Plug-and-Produce-Prozess mit NOA automatisieren

Erfolgreicher Einsatz in bestehenden Feldbusanwendungen

Der von der RWTH Aachen entwickelte Demonstrator zur Namur Open Architecture (NOA) zeigt, wie mit NOA der Plug-and-produce-Prozess weitgehend automatisiert werden kann. Die im Demonstrator realisierte einfache Art der Freigabe kann bei Bedarf durch zusätzliche Verfahren der Authentifizierung und durch die Ausführung der Konfigurationsänderung über ein bestehendes MES-System weiter abgesichert werden.

SCHLAGWÖRTER NOA / Verification of Request / service oriented architecture / IoT

NAMUR OPEN ARCHITECTURE – DIE DEMONSTRATOREN

Bei der Namur-Hauptsitzung 2016 wurde erstmals die im Namur-Arbeitskreis 2.8 „Automatisierungsnetzwerke und -dienste" entwickelte Namur Open Architecture (NOA) vorgestellt. Mit NOA wird der Versuch unternommen, die bestehenden Automatisierungsstrukturen so zu öffnen und zu ergänzen, dass Innovationen (IoT, Industrie 4.0 und andere) nutzbar werden, ohne die Vorteile der bisherigen Automatisierung zu verlieren.
Vier Hochschulen stellten ein Jahr später, bei der Namur-Hauptsitzung 2017, nun erstmals Demonstratoren vor, bei denen NOA praktisch umgesetzt wurde. Eine wesentliche Rolle dabei spielt auch OPC UA. Auf den folgenden Seiten beschreiben die Hochschulen in separaten Beiträgen ihre Demonstratoren.

LARS NOTHDURFT, ULRICH EPPLE, RWTH Aachen University

Auf der Namur-Hauptsitzung 2017 wurde von der RWTH Aachen (Lehrstuhl für Prozessleittechnik) ein Plug-and-Produce-Demonstrator vorgestellt. Ziel war es zu zeigen, wie mit NOA in bestehenden Feldbusanwendungen die Plug-and-Produce-Aufgabe gelöst werden kann. Für das Datenmanagement wurde dabei auf das Konzept der Verwaltungsschalen zurückgegriffen.

Der Demonstrator besteht im Kontrollzweig aus einer Remote I/O, an die über eine 4-20mA-Leitung ein intelligentes Feldgerät angeschlossen ist. Remote I/O und Feldgerät sind HART-fähig. Das Feldgerät besitzt zusätzlich eine zweite interne Logik, die über eine Namur-Diode alle Informationen aus dem Sensor auslesen kann und diese über einen zweiten Kanal in Form eines OPC-UA-Interface einem M&O-Server zur Verfügung stellt (siehe Bild 1, rechts). Der zweite Kanal wurde im Demonstrator als WLAN-Kanal realisiert. Der M&O-Server verwaltet die Typ-, Rollen- und Gerätedaten in Verwaltungsschalen und enthält eine Anwendung Plug-and-Produce-Manager. Diese

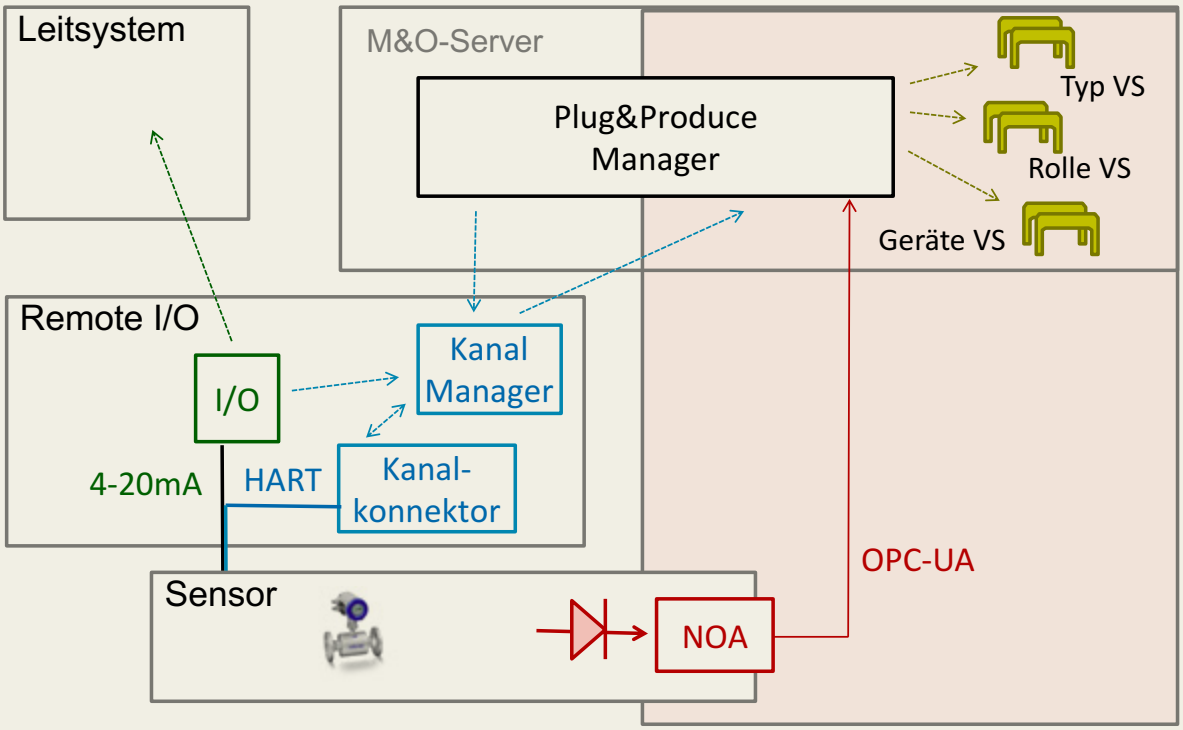

BILD 1: Demonstratoraufbau

enthält die Businesslogik zur Ausführung des Plug-and-Produce-Prozesses. In der Remote I/O wurde für jeden Kanal zusätzlich je ein Kanalkonnektor und ein Kanalmanger realisiert. Der Kanalkonnektor bietet OPC-UA-Dienste zum Aufruf der HART-Befehle an und wickelt die HART-Kommunikation ab. Der Kanalmanager überwacht den Kanal. Er erkennt, ob ein Gerät am Kanal angeschlossen ist und ermittelt dessen ID (Geräte-ID) und Typ. Der Kanalmanger informiert den Plug-and-Produce-Manager über Änderungen am Kanalanschluss.

Im Folgenden wird grob der Ablauf beschrieben, den der Demonstrator beim Anschließen eines neuen Gerätes durchläuft. Der Anschluss eines neuen Geräts wird zunächst vom Kanalmanger in der Remote I/O erkannt. Daraufhin liest der Kanalmanager über den Kanalkonnektor den Gerätetyp und die Geräte-ID aus dem neuen Gerät aus. Diese Informationen und die Klemmen, an denen das Gerät angeschlossen wurde (seine Rollenzuordnung) werden dem Plug-and-Produce-Manager gemeldet. Der Plug-and-Produce-Manager startet die Plug-and-Produce-Prozedur. Durch die Anschlussklemme ist die Rolle (PLT-Stelle) bei 4-20mA-Geräten eindeutig beschrieben und die für diese Stelle projektierten Anforderungen werden aus der Rollenverwaltungsschale ermittelt. Zusätzlich enthält die Rollenverwaltungsschale auch die Konfigurationseinstellungen (as build) des letzten angeschlossenen Feldgeräts. Im nächsten Schritt wird nach einer Geräteverwaltungsschale für das indentifizierte Gerät gesucht. Existiert noch keine Verwaltungsschale für das konkrete Gerät, wird eine neue Verwaltungsschale angelegt und die benötigte Initialstruktur aus der Typverwaltungsschale abgeleitet. Als nächstes muss der Ist-Konfigurationszustand des Geräts ermittelt werden. Dieser wird über die NOA-Schnittstelle ausgelesen und in die Geräteverwaltungsschale eingetragen. Im nächsten Schritt wird der Ist-Konfigurationszustand mit dem in der Rollenverwaltungsschale hinterlegten Soll-Konfigurationszustand verglichen. Daraus ergeben sich die erforderlichen Konfigurationsänderungen im Gerät. Der Plug-and-Produce-Manager stellt diese zusammen und bietet sie dem Operator zur Freigabe an. Nach der Bestätigung durch den Operator werden die Konfigurationsänderungen über die HART-Schnittstelle an das Gerät übertragen. Abschließend wird der Erfolg des Konfigurationsvorgangs überprüft. Nach erfolgreicher Überprüfung ist die Konfiguration abgeschlossen.

Mit dem Demonstrator wurde gezeigt, wie mit NOA der Plug-and-Produce-Prozess weitgehend automatisiert werden kann. Voraussetzung sind eine entsprechend standardisierte Verwaltung der Typ-, Rollen- und Gerätedaten in Verwaltungsschalen und eine intelligente Kopplung an das HART-Interface in der Remote I/O. Die im Demonstrator realisierte einfache Art der Freigabe kann bei Bedarf durch zusätzliche Verfahren der Authentifizierung und durch die Ausführung der Konfigurationsänderung über ein bestehendes MES-System weiter abgesichert werden.

AUTOREN

M. Sc. **LARS NOTHDURFT** (geb. 1989) hat 2015 sein Studium der Automatisierungstechnik an der RWTH Aachen abgeschlossen. Seitdem arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Prozessleittechnik in Aachen. Sein Fachgebiet liegt beim automatisierten Austausch von Informationen durch Modelltransformationen im Umfeld von Industrie 4.0.

RWTH Aachen University,
Lehrstuhl für Prozessleittechnik,
Turmstraße 46, D-52064 Aachen,
Tel. +49 (0) 241 809 76 19,
E-Mail: l.nothdurft@plt.rwth-aachen.de

Prof. Dr.-Ing. **ULRICH EPPLE** (geb. 1953), war 1979 bis 1985 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik der Universität Stuttgart, 1985 bis 1990 Mitarbeiter im Ressort Prozessleittechnik in der Bayer AG, 1991 bis 1995 Geschäftsführer der Gesellschaft für Prozesstechnik GmbH, und leitet seit 1995 den Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen. Hauptarbeitsgebiete: Modellbildung in der Leittechnik, formale Beschreibungsmethoden, Anwendung modellgetriebener Verfahren in der Prozessautomatisierung. Assistenzsysteme zur Unterstützung von Ingenieurprozessen.

atp!update

+++ Automatisierung auf den Punkt +++

ATP EDITION | BRANCHE | VERANSTALTUNGEN | FORSCHUNG | PRODUKTE

IHR NEWSLETTER FÜR DIE AUTOMATION

Aktuell, kompetent und auf den Punkt

Jetzt anmelden und sofort lesen:
www.atpinfo.de/newsletter

DIV
Deutscher Industrieverlag

NOA schafft Voraussetzungen für neue digitale Dienste

Konzept bietet geeignete semantische Informationsbasis

Der von der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg entwickelte Demonstrator zeigt an einem praxisrelevanten Anwendungsfall, wie Namur Open Architecture (NOA) die Voraussetzungen für neue digitale Dienste schafft. Der Mehrwert der Daten-Verfügbarkeit durch digitale Dienste (M+O) sowie die Eignung für Bestandsanlagen werden hervorgehoben. Die zur Umsetzung herangezogenen Konzepte und Technologien lassen sich auf eine Vielzahl von Szenarien übertragen. Außerdem wird der Bezug zu den Bestrebungen zur Verwaltungsschale aus der Plattform Industrie 4.0 deutlich. Die von NOA definierten Szenarien zu den Schwerpunkten

- Applications based on field device information,
- 2nd view on plant status und
- New digital service models based on NOA

werden vom Demonstrator abgedeckt.

SCHLAGWÖRTER Digitale Mehrwertdienste / Flexible Automatisierungsarchitektur / Semantische Interoperabilität / Virtuelle Anlagenrepräsentation

TIZIAN SCHRÖDER, CHRISTIAN DIEDRICH, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Digitale Mehrwertdienste für Monitoring+Optimization sind auf die Verfügbarkeit von Anlagendaten angewiesen. Dies umfasst den Zugang zu den Datenquellen sowie die maschinelle Verarbeitbarkeit der so gewonnen Daten durch die Dienste. Anhand eines durch Industriepartner motivierten Anwendungsfalles zeigt der Demonstrator, wie mithilfe der Namur Open Architecture (NOA) die dafür nötigen Voraussetzungen geschaffen werden können – auch für Bestandsanlagen.

ANWENDUNGSFALL

Ein besonderer Übergang zwischen den Phasen des Lebenszyklus technischer Komponenten ist bei Planungsdaten und dem operativen Betrieb gegeben. Im Demonstrator ist dieser Übergang anhand von automatisierungstechnischen Geräten gezeigt, die in den Planungsdaten vorhanden sind, das heißt aus dem R&I-Fließbild abgeleitet worden sind, beschafft und installiert wurden und dann im operativen Betrieb verwendet werden. Ein Vergleich der geplanten Geräte mit den tatsächlich in dem System verbauten Geräten erfolgt auf der Basis ihrer Merkmale und Parameter. Zur Umsetzung dient das NOA-Konzept.

Es wurde ein Anlagenausschnitt gewählt, in dem Feldgeräte für Durchfluss, Druck und Temperatur benötigt werden. Die Feldgeräte sind über ein Feldbusprotokoll – hier Profibus PA – mit einer Steuerung verbunden. Es gibt einen zusätzlichen Zugang zu den Feldbus-Geräteparametern, die ausgelesen werden können. Die so zugänglichen Merkmale und Parameter sollen mit den Planungsdaten für die entsprechende Komponente verglichen werden. Das kann vollständig ohne Konfigurierungsaufwand erfolgen, da sowohl die Planungsdaten als auch die Gerätedaten jeweils semantisch annotiert werden.

Der Vergleich erfolgt in einem speziell für den Demonstrator prototypisch realisierten Werkzeug. In diesem werden die Planungsdaten und die Daten aus den Geräten zusammengeführt. Planungsdaten als auch Gerätedaten werden in geeigneten Formaten (NOA-OPC-UA-Informationsmodell) sowohl von der von den Geräten bereitgestellten Schnittstelle als auch von einem fiktiven Engineering-Tool dem Vergleichswerkzeug zur Verfügung gestellt.

ARCHITEKTUR UND FUNKTIONALITÄT

Für die verfahrenstechnische Anlage, welche hier das betrachtete Asset darstellt, liegt eine virtuelle Repräsentation vor – die Verwaltungsschale (Asset Administration Shell, kurz: AAS). Das hierin enthaltene Modell ist gemäß des NOA-Metamodells ausgeführt.

Die AAS muss für potenzielle Interaktionspartner nach außen hin zugänglich sein. Als Schnittstellen-Technologie kommt hier OPC UA zum Einsatz. Das Ziel ist es, das vorhandene NOA-Informationsmodell der Anlageninstanz auf ein OPC-UA-Informationsmodell abzubilden und in einem Server-Adressraum zur Verfügung zu stellen.

Das Referenzmodell für die I4.0-Komponente sieht vor, dass Verwaltungsschalen durch das verwaltete

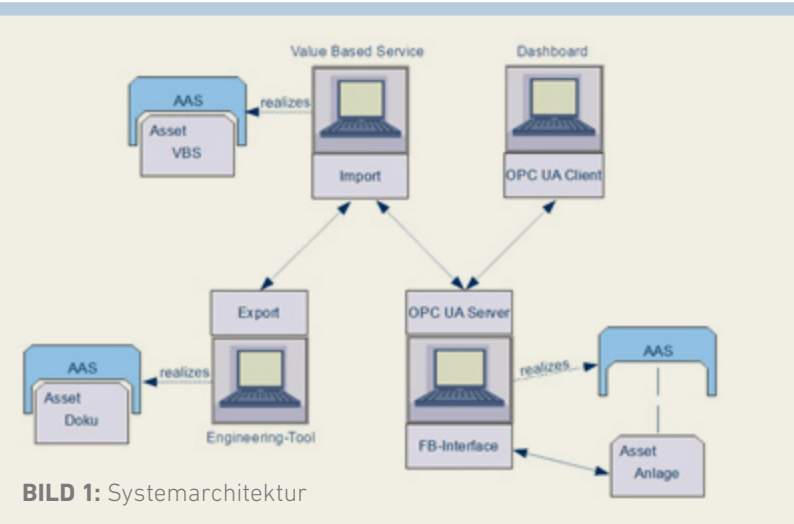

BILD 1: Systemarchitektur

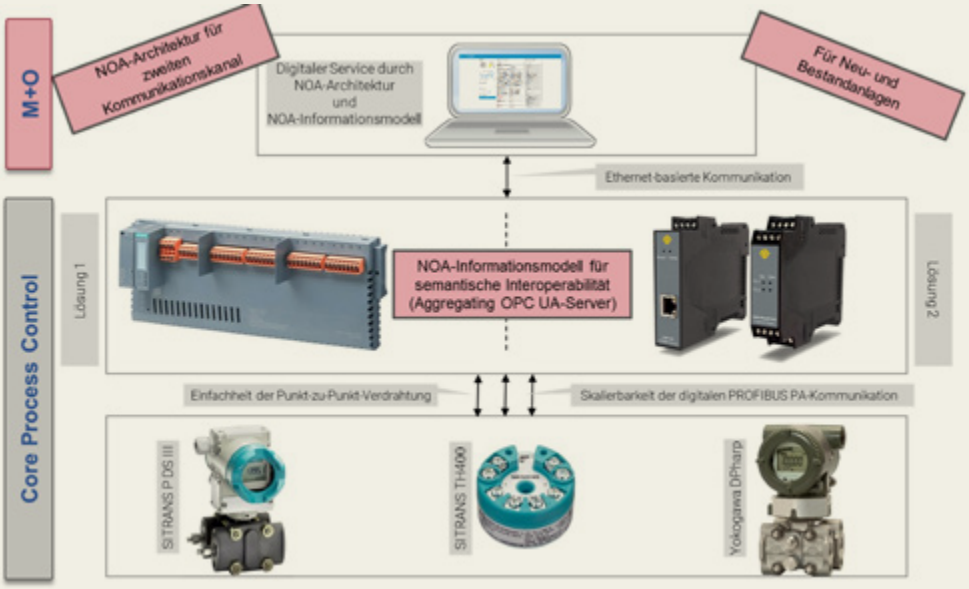

BILD 2: Technologische Realisierung des zweiten Kommunikationskanals und Bezug zur NOA-Architektur

Asset selbst verfügbar gemacht oder in ein übergeordnetes System ausgelagert werden können. Das verwaltete Asset ist hier eine Anlage, da sich das betrachtete Informationsmodell auf die gesamte Anlage bezieht. Im vorliegenden Fall wurde das gesamte Modell in eine Server-Applikation integriert. Diese würde innerhalb der Anlage in einem zentralen Repository hinterlegt werden. Für den Demonstrator wurde ein dedizierter OPC-UA-Server entwickelt und auf einem Ethernet-Gateway installiert, das als ein solches übergeordnetes IT-System dient. Dieser fungiert als Aggregation-Server mit statischen und dynamischen Informationen und stellt somit die technologische Realisierung der AAS dar. Für das Gateway wurden 2 gerätetechnische Lösungen gezeigt: die Siemens Compact Field Unit (CFU) sowie das isNet Lite mit Profibus-PA-Mastermodul von Thorsis. Diese Komponenten lassen eine Migrationsstrategie für Bestandsanlagen hin zur I4.0-Anlage auf Basis des NOA-Konzepts zu.

Auf die vom OPC-UA-Server vorgehaltenen Informationen kann durch Lesen und Schreiben von Attributen der angelegten OPC-UA-Informationselemente zugegriffen werden. Die Daten sind in Server-internen Objekten hinterlegt. Die Datenhaltung soll allerdings nicht durch die Server-Applikation selbst, sondern durch eine Anbindung von Datenelementen des NOA-Modells an externe Datenquellen – hier die Feldgeräte – erfolgen. Diese befinden sich im sogenannten Core-Process-Control-Bereich der NOA-Architektur. Das Gerät muss zu diesem Zweck eine Schnittstelle

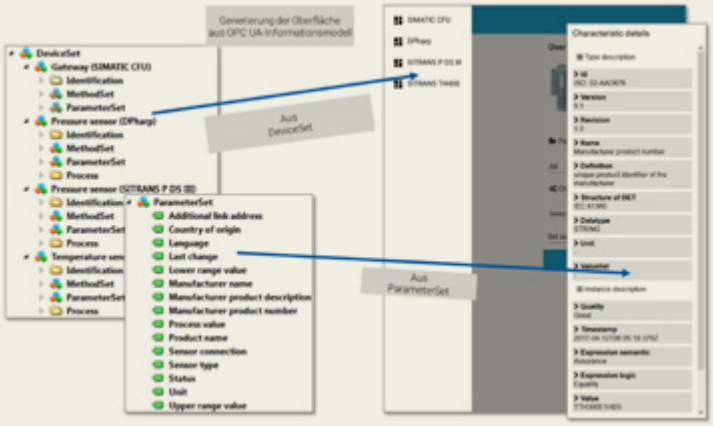

BILD 3: Generierung der Tool-Oberfläche aus OPC UA-Informationsmodell

REFERENZEN

[1] Schröder, T.; Diedrich, C.: Zero-Click-Configuration of OPC UA-Servers. Magdeburg: Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik. Automation 2018, Baden-Baden (accepted).

bereitstellen. Im Demonstrator ist dies ein Profibus-PA-Feldbus-Zugang. Die vom Server bereitgestellten Informationen sind durch OPC-UA-Clients abrufbar.

Im Demonstrator erfolgt der Zugriff auf den Server über ein prototypisches Tool von einem PC aus. Dieses integriert ein Dashboard zum Ansehen des Informationsmodells und ein Vergleichstool. Das Vergleichstool nimmt den durch das Demonstrationsbeispiel vorgesehenen Vergleich zwischen Soll- und Ist-Implementierung der Anlage vor (as-required versus as-built). Dies dient als Beispiel eines einfachen Value Based Services (Mehrwertdienst), welcher innerhalb des Monitoring+Optimization-Bereichs (M+O) der NOA-Architektur angesiedelt ist. Dort erfolgt die Zusammenführung von Planungsdaten aus dem Engineering und Daten aus den Geräten. Es wird aufgezeigt, dass Modelle gemäß des NOA-Ansatzes eine geeignete semantische Informationsbasis für derartige Services darstellen. Die Solldaten werden in einem fiktiven Engineering-Tool erstellt, das als Quelle des vorliegenden Planungsmodells gilt. Als Quelle für die Istdaten dient der beschriebene OPC-UA-Server. Die Tool-Oberfläche wird aus dem Informationsmodell generiert.

STOLPERSTEINE, RISIKEN, WEITERE ENTWICKLUNGSSCHRITTE

Für den praktischen Einsatz wäre zusätzlich zum beschriebenen Vorgehen die Integration des Security-Konzepts von NOA (Informationsdiode, Verification of Request) notwendig.

Die Weiterentwicklung des Demonstrators sieht eine einfache Integration und Konfiguration von Assets in den aggregierenden Server vor – gemeinsam mit Industriepartnern. Dies wird durch praktische Umsetzung eines Konzepts zur Zero-Click-Configuration von OPC-UA-Servern [1] einbezogen. Die Praxis zeigt, dass Art und Menge der durch diesen Server repräsentierten Assets während der Nutzungsdauer des Servers variabel sind. Dies bedeutet, dass die Konfiguration des Servers im Allgemeinen kein einmaliger Vorgang ist, sondern jedes Mal erfolgt, wenn die repräsentierten Assets Änderungen unterworfen sind (beispielsweise Aufnahme eines zusätzlichen Assets). Eine manuelle Integration von Assets (Device Integration) in einen Server erfordert üblicherweise spezifisches Know-how und großen Zeitaufwand. Entscheidend für eine komfortable Nutzbarkeit des Aggregating-Server-Ansatzes ist es daher, eine einfache Konfiguration des OPC-UA-Servers zu unterstützen – im Idealfall automatisiert. Der zu entwickelnde Demonstrator konkretisiert das bestehende Konzept für eine Zero-Click-Configuration (kurz: ZCC) von OPC-UA-Servern für die Realisierung von Verwaltungsschalen zur Parametrierung von Feldgeräten. Hierbei handelt es sich um ein automatisiertes (Online-)Konfigurationskonzept für semantische Datenräume. Das Konzept basiert auf der Generierung und Ausführung eines Konfigurationsskripts, das nach dem Connecting eines Assets die Schritte Discovery, Description, Generation und Configuration vollzieht.

Außerdem wird für die Zukunft nach weiteren Anwendungsfällen von Value Based Services gesucht, um die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Daten-Verfügbarkeit zu evaluieren.

AUTOREN

M. Sc. **TIZIAN SCHRÖDER** (geb. 1991) ist Mitarbeiter am Lehrstuhl Integrierte Automation an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Zuvor studierte er Wirtschaftsingenieurwesen für Elektro- und Informationstechnik mit dem Schwerpunkt Automatisierungstechnik. Seine Hauptarbeitsfelder sind semantische Beschreibungsmethoden als Grundlage für Interoperabilität in der digitalen Fabrik sowie Interaktionsmodelle für I4.0-Komponenten.

Prof. Dr.-Ing. **CHRISTIAN DIEDRICH** (geb. 1957) hat technische Kybernetik und Automatisierungstechnik studiert und lehrt und forscht an der Otto-von-Guericke-Universität und am Institut für Automation und Kommunikation (ifak) e.V. in Magdeburg. Seine Schwerpunkte liegen auf dem Gebiet der Automation in digital betriebenen Produktionssystemen basierend auf informations- und wissensbasierten Methoden. Dazu gehören vor allem die industrielle Kommunikation, Integrations- sowie Beschreibungsmethoden. Er leitet unter anderem den Arbeitskreis „Ontologie“ in der Plattform Industrie 4.0 und ist Convenor in der IEC-Strandardisierung von EDDL, FDT und FDI.

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Institut für Automatisierungstechnik,
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg,
Tel. +49 (0) 391 671 84 99,
E-Mail: christian.diedrich@ovgu.de

Feldgerätedaten mit NOA in Cloud-Applikationen nutzen

Demonstrator auf Basis bestehender Feldgeräte und FDI

Namur Open Architecture (NOA) schafft einen Zugang zu Feldgerätedaten, sodass sich weitergehende Anwendungsfälle aus dem Gebiet Monitoring & Optimization umsetzen lassen. Dieser Beitrag beschreibt den NOA-Demonstrator der Technischen Hochschule Ingolstadt, der die NOA-Schnittstelle auf Basis bestehender Feldgeräte und FDI bereitstellt. Zwei Cloud-Applikationen auf der Basis von Microsoft Azure und 247FactoryNet nutzen die Feldgerätdaten für Geräte-Monitoring und für die Überwachung von passivem Equipment wie beispielsweise einem Wärmetauscher und einer Pumpe.

SCHLAGWÖRTER NAMUR Open Architecture / Field Device Integration / OPC UA / Cloud / Monitoring / Optimization

DANIEL GROSSMANN, SUPRATEEK BANERJEE, SEBASTIAN SCHMIED, Technische Hochschule Ingolstadt

Die primäre Aufgabe von Sensoren der Feldebene ist es nach wie vor, die Prozessvariablen zu messen, sodass der technische Prozess über Steuerungs- und Regelungsalgorithmen entsprechend beeinflusst werden kann. Neben den dazu genutzten Prozesswerten verfügen moderne Feldgeräte über eine Vielzahl weiterer Parameter, die zur Ermittlung von Prozessparametern dienen können oder aber Aufschluss über den Zustand des Feldgerätes geben können. Mit NOA werden diese Feldgeräteinformationen für weitergehende Applikationen rückwirkungsfrei zur Verfügung gestellt. Die MSR-Aufgabe bleibt bei NOA also in der klassischen Prozessleittechnik, wobei weitergehende Dienste und Applikationen über die standardisierte NOA-Schnittstelle den Zugang zu Feldgerätedaten erhalten. Die Nutzung dieser Feldgerätedaten eröffnet neue Potenziale für Monitoring- und Optimierungsaufgaben.

Der Demonstrator der TH Ingolstadt beantwortet dabei die Kernfrage: Wie lassen sich Daten aus Feldgeräten herstellerübergreifend in Cloud-basierten Monitoring+Optimization-Applikationen nutzen? Diese Kernfrage wird im Demonstrator in zwei Ausprägungen beantwortet: Zum einen zeigt der Demonstrator, wie Daten von Feldgeräten in Cloud-Applikationen ausgewertet werden können. Dabei liegt der Fokus auf einem einzelnen Feldgerät. Zum anderen zeigt der Demonstrator auf, wie sich Daten von Feldgeräten verknüpfen lassen, um weitere Informationen beispielsweise über passive Anlagenkomponenten zu gewinnen. Als Beispiel dafür dienen ein Wärmetauscher sowie eine Pumpe. Beide Anlagenkomponenten verfügen über keine eigene Sensorik oder Intelligenz im Feld, die eine Zustandsüberwachung ermöglichen würden.

1. TECHNISCHE BESCHREIBUNG

Im Demonstrator werden als Beispielgeräte ein Motorstarter, ein Coriolis-Durchflussmesser und Temperaturtransmitter eingesetzt. Die Feldgeräte sind über ihre Kommunikationsschnittstelle an FDI Server angebunden, die die NOA-OPC-UA-Schnittstelle bereitstellen. Die NOA-Schnittstelle ist im Demonstrator also nicht in den Feldgeräten realisiert, sondern auf der Ebene der Basisautomatisierung (siehe Abbildung 1). Dies hat den großen Vorteil, dass sich verfügbare Feldgeräte nutzen lassen und der Ansatz somit für Bestandsanlagen einsetzbar ist.

Über die NOA-Schnittstelle werden dann die Cloud-Applikationen mit Feldgerätedaten versorgt. Die weitere Verarbeitung beziehungsweise Auswertung der Daten findet dann in der Cloud-Applikation statt. Eine Cloud-Applikation überwacht dabei die Schwingungsamplitude des Coriolis-Durchflussmessers und den zur Anregung der Schwingung notwendigen Spulenstrom (Gerätemonitor). Bilden sich im Durchflussmesser Ablagerungen oder korrodiert die Rohrleitung, so führt das zu einer Dämpfung und damit zum Absinken der Amplitude. Gleichzeitig steigt der

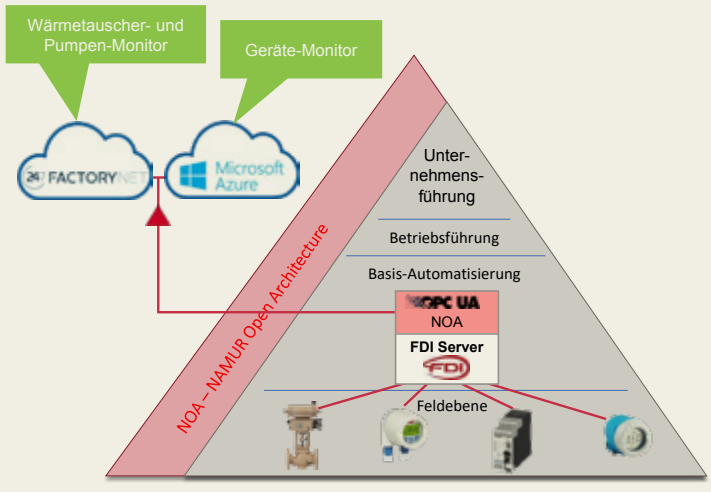

BILD 1: Die NOA-Schnittstelle auf der Ebene der Basisautomatisierung

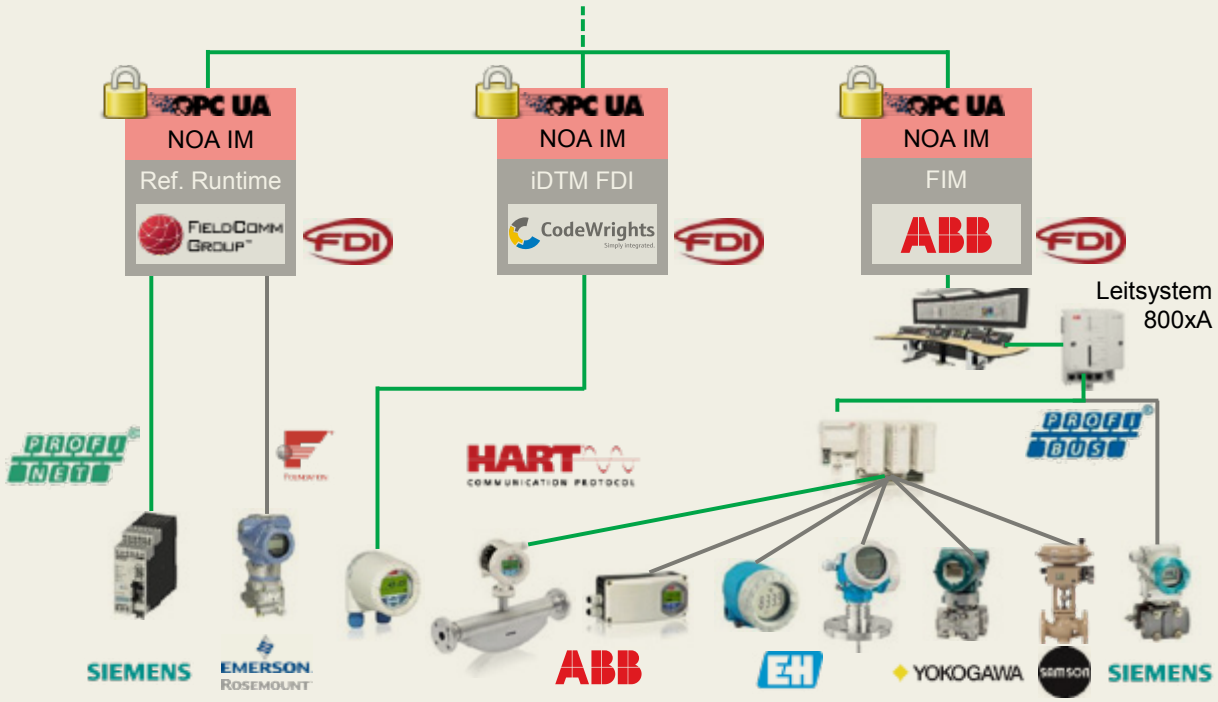

BILD 2: Topologie des Demonstrators

Spulenstrom an. Die Cloud-Applikation überwacht beide Werte und meldet eine Veränderung. Für den nächsten geplanten Anlagenstillstand kann dann die entsprechende Wartungsarbeit eingeplant werden. Während die erste Cloud-Applikation die Überwachung eines Feldgerätes im Fokus hat, verknüpft die zweite Cloud-Applikation Daten mehrerer Feldgeräte um daraus weitere Informationen zu generieren. Ein Beispiel hierfür ist ein fiktiver Wärmetauscher (fiktiv, da im Demonstrator nur die Sensorik in den Rohrleitungen vorhanden ist). Über Temperaturtransmitter in der Anlage lässt sich die Temperatur des Produktes am Eingang und am Ausgang des Wärmetauschers ermitteln. Der Durchflussmesser liefert den aktuellen Massedurchfluss. Aus diesen Daten verschiedener Feldgeräte berechnet die Cloud-Applikation die Kühlleistung des Wärmetauschers. Über weitere Sensorik ist im Beispiel noch die Temperatur des Kühlmediums am Zu- und am Ablauf bekannt. Mit diesen Werten ermittelt die Cloud-Applikation den Wirkungsgrad des Wärmetauschers. Die Überwachung von Kühlleistung und Wirkungsgrad gibt Aufschluss über den Zustand. Durch ein Monitoring dieser Werte wird gemeldet, wenn sich der Zustand des Wärmetauschers etwa durch Fouling verschlechtert. Im zweiten Beispiel geht es um die Überwachung einer geregelten Pumpe beziehungsweise der Rohrleitung. Hier wird in der Cloud-Applikation über den Motorstarter die Leistung des Pumpenantriebs sowie der Durchfluss in der Rohrleitung ermittelt. Beide Werte werden dann in der Cloud-Applikation verknüpft: Steigt bei gleichbleibendem Durchfluss die Motorleistung an, dann kann das beispielsweise an einem Sieb in der Rohleitung liegen, das sich langsam zusetzt. Diese zweite Cloud-Applikation zeigt die Verknüpfung von Daten verschiedener Feldgeräte und erzeugt darüber im Beispiel neue Daten zu passivem Equipment (Wärmetauscher und Pumpe/Rohrleitung mit Sieb).

2. AUFBAU DES DEMONSTRATORS

Um die Offenheit von NOA zu demonstrieren nutzt der Demonstrator Beispielgeräte mit verschiedenen Kommunikationsschnittstellen. Dabei kommen Profinet, HART und Profibus zum Einsatz. Die Feldgeräte sind darüber an FDI Server mit NOA-UPC-UA-Schnittstelle angebunden. Auch hier sind verschiedene Implementierungen im Einsatz, um die Herstellerunabhängigkeit zu demonstrieren. Abbildung 2 verdeutlicht den Aufbau: Der Siemens-Motorstarter Simocode ist über Profinet an den FDI Server FDI Reference Runtime der FieldComm Group angebunden. Der ABB-Temperaturtransmitter ist über ein HART-Modem mit dem FDI Server iDTM FDI der Firma Codewrights verbunden. Der dritte Kommunikationspfad zeigt ein Szenario mit einem Prozessleitsystem auf. Im Demonstrator

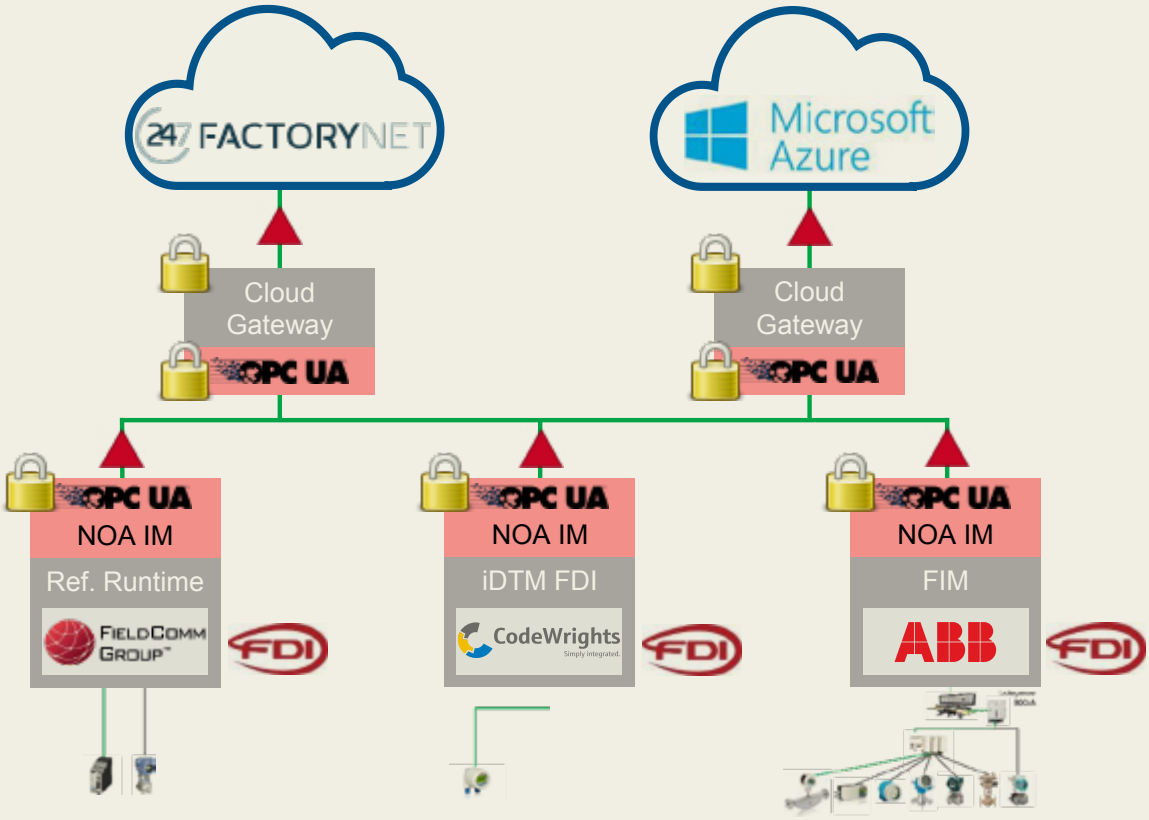

BILD 3: Anbindung der Cloud-Applikation

kommt das Prozessleitsystem System 800xA von ABB zum Einsatz. Über eine Profibus Remote IO mit HART-fähigen IO-Baugruppen sind die Feldgeräte angebunden. Die NOA-Schnittstelle wird hier über den FDI Server Field Information Manager zur Verfügung gestellt.

Durch die Nutzung der FDI-Technologie besitzen die FDI Server detailliertes Wissen über die Parameter der angeschlossenen Feldgeräte. Das ist sehr wichtig, weil Auswertungen wie beispielsweise die Überwachung der Parameter des Coriolis-Durchflussmessers auf herstellerspezifischen Parametern basieren. Über das FDI Package des Feldgerätes sind dem FDI Server diese Parameter automatisch bekannt. Wäre dies nicht der Fall, so müssten diese aufwendig manuell konfiguriert werden. Um die Feldgerätedaten über die NOA-Schnittstelle zur Cloud-Applikation zu übertragen, werden Cloud Gateways eingesetzt (Abbildung 3). Auf der „Unterseite" registrieren sich diese für Wertänderungen bei Feldgeräteparametern. Die Cloud Gateways lesen die Feldgerätedaten also nicht periodisch, sondern bekommen diese bei Änderung geschickt. Liegen neue Daten vor, dann werden diese an der „Oberseite" über gängige Internet-Nachrichtenprotokolle wie etwa MQTT oder AMQP an die Cloud-Applikation gesendet. Wichtig ist in diesem Kontext, dass es sich um eine Einbahnstraße handelt. Die Daten werden nicht aktiv aus der Cloud-Applikation angefordert sondern werden bei Änderung zur Cloud-Applikation hin übermittelt (push statt pull). Die Cloud-Applikationen können also keine Veränderung an den Feldgeräteparametern durchführen. Soll eine Änderung durchgeführt werden (etwa um eine Optimierung durchzuführen), dann geschieht das über den Rückkanal Verification of Request, der aber nicht Bestandteil dieses Demonstrators ist.

Die beiden Cloud-Applikationen sind auf zwei unterschiedlichen Plattformen realisiert. Die Überwachung des Coriolis-Durchflussmessers basiert auf Microsoft Azure. Hierfür wurde die Cloud-Applikation Connected Factory entsprechend angepasst. Auf der Einstiegsseite hat der Benutzer den Überblick über alle Produktionsanlagen. Wird eine Anlage ausgewählt, so wird die Struktur der Anlage im Sinne von Modulen

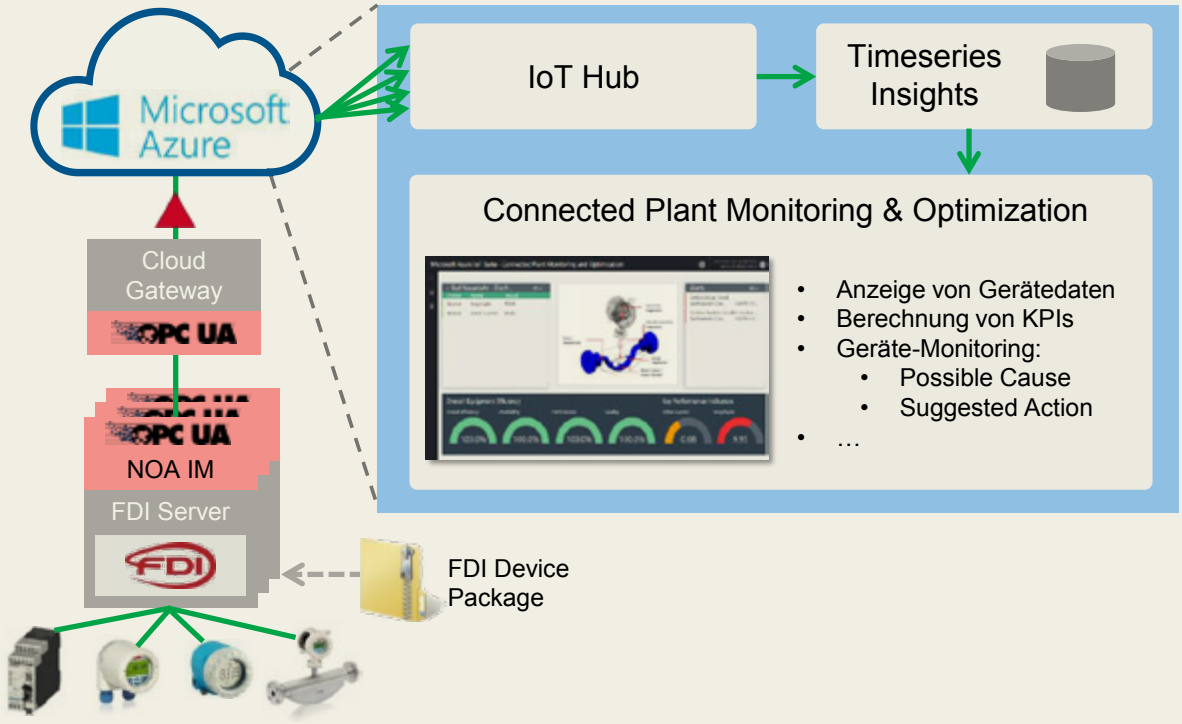

BILD 4: Aufbau der Microsoft-Azure-Applikation

dargestellt. Die Auswahl eines Moduls führt dann zur Liste der Feldgeräte, sodass der Benutzer im Demonstrator schließlich den Coriolis-Durchflussmesser auswählen kann. Neben einer schematischen Darstellung des Feldgerätes werden die aktuellen Werte für die Amplitude und den Spulenstrom angezeigt. Im Hintergrund werden beide Werte überwacht. Sinkt die Amplitude bei gleichzeitig steigendem Spulenstrom, dann wird eine Meldung angezeigt, in der neben dem Warnhinweis noch die mögliche Ursache (possible cause) und mögliche Gegenmaßnahmen (suggested action) gelistet sind. Aus technischer Sicht werden die Feldgerätedaten vom Cloud Gateway zum sogenannten Microsoft Azure IoT Hub gesendet (Abbildung 4). Von diesem aus werden die Daten in eine Datenbank weitergeleitet, die die Zeitverläufe der Daten speichert (Timeseries DB). Die Webseite frägt die Daten von dieser Datenbank an, zeigt diese an und erzeugt gegebenenfalls die Warnmeldung.

Die Cloud-Applikation zur Verknüpfung von Feldgerätedaten nutzt die 247FactoryNet Plattform. Kern dieser Plattform ist das sogenannte Knowledge Hub (Abbildung 5). Dort werden alle Produktions-Assets als digitale Zwillinge (digital twins) repräsentiert. Im Demonstrator sind dies zum einen die Feldgeräte, aber auch passives Equipment wie der Wärmetauscher und die Pumpe. Die Daten, die das Cloud Gateway sendet, werden an die digitalen Zwillinge weitergeleitet und dort abgespeichert. Die digitalen Zwillinge besitzen also die Daten ihrer realen Pendants. Ein weiterer Bestandteil der Plattform ist der sogenannte Knowledge Creator. Hier arbeiten kleine Applikationen (Micro Apps) Algorithmen ab, die die Daten der digitalen Zwillinge nutzen, um neue Daten zu erzeugen. Im Beispiel werden die Temperatur- und Durchflussdaten vom Wärmetauscher-Monitor verarbeitet, der daraus wiederum die Kühlleistung und den Wirkungsgrad errechnet. Diese beiden berechneten Daten werden dann zurück zum digitalen Zwilling des Wärmetauschers gespeist. Damit verfügt auch dieser digitale Zwilling über Daten, im Gegensatz zu den Feldgeräten aber keine Daten aus dem Feld, sondern berechnete Daten. Die Webseite greift auf die Daten der digitalen Zwillinge im Knowledge Hub und zeigt diese beispielsweise als Y-T-Diagramm an. Das zweite Beispiel, der Pumpen-Monitor, funktioniert nach dem gleichen Muster. Die Micro App überwacht die Daten von Durchflussmesser und Antrieb. Steigt die Motorleistung bei gleichbleibendem Durchfluss, dann ändert sich der Status für die Pumpe. Diese Information wird wiederum zurück zum digitalen Zwilling der Pumpe im Knowledge

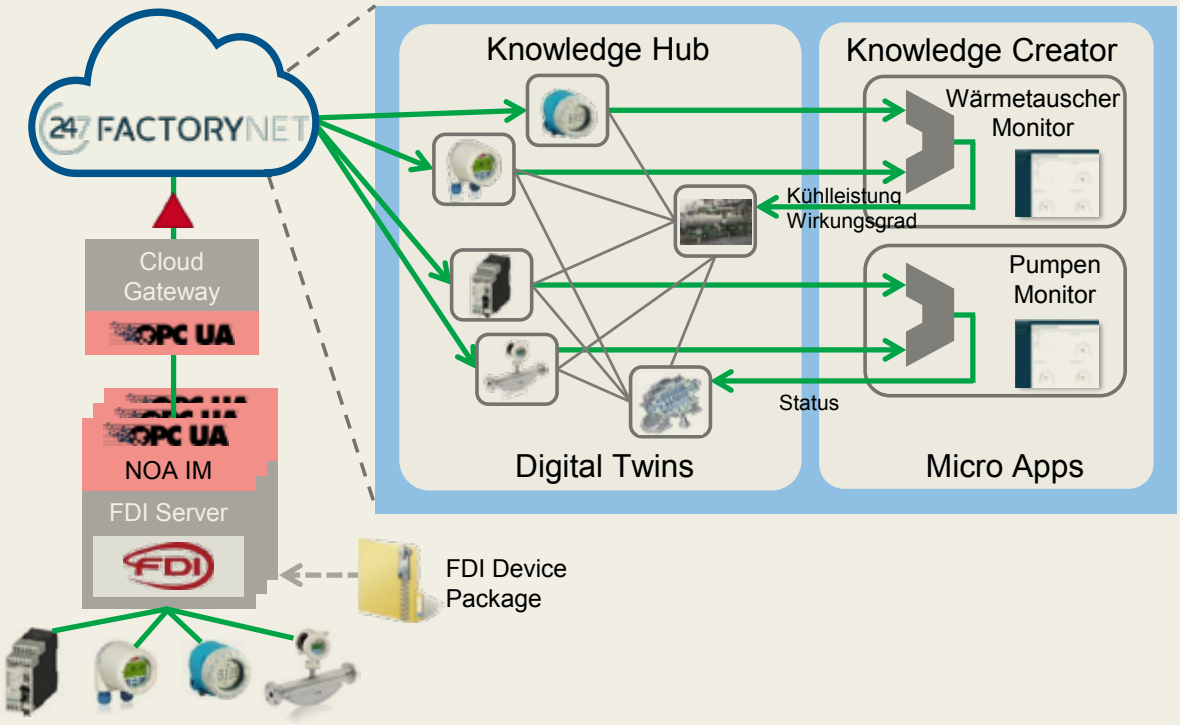

BILD 5: Aufbau der 247FactoryNet-Applikation

Hub übertragen. Von hier aus gelangt diese Information zusammen mit Motorleistung und Durchfluss zur Weboberfläche zur Anzeige. Als Einstieg in die Applikation dient das R&I-Fließbild eines Moduls.

3. VORTEILE, NACHTEILE UND RISIKEN

Der Demonstrator konnte erfolgreich aufzeigen, wie sich die Daten von Feldgeräten herstellerübergreifend in Cloud-Applikationen nutzen lassen. Ein wesentlicher Vorteil des beschriebenen Ansatzes liegt darin, dass sich dieser mit verfügbaren Feldgeräten und damit in Bestandsanlagen umsetzen lässt. Die eingesetzten FDI Server mit OPC-UA-Schnittstelle von FieldComm Group, CodeWrights und ABB sind Vorversionen aus bereits laufenden Produktentwicklungen. Das heißt, die genannten Firmen arbeiten bereits aktiv an der Umsetzung von NOA. Durch die Nutzung der FDI Packages der Feldgeräte im FDI Server sind nicht nur die Standardparameter, wie sie sich beispielsweise aus der HART- oder Profibus-Spezifikation ergeben verfügbar, sondern auch herstellerspezifische Parameter wie beispielsweise Amplitude und Spulenstrom des Coriolis-Durchflussmessers.

Natürlich ergeben sich durch die Nutzung bestehender Feldbusse bestimmte Einschränkungen, was die Abtastrate von Feldgerätedaten angeht. Ein Life-Streaming aller Feldgeräteparameter mit einer Zykluszeit von beispielsweise 100 ms wird sich damit nicht realisieren lassen. Das ist aber auch nur für die wenigsten Fälle notwendig. Gerade bei Monitoring & Optimierung geht es in vielen Fällen um die Erkennung von langsam veränderlichen Trends. Ablagerungen an Rohrleitungen oder Verschleiß in Ventilen tritt in der Regel schleichend ein. Eine Abfrage der zur Zustandsermittlung relevanten Parameter mit einer Zykluszeit von 1 Woche bis 1 Monat ist hier ausreichend und mit den bestehenden Technologien realisierbar.

Die Nutzung einer Plattform für digitale Zwillinge ermöglicht die einfache Verknüpfung von Daten mehrerer Feldgeräte. Die Cloud Gateways nutzen ausgehende Verbindungen. Das heißt die Verbindung erfolgt aus dem Betreibernetz in die Cloud und nicht umgekehrt. Dementsprechend müssen keine Ports oder Ähnliches in der Firewall des Betreibernetzes geöffnet werden. Je nach Anwendungsfall ist die Kommunikation zu einer externen Cloud aber gar nicht nötig. Wenn die Daten nur firmenintern genutzt werden sollen, dann kann die Cloud-Plattform auch im Rechenzentrum des Anlagenbetreibers betrieben werden. Die 247FactoryNet-Plattform beispielsweise nutzt Docker Container für ein einfaches Deployment und für Skalierbarkeit.

Interoperabilität ist bei herstellerübergreifenden Standards oberstes Gebot. Dementsprechend muss sichergestellt werden, dass die von Geräten und Tools bereitgestellten NOA-Schnittstellen im Zusammenspiel funktionieren. Besonders in einem hybriden Zukunftsszenario, in dem die NOA-Schnittstelle sowohl in Geräten als auch in Tools implementiert ist müssen die Implementierungen interoperabel sein. Ansonsten hätte sich das Interoperabilitätsthema nur an eine andere Stelle verschoben. Darum ist es wichtig, dass sich die Namur-Empfehlung zu NOA klar zur Umsetzung positioniert. Je weniger Spielräume die Empfehlung lässt umso besser.

4. WEITERE ENTWICKLUNGSSCHRITTE

Bei der Weiterentwicklung des Demonstrators geht es zum einen darum, neue Versionen der FDI Server mit NOA OPC UA-Schnittstelle einzusetzen und darüber weitere Feldgeräte einzubinden. Zum anderen sollen neue Anwendungsfälle in den Cloud-Applikationen umsetzt werden. Darüber hinaus ist eine Verknüpfung mit den Arbeiten zu Verification of Request sinnvoll, sodass die ermittelten Zustände beziehungsweise die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen über einen abgesicherten Rückkanal beispielsweise zum Anlagenbediener gelangen, der dann die vorgeschlagenen Maßnahmen einleiten kann.

AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. **DANIEL GROSSMANN** (geb. 1977) ist Professor für Ingenieurinformatik und Datenverarbeitung an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Zu seinen Forschungsthemen zählen Informationsmodellierung, Industrie 4.0, Cyber Physical Systems, und Industrial Internet of Things. Zuvor war Daniel Großmann als Research Area Coordinator am Forschungszentrum Deutschland der ABB AG tätig. In dieser Rolle wirkte er an der strategischen Ausrichtung der Konzernforschung mit und leitete mehrere Arbeitsgruppen in der internationalen-Standardisierung. Daniel Großmann studierte Maschinenbau an der Technischen Universität München mit den Schwerpunkten Informationstechnik und Automatisierungstechnik. Für seine Promotion an der TU München im Bereich Geräteintegration erhielt er 2008 den NAMUR-Award.

Technische Hochschule Ingolstadt,
Esplanade 10,
85049 Ingolstadt,
Tel. + 49 (0) 841 93 48 28 80,
E-Mail: daniel.grossmann@thi.de

M.Sc. **SUPRATEEK BANERJEE** (geb. 1986) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kompetenzfeld Production Now an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Er hat seinen Masterabschluss an der Universität Stuttgart im Studiengang Embedded Systems erworben. Sein Hauptarbeitsgebiet ist Aggregation von Informationsmodellen in der Fertigung und Prozessindustrie.

M.Eng. **SEBASTIAN SCHMIED** (geb. 1993) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Kompetenzfeld Production Now an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Sein Hauptarbeitsgebiet ist die Informationsmodellierung für flexible cyberphysische Produktionssysteme. Das Masterstudium im Studiengang Automotive Production Engineering hat er an der Technischen Hochschule Ingolstadt absolviert.

Nah an der Wissenschaft, nah an der Wirtschaft

Bestellen Sie Ihr Probeheft:
www.atpinfo.de

Das praxisnahe Magazin für
die **Automatisierungstechnik**.

atp plus

NOA Verification of Request

Reintegrating insights of cloud based added value services

This article presents the Verification of Request (VOR) component of the Namur Open Architecture (NOA) concept, a mechanism which allows automated inspection, verification and integration of plant-external advisories into the core process control domain while maintaining its confidentiality, integrity, authenticity, accountability and availability requirements. These cloud based services allow extensive, big data analytics to be applied to a plants life and historical data, enabling predictive and model based optimizations. This paper summarizes the NOA approach to a structured, non-invasive acquisition and provisioning of these information. Obtaining results from data analytics does however not add value to the process itself without applying the results to the particular process – a step that currently requires manual intervention. Given a growing popularity of cloud based optimization services, manual processing and application of optimization suggestions will become a laborious and overwhelming task. VOR is an approach for reintegrating insights provided by third party, cloud based services into a plants process control systems with a high degree of automation while maintaining full operator control and transparency over the reintegration process. By integrating state of the art IT security by design, VOR safely boosts plant efficiency without scaling up human resources.

KEYWORDS NOA / Verification of Request / service oriented architecture / IoT

CHRIS PAUL IATROU, MARKUS GRAUBE, LEON URBAS, Technische Universität Dresden
TIM-PETER HENRICHS, Yokogawa Deutschland
STEFAN ERBEN, Samson

Economy of scale has always been a key benefit of process industries. Over the course of decade long life cycles significant know-how and extensive process specific optimizations have been invested into these production plants [1] [2]. Competitive and volatile markets are challenging the efficiency of these long standing, reliable processes. Large scale, high volume processes can be replicated, benefiting from the same education, training, suppliers and equipment vendors as the established markets. [3]

To further boost productivity it is increasingly necessary to rely on company-external know-how for predictive maintenance of field assets, big data analysis of historic data and an optimization of logistics. As an example, large scale production can be made more cost effective by shortening supply chains and taking advantage of local educt availability. To achieve this, a supply chain needs to be continuously fine-tuned to quickly react to volatile market aspects on the fly. Field device manufacturer can offer extensive insight to their equipment, if supplied with proper run-time data, allowing aging effects and failures to be predicted more consistently and minimizing down time. The know-how required to perform these predictions is however an asset not owned by the plant operator, but instead is offered to him as a third party service. The fundamental premise that drives these optimizations is that data from the field level, both from fixed assets and add-on diagnostic devices, can be made available to the cloud.

The NOA initiative has introduced an open, vendor independent architectural model providing cloud based applications and added value services with plant data while maintaining established, proven and reliable automation architectures. NOA uses both cost efficient add-on sensors and existent field devices to extract data from both the underlying process and from assets. The data is semantically annotated and made accessible using OPC UA. One or more OPC UA aggregating servers integrate the plethora of distributed data sources into a coherent, central endpoint that makes the information available to the cloud. Third party applications can retrieve information from there and use it for data analytics, big data or device specific "as a service" optimizations without divulging the know-how required for the respective algorithm, offering the service result as an optimization suggestions [4].

To profit from the insight of these third party services, their requests for optimization must be reintegrated into the operation of the plant. So far however, little emphasis has been placed on how this reintegration is performed. Frequently, this is presumed to be a manual process performed by an experienced operator who "parses" the service outputs and adapts the insights into a plant specific change process. The effectiveness of this approach is very limited; with the onset of service based architectures and added value applications in the cloud, the amount of suggestions will skyrocket, rendering manual reintegration a bottleneck to adding value via third party services. In the long run, service based optimization can only work effectively, if the process of reintegrating third party insights into the process is automated.

The next section firstly introduces NOA before it presents the concept and goals of the Verification of Request (VOR) component: A system implementing the automated mapping of cloud based optimization requests to a plants distributed process control system. The components marking up VOR are then introduced in detail along with the steps taken in each individual component. The paper concludes with the presentation of the prototype implementation of VOR developed in cooperation with Yokogawa Germany GmbH and Samson AG.

NAMUR OPEN ARCHITECTURE

The acquisition of data from field devices or wireless sensors has been technologically feasible for a while. Many new industrial actuators and sensors are equipped with various (wireless) field bus technologies that permit accessing device specific information, such as runtime metrics or even integrated sensors [4] [5].Several initiatives have shown that this information can be accessed and forwarded to added value services. Most

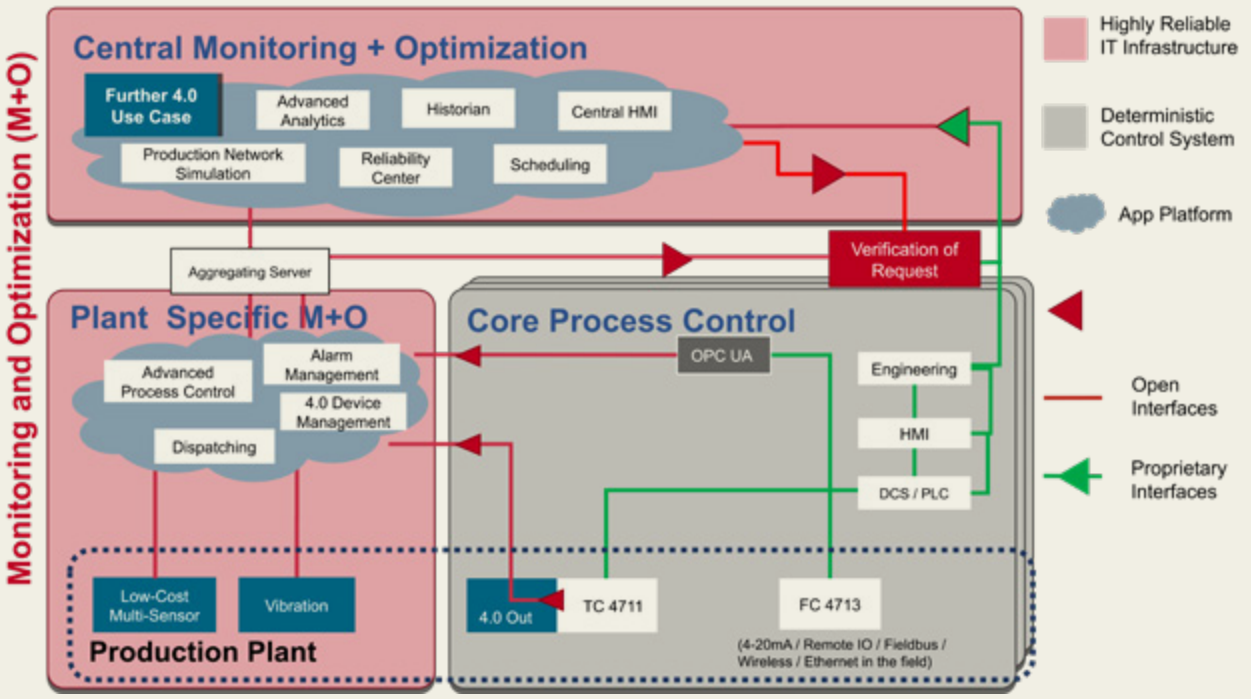

FIGURE 1: Namur Open Architecture overview

of these approaches leverage vendor specific and/or proprietary communication technologies to provide Enterprise Resource Planning (ERP) systems with field device data, allowing for detailed data analytics and statistics about the associated production process [6] [7].

As the classic control structures of the automation pyramid are laid out for control and not flexible data acquisition, extracting this data through existent communication architectures would overburden the installed systems and – more critically - require the modification of installed, running and otherwise reliable assets. Apart from the risk involved, such an undertaking would at the very least require additional and costly infrastructure expansion. Success will only be achieved, if the investments flow into the added value and not into the required technology, engineering and risk management.

In contrast, NOA focuses not only on the acquisition of data from field devices, but doing so without invasive modification – meaning that in principle NOA can be deployed while the plant is online. An integral part of NOA is the demand that the existing, time proven and safe control infrastructure is neither modified nor its integrity compromised. Additionally, NOA offers a closed loop added value approach: Its main concern is not the technological aspect of data acquisition, but its vendor independent, secure propagation to added value services. To that end, NOA advocates the use of open technologies for vendor interoperability and does not target any one specific cloud or data analytics solution. Thus, UA and open information models are employed, allowing any (properly authorized) application to access relevant process information.

Figure 1 depicts the architecture of NOA. Information is aggregated either from the core process control domain directly or by adding additional sensors to the production plant. All information is communicated using OPC Unified Architecture (OPC UA) and is modeled using the NE131 information model, derived from the Data Integration and Field Device Integration OPC UA information models. [8] The plant owner can use this data in his own plant specific monitoring and optimization or allow external services to access it. The VOR component allows reintegration of the advisory messages provided by these apps.

DOMAINS OF NOA

The Core process domain (*CPC)* is the industrial automation architecture currently in place in a production plant, presumably structured as a classic automation pyramid. It is imperative that this domain is not compromised, its safety and operational principles remain unaltered and that new attack vectors are carefully identified and isolated. The first step of NOAs operation is to export information from the CPC to its second domain,

called Process Specific Monitoring and Optimization (*psM+O)*. This domain constitutes a new communication channel introduced to the plant. By securely accessing existing field devices using "information diodes" or introducing new, low cost add-on sensors [9], information becomes available for plant owner controlled added value services. The third and final domain is the external Monitoring and Optimization domain (*M+O)* (i.e. cloud, internet), in which third party service platforms reside.

ADDED VALUE SERVICE

In this context, a cloud application is a *service* exposed by a web oriented architecture using HTTP/S as a transport protocol and a Representational State Transfer (REST) interface for invocation and messaging. This application is run in either the psM+O domain (owned by the plant proprietor) or the M+O domain (owned by a third party). It consumes process data and produces an insight to the process [10, p. 120f].

Especially applications provided in the M+O domain offer the benefit of contributing know-how for optimization that is otherwise unattainable – i.e. third party know-how that the plant operator does not have access to. Applications invariably produce some form of insight on how aspects of the process are performing or how their performance can be improved. For illustration purposes, these insights could be displayed as dashboards with process health indicators accessible by authorized personnel, with the analytics used to produce the indicators being derived from a non-disclosed big data analysis based on many similar processes owned by the service operator.

CONCEPT AND ROLE OF VERIFICATION OF REQUEST

The key question VOR answers is how insights provided by these applications can be used to improve the plants operations by automating the insight reintegration into a plants control systems while at simultaneously maintaining the CPC domains security and availability requirements. If the application can communicate "suggestions" to a plants DCS or PCS systems, then these need to be handled by a system ensuring the integrity, authenticity and validity of the message contents as to not compromise the availability of the DCS and PLS in question. Furthermore, applications need to be individually authorized for submitting such suggestions and be accountable for changes introduced to the system. Finally, the process attributes, workings and configurations are a key know-how of the plant proprietor and should be treated as confidential, meaning that the third party applications should only be provide with information as required.

VOR assumes that an application can describe the nature of the improvement in a single *request*, an advisory message indicating what should be changed and how. These requests need not contain plant specific information (such as asset tags or process values), but are composed of key/value pairs. VOR accepts these messages on a public frontend exposed to the internet on behalf and ensures the validity and integrity of the message before translating (mapping) the key/value to plant specific attributes.

GOALS AND REQUIREMENTS OF VOR

The VOR component is the only bridge between the M+O domain and the CPC domain. It is potential attack vector against the plant and thus needs to be secure by design by assuring following security protection goals:

- **confidentiality** of the request: The request must not be readable by third-parties
- **integrity** of the request: A modification of the request during the transfer from the app to the VOR component needs to be detected
- **availablity** of the CPC domain: The VOR component must not affect the availability of the DCS/PCS
- **authenticity** of the application: Only authenticated and trusted applications are allowed to pass requests into the CPC domain
- **accountability** of a request: Each performed request can be uniquely assigned to an application.
- **privacy** of the CPC: No internal information about the CPC should be exposed for the VOR component.

VERIFICATION OF REQUEST COMPONENTS

VOR accepts advisory messages ("requests") from cloud based applications (M+O domain) and subjects them to a series of verification and validation checks prior to integrating them into the CPC domain. A request is composed as a key/value pair, which indicates what should be changed and which value is beneficial. Figure 2 present a high-level view of the individual subsystems required by the VOR component.

VOR is designed as a multi-subsystem scheme in order to ensure a highest possible degree of information security.

The subsequent section follows the information flow through the component from an application submitting a request to the VOR component, and tracks the steps required for processing this request up to its reintegration into the core process domain. The principal method of request submission is a token mechanism, by which the application needs to (among other security mechanisms) present a valid, predetermined token along with its request to the VOR in order to submit said request. Only if a request is submitted along with a valid token, its key/value pair are further inspected (validated). As a final step, the key/value pair is translated to one or more process variables that need to be adapted, as the application can only communicate its intent and has no knowledge of the process operations internals.

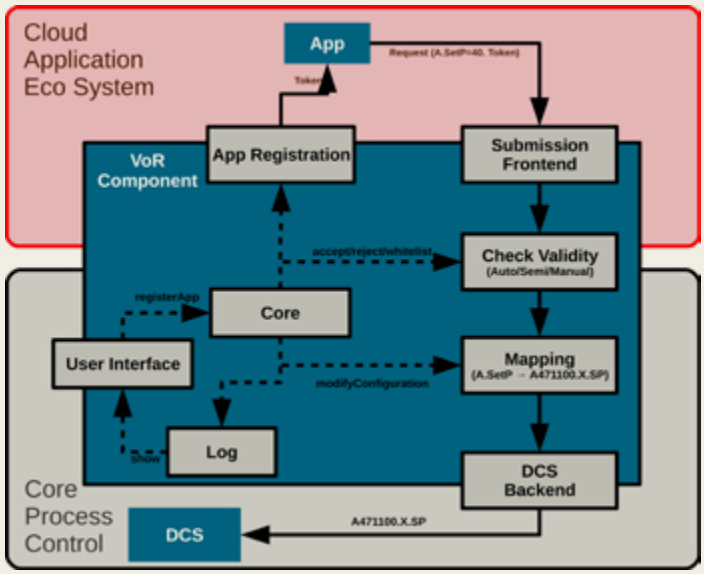

FIGURE 2: Overview of the Verification of Request components.

REQUEST SUBMISSION FRONTEND COMPONENT

The request submission frontend is a RESTful interface exposed to the cloud. Its key task is to verify that the supplicant application is authorized to submit requests. Eligibility for request submission is proven by requiring the application to specify a (pre-agreed on) token along with the key/value pair of the request (ensures *authenticity*). The request is composed of a key/value pair, detailing the optimization suggestion, the token itself, a nonce (preventing replay attacks with static tokens), a checksum and an asymmetric signature created using the applications private key (see Figure 1).

Communications need to be secured using HTTPS, protecting the VOR-Application-conversation against eavesdropping (ensures *confidentiality*). It is also highly advisable to provide the application with the expected public VOR certificate (http server certificates), so it can validate that it not just established an HTTPS connection, but that it indeed connected to the correct VOR submission frontend (ensures *authenticity*). This protects against spoofing or DNS redirection attempts. Here, a certificate chain may be used for validation - i.e. trusting a certificate authority instead of each web server.

To validate that the applications message was not manipulated on-route, the submission components requires an additional certificate to identify the application. The request contains an asymmetric cryptographic signature using the applications certificate to prove the message *integrity*. The certificate may also be used to enforce a limit on the time period the application may submit requests (one measure to ensure *availability*).

During the entire request submission, only the token actively identifies the application and its eligibility for submitting a request. The token is presented to the VOR core and if valid, returns the applications public key. The frontend is then able to verify the signature of the request, but receives no further information about the application. This mechanism is intentional, as an attacker compromising the submission frontend has no means but brute force to query valid tokens from the VOR core. Three modes for generating and assigning tokens to an application have been identified:

1 | **Static Tokens.** A static token is manually set in the application and the VOR core. Though simple, this mode affords little security. If an attacker is able to circumvent the HTTPs encryption and retrieve the token, e.g. using a man-in-the-middle-attack, security is effectively compromised.
2 | **Dynamic tokens**, returned when a request is successfully submitted. Scenarios are to return a new token with the submission response message or to trigger a webhook in the application registration subsystem.
3 | **One Time Password**. An algorithm using a preconfigured seed value and a dynamic variable in the application and the VOR component generates new tokens dynamically. OTP token generation is subdivided into HMAC based OTPs (both VOR and application keep seperate counters) and Time based OTPs (the current time is used instead of a counter). Each submitted request generates a new token without the explicit need to communicate the literal token over the network.

Of these modes, the OTP modes have been found to afford the best protection. Furthermore, they also protect against replay attacks. The other modes need an additional applications nonce in each request that is changed on each submission.

VALIDATION COMPONENT

Validation refers to the inspection of the value in regard to its applicability (ensuring *availability*). For example, if the application has suggested a new temperature set point for parts of the process, this value must move within certain limits, e.g. 10-25. These checks are performed by the validation subsystem, which acts on a set of chained rules. A rule may comparison operators, string operations or logical operators. Additionally, the validation subsystem does keep track of when the last request was submitted from the given app and how many requests have failed/passed validation. Rules may use these values for validation if desired.

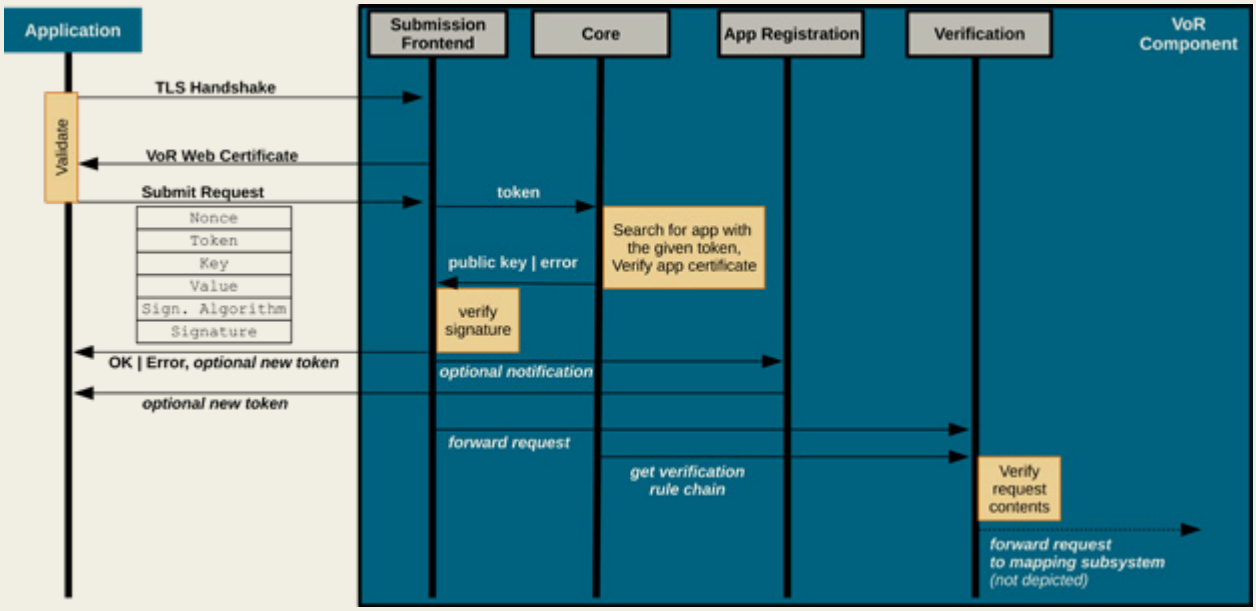

FIGURE 3: Sequence diagram showing the procedure for submitting a request and the internal interaction of VOR subsystems. Logging is not shown but performed by all subsystems.

If a request has been verified to originate from an authorized application, the submission frontend will forward the requests key/value pair and the public key to the validation subsystem. Given that tokens may have been changed, the public key is passed as an unique application identifier. This also effectively prevents public key/certificate reuse by forcing each application to provide a unique key.

Rules are organized as a chain, with sequential rules being considered AND-relations and branches in the rule chain being OR-relations of validation strategies. If a rule within an AND-chain fails, the validation of that chain is considered to have failed, but the next OR-chain in the list will be tested. If all parallel OR-chains have failed or no more are present, the request is effectively considered invalid and is rejected. Based on the public key, the VOR core is queried by the validation subsystem and returns an ordered, hierarchic set of these validation rules.

Though so far the focus was on validating values in requests, it is perfectly valid to also apply validation steps to keys in requests. In particular, it is permissible for a single application to submit more than one key and therefore offer either multiple or alternative suggestions for optimization, depending on the applications function and configuration.

A chain of rules needs to be explicitly terminated with an acceptance strategy rule – if this final rule is missing, even if all rules in the chain have succeeded, the request is rejected. VOR validation has the following acceptance strategies:

1 | **Manual confirmation.** The validated request is presented to operators/admins on the user interface. An explicit confirmation is required to proceed to the mapping step.

2 | **Manual confirmation /w timeout.** Again, an operator or admin needs to confirm the validated value to proceed to the mapping step, but a timeout value is attached to the request. If the operator does not act within the given time frame, the request is discarded.

3 | **Next N.** Automatically accept the next N requests from this application. The counter N is decremented after each accepted request. If the counter reaches 0, further requests are rejected.

4 | **Time based.** The validation will accept the request, if the current system time matches given restrictions, e.g. ”between 12:00 PM and 18:00 PM“. This rule may for example be used to restrict application based optimizations to a specific operator shift.

5 | **Automatic.** Always accept requests from that pass validation.

Inspection rule chains are constructed (by a human) with explicit knowledge of what the application

requests to change or optimize. The key provided by the app need not correspond to any one tag or identifier in the DCS or PCS.

MAPPING COMPONENT

A requests key/value pair that has passed validation is forwarded to the mapping subsystem (for ensuring *privacy*). Again, the public key serves as a unique application identifier and a mapping procedure is tied to the specific application submitting its request. At this point, the request is considered both verified to be authentic and validated to be applicable to the process.

Mapping refers to the process of translating a requests key/value suggestion into specific attribute changes applicable to the process. To continue the previous example, setting a new setpoint of 15 for a process segment, the process control system might need to close a set of valves. Such changes can be effected by adjusting process values in the DCS. The application does not posses knowledge of the precise architecture and properties of the core process control domain. For one it is not needed to perform the service in itself and – most prominently – the engineering specifics of a plant are considered the plant operators intellectual property.

Any numbers of typed, named process values are created in the VOR. They serve as targets for any changes and correspond to process values used by the PCS/DCS (though naming congruency is not a technical requirement).

As with the validation subsystem, the mapping subsystem requests a set of application specific rules which are again provided by the core subsystem. The rules describe how a value needs to be manipulated in order to be mapped to one or more target values. These rules may include type conversions, arithmetic and logical operations, string operations, etc. The key distinctions between the handling of rules between mapping and validating is that (a) mapping does by nature change the requests value and (b) the mapping subsystem has no acceptance strategy rule as a rule chain terminator. Instead, a mapping sequence must be terminated using a mapping target rule, which effectively only stores the result of the mapping chains manipulated value into a target value in the core subsystem. Mapping rule chains may, as with validation rule chains, branch into multiple chains. This allows to effect more than one target value to be manipulated, as each branch is terminated with its own mapping target rule. Not terminating a rule chain with a mapping target rule will effectively discard the chains resulting value, but has no further adverse effect than using up processing power. As result, the DCS backend subsystems is targeted with a message which internal DCS values needs to be updated due to the request.

PCS/DCS BACKEND COMPONENT

The PCS/DCS backends are protocol handlers for specific industrial technologies, such as ProfiNet, EtherCat, OPC UA, etc. When a mapping step concludes, the target value is updated by the mapping subsystem. The VOR core can then contact each associated backend to notify it that a change has occurred. The PCS/DCS backend always verifies that it is associated with a target value. If the association is confirmed by the core subsystem, it also provides any parameters that are configured along with the target value, such as for example an IP address of an UA server or a device ID and value address for ModBus.

Each backend is responsible for supplying either the PCS or DCS with information from the suggestion. The protocols used can vary broadly and are specific to each core process domain. Backends do however fall in one of two major categories:

- **Pushing backends**. A pushing backend can communicate with a given PCS/DCS directly, i.e. it can initiate communications with it and write the target value as specified by its parametrization.
- **Pullable backends**. A pullable backend cannot initiate communications on its own. The PCS or DCS components are responsible for discovering the changed value and pulling it from the backend. As an example, a pullable backend might be an UA server on the VOR and a PCS would subscribe to value changes.

Pullable backends are considered by the authors to provide a significantly higher degree of security. These backends allow the VOR backend component to be operated in an isolated subnet - even if compromised, an attacker would be unable to influence the core process domain directly (ensuring *availability*).

CORE COMPONENT

The VOR core subsystem is essentially a database with interfaces to other subsystems. The database is responsible for storing and providing application information (certificates, public keys, tokens, icons, etc.) and validation/mapping rules to the rest of the VOR infrastructure. The core also manages users, groups and associated permissions and handles credential validation where required.

An important architectural decision of the VOR Core subsystem is that information is not arbitrarily available to other subsystems. Each subsystem only receives the information that it requires for its operation, e.g. the submission frontend should only be allowed to query the validity of a token, but it may not query mapping rules. Two means of identifying the source subsystem have been identified: (a) Using sessions with credentials to gain access to a specific interface or (b) employing firewall rules to grant subsystems access to specific service ports (each port corresponding to a subsystem type).

The VOR component includes user and group management, e.g. ”Admin“, ”Operator“ or ”Application“. Each

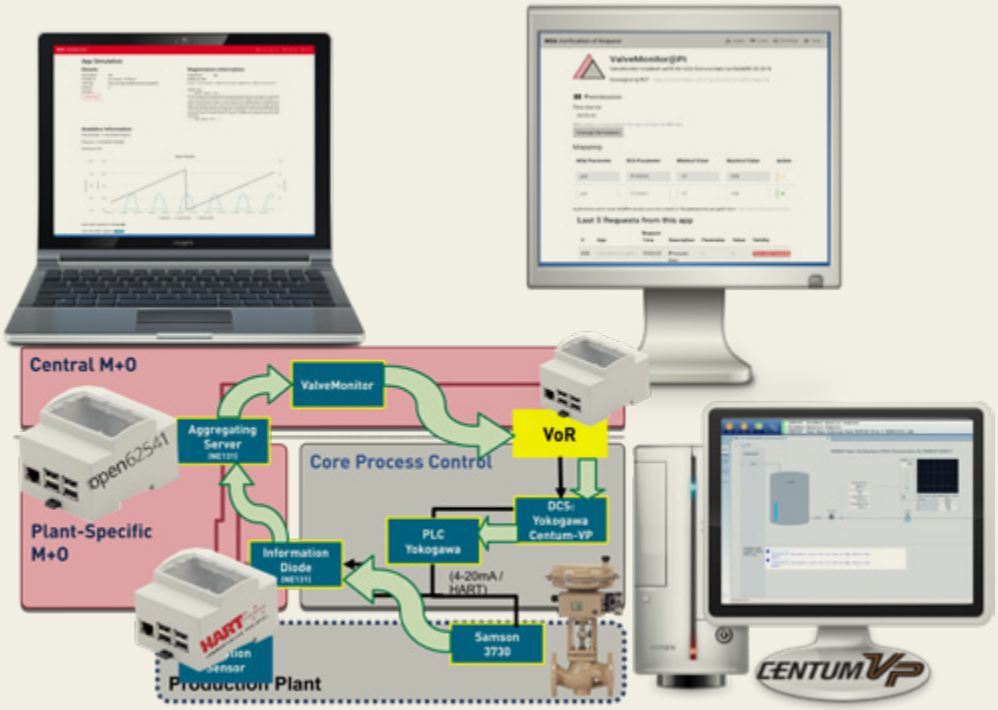

FIGURE : Illustration of the VoR demonstration scenario, its information flow (green arrows) and components (highlighted blocks).

group conveys a role the user assumes - multi-roled users do not exist. As an example, an operator can control the validation and mapping steps, but not add new applications, while the Administrator fullfills the complementary role. This isolates the logins from each other, an attacker effectively needing to acquire and use multiple credentials to compromise the architecture. Additionally, this group model inhibits the reuse of credentials.

APPLICATION REGISTRATION COMPONENT

Applications may need a dynamic reconfiguration. The most prominent example is reassigning a new token to an application that does not support hOTP or tOTP modes. Other modes of interaction may include notifying an application when a validated request has been accepted, setting new optimization parameters or enabling/disabling it all together. The mechanism can be compared to webhooks in popular cloud based source code management systems.

When a cloud based applications needs to be reconfigured, the VOR component is able to execute RESTful operations on it using the application registration subsystem. This subsystem is able to encode data addressed to the application using a request templating mechanism, allowing events triggered in the VOR component to dynamically interact with the application.

The given allows the VOR component to adapt to applications having different capabilities with relative ease. The fixed submission format still requires an application to fullfill a rudimentary set of VoR compatible functions, but dynamic application reconfiguration can be handled with ease.

LOGGING COMPONENT

Logging is an essential for tracing problems or ongoing attacks throughout all components. The mechanism proposed for VOR is a centralized system compliant with [11] [12] whose presence should be mandatory during run time. Authentication of logging components, combined with integrity/authenticity validation provided by application certificates and keys, required to provide *accountability* of request submissions. Valid tokens or credentials should be obfuscated to avoid compromised logs providing additional attack vectors [13, p. 559].

USER INTERFACE COMPONENT

A user interface can be implemented using any system that can interact with the VOR core's REST Application Programming Interface (API). Authentication with either Admin or Operator credentials is required, allowing inspection of logs, configuration of applications,

modification validation and mapping rule chains and configuration of backends. A standalone web application is arguably the most portable way to create such an interface. However, for better integration into existing process control systems, user interface function for VOR can be integrated into existing HMIs or other SCADA components. As an example, a frontend integrated into an HMI may allow an operator to disable optimization influences from a specific source directly from the HMI by modifying the validation rules for an app.

DEMONSTRATIONS PLATFORM AND ONGOING WORKS

A proof-of-concept of VOR was presented during the Namur Open Architectures Session in November 2017 (see Figure 4) [1]. The demonstrator implemented a closed added value loop scenario: The HART control line from a Yokogawa DCS controller (Field Control Station, FCS) to a Samson 3730 electro pneumatic positioner was tapped by a NOA device. The setpoint, current position, air pressure and actuator set count of the valve were semantically annotated and made available to a fictitious cloud application over an UA aggregating server. The NodeJS based ”cloud“ application, running on a local laptop computer, then analyzed the frequency of set count changes to the valve to determine an optimization. The core of the demonstrator is the VOR component interacting with a Yokogawa Centum VP DCS, which in turn controlled the FCS and the attached valve. The FCS would also simulate an attached process – a tank level controller – to provide a more consistent use-case for the valves usage. The simulated control loop, in its initial deployment, would purposefully induce heavy oscillations in the control loop to provoke the optimization by the cloud application.

The cloud application, aptly named ”ValveMonitor“, would monitor the valve over the aggregating server. Due to the simulation parameters, the valve’s setpoint be frequently changed and oscillate periodically. If this condition was detected, it would submit a request to the VoR component, suggesting a new, optimized mean setpoint for the valve to reduce the stress on the valve and its actuator. The VOR itself was implemented on a single Rasperry Pi 2 B+, using the Django framework and realizing a reduced subset of the suggested API.

The given request was submitted to the VOR frontend. Both frontend and application implemented tOTP based token checking. Though certificates and keys have been provided for both app and VoR, the demonstrator did not implement signature verification or HTTPs based transport. The request would then be subjected to verification and mapping, both of which used hardcoded rule chains in the given implementation. In a final step, an UA backend wrote the mapped value to an UA server running on the Yokogawa Centum VP DCS (pushing backend). The operator was then confronted with the request using an operator guide as dialog and had to either manually accept the suggested setpoint or change the setpoint based on his own judgement/experience.

Several key points for improvement have been identified during the exemplary implementation, first and foremost the concept of request contents. In its current

REFERENCES

[1] D. Grossmann, L. Urbas und C. Klettner, „NOA – Namur Open Architecture – Überblick und Anwendungen,“ in Namur Hauptsitzung 2017, 2017.

[2] K. F. Früh, D. Schaudel, T. Tauchnitz und L. Urbas, Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen, ISBN: 978-3835673519: Deutscher Industrieverlag, 2017.

[3] J. Krumeich, S. Jacobi, D. Werth und P. Loos, „Big Data Analytics for Predictive Manufacturing Control - A Case Study from Process Industry,“ in 2014 IEEE International Congress on Big Data, DOI: 10.1109/BigData.Congress.2014.83, 2014.

[4] C. Klettner, T. Tauchnitz, C. Iatrou, L. Urbas, C. Diedrich, T. Schröder, D. Goßmann, S. Banerjee, M. Krauß und U. Epple, „Namur Open Architecture: Die Namur-Pyramide wird geöffnet für Industrie 4.0,“ atp edition, Bd. 59, Nr. DOI: 10.17560/atp.v59i01-02.620, pp. 20-37, 2017.

[5] K. F. Früh, D. Schaudel, T. Tauchnitz und L. Urbas, Handbuch der Prozessautomatisierung: Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen, 5th Hrsg., Deutscher Industrieverlag, 2018.

[6] atp!info, „Namur-Hauptsitzung: Mastering the Digital Transformation of the Process Industry,“ 2017.

[7] S. Brüggemann, Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit durch intelligente Datenanalyse, Namur Hauptsitzung 2017 (Plenarvortrag), 2017.

[8] [M. Graube, S. Hensel, C. Iatrou und L. Urbas, „Information models in OPC UA and their advantages and disadvantages,“ in 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2017.

[9] M. Krauss, T. Pötter, C. P. Iatrou, L. Urbas und C. Klettner, „100% Wireless on Top,“ atp edition, Bd. 58, pp. 50-65, 2016.

[10] P. Wik, Service-Oriented Architecture: Principles and Applications, ISBN: 9781523807949: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015.

[11] R. Gerhards, „RFC5424: The Syslog Protocol,“ RFC Editor, 2009.

[12] F. Miao, Y. Ma und J. Salowey, „Transport Layer Security (TLS) Transport Mapping for Syslog,“ RFC Editor, 2009.

[13] T. U. Vélez und M. M. Morana, Risk Centric Threat Modeling: Process for Attack Simulation and Threat Analysis, John Wiley & Sons, 2015.

key/value form, a request carries little information on what the value represents. Ongoing works examine, if semantics can be encoded in a request, e.g. by using serialized UA data structures with extended NodeIDs to reference their data models. Future works will likely also expand requests by parameters such as submission timestamping, value-of-origin age (from the aggregating server) or time-of-flight information for the request and any values originating from the NOA aggregating server used in the optimization calculation.

The current concept of rule chains contains only predefined processing blocks, mostly limited to arithmetic or comparison operations. A concept being examined is replacing rule chains with imperative code, e.g. by using LUA or Python interpreters, to allow more complex verification or mapping scenarios. This solution would also allow more complex operations, such as checking the validity of certificates using Public Key Infrastructures (PKIs). The added flexibility comes at the cost of security, as code will be executed in verification and mapping steps that could serve as attack vector. If this concept is further expanded on, it must hence be accompanied by code isolation or virtualization technologies mitigating the effects of bad or compromised code being executed.

Finally, a topic that requires further research is the matter of conflicting optimization, i.e. applications submitting requests with orthogonal effects. One application might try to increase component lifetime using parallel process trains, while a second application will try to maximize redundancy and deactivating said parallel process trains again. This conflicting optimizations effectively inhibit a steady, optimized process state to settle. At this time, there is no explicit suggestion on how this problem can be recognized and averted.

CONCLUSION

With the rise of cloud based optimization as a service for industrial processes, the amount of optimization suggestions confronting the operators of a plant will demand significant personnel resources. Current architecture initiatives like NOA show that extracting information from the field is in itself technologically feasible, but little thought has been invested on how the optimization requests are reintegrated into a process plants operation.

In order to automate the reintegration of optimization requests, the VOR component was introduced and elaborated in great detail. The mechanism allows the secure and safe application of requests originating from an unsafe, non-operator-controlled cloud into the CPC domain. The mechanism exercises significant separation of concern, allowing both the plant operator and the cloud application provider to retain key know-how from each other, while also exchanging plant specific information required for advanced optimization scenarios. Using said cloud services, a plants performance may be further optimized without compromising its long standing, time proven PLC and DCS infrastructure. It is also possible to introduce VOR and NOA during plant operations, requiring no or little down time to deploy.

VOR is a key component of the Namur Open Architecture initiative and is the key to the massive deployment of cloud based optimization services. Future developments will improve on the concepts introduced, enhancing the internal mechanisms of VOR and expanding its functionality.

AUTHORS

Dipl.-Ing. **CHRIS PAUL IATROU** (born 1986) is a doctoral researcher at the Chair for Process Control Systems & Process Systems Engineering Group. His research interests are automation architectures facilitating semantic integration in real-time critical production environments.

Technische Universität Dresden,
Helmholzstrasse 10,
01062 Dresden,
Tel. + 49 (0) 351 46 33 21 62,
E-Mail: chris_paul.iatrou@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. **MARKUS GRAUBE** (born 1985) is working at the Chair for Process Control Systems @ Process Systems Engineering Group of Technische Univesität Dresden. His research areas are semantic information modeling and human-machine-interaction.

Prof. Dr.-Ing. **LEON URBAS** (born 1965) leads the Chair for Process Control Systems @ Process Systems Engineering Group at the Technische Universität Dresden. He researches methods and implications of digital transformation in the process industry.

TIM-PETER HENRICHS (born 1973) Dipl.-Ing. and Diplom Marketing Leiter, Marketing and Communications Manager of Yokogawa Germany GmbH and Marketing Manager Europe Chemical Industry. He is a member of the Steering Committee Modular Automation.

Dipl.-Ing. **STEFAN ERBEN** (born 1964) has been working in various development functions at SAMSON AG in Frankfurt. The main fields of work include research and development in the field of intelligent field devices for industrial use, the integration of these devices in open systems and the participation in committees of various vendor-independent organizations.

Erst Prozessanalytik sichert die Wirtschaftlichkeit

Industrie-4.0-Integration erfordert Softwarestandards

Moderne Prozessanalysentechnik (PAT) ist in der Verfahrenstechnischen Industrie unverzichtbar. Erst sie macht die Produktionsanlagen genehmigungsfähig und sichert den Umweltschutz. Der Einsatz von Prozessanalysentechnik ermöglicht hohe Produktqualität und sichert die Wirtschaftlichkeit der Produktion. Die Payback-Zeit für Investition in PAT beträgt oft unter einem Jahr. Der vorliegende Beitrag erläutert die Verfahren der Prozessanalysentechnik und ihren konkreten Nutzen für die Produktion. Er beleuchtet die Hard- und Softwareanforderungen an die Messsysteme, die mit Industrie 4.0 einhergehen.

SCHLAGWÖRTER Prozessanalytik / Wirtschaftlichkeit / Digitale Transformation / Industrie 4.0 / Konnektivität / Spektroskopie / Prozessoptimierung / Prozessverständnis

MARTIN GERLACH, Bayer
ANDREAS GRÄFE, FRANK GRÜMBEL, Lanxess Deutschland
ULRICH SCHÜNEMANN, BASF
STEFAN STIELER, Blifinger Maintenance

Die Prozessanalysentechnik hat eine sehr lange Geschichte, die mit Vorläufern bis in das 19. Jahrhundert zurückgeht. Hier finden sich erste Hinweise auf prozessbegleitende Analytik in Form von Geschmacksproben, die durch das Betriebspersonal durchgeführt wurden und ihrer Gesundheit sicherlich nicht zuträglich waren. Vor mehr als 100 Jahren – Anfang des 20. Jahrhunderts wurden dann erste Onlinemessungen mittels Pfeifenanalysator bei der BASF zur Analyse der Gaszusammensetzung im Ammoniak-Prozess durchgeführt. Dies war die Geburtsstunde der Prozessanalysentechnik. Bei all diesen Beispielen war die antreibende Kraft der Nutzen durch die zeitnahe Kenntnis der stofflichen Zusammensetzung für:

- die Beurteilung des Reaktionsfortschrittes
- die Feststellung des Endpunktes einer Batchreaktion
- die Einstellung einer kontinuierlichen Reaktion auf den besten Punkt zur Optimierung der Produktausbeute, des Durchsatzes oder die Minimierung des Energiebedarfes

Auch davor gab es schon viele Beispiele aus anderen Industrien für Nutzen im Bereich Sicherheit oder Umwelt.

So hatte der Bergbau schon sehr früh einfache Sensorik im Einsatz, die in Form von speziellen Lampen Kohlendioxid oder schlagende Wetter detektieren sollten. Daraus sind in Deutschland Behörden entstanden, die noch heute die Eignung von Messtechnik, Geräten und Motoren prüfen und bescheinigen, damit diese in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden können.

Über die Zeit ist die Prozessanalysentechnik nach diesen Anfängen mehr und mehr zu einer heute etablierten Disziplin geworden, die einen breiten Einsatz gefunden hat. Einerseits in der Prozessperipherie zur Überwachung der Abwasser- und Abluftqualität zum Schutz der Umwelt, der Arbeitssicherheit und der Anlagensicherheit. Andererseits wird die Messtechnik im eigentlichen Prozess heute sowohl zur Überwachung der Rohstoffe und deren Dosierung, als auch zur Überwachung, Steuerung und Regelung der Reaktion und Isolierung und Reinigung der Produkte, eingesetzt. Dabei ersetzt die Prozessanalysentechnik in der Regel die Laboranalytik, was natürlich immer Kosten senkt und die Arbeitshygiene durch entfallende Probennahmen aus dem Prozess verbessert. Häufig ist das Ziel die Erhöhung der Ausbeute, Kapazität der Anlage oder die Senkung von Energie- oder Arbeitskosten.

Dies sind jedoch nur qualitative Aussagen. Im Einzelfall muss der Nutzen im Vorfeld durch eine genaue Betrachtung und Bewertung des Prozesses an der entsprechenden Stelle erfolgen, um eine Messaufgabe genau benennen zu können. Die Lösung der Messaufgabe zieht einen Nutzen nach sich, den es für den Prozess zu beschreiben und auch monetär zu bewerten gilt. Erst eine positive Investitionswertrechnung führt schließlich zur Umsetzung der Lösung einer Messaufgabe.

Der Nutzen den die Prozessanalysentechnik zur Optimierung des Prozesses erbringt, ist mitunter nur schwer zu beschreiben und zu quantifizieren. Deshalb möchten wir anhand einiger Beispiele aufzeigen, wie eine Herangehensweise aussehen könnte, und wie sich der Nutzen für den Anlagenbetreiber qualitativ und quantitativ monetär errechnen und darstellen lässt.

BEGRIFFLICHKEITEN DER PROZESSANALYSENTECHNIK

Für den Begriff der Prozessanalysentechnik gibt es mehrere Synonyme und verwandte Begriffe:

- Analysen(mess)technik umfasst sowohl die Laboranalytik, als auch die Prozessanalysentechnik.
- Prozessanalysen(mess)technik kann als Alternative zu Prozessanalysentechnik verwendet werden.
- PAT (Process Analytical Technology) ist eine Abkürzung für Prozessanalysentechnik.
- PAT-System: System aus Sensor oder Probenahme/Probenaufbereitung, Analysator, Probenrückführung/-entsorgung und gegebenenfalls Zusatzeinrichtungen wie Kalibriervorrichtung.
- Unter Prozessanalyse versteht man dagegen die Analyse von Arbeitsprozessen.

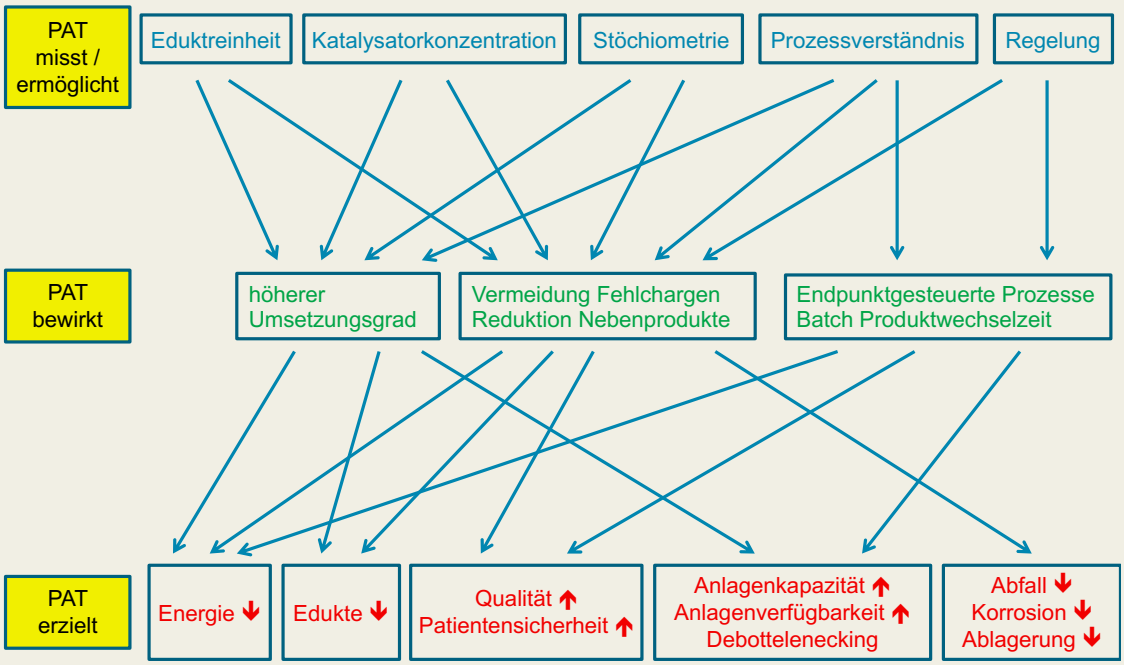

BILD 1: Das Ursache-Wirkungsdiagramm ermöglicht eine kostengünstige Produktion von qualitativ hochwertigen Produkten.

NUTZEN DER PROZESSANALYSENTECHNIK

Die Prozessanalysentechnik leistet nachhaltige Wertbeiträge in den Bereichen Anlagensicherheit, Arbeitssicherheit, Umweltschutz sowie der Prozessführung in verfahrenstechnischen Anlagen der Chemie, Pharmazie, Energieversorgung und Entsorgung.

Anlagensicherheit, Arbeitssicherheit und Umweltschutz:

In diesem Bereich ist der direkte Nutzen der Prozessanalysentechnik offensichtlich:

- Analysenmessgeräte zur Überwachung der Atmosphäre auf brennbare Gase schützen vor Explosionsgefahr.
- Raumluftüberwachungsanalysatoren schützen die Arbeitnehmer vor gefährlichen Stoffen.
- Emissionsmessgeräte bewahren Atmosphäre, Gewässer und den Boden vor dem Eintrag umweltschädigender Substanzen.

Prozessführung:

Das A&O einer verfahrenstechnischen Produktion ist es:

- die Prozesse zu verstehen,
- mit sauberen Edukten zu arbeiten,
- die Stöchiometrie zu beachten,
- die Prozesse mit hoher Güte zu regeln.

Übergeordnete Notwendigkeit der Prozessanalysentechnik:

Doch der Wertbeitrag der Prozessanalysentechnik ist sehr viel größer, in einigen Bereichen sogar von systemkritischer Natur, denn ohne Prozessanalysentechnik wären:

- viele verfahrenstechnische Anlagen nicht genehmigungsfähig, da die Risiken von Stoffaustritten nicht beherrschbar wären,
- viele Produktionsverfahren nicht gesellschaftlich akzeptiert, womit die Standortzukunft der ganzen Branche gefährdet wäre,
- die Risiken von Schäden mit hohen wirtschaftlichen Folgen erheblich höher, mit entsprechenden Auswirkungen auf Versicherungsbeiträge beziehungsweise Beiträge zu Berufsgenossenschaften,
- im Bereich Umweltschutz Prozessanalysentechnik zudem die verursachergerechte Zuordnung von Gebühren und Abgaben, beispielsweise für Abwasser, Abfälle, CO_2-Zertifikate nicht möglich.

Das Ursache-Wirkungsdiagramm (siehe Bild 1) zeigt, wie mit Hilfe der Prozessanalysentechnik die Ziele einer kostengünstigen Produktion von qualitativ hochwertigen Produkten erreicht werden können.

Mit Hilfe der Prozessanalysentechnik können Eduktreinheit und Katalysatorkonzentration überwacht und die Stöchiometrie in den Reaktionsbehältern eingestellt

werden. Konzentrations- und Zustandsdaten aus dem gesamten Prozess ermöglichen über Korrelationsanalysen ein verbessertes Prozessverständnis. Durch schnell verfügbare Messwerte erlaubt die Prozessanalysentechnik die Prozessregelung nach Konzentrationsdaten.

Beispielsweise vermeiden Eduktreinheit und Stöchiometrie Fehlchargen, die richtige Katalysatorkonzentration maximiert den Umsetzungsgrad und Prozessverständnis und Regelung erlauben endpunkt- anstelle zeitgesteuerter Prozesse.

Im Endeffekt werden durch die Prozessanalysentechnik folgende Ziele der Prozessführung erreicht:

- Energieeinsparung,
- Einsparung Edukt,
- Sicherstellung Produktqualität und Patientensicherheit,
- Optierung von Anlagenkapazität und Anlagenverfügbarkeit, Debottlenecking der verfahrenstechnischen Anlage,
- Abfallredukltion, Vermeidung von Korrosion und Ablagerungen.

PAT – LEGENDEN UND WAHRHEITEN

„Die Prozessanalysentechnik ist eine exotische Technologie, die nur wenige Spezialisten mit bastlerischem Geschick beherrschen."

Tatsächlich werden in der Prozessanalysentechnik viele verschiedene Messverfahren angewendet.

Die entsprechenden heutigen Messgeräte haben nichts mehr mit den eher anfälligen Messmitteln von früher zu tun. Hier hat die Hersteller- und Anwenderallianz Früchte getragen. Daher können PAT-Systeme mit hoher Verfügbarkeit auch in Schutzeinrichtungen oder zur Lieferung von hohen Datendichten eingesetzt werden, bei einem ROI von zum Teil weniger als einem Jahr.

Zusätzlich zu der richtigen Messgeräteauswahl bringt ein planender Analyseningenieur noch Probenaufbereitungs-Know-how mit, sodass auch schwer zu handelnde Proben gemessen werden können, ohne dass es zu hohem Instandhaltungsaufwand kommt. Gerade dies unterscheidet den erfahrenen Spezialisten von dem „Bastler" oder „Chaoten".

Es empfiehlt sich, die Instandhaltung durch eine fachlich fundiert geführte Gruppe von speziell ausgebildetem technischem Personal durchführen zu lassen.

„Mit Prozessanalysentechnik kann man nur einen Teil der erforderlichen Messaufgaben lösen."

Hier stellt sich zunächst die Frage, wie „die Messaufgabe" überhaupt definiert ist. „In Kessel 14 pH zu messen" ist nicht die eigentliche Messaufgabe, sondern es handelt sich immer um eine verfahrenstechnische Aufgabenstellung. Beispiele sind:

1 | Leckageüberwachung Kühlwasserkreislauf -> gelöst mit TOC-Analysator,
2 | Inertisierungsüberwachung -> gelöst mit Sauerstoffmessung,
3 | Detektion der Lage der Trennschicht -> gelöst mit Leitfähigkeitsmessung.

Hier leistet die Prozessanalysentechnik einen nennenswerten Beitrag zur Lösung der verfahrenstechnischen Aufgabenstellungen. Die Auswahl der „richtigen" Analysenmethode erfordert die eingehende Betrachtung der Optimierungsmöglichkeiten der verfahrenstechnischen Prozesse in einem interdisziplinären Team (Chemiker, Verfahrenstechniker, Automatisierungsingenieur, Qualitätsmanager, Analyseningenieur).

Eine Ablösung der Laboranalytik durch Prozessanalysentechnik ist „nur" eine Frage des Investitionsaufwands und generell immer eine Möglichkeit.

„Die Prozessanalysentechnik ist sehr teuer."

Wegen der relativ geringen Stückzahlen sind Prozessanalysenmessgeräte tatsächlich erheblich teuer als vergleichbare technische Geräte des Consumer-Bereichs. Hinzu kommen die Kosten der meist individuellen Prozessadaption. Wie bei allen Investitionsentscheidungen muss deshalb auch bei einer Prozessanalysenmessstelle von vornherein deren Nutzen klar sein und der Aufwand in einem vernünftigen Verhältnis dazu stehen. Investitionskosten können durch verschiedene Maßnahmen begrenzt werden:

- Zur Erlangung bestimmter Prozessinformationen müssen nicht immer die exakten Konzentrationen aller Einzelkomponenten gemessen werden. Häufig genügt eine Summen- oder Gesamtinformation wie der Gesamtkohlenstoffgehalt, der pH-Wert, die Leitfähigkeit oder eine Ultraschallgeschwindigkeit. Beispielsweise haben Untersuchungen mit einem UV-Spektrometer am Auslauf einer präparativen Chromatografie zur Detektion der eluierenden Substanzen in einer Pharmaproduktion ergeben, dass ein Spektrometer für die Prozessführung keinen erheblichen Zusatznutzen gegenüber einem Prozessfotometer bringen muss. In einem solchen Fall genügt ein wesentlich preisgünstigeres UV-Fotometer. Bei der Überwachung von Kühlwasserkreisläufen auf Verschmutzung durch halogenierte Kohlenwasserstoffe (HKW) muss nicht jeder HKW mit exakter Konzentration einzeln bestimmt werden, es genügt ein Gerät mit Monitorfunktion.
- Mit einer Messstellenumschaltung können sich mehrere Messstellen ein Prozessanalysengerät teilen.
- Es sollten immer verschiedene Messprinzipien und Ausführungsvarianten betrachtet werden, denn entscheidend sind die Lebensdauerkosten. Eine höhere Investition kann sich durch niedrigere Instandhaltungskosten lohnen.
- Entscheidend ist die Orientierung am Nutzen, wie beispielsweise die Ausbeute, die Produktqualität oder die Energieeinsparung. Dies bedeutet, die Analysenmessstelle darf ruhig eine erhebliche Investition

darstellen, solange die Payback-Zeit kurz genug ist. Diese beträgt üblicherweise 1 bis 3 Jahre.

„Die Instandhaltungskosten der PAT sind sehr hoch."

Tatsächlich weisen Prozessanalysenmesssysteme einen höheren Instandhaltungsaufwand auf als andere Feldgeräte. Durchschnittlich 50 bis 70 Prozent der Gesamtkosten einer Messstelle entfallen auf die Instandhaltung. Die Gründe dafür sind:

- Viele Prozessanalysengeräte sind komplexer als andere Feldgeräte und enthalten mechanische Komponenten.
- Empfindliche Bauteile (wie das Glas einer pH-Elektrode, das Fenster einer Küvette, der Kristall einer Eintauchsonde oder die Säule eines Chromatografen) stehen prinzipbedingt mit dem zu messenden Medium in unmittelbarem Kontakt. Ohne Probenaufbereitung verschmutzen oder altern diese Bauteile durch den Einfluss der Chemikalien im Messmedium. Eine Probenaufbereitung zur Reduktion dieser Effekte erhöht dagegen den Instandhaltungsaufwand in der Aufbereitung selbst (etwa Filterwechsel oder die Instandhaltung Kondensatpumpe). Bei anderen Feldgeräten ist dies nicht der Fall: Das Pt 100 eines Thermometers befindet sich in einem Schutzrohr, der Piezoaufnehmer eines Druckmessumformers hinter einer Metallmembrane.
- Im „Regulierten Bereich" werden Prüf- und Kalibrierintervalle sowie -dokumentation von den regulierenden Stellen vorgegeben. Beispiele hierfür:
  - Für Emissionsmessungen im Bereich TA Luft werden eignungsgeprüfte Analysenmesssysteme im Bundesanzeiger bekannt gegeben. Kalibrierintervalle und Dokumentation in Form von Regelkarten sind festgelegt.
  - Die Prüf-/Kalibrierintervalle für stationäre und tragbare Gaswarngeräte sind in den BG-Merkblättern T 021 (BGI 836) und T 023 (BGI 518) vorgegeben.
  - Die Prüf-/Kalibrierintervalle für qualitätsrelevante Analysenmesssysteme in der Pharmaindustrie werden meist von Qualitätsmanagern in Abstimmung mit der FDA festgelegt. Dabei wird eine risikobasierte Beurteilung dazu durchgeführt, welche Konsequenzen eine Messabweichung auf vorangegangen produzierte Chargen gehabt habe könnte.

„Gegen die hohen Instandhaltungskosten kann nicht viel getan werden."

Ein weiterer populärer Irrglaube, wenn bereits in der Planungsphase daran gedacht wird. Die Analysenmessstelle kann nur dann anforderungsgerecht errichtet werden, wenn die verfahrenstechnischen Daten fachkompetent ermittelt und in die Planungsunterlagen (siehe Namur-Arbeitsblatt 16) eingetragen werden. Es ist dann die Aufgabe des Analyseningenieurs, beständige, instandhaltungsarme Sensoren auszuwählen, beziehungsweise eine maßgeschneiderte Entnahme mit richtig dimensionierten Filtern, Abscheidern, ... und den geeigneten Materialien zu konzipieren.

Selbstüberwachungs- und Diagnosefunktionen ermögliche dann eine zustandsorientierte Instandhaltung anstelle vorausbestimmter Instandhaltung (siehe DIN EN 13306). Die späteren Instandhaltungsaufwendungen werden stark von der Instandhaltungsmethodik beeinflusst, beispielsweise:

- Risikobasierte Instandhaltung (RCM): Die Intensität der planbaren Instandhaltung sollte auf Basis des Risikos bestimmt werden, das mit einem Ausfall der Messstelle verbunden ist. Auch die Reaktionszeit der Instandsetzung bei Störungen wird mit dem Ausfallrisiko verknüpft.
- Alle Instandsetzungen werden in einer Datenbank geführt, eine regelmäßige Auswertung fließt in Verbesserungen des Messstellendesigns ein. Alle Mitarbeiter werden in diesen kontinuierlichen Verbesserungsprozess eingebunden.

In einer lernenden Organisation führt das Feedback aus der Instandhaltung in das Engineering-Team hinein künftig zu Messstellen mit besonders niedrigem Instandhaltungsaufwand.

„Prozessanalysenmesssysteme sind störanfällig und häufig defekt."

Bei anforderungsgerechter Planung und fachgerechter Instandhaltung ist die Verfügbarkeit von Analysenmessstellen heutzutage so gut (üblicherweise zirka 98 Prozent, bei PLT-Sicherheitseinrichtungen erheblich höher), dass sie in Sicherheitseinrichtungen und im Qualitätsbereich eingesetzt werden können. Auch der „Real Time Release" von Chargen mit qualitätsrelevanten Analysenmesssystemen ist kein Problem.

Mit Erscheinen der Namur-Empfehlung 146 wird dem Analyseningenieur eine praktische Anleitung an die Hand gegeben, wie der in der DIN EN 61511 geforderte rechnerische Nachweis der sicherheitstechnischen Eignung von Prozessanalysentechnik in einer PLT-Sicherheitseinrichtung durchgeführt werden kann. Tragende Elemente sind eine Failure Mode and Effects Analysis (FMEA, zu Deutsch „Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse" oder kurz „Auswirkungsanalyse") des gesamten PAT-Systems (das heißt inklusive Sensoren und Probenhandhabungssystem) und eine Abschätzung der Probability of Failure on Demand (PFD, zu Deutsch „Ausfallwahrscheinlichkeit"), die alle Elemente des Messsystems sowie die integrierten Überwachungsfunktionen berücksichtigt.

„Die Laboranalytik ist der Prozessanalysentechnik bezogen auf die Kosten überlegen."

Die Vorteile eines Analytischen Labors liegen in der Flexibilität. Einen entsprechenden Analysengerätepark

TABELLE 1: Mit Hilfe der Prozessanalytik können bestehende verfahrenstechnische Anlagen optimiert werden.

Beispiel Messaufgabe	Funktionsprinzip	Hauptwertetreiber	Investment	ROI
Reaktorüberwachung auf Katalysatorgift	Wärmeleitfähigkeitsmessung	· Reduktion von H_2-Verlusten im Prozess · Prozessverbesserung	120 T€	3 Monate
Onlineüberwachung der Gleichgewichtskonzentration verschiedener Carbonsäuren	Nahinfrarotspektroskopie	· Stabilisierung eines Kristallisationsprozesses	675 T€	12 Monate
Destillationsüberwachung zur Feedsteuerung	Nahinfrarotspektroskopie	· Prozessverbesserung durch automatisierte Kolonnenregelung	350 T€	6–12 Monate
Restfeuchtebestimmung eines Pulvers	Mikrowellenabsorption	· Reduktion Trocknungszeit, · Produktqualität	50 T€	24 Monate
CO-Glimmbranderkennung	NDIR	· Prozesssicherheit	200 T€	
Endproduktkontrolle	Nahinfrarotspektroskopie	· Produktfreigabe jederzeit möglich ohne Labormessung	350 T€	12 Monate
Überwachung Einfahrstrom zur Prozesssteuerung	Ramanspektroskopie	· Verhinderung von Off-Spec-Produktion durch Wartezeit auf Laborwerte	300 T€	6 Monate

und erfahrene Laboranten vorausgesetzt, können dort auch Analysen gefahren werden, die nicht zur täglichen Routine gehören.

Von extrem aufwendigen Probenaufbereitungen und Spezialanalysen abgesehen, gehören Routineanalysen jedoch automatisiert. Die Faustregel lautet: ab zirka 1 Analyse pro Tag ist Prozessanalysentechnik günstiger als Laboranalytik.

Doch es gibt weitere Vorteile:

- Prozessanalysentechnik liefert auch an Wochenenden und Feiertagen ohne Schichtdienst Messergebnisse.
- Aktuelle Messwerte liegen ohne größere Verzögerung vor, erst dies erlaubt den Einsatz in Prozessregelungen.
- Verfälschung der Probe durch Probenahmefehler sind ausgeschlossen, dies trifft insbesondere auf die Spurenanalytik und reaktive Proben zu.
- Remote Operation ist nur mit Prozessanalysentechnik möglich.

„PAT ist gleich Spektroskopie"

Der Begriff „PAT" (Process Analytical Technology) wurde von der Pharmaindustrie und der Food and Drug Administration (FDA) beansprucht, nachdem er vorher bereits viele Jahre als Synonym für die Prozessanalysentechnik verwendet worden war. PAT im Sinne der FDA umfasst einerseits die automatisierte Prozessanalysentechnik im Produktionsprozess (Prozessanalysentechnik), als auch die Analyse des Produktionsprozesses.

Die Ziele der PAT im Sinne der FDA sind:

- den gesamten Produktionsprozess besser zu verstehen („process understanding"). Dazu gehören die Einflüsse von Zersetzungsprozessen, Absorptionsvorgängen, Qualität der Eingangsprodukte, Prozessparametern auf die Qualität der Endprodukte.
- Qualitätsfreigaben online zu ermöglichen.
- Prozessschritte geregelt ablaufen zu lassen, anstatt nach einem festen Muster, beispielsweise „Trocknen bis zur Restfeuchte von 5 Prozent" statt „1 Stunde trocknen".

Auf die Veröffentlichung der FDA Guidance „PAT – A Framework for Innovative Pharmaceutical Development, Manufacturing, and Quality Assurance" folgten zahlreiche Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, in denen der Eindruck vermittelt wurde, PAT sei ein Synonym für Spektroskopie. Aber die PAT ist viel mehr, sie umfasst alle zirka 80 Analysenmessverfahren, die es gibt. (Die Spektroskopie spielt dabei eine wichtige Rolle).

DIE HÄUFIGSTEN FRAGEN RUND UM DIE PROZESSANALYSENTECHNIK:

Welche Hürden können bezüglich des Einsatzes von PAT auftreten?

Die größten Hürden beim Einsatz der Prozessanalysentechnik sind wie bei anderen innovativen Technologien auch:

- Personeneffekte (beispielsweise „not invented by me“),
- ungünstige Entscheiderstrukturen: „Andere machen ja auch nichts“,
- In der Vergangenheit nicht kommunizierte Probleme in der verfahrenstechnischen Anlage oder von Produktreklamationen machen Notwendigkeit von PAT nicht sichtbar (Fehlerkultur).

Welche weiteren Vorteile bietet die Prozessanalysentechnik?

- Neben dem oben erwähnten „process understanding“ ermöglicht die Prozessanalysentechnik eine „Wissenskonservierung“, da sie relevante Informationen über den Prozess bereitstellt, die in einer Datenbank gehalten werden können. Auswertungen dieser Daten erlauben das Auffinden „goldener Batches“ und die Möglichkeit, in Batchverfahren und bei Produktwechseln die „Variabilität zu standardisieren“.
- Die PAT kann ausgesprochen hilfreich bei An- und Abfahrprozessen sein, wenn andere Messgeräte (beispielsweise Durchflussmesser) noch außerhalb ihres Messbereiches sind.
- Die PAT ermöglicht unter Umständen die Erkennung von außergewöhnlichen Anlagenzuständen, da sie bereits vor Temperatur- oder Druckveränderungen Änderungen der Konzentration anzeigt.

BEISPIELE FÜR DEN NUTZEN DER PAT

Die Messmethoden der Prozessanalysentechnik, die messaufgabenspezifisch ausgesucht werden, sind in verfahrenstechnischen Produktionsanlagen inline, online oder atline eingesetzt. Das Spektrum der Prozessanalysentechnik reicht von einfacheren Messmethoden, wie Leitfähigkeit, Schallgeschwindigkeit, Viskosität und pH, über Photometrie, paramagnetischer Sauerstoffmessung, Diodenlaser-Spektroskopie bis hin zu den komplexen Messmethoden der Gas- und Flüssig-Chromatografie und der Spektroskopie in Wellenlängenbereichen von Mikrowellen bis hin zu Röntgenstrahlen. Insgesamt umfasst die PAT rund 80 verschiedene Messmethoden.

Durch ihre hohe Verfügbarkeit tragen alle diese Messmethoden schon jetzt zum optimalen Betrieb verfahrenstechnischer Anlagen bei, wie die Beispiele in Tabelle 1 im Vergleich zum Betrieb ohne Prozessanalysentechnik zeigen. Die dort aufgeführten Beispiele stellen nur einen kleinen Ausschnitt der Möglichkeiten beziehungsweise des schon realisierten Nutzens der Methoden der Prozessanalysentechnik aus unterschiedlichen Unternehmen der Prozessindustrie dar. Die mittlerweile hohen Verfügbarkeiten wurden durch den Erfahrungsaustausch der Betreiber sowie der Hersteller der Messmittel erreicht. Dadurch und mit den realisierten ROIs sinkt die Eintrittsschwelle bei den Betrieben der Prozessindustrie, die Methoden der Prozessanalysentechnik zu nutzen, um Prozesse und Abläufe gewinnbringend für die jeweiligen Unternehmen zu optimieren.

BESONDERE ASPEKTE DER PROZESSANALYSENTECHNIK IN DER PHARMA-PRODUKTION

Die Pharma-Produktion weist Besonderheiten gegenüber der chemischen Produktion auf. Es werden Arzneimittel hergestellt, die in der Humanmedizin eingesetzt werden. Das deutsche Arzneimittelgesetz regelt deren Zulassung und Herstellung soweit sie zulassungs- und registrierungspflichtig sind. Arzneimittelbehörden sind staatliche Institutionen, deren Funktion und Aufgabe die hoheitliche Überwachung und Umsetzung des Arzneimittelrechts ist. Im Mittelpunkt steht dabei der Schutz der öffentlichen Gesundheit. Unter anderem sind sie dazu für die Überwachung der Arzneimittelherstellung im Sinne der guten Herstellpraxis oder im Englischen auch Good Manufacturing Practice (GMP) zuständig. Die bekannteste ist aus den USA die Food and Drug Administration (FDA), die in vielen Fällen immer wieder internationale Standards setzt. In der EU spielt die Europäische Arzneimittelagentur (EMA) eine zentrale Rolle. In Deutschland sind es unter anderem das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) sowie das Paul Ehrlich Institut (PEI).

Voraussetzung für die Herstellung eines Arzneimittels ist dessen Zulassung. Basis der Zulassung ist unter anderem das Common Technical Document, in dem im Modul 3 der Herstellungsprozess inklusive der Inprozesskontrolle und der dafür notwendigen Instrumentierung der Messtechnik beschrieben ist. Die Prozessentwicklung erfolgt in der Regel unter Zeitdruck, da meist schon kurz nach dem Start der Prozessentwicklung größere Mengen des Arzneimittels für die klinischen Studien der Phase 2 und 3 notwendig werden. Mit Abschluss der Prozessentwicklung ist zur Herstellung des Arzneimittels grundsätzlich alles im Detail beschrieben und festgelegt.

Grundsätzlich besteht gegenüber den zuständigen Behörden eine Anzeigepflicht für sämtliche Änderungen, die die erteilte Zulassung betreffen. Spätere Änderungen zum Beispiel bei den Messparametern können dazu führen, dass sie als eine Veränderung des Prozesses angesehen würde, insbesondere immer dann, wenn auf Basis dieser neuen Online-Werte Eingriffe in den Prozess erfolgen würden. Solche Änderungen müssen von der Behörde genehmigt werden.

Deshalb ergeben sich hier einige besondere Aspekte für die Analysenmesstechnik in der Pharmaproduktion:

- Die Analysenmesstechnik für die Produktion wird bereits bei der Prozessentwicklung festgelegt und ist später nur recht aufwendig änderbar.
- Innovationen in der Messtechnik sollten schon in der Prozessentwicklung eingebracht werden und sind

später nur schwer nachrüstbar, da Sie nachgemeldet werden müssen.
- Der Betrieb der Messtechnik unterliegt den Anforderungen, wie sie durch die Gute Herstellpraxis vorgegeben sind.
- Der Aufwand für die Validierung der qualitätsrelevanten Messgrößen ist deutlich größer als der für die Messgrößen in nicht regulierten Prozessen
- Die Kalibrierung und Justierung der PAT-Messtechnik muss entsprechend der Vorgaben dokumentiert werden.

In den letzten Jahren ist durch die PAT (Process Analytical Technologies)-Initiative der FDA das Prozessverständnis mehr in den Fokus gerückt worden. Bei der Prozessentwicklung wird das Prinzip der „Quality by Design" (QbD) mehr und mehr Einzug finden. Das heißt, dass die Zusammenarbeit mit den Bereichen der Prozessentwicklung viel intensiver stattfindet als in der Vergangenheit. Damit kommt der Prozessanalysentechnik in Zukunft in der Pharmaproduktion eine wachsende Bedeutung als Beitrag zum verbesserten Prozessverständnis zu. Dies dient natürlich in Zukunft einer weiter verbesserten Qualität der hergestellten Arzneimittel und einer weiter verbesserten Patientensicherheit.

CHANCEN DER DIGITALEN TRANSFORMATION

Neue IT-Werkzeuge und mobile Endgeräte haben in den letzten Jahren zu einer dynamischen Entwicklung in Technik, Logistik und in vielen Bereichen des gesellschaftlichen Lebens geführt. Die Digitale Transformation wird auch im Bereich der Prozessindustrie und damit auch bei der PAT zu neuen Anwendungsfeldern und Veränderung der Arbeitsprozesse führen, die letztlich zu größerem Nutzen für den Anwender führen.

Sensorik

Die Technologie-Roadmap *Prozesssensoren 4.0* von Namur und VDI/VDE-GMA beschreibt Einflüsse der Digitalisierung auf Prozesssensoren der Zukunft und ist damit auch für die Entwicklungen der Prozessanalysentechnik richtungsweisend. Einige der von der Technologie Roadmap vorausgesagten Trends, wie die Verwendung von PAT-„Einwegsensoren" oder die sich selbst organisierende Produktionsanlage als CPPS (Cyberphysisches Produktionssystem) klingen aus heutiger Sicht vielleicht visionär, aber die technische Entwicklung in der Sensorik schreitet schnell voran. Selbst Optische Spektrometer gibt es heute bereits als kostengünstige Smartphone-Gadgets. Die Entwicklung solcher Sensoren und der dazugehörigen Dienstleistungen ist rasant. Die Größe des digitalen Consumer-Marktes (er ist im Vergleich zum Markt Prozessindustrie riesig), befeuert die Entwicklung. Sind solche Produkte für den Consumer-Bereich erst einmal verfügbar, dann ist der flächendeckende Einsatz in neuen PAT-Installationen in der Prozessindustrie der nächste Schritt.

Datenverarbeitung

Auch neue Möglichkeiten der Datenverarbeitung führen zu neuen PAT-Anwendungen. PAT-Systeme, bei denen breitbandige spektroskopische Methoden mit multivariaten Datenanalyseverfahren kombiniert werden, ermöglichen heute die Bestimmung von Parametern, die bisher messtechnisch nicht zugänglich waren. PAT wird hier nicht mehr klassisch zur Messung von Stoffkonzentrationen im Produktstrom genutzt, sondern zur Voraussage von Produkteigenschaften. Solche neuartigen Anwendungen werden die bisher bekannten PAT-Anwendungen nicht verdrängen, sondern ergänzen.

Konnektivität und Schnittstellen

Die Digitalisierung führt auch zu einer Optimierung von Prozessabläufen, beispielweise in der PAT-Instandhaltung. Selbst einfache PAT-Feldgeräte verfügen heute oft schon über ausgeklügelte Funktionen zur Selbstüberwachung. Die zahlreichen, im Gerät verfügbaren Daten über Zustand und Betriebshistorie unterstützen im Schadensfall das Wartungspersonal vor Ort bei der Entstörung einer Messstelle. Diese Daten könnten aber auch schon wesentlich früher zur gezielten zustandsorientierten Instandhaltung verwendet werden, wenn sie in Asset-Management-Systemen der Betreiber vorliegen würden. Viele Unternehmen sind von einem flächendeckenden Einsatz und der Nutzung solcher Systeme weit entfernt. Ursachen sind unter anderem mangelnde Konnektivität der PAT-Geräte und Vielfalt anstelle von Standardisierung bei den Datenschnittstellen. Gelänge es, diese Ursachen zu überwinden, würde die schon im Jahr 2005 veröffentlichte Namur-Empfehlung NE 107, „Selbstüberwachung und Diagnose von Feldgeräten", eine digitale Renaissance erleben.

Innovationen in den Arbeitsabläufen

Die Digitalisierung wird auch zu Innovationen in den Arbeitsabläufen wie beispielsweise der PAT-Instandhaltung führen. Mit Fernwartungs-Systemen können PAT-Experten das Instandhaltungspersonal in einer Anlage unterstützen, ohne selbst vor Ort gehen zu müssen. Wird ein Fehlzustand erkannt oder vermutet, kann eine detailliertere Zustandsbewertung vorgenommen werden und Instandsetzungsmaßnahmen können gezielter vorbereitet werden. Dies ist vor allem bei komplexen PAT-Technologien hilfreich, bei denen Experten-Know-how überall gefragt, aber nicht überall immer verfügbar ist.

Während der Instandsetzung vor Ort kommen mobile Devices und Tablet-PCs zum Einsatz, mit denen das Wartungspersonal vor Ort auf die elektronische Dokumentation zugreifen kann, Instandhaltungshistorie im CMMS pflegen kann oder Beschaffungsprozesse (etwa für Ersatzteile) elektronisch anstoßen kann.

An die Datensicherheit werden hierbei hohe Anforderungen gestellt. Neue IT-Technologien kommen zum Einsatz und die Datenwege verlaufen nicht immer durchs Leitsystem. Die auf der Namur Hauptsitzung 2016 vorgestellte Namur Open Architecture (NOA) ist hier ein interessanter Ansatz, der die Vorzüge der beiden Welten IT und Leittechnik miteinander verbindet und den Anforderungen Rechnung trägt. In Summe gibt es also zahlreiche Ansätze, durch die die Digitalisierung der PAT zu noch mehr Kundennutzen führen wird.

AUSBLICK UND KÜNFTIGE ANFORDERUNGEN

Um im globalen Wettbewerb bestehen zu können, müssen verfahrenstechnische Produktionsverfahren wirtschaftlich, kostengünstig und flexibel sein. Dies erreicht man unter anderem durch den Einsatz von Systemen der Prozessanalysentechnik, intelligenter einzelner Sensoren, verknüpfter unterschiedlicher Sensoren, darauf zugeschnittener Regelalgorithmen und einer geeigneten Vernetzung. Einen weiteren Fortschritt stellen die Konzepte zur Optimierung der Produktionen im Rahmen von Industrie 4.0 dar, die noch weiter optimierte und zusätzliche, ganz neue Betriebs- und Instandhaltungsstrategien ermöglichen wird.

Um den Nutzen des Einsatzes von Systemen der Prozessanalysentechnik zu verstärken, werden neue Strategien, nicht nur der Messmethoden, sondern auch der Softwarekonzepte benötigt. Ein Hindernis stellen die unterschiedlichen, herstellerabhängigen Softwarestandards dar. Eine durch alle Marken durchgängige Strategie der Verwendung von herstellerunabhängigen Standards wie beispielsweise OPC UA ist ein essenzieller Baustein für den Nutzen und die Flexibilität der Prozessanalysentechnik. Die Landschaft der Leitsysteme ist, alters- und herstellerbedingt, sehr heterogen, was ein Anbinden von Messmitteln an das Leitsystem erschwert. Durch unterschiedliche Softwarestandards der Hersteller wird das Problem noch verstärkt.

Das Öffnen für gemeinsame, rückwärtskompatible Standards und die Herstellerzusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg, macht es der Prozessindustrie leichter, Messmittel zu nutzen. Schnelle und problemlose Austauschbarkeit sichert zudem hohe Verfügbarkeiten beispielsweise in Schutzeinrichtungen.

Es ist sicher, dass zur Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten intelligente, vernetzbare und „kommunikative“ Messmittel benötigt werden. Entsprechende offene Konzepte der Hersteller, um beispielsweise beliebige Auswertesoftware einsetzten zu können, sind notwendig. Zusätzlich trägt der Verzicht auf Messumformer oder PC für die Onlinemessungen und das Verlagern des ‚Intellekts‘ der Messtechnik auf vorhandene Serverinfrastrukturen ebenfalls zur Kostenreduktion und der höheren Verfügbarkeit bei. Zumal die Server einer Produktion in der Prozessindustrie höhere Anforderungen an die Verfügbarkeit haben als ein herkömmlicher Industrie-PC oder Transmitter. Mit einer hohen Verfügbarkeit ist der Wille der Produktionen, sich in automatisierter Prozessführung auch auf Messmittel der Prozessanalysentechnik zu verlassen, deutlich höher einzustufen.

Für Einsparungen in der Instandhaltung sind zwei Aspekte entscheidend: Sicherheitskonzepte müssen auch den Einsatz mobiler Endgeräte (beispielsweise über WLAN, Bluetooth) inkludieren und die Sensordiagnostik muss den Zustand der Sensoren mit einem viel höheren Abdeckungsgrad erfassen.

Die Unterstützung der Hersteller bei der Erstellung dieser neuen Konzepte durch die Anwender der Prozessindustrie ist notwendig und steht, wie auch jetzt schon gelebt, zur Verfügung.

Die bisher schon im Dialog mit den Herstellern entwickelten Anforderungen gelten auch weiterhin:

- einfache, verfügbare, preiswerte Geräte,
- Inline-Geräte zur Reduktion der Infrastrukturkosten,
- modulares Design zur einfachen Instandsetzung, auch im Feld,
- Erfüllung der Namur-Anforderungen (beispielsweise NE 21, EMV) und Entwicklung nach IEC 61508 für den Einsatz in PLT-Sicherheitseinrichtungen.

AUTOREN

Dr. **MARTIN GERLACH**
BAYER AG,
Tel. +49 (0) 214 306 59 02,
E-Mail: martin.gerlach@bayer.com

ANDREAS GRÄFE
Lanxess Deutschland GmbH
Tel. +49 (0) 221 88 85 57 17
E-Mail: andreas.graefe@lanxess.com

FRANK GRÜMBEL
Lanxess Deutschland GmbH,
Tel. +49 (0) 221 88 85 65 65,
E-Mail: frank.gruembel@lanxess.com

Dr. **ULRICH SCHÜNEMANN**
BASF SE,
Tel. +49 (0) 621 602 93 26,
E-Mail: ulrich.schuenemann@basf.com

Dr. **STEFAN STIELER**
Bilfinger Maintenance GmbH,
Tel. +49 (0) 69 305 64 94,
E-Mail: stefan.stieler@bilfinger.com