durch Erfüllung dieser Anforderung kann sichergestellt werden, dass Systeme herstellerunabhängig betrieben werden können und eine Austauschbarkeit der eingesetzten Komponenten erreicht werden kann. In Bezug auf den Einsatz von Geräten mit IEC 61850 Kommunikationsschnittstelle wird diese Herstellerunabhängigkeit durch detaillierte Spezifikationsvorgaben für die einzusetzenden Gerätedatenmodelle (IED-Datenmodell) erreicht. Hierzu wird in der Normreihe ein sogenannter Top-Down-Engineeringansatz vorgestellt, in dem neben der Spezifikation der Anlagentopologie ebenfalls die IED-Datenmodelle spezifiziert werden können.



**Abbildung 5: Top-Down-Engineering mit Anlagen- und IED-Datenmodellspezifikation**

Hierbei wird in der Phase der Systemspezifikation die Anlagentopologie sowie die einzusetzenden Gerätedatenmodell – bereitstellt über z.B. .ICD-Dateien – zusammen in der Spezifikationsdatei (.SSD) definiert. Soweit über die Spezifikation hinaus weitere Konfigurationen erforderlich sind, werden diese in der Systemkonfigurationsphase durchgeführt. Das Ergebnis der Systemkonfiguration ist die Beschreibung des vollständig fertig Konfigurieren Systems (.SCD) und wird verwendet um über die IED-Konfiguratoren die einzelnen IED zu konfigurieren (.CID).

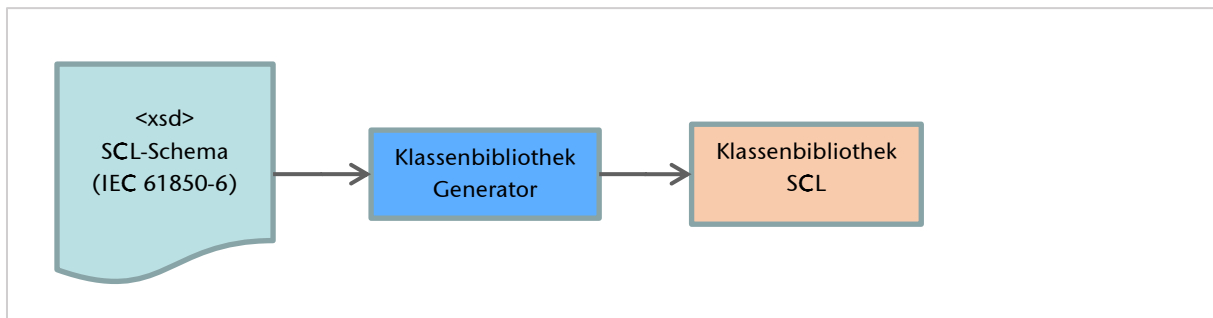
Im vorliegenden Projekt wurde dieser Top-Down-Engineeringprozess inklusiver der IED-Datenmodellspezifikation zusammen mit allen Projektpartner im Detail spezifiziert und gemeinsam mit dem Projektpartner TU Dortmund in dessen Engineeringumgebung implementiert.

#### 2.1.2 Private Informationen

In Implementierungen spezifischer Engineeringprozesse zeigt sich, dass über den normativen Umfang der Engineeringdaten hinaus, weitere Informationen sinnvoll – oder sogar erforderlich – zu erheben

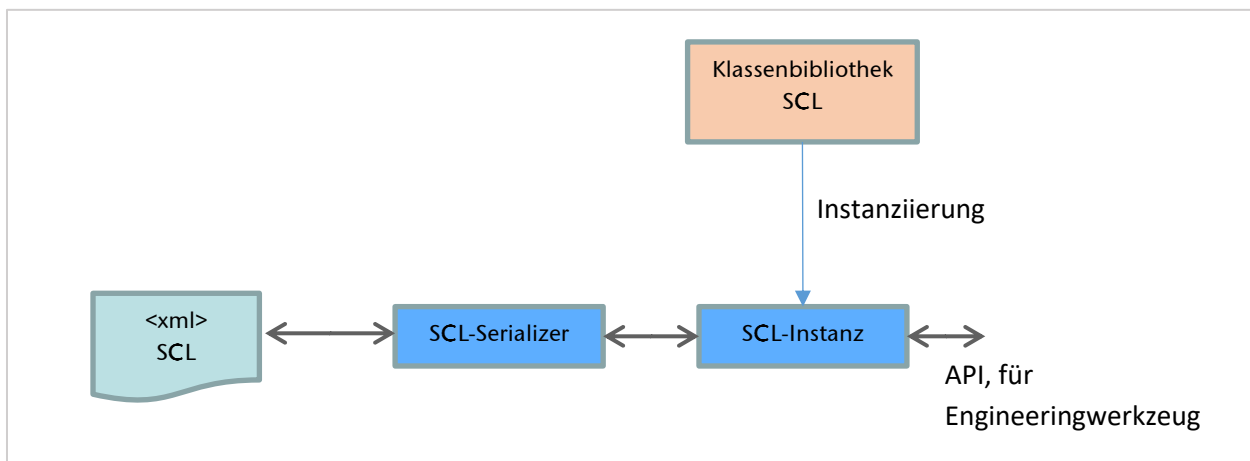
sind. Hierfür wird in [2] ein Konzept bereitgestellt, mit dem diese sogenannten privaten Daten im normativen Dateiformat der SCL verwaltet werden können. Für Erweiterungen, entweder durch Hersteller- oder aber auch Anwenderspezifika, können diese privaten Elemente verwendet werden. Der Vorteil privater Elemente besteht darin, dass deren Dateninhalt beim Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Rollen im Engineeringprozess erhalten bleibt. Diese privaten Dateneinheiten können innerhalb einer SCL-Datei auf mehreren Ebenen eingebettet werden.

Für den Zugriff auf die normativen Inhalte von SCL-Dateien stellt das H&S Engineering-Framework ein API in Form einer Klassenbibliothek bereit, die vollautomatisiert aus den normativen SCL-Schemavorgaben generiert wird.



**Abbildung 6: Generierungsprozess für normative SCL-Klassenbibliothek gemäß IEC 61850-6**

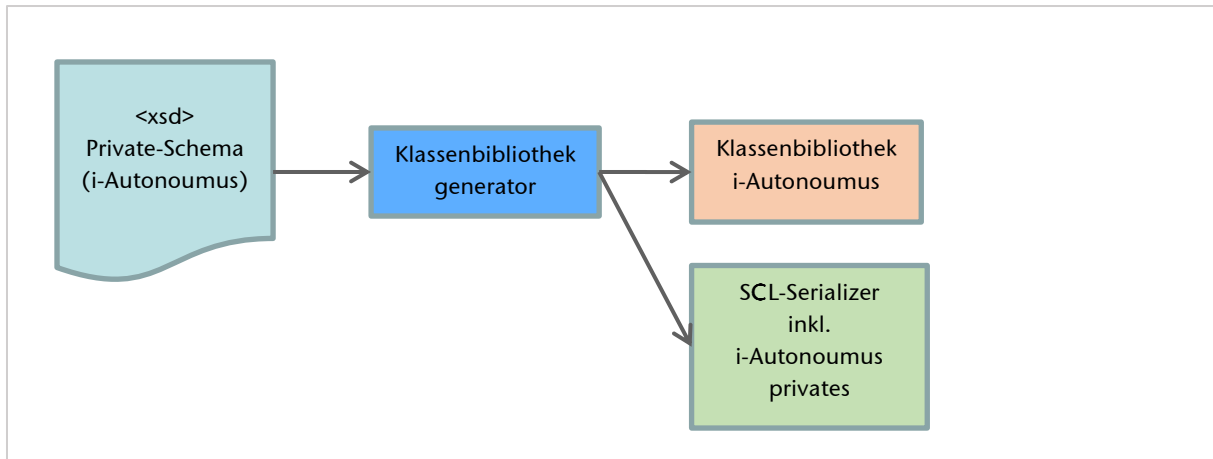
Mit Hilfe dieser Klassenbibliothek und dem SCL-Serializer können Engineeringwerkzeuge die SCL-Inhalte im normativen Umfang vollumfänglich bearbeiten.



**Abbildung 7: Serialisierung von SCL-Dateien in Klassenbibliotheksinstanzen**

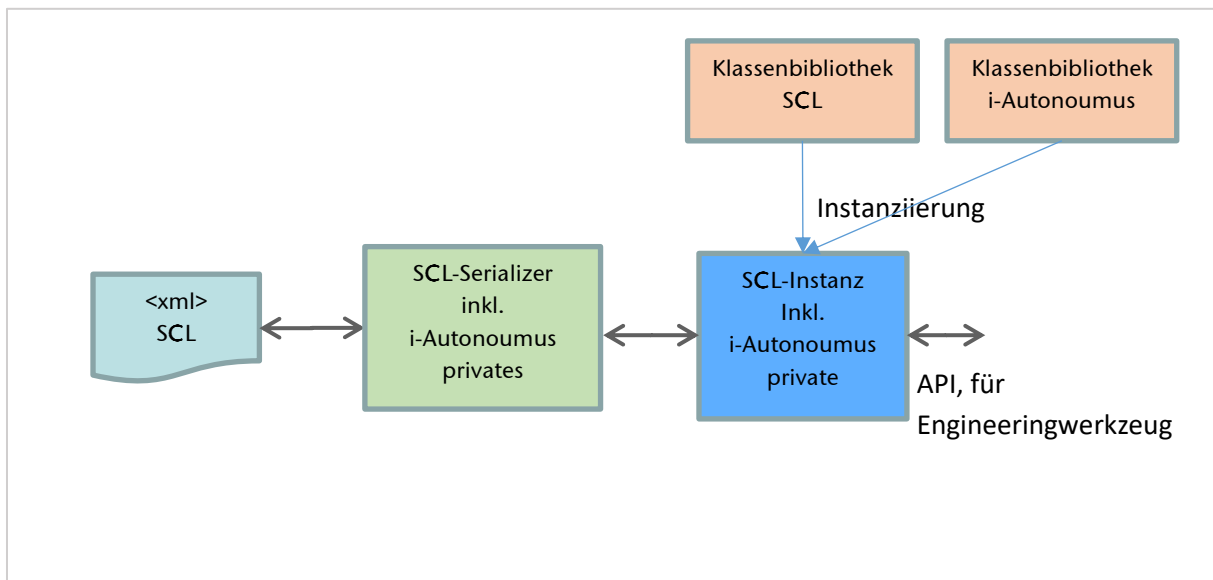
Um privaten Informationen und deren Inhalte, die nicht durch die Norm definiert sind, effektiv verwalten und bearbeiten zu können, wurde im Rahmen des Projektes das H&S Engineering-Framework dahin gehend erweitert, das über einen Generator automatisiert die Klassenbibliothek zur Bearbeitung von SCL-Daten um spezifische private Element und deren Inhalt erweitert werden können.

Hierzu wird in einem ersten Schritt der Inhalt der gewünschten privaten Elemente mit einem XML-Schema spezifiziert und mittels des entwickelten Generators, basierend auf diesem XML-Schema, die Klassenbibliothek zu Abbildung der privaten Informationen, sowie ein spezifischer SCL-Serializer generiert.



**Abbildung 8: Generierungsprozess für die i-Autonomous-Klassenbibliothek der privaten Elemente**

Im Ergebnis können die private Information mit den gleichen Zugriffsmethoden, wie sie bereits für normativen Inhalte bereitstehen, bearbeitet werden.



**Abbildung 9: Serialisierung von SCL-Dateien und privaten i-Autonomous Daten in Klassenbibliotheksinstanzen**

Für die folgenden nicht-normativen Informationen

- Leitungsparameter
- Parameter für Docker-Images

wurden die oben dargestellte Methodik zur Erstellung der Klassenbibliothekserweiterung um private Elemente durch den Projektpartner TU Dortmund angewendet, so dass neben den normativen Inhalten ebenfalls privat benötigten Information aus der Engineeringumgebung des Projektpartners heraus einheitlich und durchgängig in die Engineeringdaten (.SCD) eingefügt und bearbeitet werden konnten.

### 2.1.3 Automatisierte Applikations- und Netzmodellerstellung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde sich darauf verständigt gemäß Top-Down-Engineering-Ansatz eine vollständige SCD-Datei zu erstellen, die das gesamte Automatisierungssystem innerhalb eines Dokumentes beschreibt. Aus der vollständigen Systemkonfiguration (.SCD) können sich im Nachgang CID-Dateien extrahiert werden, um Anwendungsscharf nur die Informationen eines IED zur Verfügung zu stellen, die tatsächlich von diesem IED benötigt werden (siehe Kapitel 2.1.1). Die Realisierung des dargestellten Engineeringprozesses wurde, unter Verwendung des von H&S im Projekt entwickelten Engineering-Framework-Bibliothek, zusammen mit dem Projektpartner TU innerhalb einer Python-Umgebung realisiert [12]. Für die Verarbeitung und Integration von normativen SCL-Dateien in den durchgängig automatisierten Engineeringprozess für Applikationen wurden dem Projektpartner TU Dortmund H&S-eigene Softwarebibliotheken bereitgestellt. Da die Softwareentwicklung auf Seiten des Projektpartners in einer Python-Umgebung erfolgt, die H&S-eigenen IEC61850-6-Bibliotheken zunächst für die Umgebung .NET entwickelt wurden, mussten zunächst entsprechende Machbarkeitsuntersuchungen durchgeführt werden, mit denen die Integration der .NET-Bibliotheken in die Python-Umgebung nachgewiesen werden konnte. Nach Abschluss der Machbarkeitsuntersuchungen konnten die H&S IEC61850-6-Bibliotheken erfolgreich in den mit Python implementierten Workflow des Projektpartners TU integriert werden.

### 2.1.4 Automatisierte Systemprüfungen (StateEstimation)

In der zunehmend komplexen, technologisch und applikativ sich immer schneller entwickelnden Umgebung von schutz- und stationsleittechnischen Systemen wird die Notwendigkeit, diese Systeme automatisiert zu überprüfen, immer dringlicher. In den heute stark ausgelasteten Netzen werden geplante Ausschaltzeiten für u.a. Erüchtigungs-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten immer stärker reduziert, sodass in immer kürzer Zeit diese Maßnahmen durchgeführt werden müssen, wobei die Qualität in Ausführung hierbei in keiner Weise reduziert werden darf. Um diese Anforderungen erfüllen zu können, können automatisierte Systemprüfungen – wie sie in anderen Branchen bereits Stand der Technik sind – einen entscheidenden Beitrag liefern. Automatisierte Prüfprozesse bietet zahlreiche Vorteile, wobei im Folgenden einige der wichtigsten Gründe für das automatisierte Prüfen komplexer Systeme erläutert werden.

**Effizienzsteigerung:** Manuelle Überprüfungen von komplexen Systemen sind zeitaufwendig und fehleranfällig. Durch die Automatisierung dieses Prozesses können Tests schneller durchgeführt werden, wodurch Zeit und Ressourcen eingespart werden.

**Kostenreduktion:** Automatisierte Tests reduzieren die Arbeitskosten erheblich, da weniger Mitarbeiter für die Überprüfung benötigt werden. Dies trägt zur Senkung der Gesamtbetriebskosten bei.

**Konsistenz:** Automatisierte Prüfungen gewährleisten eine konsistente und wiederholbare Testdurchführung. Sie eliminieren menschliche Fehler und Schwankungen, die bei manuellen Tests auftreten können.

**Skalierbarkeit:** Komplexe Systeme können in ihrer Größe und Funktionalität variieren. Automatisierte Tests lassen sich leicht an verschiedene Umgebungen und Anforderungen anpassen und ermöglichen so die Skalierung der Testaktivitäten.

**Früherkennung von Fehlern:** Durch automatisierte Tests können Fehler und Schwachstellen frühzeitig erkannt werden, bevor sie zu kostspieligen Problemen in der Produktionsumgebung führen.

**Verbesserte Qualität:** Automatisierte Tests tragen dazu bei, die Qualität von Software und Systemen zu erhöhen, da sie umfangreiche und systematische Tests ermöglichen, die manuell schwer durchzuführen wären.

**Risikominimierung:** Durch regelmäßige und gründliche automatisierte Tests können Risiken im Zusammenhang mit Systemausfällen, Sicherheitslücken und regulatorischen Anforderungen minimieren werden.

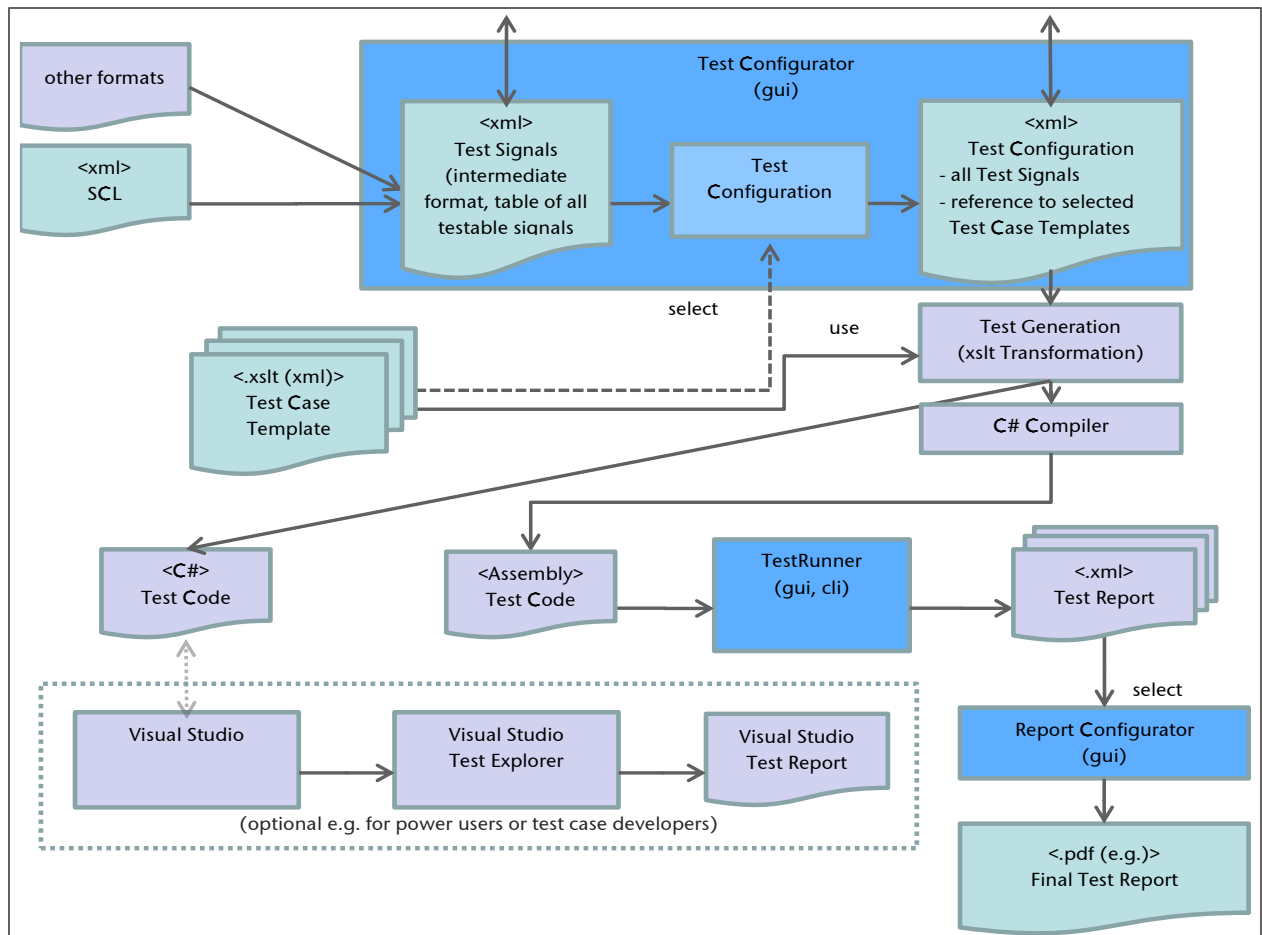
**Nachvollziehbarkeit:** Automatisierte Tests erzeugen umfassende Protokolle und Berichte, die es den Teams ermöglichen, den Testprozess nachzuvollziehen, Ergebnisse zu analysieren und notwendige Anpassungen vorzunehmen.

Bei der Anwendung von automatisierten Testprozeduren liegen die Aufwendungen nicht mehr in der Durchführung der Tests selbst, sondern verlagern sich in die vorgelagerte Konzept- und Testfallerstellung. Basierend auf einem weitestgehend durchgängigen Engineeringprozess (siehe Kapitel 2.1.3), der alle erforderlichen Daten in einem automatisiert gut weitervertriebbaren Format wie z.B. XML bereitstellt, können diese Daten als Eingangsgrößen für die Testfallerstellung eingesetzt werden.

Im Fall des Einsatzes von IEC 61850 Kommunikation für den Datenaustausch zwischen einzelnen Kommunikationspartner des schutz- und leittechnischen Systems, können die Engineeringdaten für zwei unterschiedliche Anwendungsfälle eingesetzt werden:

- Automatisierte Erstellung von Testprozeduren für das Gesamtsystem oder einzelne Systemkomponenten.
- Simulation von einzelnen Kommunikationspartner an der Kommunikationsschnittstelle

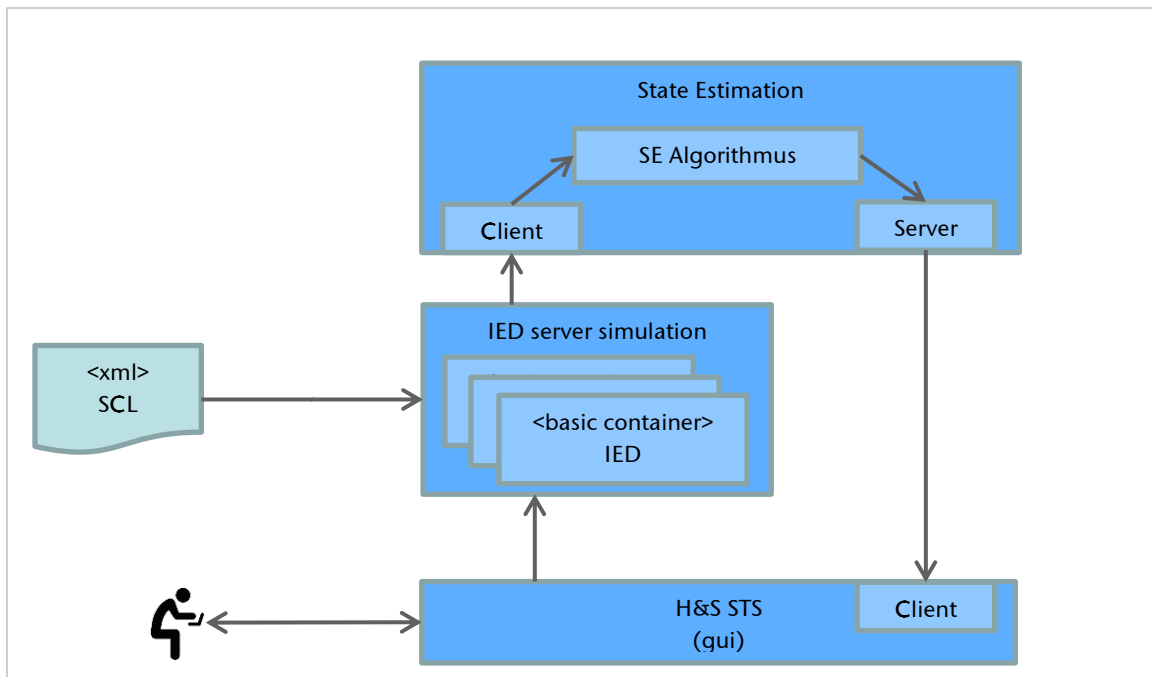
Für die automatisierte Erstellung von Testprozeduren wurde im Projekt ein allgemeingültig anwendbares Konzept entwickelt, unter dessen Einsatz basierend auf Testfallvorlagen, aus den vorliegenden Engineeringdaten (SCL), je nach Anwendungsfall spezifischen Testprozeduren erstellt werden. Die Testprozeduren liegen nach Erstellung als unveränderliches Kompilat vor, so dass eine konsistent wiederholbare Testausführung sichergestellt wird. Bei der Umsetzung des Konzeptes wurde auf allgemeingültig und erprobte Technologien aus dem Umfeld der Softwareentwicklung zurückgegriffen. Die Transformation der Engineeringdaten (SCL) in ausführbaren Programmcode wird mittels XML StyleSheet Transformation (XSLT) realisiert. Eine Anpassung an neuen Testprozeduren kann hierbei durch Anpassung innerhalb des XSLT-Stylesheets erreicht werden. Die Unveränderbarkeit der erzeugten Testprozeduren wird durch kompilieren des durch das XSLT-Syeteheet erzeugten Quellcodes erreicht. Das entwickelte Konzept lässt dabei die zu verwendende Hochsprache und den damit einzusetzenden Code-Compiler offen.



**Abbildung 10: Architekturkonzept zur automatisierten Erstellung und Ausführung von Testprozeduren**

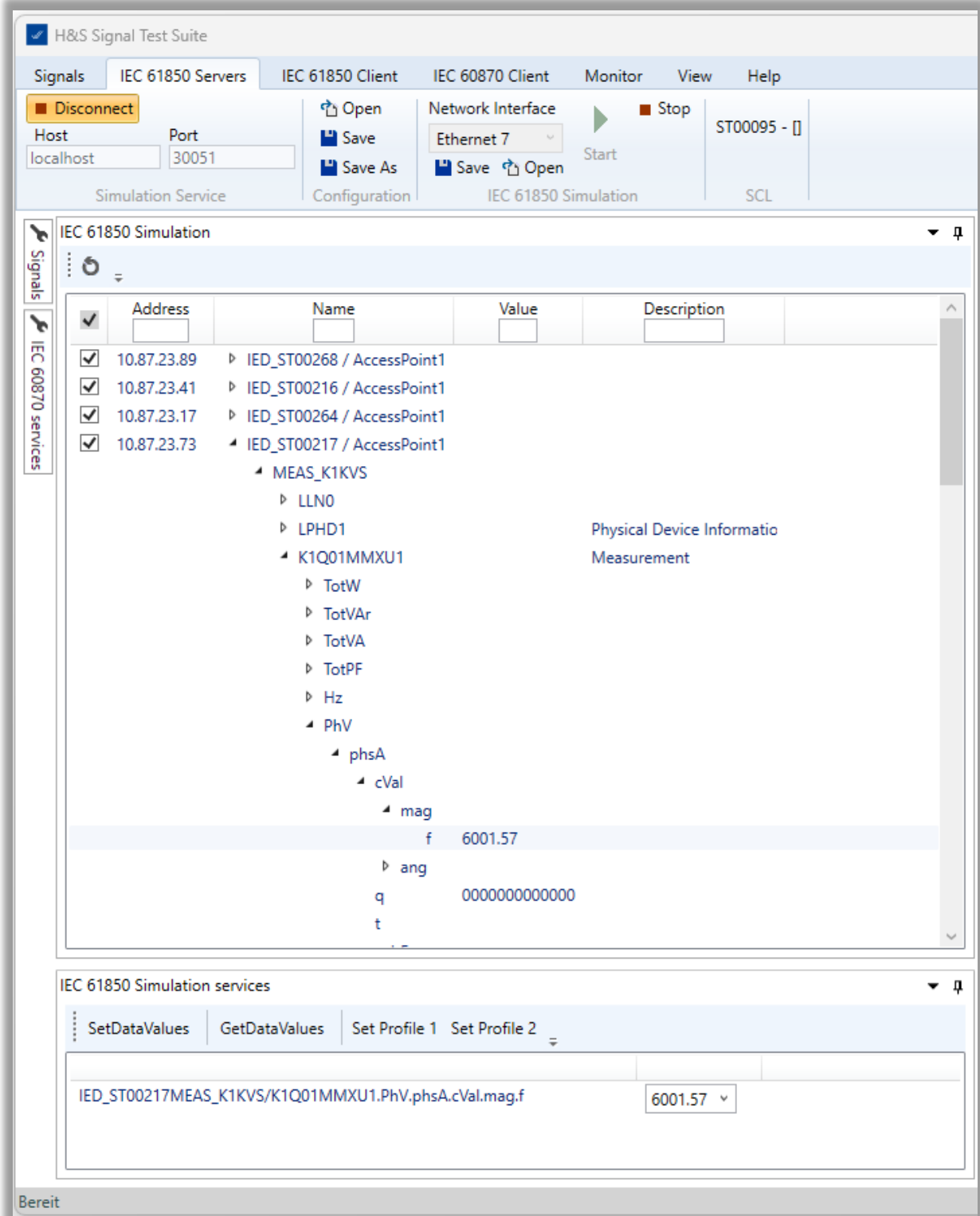
Für den Einsatz im Projekt wurde das System so konfiguriert, dass der Testprozedur-Quellcode in C# und somit das ausführbare Kompilat in .NET vorliegt.

Im Projekt wurde vom Projektpartner TU Dortmund ein State-Estimation-Algorithmus in einer zentralen Komponente implementiert, dessen Eingangsgrößen von einer Menge von IEDs zur Messwertbereitstellung (sog. „Basis-Container“) gespeist wird. Für den Anwendungsfall das gesamte System „State-Estimation“, bestehend aus dem Algorithmus inklusive der kommunikativen Ausschnittstellen des Systems, prüfen zu können, wurde hierzu die H&S IED-Simulation eingesetzt. Mit der IED-Simulation wurden hierbei die „Basis-Container“-IEDs für die Bereitstellung der Messwerte an der Kommunikationsschnittstelle IEC 61850-8-1 simuliert und so die Messwert der State-Estimation bereitgestellt.



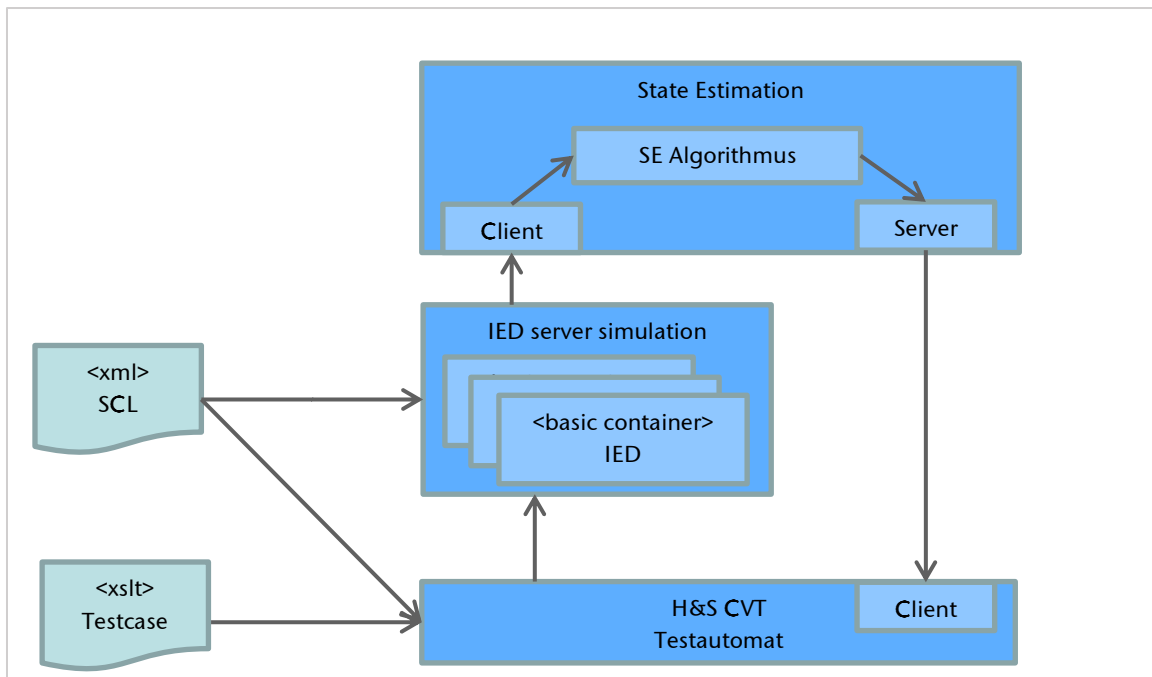
**Abbildung 11: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ - manuell**

Für eine erste manuell Prüfung der Systemkonfiguration wurde die graphische Benutzerschnittstelle H&S STS (Signal Test Suite) eingesetzt. Über die graphische Benutzerschnittstelle des H&S STS können durch manuelle Eingabe direkt einzelne Werte im Datenmodell der IED-Simulation eingestellt werden.



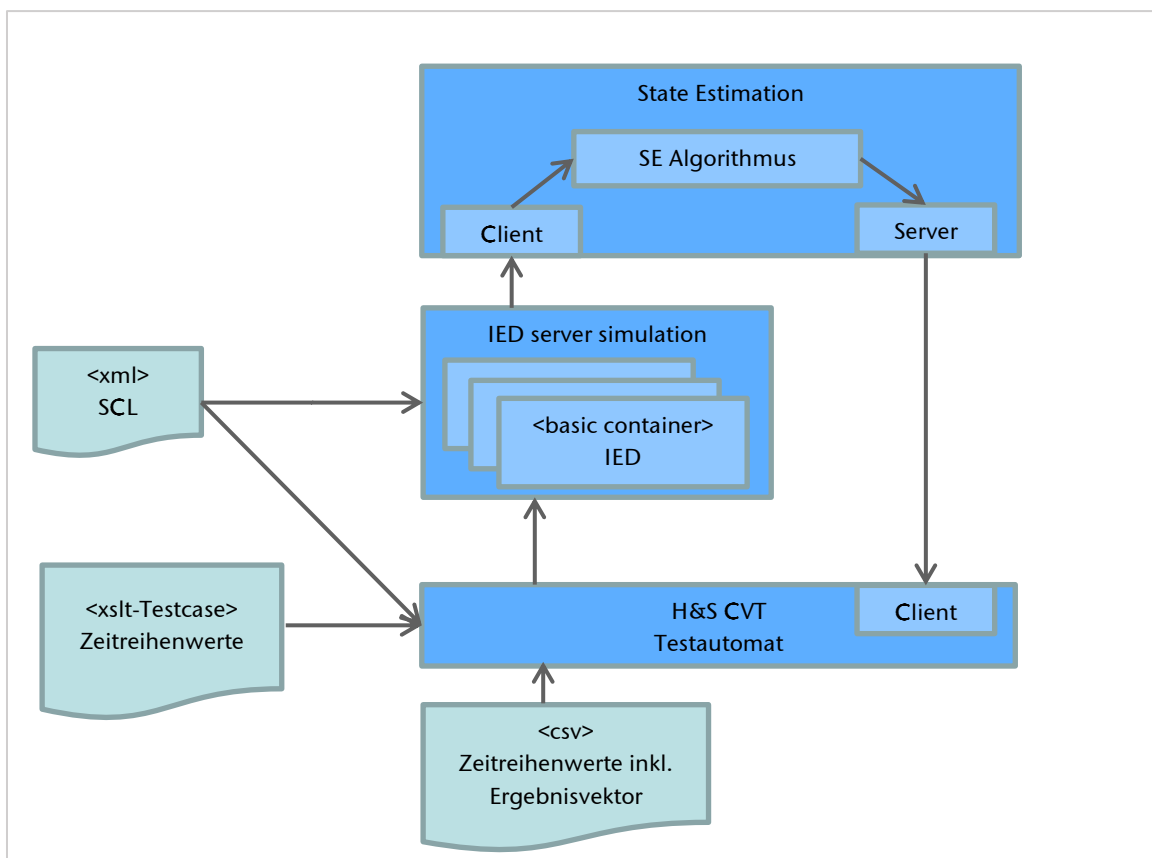
**Abbildung 12: manuelle Messwertvorgabe für Datenattribute in der IED Simulation**

Für die automatisierte Prüfung des Systems wurde anschließend die graphische Benutzerschnittstelle durch den Testautomat H&S CVT (Configuration Validation Tool) ersetzt.



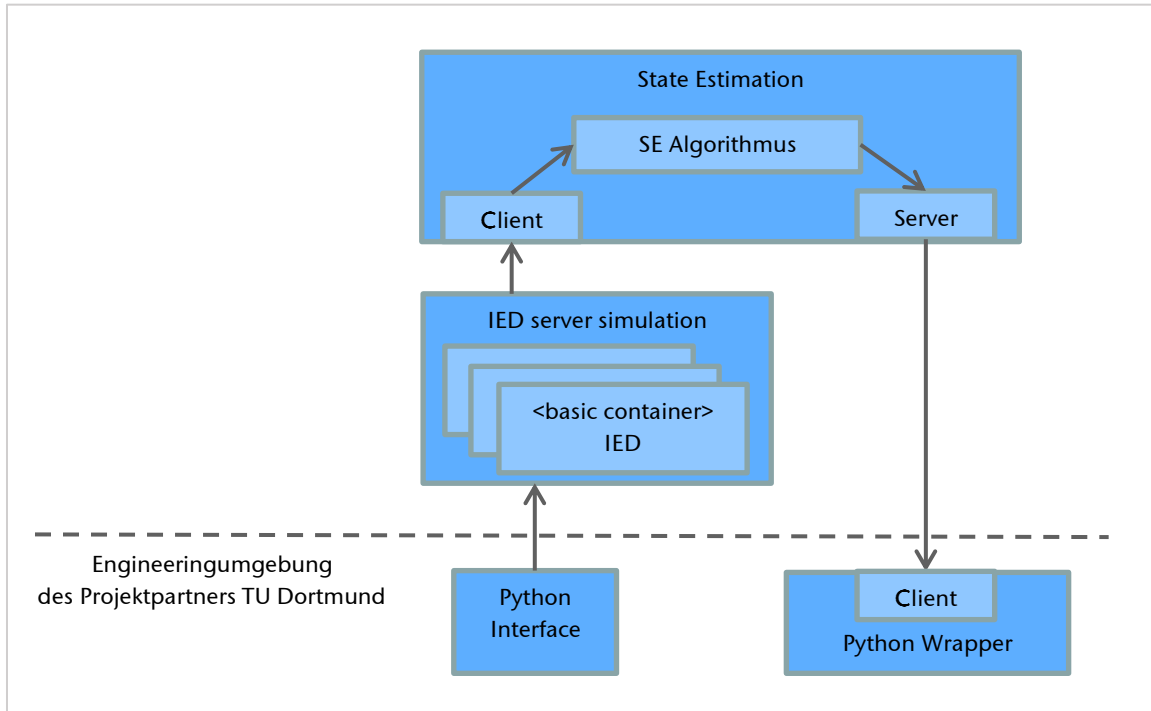
**Abbildung 13: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ – automatisiert**

Neben den für die IED Simulation erforderlichen Datenmodellinformation aus der SCL-Datei sind darüber hinaus Eingangsdaten für die Überprüfung des State-Estimation-Algorithmus erforderlich, die dem Testautomat bereitgestellt werden müssen.



**Abbildung 14: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ – automatisiert mit Einspeisung von Zeitreihenmesswerten**

Ein im Projekt zu untersuchenden Anwendungsfall war der, das bestehende System zur Testfallausführung an eine beim Projektpartner TU Dortmund vorhandene Engineeringumgebung zu adaptieren. Hierzu musste speziell das System der IED-Simulation sowie die IEC 61850-Clientfunktion um die Möglichkeit erweitert werden, dieses aus eine Python-Umgebung heraus, ansprechen zu können.



**Abbildung 15: Integration des Testscenarios „State Estimation“ in die Engineeringumgebung des Projektpartners**

Zudem wurde für die Verarbeitung und Integration von normativen SCL-Dateien in den durchgängigen Engineeringprozess für die Applikationen State Estimation in die Engineeringumgebung des Projektpartners TU Dortmund die H&S-eigene IEC 61850-6 Engineering-Framework-Softwarebibliotheken bereitgestellt und integriert. Da die Softwareentwicklung auf Seiten des Projektpartners in einer Python-Umgebung erfolgt, wurden entsprechenden Python Wrapper entwickelt und dem Projektpartner bereitgestellt mit denen die H&S IEC61850-6-Bibliotheken erfolgreich in den mit Python implementierten Workflow des Projektpartners TU integriert werden konnten.

### 2.1.5 Systemvisualisierung

Neben den Anforderungen für eine automatisierte Umsetzung von Testprozeduren hat sich bei deren Realisierung im Projekt gezeigt, dass eine einfache Visualisierung von Systemzuständen während der Testausführung erhebliche Vorteile bietet. Mit einer visuellen Darstellung des Systemzustandes kann das Verhalten des Systems effizient beobachtet werden. Aus dieser Anforderung heraus wurde im Projekt der H&S eigene IEC 61850-Client um eine visuelle Schnittstelle erweitert. Die Konfiguration der visuellen Darstellung erfolgt hierbei über eine etablierte xml-basierte Konfigurationsformat für graphische Benutzerschnittstellen (XAML [13]).

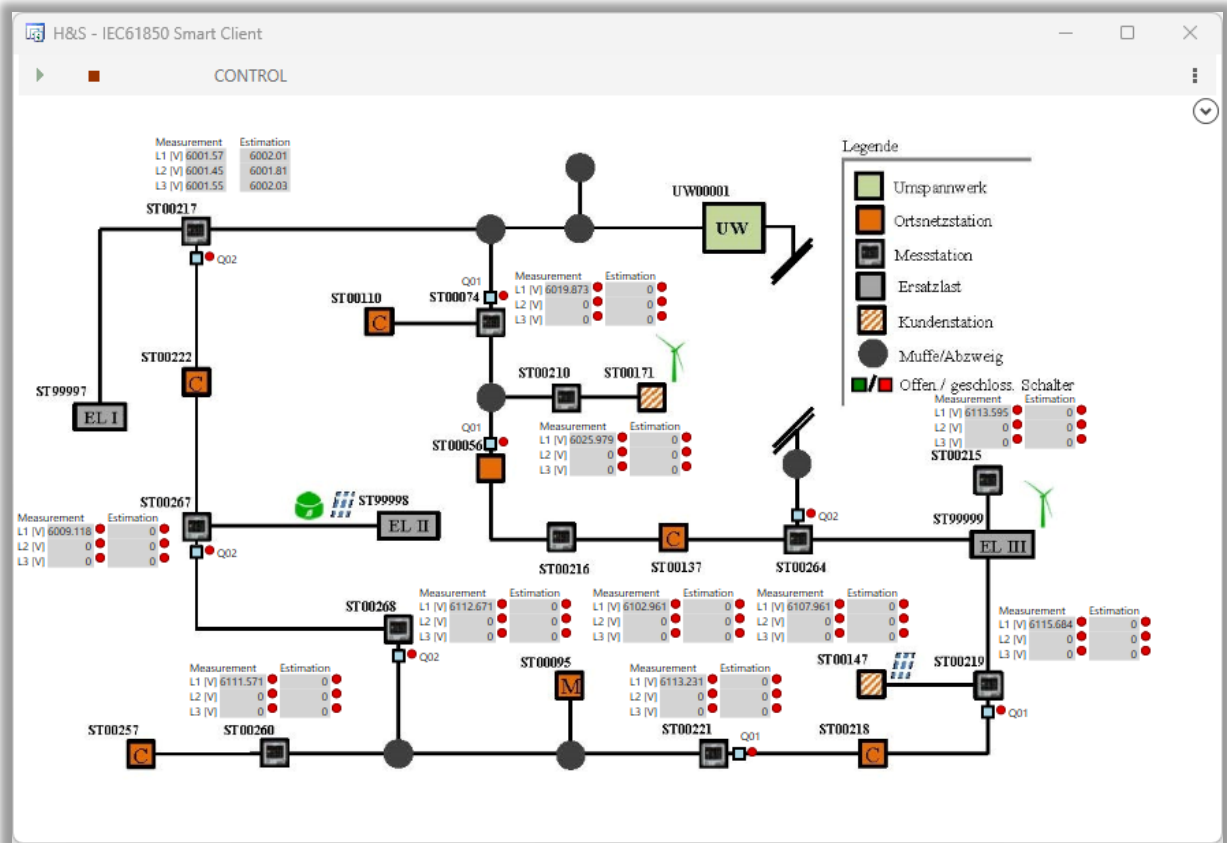


Abbildung 16: graphische Darstellung des Netzes im H&S – IEC 61850 Smart Client

Mit dieser Implementierung wurde für die State-Estimation-Applikation ein graphischer Übersichtsdarstellung des im Projekt untersuchten Netzes realisiert, in dem neben den Messwerten auch die estimierte Werte dargestellt werden konnten.

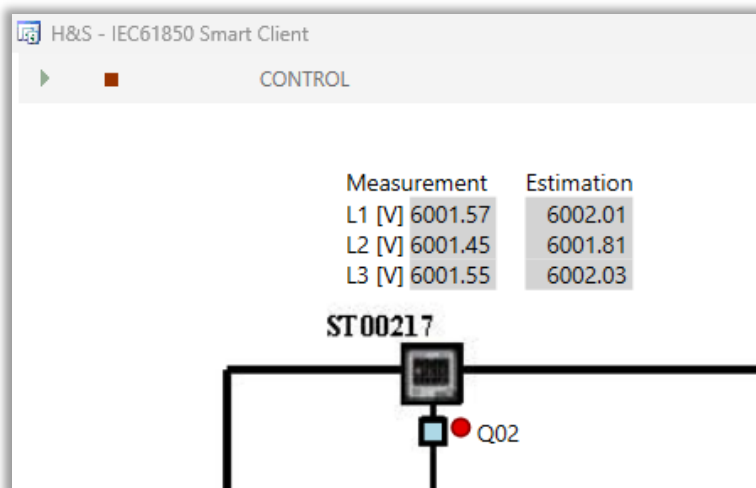


Abbildung 17: Detaildarstellung von Messwerten und estimierten Werten

Um die graphische Darstellung des aktuellen Zustandes des Systems nicht nur für den Test- und Laboraufbau einsetzen zu können, sondern ebenfalls innerhalb der Feldtests einsetzen zu können, wurde die H&S – IEC 61850 Smart Client zudem auf den zentralen i-Autonomus Server durch den Projektpartner Westnetz aufgesetzt und betrieben.

### 2.1.6 Zusammenfassung und tabellarischer Vergleich von Zielen und Ergebnissen

Im Rahmen des Forschungsprojekts i-Autonomous wurde ein Integrations- und Engineeringprozess erarbeitet um unabhängig von Netzbetreiber und Hardwareplattform

Verteilnetzautomatisierungssysteme gemäß IEC 61850-6 und CIM-CGMES standardisiert beschreiben. Mittels der aus i-Automate entstandenen flexiblen Systemarchitektur, die es ermöglicht, sowohl schutz- und leittechnische Funktionen als insbesondere auch Smart-Grid-Automatisierungsfunktionen modular und unabhängig voneinander auf einer standardisierten Hardware abzubilden, wurde ein Prozess erschaffen, der effizient und nachhaltig derartige Systeme konfiguriert. Ausgewählte Stationsfunktionen wurden virtualisiert und auf eine spezifizierte Hardwareplattform verteilt. Die Systemarchitektur und das Engineering- und Integrationskonzept wurden durch standardisierte Prüfverfahren im Laborumfeld verifiziert und durch einen abschließenden Feldtest validiert.

Als Gesamtprojektergebnis steht die Systemarchitektur sowie die Engineeringwerkzeuge als Basis für zukünftige Verteilnetzautomatisierungssysteme zur Verfügung. Hierzu kann die Systemarchitektur flexibel um weitere Funktionen ergänzt werden. Die implementierten Engineeringwerkzeuge können zur Verifikation neuer Funktionen bzw. Anwendung auf weitere zu automatisierende Netzbereiche genutzt werden.

Durch die Arbeiten im vorliegenden Teilprojekt wurden zentrale Softwarekomponenten für den gesamten Engineeringprozess, bestehend aus Projektierungs- und Konfigurations-, sowie Prüfprozess entwickelt, die von den Projektpartner in einer gemeinsamen Engineeringumgebung integriert werden konnten.

**Tabelle 1: Vergleich von Zielen und Ergebnissen**

Ziele	Ergebnisse
Ermittlung von Anforderungen an Projektierungs- und Konfigurationsprozesse und -tools für Smart-Grid-Automatisierungssysteme mit Fokus auf automatisierte Ortsnetzstationen	In der Anforderungsanalyse wurden zusammen mit den Netzbetreibern des Projektes bezüglich des Engineeringprozesse Anforderungen nach einen durchgängigen Engineeringprozess ohne Medienbrüche gestellt. Zentrale Anforderung seitens der Anwender ist hierbei das das Ergebnis des Engineeringprozesses zu einem geräteherstellerunabhängigen System führt.
Abgleich zwischen den in Vorgängerprojekten entstandenen Prozessen und Tools und den bei Netzbetreibern vorhandenen Standardtools	Im Vorgängerprojekt i-Automate wurde ein durchgängiger Engineeringprozess umgesetzt mit dem auf rein normativen IEC 61850-6-Daten (SCL) ein Top-Down-Engineering beschrieben wurde. Ein Abgleich mit den im Projekt beteiligten Anwender hat gezeigt, dass ein solcher Top-Down-Prozess mit den bei den Anwendern bisher im Einsatz befindlichen Standardwerkzeugen noch nicht etabliert ist. Die aktuellen Implementierungen der Engineeringprozesse werden überwiegend durch anwenderspezifische gewachsene Prozesse realisiert, wobei überwiegend DBMS sowie tabellenkalkulatorische Werkzeuge zum Einsatz kommen.

<p>Analyse der Schnittstellen dieser Standardtools und Definition, wie sich die neuartigen Projektierungs- und Konfigurationsprozesse und -tools modular und nahtlos in die bestehende Toollandschaft integrieren lassen</p>	<p>Für die Umgebungen mit denen neuartige Projektierungs- und Konfigurationsprozesse realisiert werden, ist es entscheidend, dass sie sich in vorhandene Systeme integrieren lassen. Die vorhandene Engineeringsysteme können oft nicht ohne Weiteres ersetzt werden. Die Projektaktivitäten haben gezeigt, dass eine Anforderung an diese neuartigen Umgebungen es ist, flexible und offene Schnittstelle anzubieten, mit der Hilfe sie leicht in vorhandene Prozesse integrieren werden können.</p>
<p>Ermittlung, wie sich die Prozesse und Tools über die reine Projektierung und Konfiguration von Systemen hinaus auch für die Definition und Konfiguration von Systemprüfungen nutzen lassen</p>	<p>Bei einem Engineeringprozess, basierend auf rein normativen IEC 61850-6-Daten (SCL), können die erzeugten Engineeringdaten in automatisierten Prüfprozeduren eingesetzt werden um das Systemverhalten zu prüfen.</p> <p>Hierbei ist jedoch von Bedeutung, welche Daten aus dem Engineeringprozess für die Testfall-Generierung verwendet werden. Werden hierbei Engineeringdaten (.SCD) verwendet, mit denen das System konfiguriert wird (.SCD) kann lediglich eine Überprüfung der richtigen Übernahme der Daten in die Gerätetechnik erfolgen, wohingegen wenn bereits Daten aus der Spezifikationsphase des Engineeringprozesses verwendet werden (.SSD) zudem der eigentlich Prozess der Konfiguration mit überprüft werden kann.</p> <p>Im Projekt wurde gezeigt, dass sich die normativen IEC 61850-6-Daten als Eingangsgröße für Testprozeduren einsetzen lassen.</p>

## 2.3 Verwendung der Zuwendung

Die im Projektverlauf bewilligten Zuwendungen wurden für die Erfüllung der im Projekt geplanten und durchgeführten Entwicklungstätigkeiten verwendet. Dies betrifft die im Folgenden aufgeführten Entwicklungstätigkeiten:

- Anforderungserstellung und Implementierung der Softwarebibliotheken für die Bearbeitung von normativen SCL-Daten inklusive individueller privater Informationen gemäß IEC 61850-6, die für die Umsetzung des durchgängigen und geräteherstellerunabhängigen Engineeringprozess durch den Projektpartner TU Dortmund in dessen Engineeringumgebung integriert wurden.
- Implementierung und Konfiguration der automatisierten Systemprüfung der Applikation „StateEstimation“ inklusiver der Konfiguration der IED-Simulation der Basis-Container zur Bereitstellung der Eingangsmesswerte für die StateEstimation.
- Anforderungserstellung und Implementierung der Systemvisualisierung des im Projekt zu untersuchenden Netzabschnittes zur graphischen Darstellung von Messwerten sowie estimierten Messwerten.

Zur Erfüllung des Zuwendungszwecks wurden wie geplant keine Gegenstände beschafft oder andere Anschaffung getätigt.

## 2.4 Verwertbarkeit

Im Rahmen des Projekts wurden zur Umsetzung der Arbeitspakete die vorhandenen Engineering- und Testwerkzeuge eingesetzt und bezogen auf die im Projekt entstandenen Anforderungen weiterentwickelt. Durch die Integration der eingesetzten und weiterentwickelten Komponenten durch die Projektpartner in eigene Engineeringumgebungen konnte bereits der Nachweis erbracht werden, dass eine Verwertbarkeit der Komponenten durch dritte möglich ist. Die Ergebnisse des Projekts können in vielfältiger Art und Weise verwertet werden. Die Verwertbarkeit des Projekts soll im Nachfolgenden erläutert werden.

- Das Engineering-Framework zur Implementierung von Engineeringprozessen gemäß IEC 61850-6 inklusiver privater Informationen, kann zur Implementierung individueller Engineeringprozesse eingesetzt werden und als eigenständiges Produkt am Markt angeboten werden.
- Die Konzepte der automatisierten Systemprüfungen, die im vorliegenden Projekt entwickelt wurden, werden bereits geplant bei weiteren nationalen Netzbetreibern für die Testautomation von Verriegelungsbedingen zum Schaltfehlerschutz eingesetzt werden.
- Das Konzept zur Systemvisualisierung kann unmittelbar für andere System, die gemäß IEC 61850-6 konfiguriert werden, als einfache visuelle Darstellung eingesetzt werden.

Die während des Projektes entwickelten Komponenten zum Engineeringprozess als auch zur automatisierten Systemprüfung konnten bereits während der Projektphase in vorhandenen Produkten übernommen werden.

Durch die Implementierung der entwickelten Engineering- und Testkonzepte in tatsächlichen Systemen entstehen aufgrund der gewonnenen praktischen Erfahrungen neue Anforderungen für zukünftige Entwicklungen.

## 2.5 Fortschritt anderer Stellen

Innerhalb der Projektlaufzeit wurde ein kontinuierlicher Abgleich mit dem Stand der Wissenschaft durchgeführt. Bei verschiedensten Möglichkeiten wie z.B. Konferenzen, Forschungsaustausch, Diskussionen mit Industrievertretern, Fachvorträgen, Patentrecherchen usw. wurden keine relevanten Fortschritte im Themengebiet des Forschungsvorhabens festgestellt.

## 2.6 Veröffentlichungen

Zur Projektlaufzeit sind verschiedene Veröffentlichungen entstanden, die die Projektergebnisse zusammenfassend widerspiegeln. Somit wurde ein fachlicher Austausch ermöglicht als auch Feedback zu den aktuellen Projektergebnissen sowohl aus dem wissenschaftlichen Umfeld als auch direkt von Industriepartnern eingeholt. Nachfolgend findet sich eine Auflistung aller Veröffentlichungen, an denen direkt und indirekt im Rahmen des Projekts mitgearbeitet wurde:

- S. Raczka, D. Hilbrich, A. Brüggemann, C. Rehtanz: *“ A Model Predictive Control Algorithm for large-scale Integration of Electromobility”*, The Hague, September 2020
- S. Raczka, D. Hilbrich, C. Rehtanz: *“ Identifikation relevanter Ortsnetzstationen für ein Smart Grid Automatisierungssystem, VDE ETG Kongress: „Das Gesamtsystem im Fokus der Energiewende ”*, Wuppertal, Mai 2021
- S. Raczka, B. Bauernschmitt, D. Hilbrich, R. Palaniappan, C. Rehtanz, C. Krueger, S. Lehnhoff, F. Puhe, B. Keune, C. Obermayer, J. Arph, T. Becker, F. Richter: *“A novel software applications rollout and monitoring strategy for enabling the transition to electromobility in future smart grids, CIREN workshop on e-mobility and power distribution systems”*, Porto, June 2022
- S. Raczka, F. Puhe et al.: *“Automatisierter Integrationsprozess zukünftiger Automatisierungs- und Monitoringsysteme in Verteilnetzen, VDE ETG Kongress: „Die Energiewende beschleunigen”*, Kassel, Mai 2023

Darüber hinaus wurden Vorträge zu inhaltlichen Aspekten des Projekts gehalten:

- S. Raczka: *“Online-Präsentation: A Model Predictive Control Algorithm for large-scale Integration of Electromobility”*, The Hague, September 2020
- S. Raczka: *“ Online-Präsentation: Identifikation relevanter Ortsnetzstationen für ein Smart Grid Automatisierungssystem, VDE ETG Kongress: „Das Gesamtsystem im Fokus der Energiewende ”*, Wuppertal, Mai 2021
- S. Raczka: *“Postersession: A novel software applications rollout and monitoring strategy for enabling the transition to electromobility in future smart grids”, CIREN workshop on e-mobility and power distribution systems”*, Porto, June 2022
- S. Raczka: *“Vorstellung des F&E-Projektes i-Autonomous: Standardisierung und Integration modular-autonomer Automatisierungs-komponenten in neuartige, intelligente Ortsnetzstationen”*, VDE Taskforce: Hochautomatisierter Netzbetrieb, Dortmund, Mai 2022

- S. Raczka, F. Puhe: „Präsentation: *Automatisierter Integrationsprozess zukünftiger Automatisierungs- und Monitoringsysteme in Verteilnetzen*, VDE ETG Kongress: „*Die Energiewende beschleunigen*“, Kassel, Mai 2023

### 3 Literaturverzeichnis

- [1] *DIN IEC 61970-301:2013-08: „Energy management system application program interface (EMS-API) – Part 301: Common Information Model (CIM) base“*, 2013.
- [2] *IEC 61850-6:2009/DIN EN 61850-6:2010-06: „Communication networks and systems for power utility automation – Part 6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs“*, 2010.
- [3] „Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): „i-Protect“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.offis.de/offis/projekt/i-protect.html> Zugriff am: 25. Juli 2023.
- [4] „Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): „i-Automate“. [Online]. Verfügbar unter: <https://ie3.etit.tu-dortmund.de/research/third-party-projects/smart-grid-technologies/i-automate-bmwi/>. Zugriff am: 25. Juli 2023.
- [5] „Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): „Smart Area Aachen – Intelligente Ortsnetzstationen““. [Online]. Verfügbar unter: <http://smartarea.de/wp-content/uploads/2016/07/Fachbericht-smart-area.pdf> Zugriff am: 25. Juli 2023.
- [6] A. Shapovalov, P. Noglik, L. Jendernalik und T. Wiedemann, „Grid4EU: Entwicklung und Demonstration eines Systems zur autonomen Netzführung“, *at - Automatisierungstechnik*, Jg. 63, Nr. 11, S. 883–890, 2015, doi: 10.1515/auto-2015-0062.
- [7] B. Keune, C. Rehtanz und U. Aschenbroich, „Verbundprojekt: Intelligente Ortsnetzstation - Feldtest und Praxiserprobung von i3S: Abschlussbericht zum Verbundvorhaben Smart Area Aachen“, Dortmund, 2017.
- [8] „Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): „Green Access““. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/forschung/forschungsgruppe-intelligente-netze-und-systeme/green-access/>. Zugriff am: 25. Juli 2023.
- [9] „Projekt gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV): „NEmo““. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.evt.uni-wuppertal.de/de/forschung/forschungsgruppe-intelligente-netze-und-systeme/nemo-netzintegration-der-elektromobilitaet/>. Zugriff am: 25. Juli 2023.
- [10] S. Raczka, F. Puhe, C. Krueger, J. Arph und C. Rehtanz, „Automated integration process of future automation and monitoring systems in distribution grids“ in *ETG Congress 2023*, 2023, S. 1–7.
- [11] S. Raczka *et al.*, „A novel software applications rollout and monitoring strategy for enabling the transition to electromobility in future smart grids“ in *CIREN Porto Workshop 2022: E-mobility and power distribution systems*, 2022, S. 513–517, doi: 10.1049/icp.2022.0760.
- [12] Abschlussbericht: i-Autonomous des Projektpartners i3e
- [13] Extensible Application Markup Language XAML  
[online]. Verfügbar unter:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Extensible\\_Application\\_Markup\\_Language](https://en.wikipedia.org/wiki/Extensible_Application_Markup_Language)  
Zugriff am: 27. September 2023

## 4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Architekturbild des Gesamtvorhabens .....	2
Abbildung 1.2: Projektablaufdiagramm .....	4
Abbildung 1.3: Technisches Konzept der automatisierten ONS .....	7
Abbildung 1.4: Übersicht der Projektpartner und ihrer Kernkompetenzen .....	8
Abbildung 5: Top-Down-Engineering mit Anlagen- und IED-Datenmodellspezifikation.....	11
Abbildung 6: Generierungsprozess für normative SCL-Klassenbibliothek gemäß IEC 61850-6.....	12
Abbildung 7: Serialisierung von SCL-Dateien in Klassenbibliotheksinstanzen .....	12
Abbildung 8: Generierungsprozess für die i-Autonomous-Klassenbibliothek der privaten Elemente .	13
Abbildung 9: Serialisierung von SCL-Dateien und privaten i-Autonomous Daten in Klassenbibliotheksinstanzen .....	13
Abbildung 10:Architekturkonzept zur automatisierten Erstellung und Ausführung von Testprozeduren .....	16
Abbildung 11: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ - manuell.....	17
Abbildung 12: manuelle Messwertvorgabe für Datenattribute in der IED Simulation .....	18
Abbildung 13: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ – automatisiert .....	19
Abbildung 14: Konfigurator Testscenario „State Estimation“ – automatisiert mit Einspeisung von Zeitreihenmesswerten .....	19
Abbildung 15: Integration des Testscenarios „State Estimation“ in die Engineeringumgebung des Projektpartners .....	20
Abbildung 16: graphische Darstellung des Netzes im H&S – IEC 61850 Smart Client .....	21
Abbildung 17: Detaildarstellung von Messwerten und estimierten Werten .....	21

## 6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich von Zielen und Ergebnissen .....	22
---	----

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) <b>Schlussbericht</b>
3. Titel  i-Autonomous - „Standardisierung und Integration modular-autonomer Automatisierungskomponenten in neuartige, intelligente Ortsnetzstationen“ Teilvorhaben: Durchgängigkeit und Standardisierung des Projektierungs-, Prüf- und Lifecycleprozesses	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Dipl.-Ing. (FH) Jan Arph M. Eng.	5. Abschlussdatum des Vorhabens März 2023
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  H & S Hard- & Software Technologie GmbH & Co. KG  Niedersachsenweg 10 D-44143 Dortmund	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03EI6001D
	11. Seitenzahl 32
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  11019 Berlin	13. Literaturangaben 13
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 17
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Getrieben durch die elektrische Energiewende in Deutschland und Europa ergibt sich auch in den Mittel- und Niederspannungsnetzen ein zunehmender Bedarf zur Automatisierung. Diese Automatisierung soll dazu dienen, die Aufnahmefähigkeit der elektrischen Netze für dezentrale Energieerzeugungsanlagen sowie für neue Lasten (insbesondere Wärmepumpen und Elektromobilität) zu erhöhen. Existierende Automatisierungsfunktionen in höheren Spannungsebenen können hierbei nicht ohne Weiteres in den unteren Spannungsebenen eingesetzt werden. Die große Anzahl an Schutz- und Automatisierungsfunktionen erfordert die Kombination aller Funktionen auf ein standardisiertes System. Zusätzlich müssen die einzelnen Funktionen in der Lage sein, teil-autonom zu arbeiten sowie ausfallsicher und robust zu funktionieren, ohne Hardware redundant ausführen zu müssen. Aufbauend auf Ergebnissen (aus Vorgängerprojekten) soll im Projekt i-Autonomous ein standardisiertes Schutz- und Automatisierungssystem zum Einsatz in elektrischen Mittel- und Niederspannungsnetzen inklusive eines den vollständigen Lifecycle betrachtendes Projektierungs-, Einbau- und Wartungskonzepts entworfen und exemplarisch angewandt werden. Die erforderlichen Schutz- und Automatisierungsfunktionen, Schnittstellenadaptionen, ein geeigneter Engineeringprozess sowie automatisierte Prüfverfahren werden in Hard- und Software implementiert. Anschließend wird das prototypische System unter Anwendung der spezifizierten Prozesse in ein ausgewähltes Netzgebiet eingebracht und validiert. Die Projektergebnisse sollen im Rahmen eines Entwurfs für einen Standard bei den relevanten Normungsgremien vorgelegt werden und so Eingang in zukünftige Industriestandards finden.

Im vorliegenden Teilprojekt wird dabei besonders die Durchgängigkeit und Standardisierung dieses Projektierungs-, Prüfprozesses betrachtet und entsprechende Konzepte erarbeitet und Komponenten implementiert.

19. Schlagwörter

Verteilnetzautomatisierung, Smart Grid, Ortsnetzstation, Schutz- und Leittechnik, Netzautomatisierung, Projektierung, Engineering, IEC 61850, Prüfverfahren, anwenderspezifische Prüfung, Systemprüfung

20. Verlag

21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) report	
3. title  i-Autonomous - "Standardization and integration of modular-autonomous automation components into new, intelligent local network stations" Sub-projects: Consistency and standardization of the project planning, testing and lifecycle process		
4. author(s) (family name, first name(s))  Dipl.-Ing. (FH) Jan Arph M. Eng.	5. end of project March 2023	
	6. publication date	
	7. form of publication	
8. performing organization(s) (name, address)  H & S Hard- & Software Technologie GmbH & Co. KG  Niedersachsenweg 10 D-44143 Dortmund	9. originator's report no.	
	10. reference no. 03EI6001D	
	11. no. of pages 32	
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)  11019 Berlin	13. no. of references 13	
	14. no. of tables 1	
	15. no. of figures 17	
16. supplementary notes		
17. presented at (title, place, date)		
18. abstract Driven by the electrical energy transition in Germany and Europe, there is also an increasing need for automation in medium and low-voltage networks. This automation is intended to increase the capacity of the electrical networks to accommodate decentralized energy generation systems as well as new loads (particularly heat pumps and electromobility). Existing automation functions in higher voltage levels cannot easily be used in the lower voltage levels. The large number of protection and automation functions requires the combination of all functions in a standardized system. In addition, the individual functions must be able to work partially autonomously and function reliably and robustly without having to implement redundant hardware. Building on results (from previous projects), the i-Autonomous project aims to design and use an example of a standardized protection and automation system for use in medium and low-voltage electrical networks, including a project planning, installation and maintenance concept that takes into account the complete lifecycle. The required protection and automation functions, interface adaptations, a suitable engineering process and automated testing procedures are implemented in hardware and software. The prototype system is then introduced into a selected network area and validated using the specified processes. The project results will be presented to the relevant standardization committees as part of a draft standard and will thus be incorporated into future industry standards. In this subproject, the consistency and standardization of this project planning and testing process is particularly considered and corresponding concepts are developed and components are implemented.		
19. keywords  Distribution network automation, smart grid, local network station, protection and control technology, network automation, project planning, engineering, IEC 61850, test procedures, user-specific testing, system testing		
20. publisher	21. price	