

18. Leitkongress der Mess-  
und Automatisierungstechnik

# AUTOMATION 2017

Technology networks Processes



Mit USB-Stick

# VDI-Berichte 2293

# VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH



18. Leitkongress der Mess-  
und Automatisierungstechnik

# AUTOMATION 2017

Technology networks Processes

Kongresshaus Baden-Baden, 27. und 28. Juni 2017



# VDI-Berichte 2293

**Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

(German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie

(German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2017

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck. Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder.

Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092293-5

## Kongressleiter

**Prof. Dr.-Ing. Ulrich Jumar**, Institutsleiter,  
ifak – Institut für Automation und Kommunikation e.V., Magdeburg

**Dr.-Ing. Wilhelm Otten**, Head of Business Line Process Technology & Engineering,  
Evonik Technology & Infrastructure GmbH, Hanau

## Programmausschuss

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel**, Inhaber des Lehrstuhls und Instituts für Regelungstechnik,  
RWTH Aachen

**Dr. Joachim Birk**, Vice President, Executive Expert of Automation Technology,  
BASF SE, Ludwigshafen

**Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich**, Lehrstuhl Integrierte Automation, geschäftsführender  
Institutsleiter, Institut für Automatisierungstechnik (IFAT), Fakultät für Elektrotechnik und  
Informationstechnik (FEIT), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

**Dr.-Ing. Dagmar Dirzus**, Geschäftsführerin VDI/VDE-GMA, VDI e.V., Düsseldorf

**Dipl.-Ing. Heinrich Engelhard**, Geschäftsführer NAMUR, Leverkusen

**Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple**, Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay**, Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik,  
Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr, Hamburg

**Dr. Helmut Figalist**, Leiter Technologie und Innovation, Industry Automation, Siemens AG,  
Nürnberg

**Prof. Dr.-Ing. Georg Frey**, Lehrstuhl für Automatisierungstechnik, Universität des Saarlandes,  
Saarbrücken

**Dr.-Ing. Stefan Gehlen**, Geschäftsführer, VMT Vision Machine Technic Bildverarbeitungs-  
systeme GmbH, Mannheim

**Dr. Martin Gerlach**, Head of OSS-Operation Support, Bayer Technology Services GmbH,  
Leverkusen

**Dipl.-Ing. Ulrich Hempen**, Head of Market Management Industry & Process, WAGO Kontakt-  
technik GmbH + Co. KG, Minden

**Dipl.-Ing. Tim Henrichs**, Head of IA Business Development, Yokogawa Deutschland GmbH,  
Ratingen

**Prof. Dr.-Ing. Hartmut Hensel**, Fachbereich Automatisierung und Informatik, Hochschule Harz,  
Wernigerode

**Dr. Ulrich Kaiser**, Endress+Hauser Services AG, Reinach, Schweiz

**Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer**, Eppertshausen

**Dr.-Ing. Niels Kiupel**, Leiter Elektro-, Mess- und Regelungstechnik, Evonik Industries AG,  
Essen

**Gunther Koschnick**, Geschäftsführer Fachverband Automation, ZVEI e.V., Frankfurt/Main

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter**, Direktor, Lehrstuhlleiter und -inhaber, Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS), Ruhr-Universität Bochum

**Dr. Christine Maul**, Head of Advanced Process Control, Global Process Control Technology, Covestro Deutschland AG, Leverkusen

**Dipl.-Ing. Martin Müller**, Leiter Business Unit I/O and Networks, Phoenix Contact Electronics GmbH, Bad Pyrmont

**Dr. Thomas Paulus**, Globale Geschäftsentwicklung, KSB AG, Frankenthal

**Dr. Thorsten Pötter**, Head of OSS-Manufacturing IT, Bayer Technology Services GmbH, Leverkusen

**Dr.-Ing. Lutz Rauchhaupt**, Deputy Head of Department ICT and Automation, Senior Engineer Wireless in Automation, ifak e.V., Magdeburg

**Dr.-Ing. Eckhard Roos**, Leiter Prozessautomation, Festo AG & Co.KG, Esslingen/Neckar

**Dipl.-Kfm. Felix Seibl**, Geschäftsführer, ZVEI-FB Messtechnik und Prozessautomatisierung, ZVEI e.V., Frankfurt am Main

**Prof. Dr.-Ing. habil. Olaf Simanski**, Fachgebiet Automatisierungstechnik, Hochschule Wismar

**Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas**, Professur für Prozessleittechnik und AG Systemverfahrenstechnik, Technische Universität Dresden

**Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich**, Direktor des Instituts für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme, Universität Stuttgart

**Dr. Christian Zeidler**, Department Manager Industrial Software and Applications, ABB AG Forschungszentrum Deutschland, Ladenburg

## Sponsoren

Wir danken unseren Sponsoren für die freundliche Unterstützung.

### Goldsponsor:



[www.siemens.de/chemie](http://www.siemens.de/chemie)

### Bronzesponsoren:



[www.abb.de](http://www.abb.de)



[www.festo.com](http://www.festo.com)



[www.pepperl-fuchs.com](http://www.pepperl-fuchs.com)

### Sponsor:



[www.wago.com](http://www.wago.com)

### Veranstalter

VDI Wissensforum GmbH



## Methods – Assistenzsysteme

<i>J. Elsner, R. Mueller, E. Fuchs, G. Bart</i>	Vorausschauende Instandhaltung im Kontext der Industrie 4.0 – Zentralisierte Technik-Expertise durch den Einsatz von Augmented Reality	1
<i>C. Legat, B. Lüdicke, D. Renaud</i>	Improving Assistance Systems in Final Assembly through Integrating Data Analytics and Data Fusion	3
<i>S. Husmann, M. Kolditz, T. Albin, D. Abel</i>	Nutzung der Redundanz eines 7-DOF Leichtbauroboters in Mensch-Roboter-Kollaboration-Anwendungen am Beispiel der roboterassistierten Rehabilitation	5

## Methods – Kommunikationsprotokolle

<i>S. Schriegel, F. Pethig, S. Windmann, J. Jasperneite</i>	PROFlanalytics – die Brücke zwischen PROFINET und Cloud-basierter Prozessdatenanalyse	7
<i>A. Hennecke, S. Weyer</i>	Time-Sensitive Networking (TSN) in modularen Industrie 4.0 Anlagen	9
<i>S. Nsaibi</i>	Gegenüberstellung der deterministischen Kommunikations- mechanismen von TSN: Netzwerkplanung und Telegramm- unterbrechung – Können die TSN-Mechanismen, ohne weiteres, die Ultra-Low E2E Verzögerung erreichen?	11

## Methods – Systemtechnische Methoden

<i>S. Kardash</i>	Bewertung des Regelverhaltens bei deterministischen Prozessstörungen mit modellbasierten Methoden	13
<i>M. Wehr, D. Abel, S. Stockert, G. Hirt</i>	Hochpräzises Walzen durch Integration piezoelektrischer Stapel- aktoren – Vorstellung des Automatisierungskonzeptes, der Regelung und erster Walzergebnisse in einem Hochpräzisions- walzwerk zur Herstellung von dünnen, metallischen Bändern	15
<i>J. Fisch, C. Diedrich, A. Remlein, M. Rossdeutscher</i>	Einsatz von Korrelationsanalysen zur Zuordnung von Produktions- daten zu Funktionsgruppen in einer Werkzeugmaschine	17

## Methods – AutomationML

<i>B. Wally, M. Schleipen, N. Schmidt, N. D'Agostino, R. Henßen, Y. Hua</i>	AutomationML auf höheren Automatisierungsebenen – Eine Auswahl relevanter Anwendungsfälle	19
<i>T. Aicher, M. Spindler, J. Griesbauer, S. Greising, J. Fottner, B. Vogel-Heuser</i>	Verbesserung der Datendurchgängigkeit von der Planung bis zur Entwicklung der Steuerungssoftware für intralogistische Anlagen	21
<i>A. Schlag, T. Bär, M. Vielhaber</i>	Generische Anforderungserstellung für automatisierte Fertigungs- und Montageanlagen mittels formalisierter Prozessbeschreibung für einen höheren Reifegrad im Anlagenentwicklungsprozess	23

## Methods – Simulation im Lebenszyklus

<i>S. Dickler, U. Jassmann, D. Abel, J. Zierath</i>	Hardware-in-the-Loop-Simulation zur Evaluierung einer Modellbasierten Prädiktiven Regelung für Windenergieanlagen	25
<i>M. A. Rodriguez, D. Aufderheide, L. Di Matteo, A. Schwung</i>	Automatisierte Durchführung von Abnahmen gravimetrischer Dosiersysteme auf Basis von Hardware-in-the-Loop Simulation und Verifikation	27
<i>B. Ashtari Talkhestani, W. Schlögl, M. Weyrich</i>	Synchronisierung von digitalen Modellen mit realen Fertigungszellen auf Basis einer Ankerpunktmetode am Beispiel der Automobilindustrie	29

## Methods – Roboter-Engineering

<i>M. Vorderer, S. Schröck, S. Junker, S. Weltin, D. Palombo, A. Verl</i>	Automatische Programmierung und Bahnplanung als Grundlage für wandlungsfähige Anlagen in der Montagetechnik – Reduktion der Engineering-Aufwände durch intelligente, vernetzte Funktions-einheiten	31
<i>T. Masiak</i>	Entwicklung eines mechatronischen Baukastens für eine sichere Mensch-Roboter-Kollaboration <i>Der Beitrag lag zum Zeitpunkt der Drucklegung nicht vor.</i>	
<i>J. Berg, C. Richter, G. Reinhart</i>	Aufgabenorientierte Programmierung für die Mensch- Roboter-Kooperation – Integration einer Tätigkeitserkennung in die aufgabenorientierte Programmierung	33

## Methods – Methoden zur Digitalisierung

<i>T. Glock, S. Otten, S. Rebmann, E. Sax</i>	Modellbasierte Planung und Konfiguration von verteilten Funktionsumfängen in der Feldebene	35
<i>C. Wagner, U. Epple</i>	Integration von Serviceschnittstellen in Funktionsbaustein-architekturen	37
<i>H. Koziolek, D. Schulz, S. Sehestedt, R. Braun</i>	Plug-and-Produce based on Standardized Industrie 4.0 Asset Administration Shells – Use Cases, Architecture, Prototype, and Standardization Gaps	39
<i>C. Hildebrandt, A. Scholz, A. Fay, T. Schröder, T. Hadlich, C. Diedrich, M. Dubovy, C. Eck, R. Wiegand</i>	Semantische Allianz 4.0: Semantische Inhalte für Industrie 4.0	41

## Methods – Virtuelle Inbetriebnahme

<i>M. Barth,</i> <i>O. Stern,</i> <i>B. Iffländer,</i> <i>J. Jäkel,</i> <i>R. Schumann,</i> <i>R. Schmidt-Vollus,</i> <i>M. Oppelt,</i> <i>P. Hoffmann,</i> <i>R. Schulze,</i> <i>C. Richter,</i> <i>M. Hoernicke,</i> <i>L. Hundt</i>	Workflow zur Einführung der Virtuellen Inbetriebnahme im Engineering von Automatisierungssystemen – Weiterführung der Richtlinienarbeit des GMA FA 6.11	43
<i>C. Scheifele,</i> <i>O. Riedel,</i> <i>A. Verl</i>	Virtuelle Inbetriebnahme komplexer Produktionsanlagen mittels echtzeitfähiger Co-Simulation – Co-Simulation unter Einbindung industrieller Steuerungssysteme	45
<i>L. Baron,</i> <i>M. Freund,</i> <i>Ch. Martin,</i> <i>A. Braune</i>	Aspekte zur Entwicklung von industriellen Augmented Reality Lösungen	47

## Process Industries – Kommunikations-Infrastruktur

<i>J. Hähnliche,</i> <i>M. Kessler</i>	Neuer Standard für Ethernet im Feld der Prozessanlage: IEEE 802.3-10SPE	49
<i>T. Stein,</i> <i>J. Kiesbauer,</i> <i>J. Fuchs,</i> <i>U. Konigorski</i>	Bluetooth als Übertragungsprotokoll für Prozessregelungen	51
<i>H. Adamczyk,</i> <i>C. Siegwart,</i> <i>M. Krammel,</i> <i>G. Frey</i>	Anomalieerkennung in der Kommunikation industrieller Anlagen	53

## Process Industries – Safety & Security

<i>H. Rudolph,</i> <i>M. Müller</i>	Wie Sie Ihre IT-Sicherheit risikobasiert und betriebsverträglich steuern können – Erstellung eines Risk-Treatment-Plans auf Basis eines Detailed Risk Assessments nach IEC 62443-2-1	55
<i>A. Horch</i>	Getrennte Schutzebenen sind die Basis für Safety und Security – Independent Open Integration in der Funktionalen Sicherheit	57
<i>A. Ziegler,</i> <i>M. Roser,</i> <i>T. Kleinert</i>	Automatisierte Durchführung von Softwaretests für PLT-Sicherheitsfunktionen	59

## Process Industries – Digital Plant: Assistenzsysteme

<i>L. Schegner, S. Hensel, J. C. Wehrstedt, R. Rosen, L. Urbas</i>	Architekturentwurf für simulationsbasierte Assistenzsysteme in prozesstechnischen Anlagen	61
<i>H. J. Fröhlich, M. Colucci</i>	Erhöhte Anlagenverfügbarkeit durch die Integration von Industrie 4.0-fähigen Messgeräten in Cloud-basierte Asset Health-Applikationen	63
<i>M. Engelsberger, T. Greiner</i>	Dynamisches Cyber-Ressourcen Management im Cyber-physischen Produktionssystem – Ein Fog/Edge- und Cloud-orientiertes Lösungsmuster für zukünftige Industrie 4.0-Middlewares	65

## Process Industries – Modular Automation

<i>A. Stutz, M. Maurmaier, O. Thurau, A. Fink, M. Blumenstein, M. Unser</i>	Device as a Module – Ergebnisse einer Gebrauchstauglichkeitsstudie zur funktionalen Beschreibung intelligenter Feldgeräte auf Basis der Arbeiten am Module Type Package	67
<i>J. Ladiges, A. Köcher, P. Clement, A. Fay, T. Holm, P. Altmann, L. Urbas</i>	Engineering und Überprüfung der gegenseitigen Abhängigkeiten von Diensten eines automatisierten Moduls	69
<i>S. Jerlitschka, N. Bullinger, A. Stutz, M. Maurmaier</i>	Modulübergreifende Regelkreise mit I-Device – Ergebnisse einer Studie zur Modulintegration auf Basis der PROFINET-Funktionalität I-Device	71
<i>S. Hensel, H. Bloch, M. Hoernicke, A. Stutz, C. Kotsch, T. Holm, J. Bernshausen, S. Kronemeier, A. Haller, L. Urbas</i>	Beschreibung von Bedienbildern modularer Anlagen – Ergebnisse der NAMUR/ZVEI-Arbeitskreise (1.12.1 und 2.9.1) sowie des VDI/VDE-GMA FA 5.16	73

## Process Industries – Entscheidungsfindung leicht gemacht

<i>T. Heinzerling, M. Oppelt</i>	Integration von Gerätemodellen in die Prozesssimulation – Konzeptidee und Evaluierung einer Modellbeschreibung	75
<i>S. Heinze, M. Graube, L. Schegner, D. Arnu, R. Klinkenberg, A. Schmidt, M. Atzmüller, B. Klöpper, M. Dix, M. Hollender, M. Chioua, H. Al Mawla, A. Rehmer, A. Kroll, G. Stumme, L. Urbas</i>	Big Data in der Prozessindustrie – Frühzeitige Erkennung und Entscheidungsunterstützung	77
<i>J. Schlake, W. Schmidt, M. Bauer</i>	KPI Klassen und deren Anwendung für KPI Self-Service Entwicklung von KPI Bibliotheken basierend auf ISO22400 und MESA KPI-ML	79

## Digital World – IT-Security

<i>P. Semmelbauer, A. Grzembka, M. Lemmer</i>	Integriertes Sicherheitskonzept zum Schutz von Gebäude-automationssystemen in kritischer Infrastruktur	81
<i>K. Theuerkauf, M. Meier, D. Meister</i>	Verteilte Intrusion-Detection-Systeme für die Feld- und Leitebene	83
<i>B. Haase</i>	Verfahren zur sicheren Passwort-basierten Anwender-authentifizierung	85

**Digital World – OPC UA**

<i>M. Azarmipour, U. Epple</i>	Interoperabilität von OPC UA und DDS	87
<i>M. Schleipen, N. D'Agostino, M. Damm, A. Dogan, C. Ewertz, A. Gössling, R. Henßen, T. Holm, S. Hoppe, J. Ladiges, A. Lüder, O. Sauer, N. Schmidt, R. Wilmes</i>	Harmonisierung im Kontext Industrie 4.0 – AutomationML und OPC UA	89
<i>C. P. Iatrou, J. Rahm, R. Steinbrück, M. Kuntzsch, M. Hierholzer, M. Killenberg, L. Urbas</i>	OPC UA als adaptive Microservice-Architektur für die verteilte Automation von Linearbeschleunigern	91

**Digital World – Digitaler Zwilling im Lebenszyklus von Anlagen**

<i>R. Drath, S. Malakuti, S. Grüner, J. Grothoff, C. Wagner, M. Hoffmeister, P. Zimmermann</i>	Die Rolle der Industrie 4.0 „Verwaltungsschale“ und des „digitalen Zwilling“ im Lebenszyklus einer Anlage – Navigationshilfe, Begriffsbestimmung und Abgrenzung	93
<i>L. Evertz</i>	Entwicklung und Evaluierung einer Schnittstelle zum unternehmensübergreifenden Austausch von Lebenszyklusinformationen	95
<i>F. Wagner</i>	Durchgängige Anwendung des digitalen Zwilling im Kontext von Druckluftstationen – Konzepte und Methoden für die modellbasierte automatische Planung, Auslegung, Steuerung und Analyse von Druckluftstationen durch Mitarbeiter in Vertrieb und Service	97

## Digital World – Industrie 4.0: RAMI und Verwaltungsschale

<i>C. Diedrich, A. Bieliaiev, T. Schröder, J. Bock, A. Gössling, A. Willner, R. Hänisch, H. Kozolek, A. Kraft, F. Pethig, O. Niggemann, J. Reich, J. Vialkowitsch, F. Vollmar, J. Wende, T. Hadlich</i>	<i>Sprache für I4.0-Komponenten</i>	99
<i>D. Schulz, S. Grüner, A. Laubenstein, F. Fengler</i>	<i>FDI – Auf dem Weg zur Industrie 4.0 Verwaltungsschale für Feldgeräte</i>	101
<i>F. Palm, U. Epple</i>	<i>openAAS – Die offene Entwicklung der Verwaltungsschale</i>	103
<i>P. Gebhardt, C. Spiegel, A. Chachaj</i>	<i>Integrierte Verwaltungsschale nach RAMI 4.0 für Vier- und Zweileiter-Feldgeräte – NAMUR Open Architecture</i>	105

## Digital World – Industrie 4.0: Kommunikation & Dienste

<i>M. Wollschlaeger, M. Weinmann, T. Bangemann, O. Bieliaiev</i>	<i>Ableitung von Industrie 4.0-Modellen und -Diensten für Manufacturing Operations Management</i>	107
<i>D. Schulz, J. Schmitt, M. Stanica</i>	<i>Rolle der Kommunikationsschicht bei Industrie 4.0</i>	109
<i>S. Höme, H. Albrecht, T. Talanis</i>	<i>Aus dem Unterbau der Industrie 4.0 – Ein Beitrag zur Kommunikationsinfrastruktur für zukünftige Automatisierungs- systeme</i>	111

## Discrete Manufacturing – Engineering

<i>A. Scholz, C. Hildebrandt, C. Wentzien, T. Mathes, A. Fay</i>	Modellierung von Fertigungsfunktionen bringt Industrie 4.0 in Bestandsanlagen	113
<i>M. Zürn, M. Reichenbach, T. Reichling, J. Hodapp, U. Berger</i>	Smarte Produktionsassistenten für die wandlungsfähige Produktion – Neue Fertigungskonzepte im Zeitalter der digitalen Transformation	115
<i>A. Gellermann, A. Fay</i>	Agiles Änderungsmanagement in der Automation industrieller Anlagen	117
<i>P. Marks, M. Weyrich</i>	Assistenzsystem zur Aufwandsabschätzung der Software- Evolution von automatisierten Produktionssystemen	119

## Discrete Manufacturing – Sensorik

<i>W. Yap Tan, T. Steiner, N. V. Ruiter</i>	Optimierung der Sensoranordnung für ein bildgebendes Luftultraschallsystem	121
<i>S. Bahr, M.-A. Otto, T. Domaschke</i>	Konzepte zur Nachführung des Messvolumens eines lateral messenden Weißlichtinterferometers	123
<i>W. Kuipers, J. Förster, C. Koch, D. Jurkow, C. Lenz, S. Ziesche</i>	Ein miniaturisierter Flammenionisationsdetektor für ein intelligentes Feldgerät zur Überwachung der Produktqualität oder der Umwelt	125

## Posterpräsentationen

<i>C. Telgen</i>	Industrial Security – Security Konzept für Prozess- und Fertigungsindustrie – Produktivität umfassend schätzen mit industriespezifischen Konzepten	127
<i>S. Willmann, A. Gnad, L. Rauchhaupt</i>	Unified Assessment of Dependability of Industrial Communication	129
<i>C. Spiegel, D. Kuschnerus, P. Gebhardt, R. Kaisler, H. Mucke</i>	DnSPro – Offene Plattform für smarte Produktionssysteme	131
<i>A. Fogel, M. Gysin, T. Heverhagen, C. Wittenberg</i>	Modellgetriebene Entwicklung von plattformunabhängigen Automatisierungslösungen für industrielle Nähprozesse	133
<i>T. Baudisch, V. Brandstetter, J. C. Wehrstedt, M. Weiß, T. Meyer</i>	Ein zentrales, multiperspektivisches Datenmodell für die automatische Generierung von Simulationsmodellen für die Virtuelle Inbetriebnahme	135
<i>W. Zou, D. Tho Le, U. Berger</i>	Anwendung von Technologien der Erweiterten Realität bei der Entwicklung eines Robotersystems für Montageaufgaben	137
<i>C. v. Trotha, S. Nazari, C. Sonntag, B. Beisheim, S. Krämer, S. Engell, U. Epple</i>	Betrachtung eines chemischen Verbundstandorts als System of Systems zur dezentralen Optimierung – Das notwendige Informationsmanagement	139
<i>J. Müller, R. Nienhaus, E. Hinck</i>	Anwendungsorientierte Zertifizierung von Systemen der Gebäudeautomation	141
<i>M. Stursberg, H. Pohlheim</i>	20 Varianten, ein Release: Plattformstrategie in der Controller-Softwareentwicklung bei Vaillant	143
<i>J. Rahm, M. Graube, L. Urbas</i>	Integriertes Engineering mithilfe von Roundtrip-Konzepten in der Prozessindustrie – Datenkonsistenz von der Projektierung bis zur Demontage	145
<i>S. Rohr, N. Sinner, G. Shaabany</i>	IT-Sicherheit als Startpunkt neuer Geschäftsmodelle	147

	Seite
<i>M. Oppelt, W. Kruppa, T. Bell</i>	Virtuelle Inbetriebnahme auf Basis von automatisch generierten Wasserfahrtsmodellen 149
<i>M. Ehrlich, H. Trsek, D. Lang, L. Wisniewski, V. Wendt, J. Jasperneite</i>	Security Concept for a Cloud-based Automation Service 151
<i>S. Spies, K. Lenkenhoff, B. Kuhlenkötter</i>	Cyber-Physisches System zur Handhabung sensibler Objekte unter Berücksichtigung der Objekteigenschaften und dessen Verhalten 153
<i>L. Kiefer, C. Richter, G. Reinhart</i>	Autonome Produktionssteuerung mittels direkter Identifikationsverfahren 155
<i>E. Hintze, S. Magnus, J. Krause</i>	Formale Verifikation von Kommunikationsprotokollen am Beispiel von IO-Link Safety 157
<i>F. Goppelt, R. Schmidt-Vollus</i>	Beitrag zur Modellierung von Kreiselpumpen mit konzentrierten Parametern und Möglichkeiten zur Parameterschätzung 159
<i>A. Diedrich, J. Eickmeyer, P. Li, T. Hoppe, M. Fuchs, O. Niggemann</i>	Universal Process Optimization Assistant for Medium-sized Manufacturing Enterprises as Self-learning Expert System 161
<i>P. Kleen, H. Flatt, J. Jasperneite</i>	Erweiterung des „Secure Plug & Work“ für Safety-kritische Systeme 163
<i>S. Pfraun, D. Meier</i>	Security-Testing für industrielle Automatisierungssysteme – ISuTest: Ein modulares Framework zur automatisierten Unterstützung bei der Entwicklung von sicheren Automatisierungskomponenten 165
<i>T. Usländer, K. Watson</i>	Smart Factory Web – Plattform eines offenen Marktplatzes für Produktionsfähigkeiten 167
<i>B. Rauscher</i>	Einfache Verarbeitung von komplexen Protokollen zur Kommunikation mit Feldgeräten in der Prozessautomation – Möglichkeiten zur Nutzung von Feldgeräte-Informationen in Cloud-Plattformen 169



# Vorausschauende Instandhaltung im Kontext der Industrie 4.0

## Zentralisierte Technik-Expertise durch den Einsatz von Augmented Reality

Dr.-Ing. **J. Elsner, E. Fuchs, G. Bart**, Sybit GmbH, Radolfzell;  
Prof. Dr. **R. Mueller**, Fakultät Informatik, Hochschule Konstanz

### Kurzfassung

Die vorausschauende Instandhaltung (engl. Predictive Maintenance) gewinnt für die produzierende Industrie weltweit an Bedeutung, da Produktionsmodernisierungen im Rahmen der Industrie 4.0 sowie die zunehmende Verwendung von heterogenen Sensoreinheiten die Instandhaltungsplanung immer komplexer gestalten. Darüber hinaus ist das Service-Kontingent, welches ein Maschinenbauer seinen Kunden im Bereich der Instandhaltung anbieten kann, durch die Ressource Mensch stark limitiert und nur ortsgebunden einsetzbar. Durch herkömmliche Instandhaltungsprozesse entstehen somit oft hohe Kosten, sowohl für den Maschinenbauer als auch für den Anwender.

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in aktuelle Forschungen der Sybit GmbH in direkter Zusammenarbeit mit der HTWG Konstanz und renommierten Maschinenbau-Unternehmen. Gemeinsames Ziel ist es, vorhandene Instandhaltungsprozesse durch die Verwendung von Augmented Reality (AR) und weiterführenden Technologien zu unterstützen. Hierbei wird ein Stufenplan erarbeitet und vorgestellt, in dem die notwendigen Erweiterungen auf dem Weg von der Implementierung eines Pilotprojekts bis hin zur vollwertigen Industrie-4.0-Anwendung diskutiert werden. Abschließend wird die plausible Erweiterbarkeit der vorgestellten Entwicklungen erörtert und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Domänen vorgestellt.

### Abstract

The modernization of production processes and the increasing use of heterogeneous sensor units make maintenance management more and more complex. At the same time, the use of human resources as service providers is limited in terms of physical performance and local availability. As a result, conventional maintenance processes might involve high costs, both for the engine builder and the customer. Predictive maintenance is therefore a crucial aspect, especially in the context of Industry 4.0.

This paper gives insight into current research by Sybit GmbH in cooperation with the University of Applied Sciences in Constance (HTWG) and various renowned machine-engineering companies. It aims at optimizing existing maintenance processes by implementing Augmented Reality (AR) and other technologies. A step-by-step plan is presented that includes necessary enhancements and their relevant potentials and illustrates the course from implementing a pilot project to developing a full-fledged Industry 4.0 application. Finally, we explain the plausible extensibility of the developments presented and discuss the transformability of the results to other fields.

## 1. Hintergrund und Motivation

Beispiel Maschinenbau: Das Service-Kontingent, das ein Maschinenbauer seinen Kunden im Bereich der industriellen Instandhaltung anbieten kann, ist durch die Ressource Mensch stark limitiert und meist nur ortsgebunden realisierbar. Für Maschinenbauer, die ihre Maschinen weltweit vertreiben, ergeben sich durch herkömmliche Instandhaltungsprozesse somit oft hohe Kosten, sowohl für den Maschinenbauer als auch für den Kunden [1]. Durch die Vernetzung der betrieblichen Prozesse im Unternehmen und die stetige Weiterentwicklung von Informationstechnologie (IT) und Sensoreinheiten ergeben sich diverse Strategien, um die herkömmliche Instandhaltung durch technologische Erweiterungen zu unterstützen und zu verbessern [2].

Im Folgenden wird das Konzept der zentralisierten Technik-Expertise vorgestellt und anschließend in einem sequenziellen Stufenplan erweitert. Ziel ist es, durch die Implementierung eines überschaubaren Pilotprojektes mit direktem Praxisbezug eine valide und nachvollziehbare Industrie-4.0-Anwendung zu entwickeln, welche die Herausforderung der limitierten Verfügbarkeit von Technik-Expertise in der Instandhaltung bewältigen kann. Es sei hierbei explizit angemerkt, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit nicht um ein rein theoretisches Werk handelt, sondern die vorgestellten Ergebnisse dem aktuellen Stand der Forschung im gemeinsamen Verbund der Sybit GmbH, der Hochschule Konstanz und dem Maschinenbauer Bühler entsprechen.

## 2. Das Konzept der zentralisierten Technik-Expertise

Das Konzept der zentralisierten technischen Expertise basiert darauf, dass Maschinenbauer die limitierte Vor-Ort-Expertise durch Anwendung von Augmented Reality-Hardware (AR) und entsprechender Software digital zur Verfügung stellen. Somit werden Techniker nicht mehr notwendigerweise in den externen und kostenintensiven Einsatz gesandt, sondern können Probleme im Austausch mit einem zugeschalteten Mitarbeiter des Kunden vor Ort

# Improving Assistance Systems in Final Assembly through Integrating Data Analytics and Data Fusion

**Christoph Legat<sup>1</sup>, Benno Lüdicke, Assystem Germany, Munich;  
David Renaud, Assystem France, Paris**

## Abstract

The ongoing penetration of networked cyber-physical systems in production enables exchanging, gathering, and processing data anywhere, anyhow, anytime. This trend boosts industrial data analytics. The merging of a huge set of (sensor) data and their relation to mathematical models facilitate the generation of precise, virtual representations of the real world. These virtual replicates of real world physical entities – also known as digital twins – inherit the potential to improving existing applications significantly and, by that, are also enabler for developing novel applications. Data analytics enable gaining new findings and insights, and based on that, make the definition of new or more precise mathematical models possible. In contrast, the fusion of data and their processing in context of calculation models provide the eventual opportunity – the realization of novel applications. A tight integration of both, data analytics and data fusion, provide synergies for unleashing unexploited potential of data-based value creation. The benefits of such an integrated approach are described and exemplified through a practical application on worker assistance and decision making in final assembly which also serve as base for discussing business models and opportunities.

## 1. Introduction

Applying modern information technology in the domain of machine and plant automation is the major technological driver Industrie 4.0. Cyber-physical systems will serve as conceptual base of those Industrie 4.0 automated production systems for realizing intelligent, technical systems which comprise of networked embedded computing systems for monitoring and controlling physical processes while taking locally as well as globally (i.e. via internet) available information into account. A variety of works characterizing Industrie 4.0 by means of design principles exist which define (i) connectivity as fundament of Industrie 4.0 applications. This in turn enables (ii) collecting and processing data for novel or at least improved applications. Currently frequently discussed applications are (iii) assistance systems for improving

---

<sup>1</sup> E-Mail: Christoph Legat <CLegat@assystem.com>, Benno Lüdicke <BLuedicke@assystem.com>, David Renaud <DRenaud@assystem.com>

human decision making and manufacturing operations. These three major design principles were the origin of an industrial project in context final assembly whose results are presented in this paper.

Assembly processes are typically not operated fully automatically. This can be lead back to various reasons, e.g. required flexibility during assembly and/or disproportionately high costs for automating a respective task. Most of these tasks are critical regarding the quality of the product to be assembled. A popular example for such a critical semi-automatic task is the preparation of assembly by means of mounting holes. In the following, processing and assembly of components made of composite material is considered as it is the case for products with lightweight design. Non-conformance is often critical due to safety reasons. Nevertheless, a conducted preliminary study indicates that this task is comparably error prone and results in proportionally high costs due to rework and undetected non-conformance of the product.

The remainder of this paper is structured as follows: Subsequently in Section 2, the drilling process characteristics and influencing factors on product quality are presented which were gained during a preliminary study through data analytics. In Section 3, a comparison of three different statistical methods for detecting so-called transient phase anomalies is presented. A data-driven solution for non-conformance identification and rework assistance for improving the drilling process in composite material assembly is presented in Section 4. Benefits of data-driven business models from a solution provider perspective are presented in Section 5. The paper is summarized in Section 6 providing also an outlook on future works.

## 2. Drilling Process Characteristics and Product Quality Factors

The automatic drilling process of a multi-layered composite material comprises the following phases: At first, the drilling process is started in the approach phase where material is not yet penetrated, afterwards there are a penetrating phases for each of the composite material's layers, and the drilling ends during the final phase. In Figure 1 depicts the torque intensity during a drilling process of two-layered composite material.

# Nutzung der Redundanz eines 7-DOF Leichtbauroboters in Mensch-Roboter-Kollaboration-Anwendungen am Beispiel der roboterassistierten Rehabilitation

**S. Husmann, M.Eng., Dipl.-Ing. M. Kolditz, Dr.-Ing. T. Albin,**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **D. Abel,**  
Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen University, Aachen

## Kurzfassung

Der Einsatz des KUKA Leichtbauroboters (LBR) in der Rehabilitation von Schlaganfallpatienten ist Gegenstand eines Forschungsprojektes mit interdisziplinärem Konsortium aus Industrie, Klinik und Universität. Der Vorteil dieses LBR ist, dass seine zusätzliche siebte Achse dazu genutzt werden kann, die Stellung des Roboterarms auf unterschiedliche Vorgaben zu optimieren. Dies ist neben der Rehabilitation bei verschiedenen Anwendungen, in denen der Mensch in direkte Interaktion mit dem Roboter tritt sinnvoll, damit der Roboter beispielsweise genügend Abstand vom Menschen hält, um den Menschen in seiner Bewegung nicht einzuschränken.

In diesem Beitrag wird eine intuitive Methode zur Auflösung der Redundanz des Roboters unter Verwendung von Starrkörpermodellen von Mensch und Roboter in OpenSim präsentiert. Dafür müssen die Bewegung des Menschen und des LBRs als zeitliche Verläufe der Position von optischen Markern dargestellt werden. Zur Auflösung der Redundanz wird ein zusätzlicher virtueller Marker am LBR definiert, über dessen Position der Roboter in eine bestimmte Richtung gezogen werden kann.

Im Mensch-Roboter-Kollaboration-Beispiel (MRK-Beispiel) der Rehabilitation werden verschiedene anwendungsorientierte Varianten der Positionierung dieses virtuellen Markers vorgestellt und miteinander verglichen, die daraufhin in das gesamte Rehabilitationssystem integriert werden. Der vorgestellte modellbasierte Ansatz ist einfach und intuitiv auf andere MRK-Anwendungen übertragbar, da sowohl die eigentliche Aufgabe in einem Modell im kartesischen Raum definiert werden kann, als auch die Redundanz durch die Platzierung eines einzigen virtuellen Markers aufgelöst werden kann.

## 1. Einleitung und Motivation

262.425 Menschen erlitten in Deutschland 2008 einen Schlaganfall, wobei 25% der Patienten direkt im Anschluss in eine stationäre Rehabilitationseinrichtung entlassen wurden [1]. Bei der Rehabilitation müssen die Patienten bestimmte alltägliche Bewegungen so oft wie möglich wiederholen, um diese Bewegungen neu zu erlernen. Um diese Rehabilitationsmaßnahme zu automatisieren ist der LBR aufgrund seiner Sensitivität sehr gut geeignet. Auch das Einlernen von Bewegungen mit einem Therapeuten und diese mit dem Patienten selbstständig zu wiederholen ist mit dem LBR möglich. Unter Ausnutzung der Redundanz kann der Roboter eine bestimmte Trajektorie mit einer anderen Achskonfiguration erlernen als bei der Wiederholung nur mit dem Patienten. Allerdings muss für die praktische Anwendung diese Achskonfiguration automatisch oder sehr intuitiv vom Therapeuten geändert werden können.

Bei dem hier vorgestellten Beispiel soll sich der Patient während der Rehabilitationsübung wohl fühlen, um sich seiner individuellen Rehabilitationsaufgabe widmen zu können [2]. Aufgrund dessen darf der Roboter den Patienten während Übungen nicht in seinem Arbeitsraum stören und sollte möglichst immer vom Patienten entfernt ausgerichtet sein. Die Ausrichtung richtet sich bei der Rehabilitation des rechten Arms hauptsächlich nach der Position des Kopfes, des Armes oder der allgemeinen Position des Patienten.

## Auflösung der Redundanz

Zur Auflösung der Redundanz gibt es viele Konzepte und Optimierungsvarianten. Unterschieden werden insbesondere zwei redundanzauflösende Varianten, einmal nach der Position und einmal nach der Geschwindigkeit des Roboters. Eine Übersicht ist in [3] zu finden, wo der Autor viele verschiedene Anwendungsbereiche aufzeigt, da redundante Roboter zunehmend in automatisierten Anlagen eingesetzt werden.

Der Roboterhersteller Kuka hat bei dem Leichtbauroboter iiwa einen zusätzlichen Redundanzwinkel eingeführt [4]. Zu jeder Endeffektorposition des Roboters wird neben der kartesischen Position dieser Winkel gespeichert, um die Position wieder mit der gleichen Achsstellung anzufahren. Der Redundanzwinkel kann vom Anwender während des Einlernens verändert werden. Für das hier gegebene Beispiel der Rehabilitation ist diese Variante nicht geeignet, da der Bediener des Roboters, der Therapeut, kein Roboterexperte ist und sich beim Einlernen einer Bewegung auf seine Aufgabe, den Patienten, konzentrieren muss. Somit kann der Roboter nicht während des Einlernens einer Trajektorie vom Anwender optimiert werden, sondern muss sich durch intuitive und einfache Vorgabe jederzeit selber optimieren.

# PROFlanalytics – die Brücke zwischen PROFINET und Cloud-basierter Prozessdatenanalyse

**Sebastian Schriegel, Florian Pethig,**

**Dr.-Ing. Stefan Windmann, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo;**

**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite,**

**Fraunhofer IOSB-INA und Institut für Industrielle Informationstechnik  
der Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo**

## Kurzfassung

In Prozessdaten stecken wertvolle Informationen, welche über die reine Prozesssteuerung hinaus zur Überwachung, Diagnose und Optimierung der Prozesse genutzt werden können. Die Anforderungen an eine Systemarchitektur, mit der diese Funktionen umgesetzt werden können, sind dabei vielfältig: historische Datenhaltung, Plug and Play, Ortsunabhängigkeit, Standards, Kosteneffizienz, Migrationsfähigkeit/Investitionsschutz, Sicherheit und Robustheit. Eine Cloud-Architektur bietet skalierbaren Speicherplatz, Kosteneffizienz und Ortsunabhängigkeit. Die Übertragung insbesondere hochfrequenter Prozessdaten in eine Cloud und die einfache Konfigurierbarkeit dieses Systems (Plug and Play) stellen allerdings nicht zu vernachlässigende Herausforderungen dar. PROFINET oder andere Echtzeit-Ethernet-Systeme sind für die Übertragung von Daten in eine Cloud nicht ausgelegt, da sie nicht auf dem Internetprotokoll (IP) basieren. Bei M2M-Lösungen wie OPC UA und MQTT, die für solche Anwendungsfälle konzipiert wurden ergeben sich Herausforderungen bzgl. der Übertragung hochfrequenter Prozessdaten und der einfachen Integration von M2M in PROFINET-Anlagen. Um den genannten Herausforderungen zu begegnen, könnten neue PROFINET-Funktionen die Integration von PROFINET in eine Cloud vereinfachen. Diese Funktionen werden in diesem Beitrag unter dem Begriff PROFlanalytics (PROcess Field Analytics) diskutiert und stellen zum Beispiel automatisch semantische Informationen, auf PROFINET-Stacks optimierte M2M-Schnittstellen und Vorverarbeitungsfunktionen in PROFINET-Controllern oder Devices standardisiert zur Verfügung.

## 1. Einleitung

In Echtzeit-Prozessdaten stecken wertvolle Informationen, welche über die reine Prozesssteuerung hinaus zur Überwachung, Diagnose und Optimierung technischer Prozesse genutzt werden können. Um diese Informationen in den häufig komplexen und großen Daten-

mengen zu finden, sind Analysesysteme notwendig. Da für die Analysen häufig auch Expertenwissen erforderlich ist, werden die Systeme als Assistenzsysteme (Bedienung und Expertenwissen durch Menschen) ausgeprägt [1]. Analysealgorithmen können auf der Steuerungsebene (z.B. SPS) implementiert werden. Ein direkter Zugriff auf die Prozessdaten ist dabei implizit gegeben. Häufig sind aber eine ortsunabhängige Funktionsverfügbarkeit und eine Analyse über Einzelmaschinen oder einzelne Prozessteile hinaus gefragt. Hier bietet sich eine Cloud-Architektur parallel zur Prozesssteuerung an, die zusätzlich eine einfach skalierbare Speichergröße und Rechenleistung ermöglicht. Heute ist allerdings ein erheblicher Engineering- und Hardware-Aufwand notwendig, um die vorhandenen Prozesssignale einer Auswertung außerhalb der SPS zuzuführen. Die Lösungsbandbreite ist dabei hoch: IEC 61131-Funktionsbausteine können Daten z.B. über TCP/IP in externe Datenbanken schreiben, die Echtzeit-Kommunikation kann mit Network-TAPs gespiegelt werden oder Gateways können die Daten z.B. auf M2M-Kommunikationsprotokolle [2][12] umsetzen. Weiter existieren spezifische Herstellerlösungen wie z.B. das IoT-Betriebssystem MindSphere von Siemens, das die Daten aus Siemens-Steuerungstechnik verarbeitet und mit OPC UA-Komponenten anderer Hersteller kommunizieren kann [4], oder die Cloud-Plattform PROFICLOUD von Phoenix Contact [5].

Die Anforderungen an die Systeme und die Prozessdatenübertragung zwischen lokalem Steuerungssystem und Cloud sind allerdings sehr vielfältig: historische Datenhaltung, Semantik, Datenqualität (Frequenz und Zeitstempel) [3], Einfachheit (Plug and Play/kein Engineering) mit einem herstellerneutralen Standard sowie Kosteneffizienz und Nachrüstbarkeit. OPC UA ist ein Kandidat, der die Basis für die Übertragung von Informationsmodellen (Semantik), Ad-Hoc-Kommunikation ohne Engineering (Plug and Play) und historischen Zugriff auf Prozessdaten verspricht. Die Übertragung von hochfrequenten Prozessdaten über M2M (ohne Verlust an Datenqualität) ist heute aber kaum realisierbar, da sehr leistungsfähige Schnittstellen in den Devices und Kommunikationsnetzen mit ausreichend (garantierbarer bzw. planbarer) Bandbreite fehlen. Der Abgriff der Prozessdaten mit Network-TAPs [6] ermöglicht demgegenüber die Speicherung auch hochfrequenter Daten. Semantische Informationen müssen aber auf anderem Weg hinzugefügt werden und es entstehen hohe Engineering-Aufwände.

Dieser Beitrag beschreibt in Kapitel 2 die Anwendung und Potentiale von Prozessdatenanalysen in Produktionsanlagen. In Kapitel 3 werden die Anforderungen an Systemlösungen strukturiert und in Kapitel 4 existierenden Lösungskonzepten gegenübergestellt und die technischen Herausforderungen aufgezeigt. In Kapitel 5 werden Lösungskonzepte diskutiert.

# Time-Sensitive Networking (TSN) in modularen Industrie 4.0 Anlagen

Dipl.-Ing. **A. Hennecke**, Dipl.-Ing. **S. Weyer**,  
*SmartFactory*<sup>KL</sup>, Kaiserslautern

## Kurzfassung

Seitdem der Begriff „Industrie 4.0“ auf der Hannover Messe 2011 ausgerufen wurde steht die Digitalisierung und die durchgängige Vernetzung der Produktion im Fokus von Wissenschaft und Politik. Wandelnde Marktbedürfnisse fordern kundenindividualisierte Produkte bei immer kürzeren Produktlebenszyklen – modular skalierbare Anlagen mittels Plug & Play stellen hierbei einen Lösungsansatz dar.

Modularität darf hierbei allerdings nicht nur auf mechatronische Standards reduziert werden. Ferner muss auch die informationstechnische Integration der Automatisierungskomponenten in den Produktionsablauf nahtlos erfolgen. Über proprietäre Feldbussysteme ist dies bisher nicht realisierbar – für zukünftig wandlungsfähige Anlagen ist eine herstellerunabhängige Echtzeitkommunikationslösung allerdings zwingend notwendig. An dieser Stelle können neue Standards der IEEE Arbeitsgruppe Time-Sensitive Networking helfen, eine standardisierte Kommunikationsbasis bereitzustellen.

In diesem Beitrag wird zum einen TSN als möglicher neuer Layer 2 Standard zur Umsetzung einer generischen Netzwerkinfrastruktur vorgestellt, welche die Modularität und Plug & Play Fähigkeit von s.g. Industrie 4.0 Anlagen erhöhen kann. Darüber hinaus werden Ansätze einer vereinfachten und anwendungsgetriebenen Konfigurationslösung mit zentralen Komponenten motiviert und näher durchleuchtet.

## 1. Einleitung

Die industrielle Produktion ist der wachsenden Globalisierung und Segmentierung der Absatzmärkte sowie den sich wandelnden Marktbedürfnissen nach einer ressourceneffizienten, kundenorientierten Wertschöpfung zunehmend ausgesetzt. Klassische, in der Praxis geläufige Lösungen der Produktionsautomatisierung, stellt dies vor neue Herausforderungen und führt sie an wirtschaftliche und technologische Grenzen. Marktdurchdringende Konsumgüter stehen demnach unter immensen Kosten- und Innovationsdruck, besitzen sie doch zunehmend kürzere Nutzungsdauern und müssen gleichzeitig in vielen kundenindividuellen Varianten kurzfristig verfügbar sein [1]. Um diesen allgegenwärtigen Anforderungen zukünftig ge-

recht zu werden, wird mit voranschreitender Modularisierung und Standardisierung die Voraussetzung geschaffen, wesentlich flexiblere und skalierbare Fertigungskonzepte in der industriellen Produktion zu realisieren. Zwecks einer optimalen Variantenkonfiguration hat der jeweilige Hersteller somit die Möglichkeit, durch eine skalierbare Zusammenstellung seiner Fertigung dem konkreten Bedarf nach zu produzieren und sich einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz zu sichern [2]. Paradigmen wie Modularität und Plug & Play werden als Enabler für die flexible und skalierbare Fertigung gesehen [3].

Modularität und Plug & Play bedeutet hierbei nicht nur die Bereitstellung einer mechanischen Schnittstelle zwischen Feldgeräten, Modulen oder Maschinen, sondern insbesondere die Einbindung in den Produktionsablauf und die automatische Konfiguration der Geräte und der Kommunikationsstruktur. Zur Erreichung dieses Ziels werden allgemein anerkannte und verwendete Standards benötigt, welche zum einen standardisierte Schnittstellen und Verhalten bereitstellen, zum anderen aber generisch genug sind, um möglichst viele Anwendungsszenarien abzudecken.

Klassische Projektierungslösungen in der Automatisierungstechnik (AT) sehen aber heute noch kein echtes Plug & Play vor. Insbesondere in echtzeitkritischen Anwendungen müssen Steuerung und Kommunikation als integrierte Lösung projektiert werden. Hierfür stehen zwar unterstützende Engineering-Tools zur Verfügung, diese können allerdings nur für eine statische Anwendung und meist proprietäre Technologien genutzt werden. Es müssen daher Lösungen gefunden werden, welche eine anwendungsgetriebene Autokonfiguration der Netzwerkinfrastruktur ermöglicht.

Time-Sensitive Networking (TSN) bezeichnet Ethernet Standards, welche aktuell in der IEEE 802.1 Arbeitsgruppe TSN definiert werden, um ein konventionelles Ethernet auf Layer 2 unter anderem um eine Echtzeitfähigkeit zu erweitern. Dies kann den nächsten Schritt einleiten und die zweite Schicht (Layer 2 - Data-Link) standardisieren, um somit eine echtzeitfähige Layer-2 Infrastruktur bereitzustellen. Derartige Mechanismen müssen aktuell allerdings noch manuell konfiguriert werden. In dynamischen und komplexen Netzwerken ist dies nur schwer zu managen. Daher werden Konzepte benötigt, welche die Konfiguration der verschiedenen Mechanismen und Standards innerhalb eines TSN-Netzwerks unterstützen sowie automatisieren können. Das neue Netzwerkparadigma Software-Defined Networking (SDN), welche die Zentralisierung einer Konfigurationseinheit vorsieht hat das Potential diese Lücke zu schließen.

Ziel dieses Beitrages ist es, TSN als möglicher neuer Layer 2 Standard zur Umsetzung einer generischen Netzwerkinfrastruktur vorzustellen, welche die Modularität und Plug & Play Fähigkeit von Industrie 4.0 Anlagen erhöhen kann, aber auch die Notwendigkeit sowie Ansätze

# Gegenüberstellung der deterministischen Kommunikationsmechanismen von TSN: Netzwerkplanung und Telegrammunterbrechung

**Können die TSN-Mechanismen, ohne weiteres, die Ultra-Low E2E Verzögerung erreichen?**

Dipl.-Ing. **Seifeddine Nsaibi**, Bosch Rexroth AG, Lohr a. Main

## Abstract

Time Sensitive Networking (TSN) ist eine IEEE Arbeitsgruppe, die eine Reihe von Kommunikationsmechanismen definiert, um Ethernet hoch deterministisch zu machen. Dies ist nur dann möglich wenn die End-To-End-(E2E) sowie die Weiterleitungsverzögerung eines zeitkritischen Frames viel stärker reduziert werden als heute der Fall ist mit Standard Ethernet. Dabei spielt die Interferenzverzögerung, die durch eines konkurrierenden Frames resultiert wird, eine zentrale Rolle. Hierfür spezifiziert TSN zwei Standards: IEEE 802.1Qbu, ein Mechanismus zur Unterbrechung des konkurrierenden Frames, sowie IEEE 802.1Qbv, ein Mechanismus zur Reservierung von Zeitschlitten für zeitkritischen Frames. Mit den Schutzbändern (engl. Time Guard Window - TGW) werden die Zeitschlitte geschützt. Jedes konkurrierenden Frame, welches nicht im TGW passt, wird blockiert. Beide Standards haben ihre Vorteile und Nachteile, die in dieser Veröffentlichung gezeigt werden.

Weiterhin werden Maßnahmen zur Reduzierung der Worst-Case End-To-End Verzögerung vorgestellt und bewiesen, dass die TSN-Standards, ohne weiteres, nicht die Ultra-Low E2E Verzögerung erreichen können.

## 1. Einführung

### Die Evolution von Ethernet

37 Jahre nach seiner ersten Spezifikation im IEEE, geht die Entwicklung von Ethernet immer noch weiter. Mehrere Anpassungen waren notwendig, um die QoS zu verbessern. Die Übertragungsrate wurde mehrfach erhöht, die Kollisionen von Frames mit dem Full-Duplex Verfahren vermieden und der zeitkritische Verkehr anhand eines VLAN-Tags identifiziert und priorisiert (S. Figure 1). In den Achtzigern war Ethernet ein Shared-Medium, mit einer Übertragungsrate von gerade noch 10 Mbps. Wegen der Halb-Duplex Übertragungsverfahren, war Ethernet für zeitkritische Anwendungen nicht geeignet. Dieser Nachteil wurde mit dem

Einsatz von Full-Duplex Übertragungsverfahren sowie die Switches gelöst. In den Neunziger, wurden Fast-Ethernet (100 Mbps) sowie Gigabit-Ethernet (1000Mbps) vorgestellt, was eine hohe Aufmerksamkeit auf Ethernet im industriellen Sektor auf sich zog. Parallel dazu stieg im Audio-Video Sektor der Bedarf nach einer hohen Synchronisation sowie eine Anpassung von Ethernet, um Netzwerk Ressourcen (Bandbreite) für Audio- und Video-Daten zu reservieren. Dies hat dazu geführt, dass im Jahr 2005 die IEEE Arbeitsgruppe Audio-Video-Bridging (kurz AVB) entstanden ist. IEEE Ethernet wurde um neue Spezifikationen, wie der Credit-Based-Shaper (kurz CBS), erweitert. Dennoch konnte CBS die E2E Verzögerung nicht reduzieren. Genau wie mit seinem Vorgänger, Strict-Priority Algorithm SPA von IEEE 802.1Q, kann CBS die Interferenzverzögerung nicht ausschließen. Erst mit den TSN-Standards IEEE 802.1 Qbu und IEEE 802.1 Qbv kann die Interferenzverzögerung stark reduziert oder sogar vermieden werden.

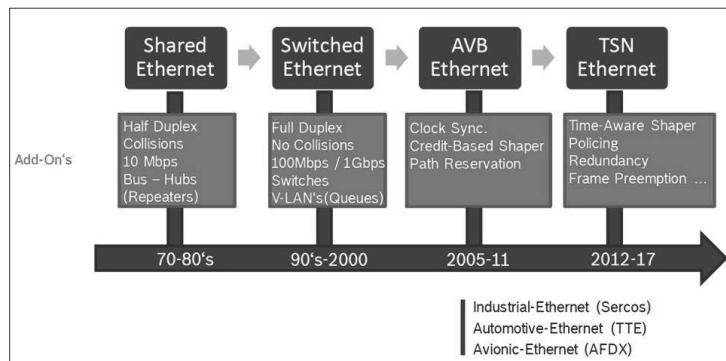


Fig. 1: Die Evolution von Ethernet

Feldbussysteme als eigens für die Automatisierungstechnik entwickelte Kommunikationssysteme bilden die erprobte und Millionenfach eingesetzte erste Generation der industriellen Kommunikation. Die zweite Generation der industriellen Kommunikation hat das Ethernet als Basis. Mittlerweile hat sich Ethernet in der Automatisierungstechnik fest etabliert. Möglich wurde dies durch die enormen technischen Fortschritte und Erweiterungen wie die Erhöhung der Übertragungsrate, die Einführung von Full-Duplex Übertragung und der Einsatz von Switches.

Trotzdem war das für manche Industrie-Anwendungen mit harten Echtzeit-Anforderungen (z. Bsp. Motion-Control) immer noch nicht ausreichend. Daher mussten die Maschinen- und Anlagenhersteller das Ethernet um Echtzeitfähigkeit erweitern. Dies hat dazu geführt, dass

# Bewertung des Regelverhaltens bei deterministischen Prozessstörungen mit modellbasierten Methoden

M.Sc. Stanislav Kardash, Covestro Deutschland AG, Leverkusen

## Kurzfassung

Bewertung des dynamischen Verhaltens von Regelungssystemen bei deterministischen Prozessstörungen ist ein wichtiger Bestandteil von CPM<sup>1</sup> und ist bedeutend für die Instandhaltung und Optimierung von Automatisierungssystemen in der chemischen Prozessindustrie. Zunächst wird die klassische Methode zur Bewertung des Führungsverhaltens auf Basis der Sollwertänderung mit einigen Modifikationen vorgestellt. Der Schwerpunkt dieses Beitrages liegt auf der Erarbeitung einer modellbasierten Methode zur Bewertung des Regel- und des Störverhaltens von Regelungssystemen. Es wird für die Quantifizierung der Regelgüte ein Referenzsystem auf Basis eines optimalen linear-quadratischen Reglers und eines Luenberger-Beobachters entworfen.

## 1 Bewertung des Führungsverhaltens auf Basis der Sollwertänderung

### 1.1 Methodische Grundlagen

Das Führungsverhalten beschreibt die Antwort des geschlossenen Regelkreises auf die Sollwertänderung. Es wird dabei bewertet, wie gut das dynamische System dem Sollwert folgen kann. Eine Sollwertänderung kann als messbare deterministische Störung angesehen werden und wird vom Anlagenfahrer oder einem überlagerten Regler vorgenommen.

Bei Anwendung der modellbasierten Methoden im Zeitbereich werden dynamische Systeme häufig durch lineare Modelle beschrieben. Stabile Systeme können durch den linearen Modellansatz 1. oder 2. Ordnung mit Totzeit ( $PT1T_t / PT2T_t$ ) beschrieben werden. Instabile Systeme können durch ein Integral-Systemmodell mit Totzeit ( $IT_t$ ) beschrieben werden. Die Beschreibung des Führungsverhaltens im geschlossenen Regelkreis kann durch ein System 1.

Ordnung  $G(S) = \frac{K_p \cdot e^{-\tau_a S}}{T_a S + 1}$  erfolgen, wobei der Verstärkungsfaktor  $K_p = 1$  gesetzt wird. Der Parameter  $T_a$  steht für die „scheinbare“ Zeitkonstante des Systems und der Parameter  $\tau_a$  steht für die „scheinbare“ Totzeit des Systems, denn das Modell stellt nur eine Approximation

---

<sup>1</sup> CPM: Controller Performance Monitoring

des tatsächlichen Systemverhaltens dar. Die Sprungfunktion des Systemmodells wird zur Bewertung des Führungsverhaltens herangezogen [1].

Als Güteindizes im Zeitbereich werden die normierte  $IAE^{Norm}$  („Integrated Absolute Error“) und die normierte Einschwingzeit  $T_{SET}^{Norm}$  genommen, die nach (1.1) und (1.2) berechnet werden [2].

$$IAE^{Norm} = \frac{1}{|r_0| \cdot \tau_a} \cdot \int_{T_0}^{T_{SET}} |SP(t) - PV^{Model}(t)| dt \quad (1.1)$$

$$T_{SET}^{Norm} = \frac{T_{SET}}{\tau_a} \quad (1.2)$$

$|r_0|$  ist die absolute Größe des Sollwertsprunges,  $T_0$  ist die Anfangszeit des Sollwertsprunges,  $SP$  ist der Sollwert und  $PV^{Model}$  ist die durch das Systemmodell interpolierte Regelgröße. Die Einschwingzeit  $T_{SET}$  wird dabei mit 5%-Toleranz berechnet. In **Tabelle 1** sind die Kriterien zusammengefasst, die zur Bewertung des Führungsverhaltens durch  $IAE^{Norm}$  und  $T_{SET}^{Norm}$  verwendet werden [2].

Tabelle 1: Kriterien für die Bewertung des Führungsverhaltens auf Basis der Sollwertänderung

	$T_{SET}^{Norm}$	$IAE^{Norm}$	Überschwingung $\alpha$
Schnelle und robuste Regelung	$\leq 4,6$	$\leq 2,8$	-
Sehr träge Regler-Einstellung	$> 13,3$	$> 6,3$	$\leq 10\%$
Schlechte Robustheit, zu aggressive Regler-Einstellung	$> 13,3$	$> 6,3$	$> 10\%$

Die Überschwingung des Führungsverhaltens aus **Tabelle 1** kann abgeschätzt werden, wobei das Systemverhalten zunächst mit einem Modellansatz 2. Ordnung approximiert wird. Die Approximation kann durch Optimierung der Modellparameter durchgeführt werden [3].

## 1.2 Beispieldarstellung an einem Temperaturregelkreis

Die im Paragraph 1.1 beschriebene Bewertungsmethode wird an einem industriellen Beispiel für eine Temperaturregelung ausprobiert. Die Messdaten für eine ausgewählte Zeitperiode sowie das berechnete Modell des geschlossenen Regelkreises sind in **Bild 1** graphisch dargestellt.

In der betrachteten Zeitperiode ist im Betrieb eine Reihe von Sollwertänderungen durchgeführt worden, die für die Modellanpassung herangezogen werden kann. Das Modell 1. Ordnung des geschlossenen Regelkreis lautet  $G(s) = \frac{1}{77s+1}$ . In **Tabelle 2** sind die Ergebnisse der Bewertung des Führungsverhaltens zusammengefasst. Nach den in der Tabelle 1 ange-

# Hochpräzises Walzen durch Integration piezoelektrischer Stapelaktoren

## Vorstellung des Automatisierungskonzeptes, der Regelung und erster Walzergebnisse in einem Hochpräzisionswalzwerk zur Herstellung von dünnen, metallischen Bändern

**M. Wehr**, M.Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing. **D. Abel**,

Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen University;

**S. Stockert**, M.Sc., Univ.-Prof. Dr.-Ing **G. Hirt**,

Institut für Bildsame Formgebung, RWTH Aachen University

### Kurzfassung

Durch die zunehmende Miniaturisierung von Geräten und Komponenten steigt auch die Anforderung an Maßtoleranzen von kaltgewalzten Erzeugnissen. Derzeit liegen die standardisierten Dickeintoleranzen bei  $\pm 15 \mu\text{m}$  für dünne und schmale Stahlbänder der höchsten Präzisionsklasse. Um diese Toleranzen zu verkleinern, wurden piezoelektrische Stapelaktoren in ein konventionelles Tandemwalzwerk eingebaut. Dadurch kann eine zusätzliche Anstellung der Walzen von bis zu  $150 \mu\text{m}$  realisiert werden. Die präzise und hochdynamische Anstellung der Aktoren kann zur Reduktion der Banddickeintoleranzen von dünnen und schmalen, metallischen Bändern genutzt werden. Für die Prototypenanwendung wird ein dSpace Echtzeitrechner verwendet. Er regelt die Stapelaktoren und ist an das Bussystem des Walzwerks angebunden, sodass auf bestehende Sensoren und Aktoren zugegriffen werden kann. Eine modellbasierte Regelung mit Kalman Filter unter Zuhilfenahme des Walzmodells nach Alexander wurde auf dem System getestet. In ersten Versuchen mit kurzen Bandstücken mit einer Länge von ca. 1 m konnten die Toleranzgrenzen von  $\pm 12,5 \mu\text{m}$  auf  $\pm 7 \mu\text{m}$  verbessert werden.

### 1. Einleitung

In unterschiedlichen technologischen Branchen werden dünne und schmale, metallische Bänder weiterverarbeitet. Hierzu zählen beispielsweise die Luft- und Raumfahrt, die Automobilindustrie, die Elektrotechnik, die Medizintechnik und verschiedene Energietechnikbereiche wie beispielsweise die Solarenergie. Dabei spielen in vielen Fällen die Formtoleranzen der Bänder eine entscheidende Rolle. Beispielsweise ist in der drahtlosen Datenübertragung

ein Trend zu steigenden Datenraten bei immer höheren Frequenzen zu beobachten. Die zur Frequenz indirekt proportionale Wellenlänge verlangt in den Empfangsgeräten der Hochfrequenztechnik immer genauere Formtoleranzen der elektrisch leitenden Komponenten. [1] Diese dünnen und schmalen Bänder (vgl. Bild 1) werden in der Regel vor der Weiterverarbeitung kaltgewalzt. Während des Walzprozesses können im gewalzten Band Dickenfehler bzw. Dickenschwankungen auftreten, welche unterschiedliche Ursachen haben. Dickenfehler entstehen durch bereits im Band vorhandene Unregelmäßigkeiten. Zu diesen Unregelmäßigkeiten zählen Schwankungen der Kaltverfestigung, Schwankungen der Banddicke sowie Oberflächenveränderungen auf Grund von unterschiedlicher Beölzung oder Rauheit. Diese zuvor im Band existierenden Veränderungen der Bandeigenschaften führen in einem konstant vordefinierten Walzspalt zu Walzkraftschwankungen. Ferner können Banddickenschwankungen durch eine exzentrische Rotation der Walzen entstehen. Exzentrische Rotationen haben ihren Ursprung in den Fertigungstoleranzen der Maschinenteile und den Lagerungen der Walzen. Die Walzkraftschwankungen verursachen auf Grund der unvermeidbaren Elastizität eines jeden Walzgerüsts ein unterschiedlich starkes Auffedern des Walzspaltes und führen dadurch zu Schwankungen in der Dicke des gewalzten Bandes.

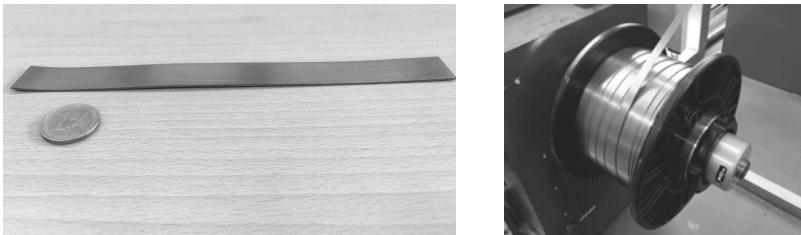


Bild 1: Dünnes und schmales, metallisches Band (DC01) mit einer Dicke von 1 mm und einer Breite von 18,8 mm. Kurzes Stück (links) und auf Band auf Coil (rechts).

Selbst bei einem idealen Band, mit gleichbleibenden Eigenschaften entlang der Bandlänge, verursacht eine exzentrische Rotation der Walzen Banddickenfehler. Eine derartige exzentrische Rotation kann durch Lagerungsgenauigkeiten, Schleifungsgenauigkeiten bei der Walzenherstellung oder Walzenoberflächenverschleiß entstehen. Eine konstruktive Versteifung des Walzgerüsts reduziert Banddickenfehler, die durch sich ändernde Bandeigenschaften entstehen. Gleichzeitig verstärkt diese Versteifung Banddickenfehler, welche durch die exzentrische Rotation der Walzen verursacht werden. Um Bänder mit einer Banddickenfehler von z. B.  $\pm 1 \mu\text{m}$  herzustellen, muss bei einer Walzgerüstversteifung die Fertigungsgenauigkeit

# Einsatz von Korrelationsanalysen zur Zuordnung von Produktionsdaten zu Funktionsgruppen in einer Werkzeugmaschine

Dipl.-Ing. (FH) **J. Fisch**, B.Eng. **A. Remlein**, Daimler AG, Berlin;  
Prof. Dr.-Ing. **C. Diedrich**, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg;  
Dr.-Ing. **M. Rossdeutscher**, Daimler AG, Stuttgart

## Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt eine Methode zur Erkennung und Gruppierung von zusammenhängenden Prozessen innerhalb einer Werkzeugmaschine in der Serienproduktion vor. Auf diese Weise soll der Diagnoseaufwand für die erzeugten Daten deutlich reduziert werden. Zuerst wird auf die generellen Schritte der Studie wie die Gewinnung und Aufbereitung der Rohdaten eingegangen. Basierend auf den aufbereiteten Rohdaten wird die Kovarianz-Varianz-Matrix zur Korrelationsberechnung je Takt gebildet. Mittels der Matrix eines Produktionstaktes wird das Add-on-Verfahren zur Berechnung der Korrelationsmatrix über mehrere Takte hergeleitet. Abschließend wird die entwickelte Methode auf Produktionsdaten einer Werkzeugmaschine angewendet und eine gebildete Funktionsgruppe dargestellt.

## 1. Einleitung

Industrie 4.0 ist das Schlagwort der heutigen Zeit. Dahinter verbergen sich verschiedene Teilgebiete wie Big Data Analysen, Cyber-Physical Systems und Cyber-Security, um nur einige zu nennen. Dieser Beitrag befasst sich im Schwerpunkt mit Big Data Analysen, welche dem Menschen auf Basis von Informationsextraktion helfen sollen qualifizierte Entscheidung zu treffen. Die Anforderungen an Big Data ist es, die großen Datenmengen zeitnah auszuwerten und in überschaubaren Kennzahlen, den smarten Daten, darzustellen [1, 2].

Im vorgestellten Ansatz wird eine Vorgehensweise ausgewählt, welche zu jedem Bearbeitungstakt in einer Produktionsanlage Kennzahlen berechnet. Diese können zum einen sofort mehr Informationen zum Produktionstakt liefern, zum anderen aber auch zur Weiterverarbeitung und Auswertung über eine große Laufzeit genutzt werden. Der Vorteil liegt dabei in der deutlich reduzierten Datenmenge und der damit einhergehenden geringeren Rechenzeit.

Eine weitere Herausforderung von Big Data Analysen ist die große Anzahl an Merkmalen. Wenn eine Veränderung in der Anlage auftritt, verändert sich nur selten ein einziges Merkmal. Aufgrund der Interdependenz von Merkmalen innerhalb einer Funktionseinheit, verändern sich alle Merkmale einer Gruppe. Daher ist es sinnvoll Merkmale nicht einzeln, sondern im Verbund zu analysieren. Ausgehend von diesem Interesse ist es notwendig eine automatische Methode zu entwickeln, welche diese Gruppen herausfiltert.

In der Literatur findet das skizzierte Thema keine Anwendung und in der Praxis wird üblicherweise mit manuellen empirisch ermittelten Gruppierungen gearbeitet.

In den folgenden Abschnitten wird auf die generellen Schritte zur Gewinnung, Aufbereitung, Analyse und Visualisierung der Daten zur automatischen Bildung von Funktionsgruppen in Produktionsanlagen eingegangen. Abschließend wird die entwickelte Methode auf die Daten einer Werkzeugmaschine angewendet.

## 2. Voraussetzungen einer Korrelationsanalyse

In diesem Abschnitt werden die Voraussetzungen für eine mathematisch korrekte Korrelationsanalyse vorgestellt. Diese sind in die Auswahl der Rohdaten, die Filterung der Produktionsstakte und die Aufbereitung der Daten gegliedert.

### 2.1. Rohdaten

Das verwendete Untersuchungsobjekt dieses Beitrages ist eine zwölfachsige Werkzeugmaschine. Die erfassten Daten der Produktionsanlage bestehen aus Steuerungs- und Antriebsdaten und beinhalten Sensoren sowie Aktoren zur Steuerung und Kontrolle des Maschinenablaufs. Die Rohdaten werden in vier Datenaufzeichnungen mit einer Abtastrate von durchschnittlich 100 ms erfasst. Die Datenmenge beläuft sich in der ersten Ausbaustufe der Datenerfassung auf 2 GB/Tag pro Maschine. Hochskaliert auf eine Produktionshalle mit 100 Werkzeugmaschinen würden 6 TB Daten im Monat entstehen.

Es gibt sowohl nominale als auch metrische Merkmale bei der Datenerfassung. Allerdings wird in diesem Beitrag nur auf metrische Merkmale eingegangen. Außerdem werden dichotome Merkmale, ein Spezialfall der Nominalskala, einbezogen. Dichotome Merkmale sind in dieser Anwendung binäre Daten mit Wert eins oder null. Merkmale mit ganzzahligen Werten werden nicht betrachtet, da sie nur qualitative Merkmale sind und eine Berechnung der Korrelationsmatrix fehlerhaft wäre. Zur konkreten Anwendung kommen die qualitativen Merkmale

# AutomationML auf höheren Automatisierungsebenen

## Eine Auswahl relevanter Anwendungsfälle

**B. Wally**, MSc, TU Wien, Wien;

**Dr.-Ing. M. Schleipen**, Dipl.-Inform. **R. Henßen**,

Fraunhofer IOSB, Karlsruhe;

Dipl.-Ing. **N. Schmidt**, Otto von Guericke Universität, Magdeburg;

Dipl.-Ing. **N. D'Agostino**, CENIT AG, Hannover;

**Y. Hua**, MSc, KIT, Karlsruhe

### Kurzfassung

AutomationML ist eine offene, XML-basierte Normenreihe (IEC 62714) zur Beschreibung und Modellierung von Produktionsanlagen und -komponenten. Die ersten Anwendungsfälle des Datenaustauschformats befassten sich mit dem Austausch von CAD- und Logik-Daten, beispielsweise für die Mechanik- oder Elektroplanung. Dennoch können viele der Informationen auch in späteren Phasen des Engineerings genutzt werden, z.B. für die Erstellung von HMI oder für die Konfiguration von MES. Eine Arbeitsgruppe des AutomationML e.V. befasste sich für einige Monate mit der Nutzung von AutomationML auf höheren Automatisierungsebenen und der Beschreibung der dazugehörigen Anwendungsfälle. Hierbei sollten bestehende AutomationML-Mechanismen für „höhere Ebenen“ der Automatisierungspyramide genutzt werden, also in Richtung MES und ERP. Ein Beispiel ist die Kombination von AutomationML mit IEC 62264, zu der es eine Beschreibung möglicher Strategien der Umsetzung gibt. Aber auch zukünftige Anforderungen an das Datenformat und mögliche Erweiterungen wurden systematisch erfasst. Der Beitrag gibt einen Überblick über die identifizierten Anwendungsfälle und deren Mehrwert für den Nutzer.

### 1. Einleitung

AutomationML ist ein herstellerneutrales, XML-basiertes und offenes Datenaustauschformat, das die Syntax und semantischen Grundlagen zur objektbezogenen Modellierung und Austausch von Entwurfsdaten von Produktionssystemen bereitstellt und dabei semantisch flexibel und erweiterbar bleibt. Dadurch ist ein breiter Einsatz des Formates und der darin enthaltenen Produktionssystemmodelle oder -teilmodelle möglich. Es ist in der Normenreihe IEC 62714 standardisiert und basiert selbst auf CAEX (Computer Aided Engineering Exchange, normiert in IEC 62424). Die ersten Anwendungsfälle von AutomationML befassten sich mit

dem Austausch von CAD- und Logik-Daten, beispielsweise für die Mechanik- oder Elektroplanung. Dennoch können viele der Informationen auch in späteren Phasen des Engineering, zur Laufzeit oder auf höheren Ebenen der Automatisierungspyramide genutzt werden, z.B. für die Erstellung von *Human Machine Interfaces* (HMI) oder die Konfiguration von *Manufacturing Execution Systems* (MES).

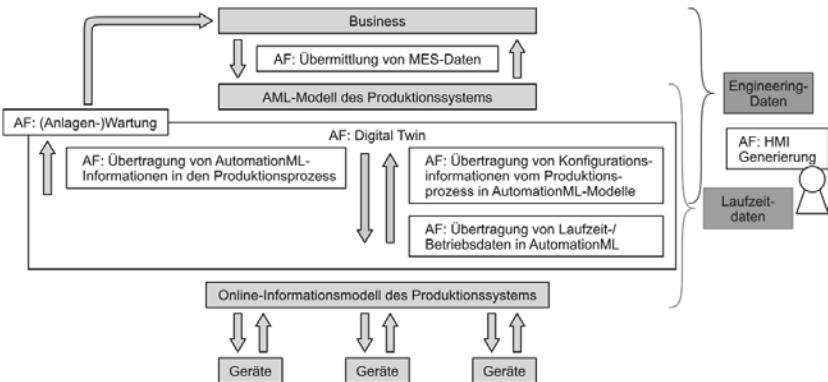


Bild 1: Überblick über die behandelten Anwendungsfälle.

In einem akademisch-industriell gemischt besetzten Arbeitskreis innerhalb der Arbeitsgruppe Anwendungsszenarien des AutomationML e.V.<sup>1</sup> ist in den vergangenen Monaten die Nutzung von AutomationML auf höheren Automatisierungsebenen diskutiert worden. Das vorrangige Ziel war die Identifikation, Beschreibung und Kommunikation verschiedener Anwendungsmöglichkeiten von AutomationML in der Praxis. Die Grundlage bildeten bestehende AutomationML-Mechanismen, die für höhere Ebenen der Automatisierungspyramide genutzt werden sollten, insbesondere für MES oder *Enterprise Resource Planning* (ERP) Systeme. Ein weiteres Ziel war die Anleitung und Regulierung der Anwendung von AutomationML, unter anderem durch die Veröffentlichung von Handlungsempfehlungen; im AutomationML-Umfeld „Best Practice Recommendations“ genannt. Eine solche, demnächst publizierte, Handlungsempfehlung, die im Rahmen des Arbeitskreises erarbeitet wurde, definiert Regeln für die Verschränkung von AutomationML mit Elementen der Normenreihe IEC 62264 (auch bekannt als ISA-95). Davon abgesehen wurden auch zukünftige Anforderungen an das Da-

<sup>1</sup> <https://www.automationml.org/>

# Verbesserung der Datendurchgängigkeit von der Planung bis zur Entwicklung der Steuerungssoftware für intralogistische Anlagen

**T. Aicher, Prof. B. Vogel-Heuser, Lehrstuhl AIS, TUM, Garching;**  
**M. Spindler, Prof. J. Fottner, Lehrstuhl fml, TUM, Garching;**  
Dr. rer. nat. **J. Griesbauer, CODESYS GmbH;**  
**S. Greising, 3S-Smart Software Solutions GmbH**

## Kurzfassung

Automatisierte intralogistische Anlagen werden für jeden Einsatzfall individuell projektiert, um die spezifischen Kundenanforderungen optimal umzusetzen. Dabei müssen für die Projektierung viele unterschiedliche Entwicklungsschritte, wie bspw. die Planung des Materialflusses, die Anordnung und Abstimmung der Fördertechnik auf die räumlichen Gegebenheiten und die Entwicklung der Steuerungssoftware, durchlaufen werden. Die dabei notwendigen Aufgaben können hierbei meistens nur in einem des jeweiligen Entwicklungsschritts spezifischen Tool umgesetzt werden. Die dadurch resultierende breite Tool-Landschaft sowie die mangelnde Weitergabe der Informationen aufgrund der fehlenden Unterstützung von offenen herstellerunabhängigen Datenformaten, reduzieren die Wiederverwendbarkeit der Informationen und Erhöhen den Aufwand für das Engineering.

In diesem Beitrag stellen wir ein Datenmodell sowie einen Ansatz für dessen Integration in die Projektierung von intralogistischen Anlagen vor, welcher die Wiederverwendung und Durchgängigkeit der Engineering-Daten von der Planung des Materialflusses bis zur Entwicklung der Steuerungssoftware verbessert. Hierzu sollen durch die mögliche Anbindung des Datenmodells an eine Simulationsumgebung, welche ein virtualisiertes Abbild der späteren Anlage darstellt und dadurch frühzeitig eine Analyse des Systems, wie bspw. die Bestimmung des Durchsatzes der Transportgüter, ermöglicht, die Anforderungen an die Entwicklung der Steuerungssoftware erhoben werden. Ziel der Einführung des Datenmodells ist, die Anforderungen und Spezifikationen für die Entwicklung der Steuerungssoftware, welche in den vorherigen Entwicklungsschritten insbesondere bei der Entwicklung des virtualisierten Abbilds der späteren Anlage festgelegt wurden, systematisiert zu sammeln und dem Software-Entwickler bereitzustellen. Dadurch soll die Dauer für die Entwicklung der Steuerungssoftware aufgrund der gesammelten Anforderungen sowie den daraus ableitbaren Informationen für die Steuerung verringert werden.

## 1. Einleitung

Der steigende Wunsch nach kundenspezifischen Produkten mit einer geringen Losgröße, welche individuell auf die Anforderungen und Bedürfnissen des Kunden zugeschnitten sind, bedarf einer erhöhten Flexibilität im Maschinen- und Anlagenbau sowie insbesondere des dazugehörigen Materialflusssystems (MFS). Zur Realisierung der damit einhergehenden Herausforderungen ist unter anderem eine verbesserte Wiederverwendung von Steuerungssoftware sowie die Beherrschung der steigenden Komplexität, welche bei der Entwicklung, Inbetriebnahme und Wartung des MFS in den Domänen Elektrik/Elektronik, Mechanik und insbesondere Softwareentwicklung, auftritt nötig. Betrachtet man die gegenwärtige Struktur der Steuerungssoftware von Materialflusssystemen, so kann man trotz der auffindbaren modularen Hardwarestrukturen, bspw. Rollenförderer, Querverschiebewagen oder Bandförderer, eine starke Abhängigkeit und Zusammengehörigkeit der Software über die modularen Hardwaregrenzen hinweg erkennen. Dadurch muss die Steuerungssoftware oft manuell erstellt werden, sodass der Arbeitsaufwand für die Entwickler und die Fehleranfälligkeit der Software steigt. Die hohe Anzahl von unterschiedlichen Gewerken, wie bspw. Mechanik, Elektrik/Elektronik oder Logistik, inklusive Ihrer spezifischen Tools und individuellen Anforderungen erschweren zudem die Entwicklung der Steuerungssoftware. Der Export bzw. Import von Daten, welche in einem Tool erzeugt bzw. benötigt werden, ist häufig nur mit einem herstellerspezifischen proprietären Datenformat möglich, sodass eine mögliche Wiederverwendung der Daten nicht über die Tool-Grenzen hinaus möglich ist. Eine Wiederverwendung der Daten ist aufgrund der jeweils aufeinander aufbauenden Entwicklungsschritte für die erfolgreiche Projektierung einer automatisierten intralogistischen Anlage jedoch dringend erforderlich, da ansonsten die Gefahr von Inkonsistenz und Fehleranfälligkeit steigt.

Zur Verbesserung dieses aufwendigen und fehleranfälligen Vorgehens wird in diesem Beitrag ein Datenmodell unter Verwendung des Datenformats AutomationML für die Entwicklung von intralogistischen Modulen vorgestellt, welche eine Sammlung der Anforderungen aus den verschiedenen Gewerken ermöglicht und somit systematisch den Softwareentwicklern für automatisierte Materialflusssmodule zur Verfügung steht. Für die konsistente Zusammenführung von Daten, welche zur selben Zeit in parallelen Entwicklungsschritten erzeugt wurden, ist durch das Datenmodell die Anwendbarkeit von Ansätzen zur Konsistenzprüfung, wie bspw. der Vergleich der Signale im Stromlaufplan mit den Ein- und Ausgängen in der Simulationsumgebung, gegeben. Damit können Inkonsistenzen frühzeitig identifiziert und behoben werden. Als Modul wird in diesem Beitrag eine gekapselte Einheit, bestehend aus Elektrik/Elektronik, Mechanik und Software verstanden, welche durch Ansteuerung der me-

# **Generische Anforderungserstellung für automatisierte Fertigungs- und Montageanlagen mittels formalisierter Prozessbeschreibung für einen höheren Reifegrad im Anlagenentwicklungsprozess**

**A. Schlag**, M. Eng, Daimler AG, Mannheim;

**Dr.-Ing. T. Bär**, Daimler AG, Ulm;

**Prof. Dr.-Ing. M. Vielhaber**, Universität des Saarlandes, Saarbrücken

## **Kurzfassung**

Der heutige Planungsprozess von Betriebsmitteln (engl. Resources), beispielsweise Anlagen in der Fahrzeugmontage oder Roboterzellen im Rohbau, weist bestehende Lücken in der durchgängigen und ganzheitlichen Bereitstellung von Planungsdaten in den Engineering Disziplinen Mechanik-, Elektrokonstruktion und Softwareentwicklung, sowie für nachgelagerte Änderungs- und Dokumentationsprozesse, auf. Mit diesem Beitrag werden eingangs diese Lücken identifiziert und den wesentlichen Planungsschritten zugeordnet. Anschließend wird ein ganzheitlicher Ansatz formuliert und als potentielle Methodik, zum Schließen der identifizierten Lücken im übergeordneten Entwicklungsprozess von Betriebsmitteln, vorgestellt. Die Methodik basiert auf bestehenden Engineering Ansätzen in den Bereichen Requirements Engineering und –Management, Model Based Systems Engineering, Konstruktionsmethoden und Formalisierter Prozessbeschreibung und fokussiert eine automatisierte Unterstützung der Planungs- und Konstruktionsphasen im Entwicklungsprozess von Betriebsmitteln.

Durch die Einführung der Methodik werden, bedingt durch den Bezug auf die bereits bestehenden Engineering Ansätze, Anforderungen und notwendige Erweiterungen (u.a. AutomationML) ermittelt und in den jeweiligen Bereichen validiert. Die generelle Funktionalität der Methodik wird anhand eines Anwendungsbeispiels demonstriert. Darüber hinaus wird das Potential der Methodik im Entwicklungsprozess von Betriebsmitteln beleuchtet.

## **1. Einleitung**

Mit der stetig steigenden Nachfrage an individualisierbaren Produkten, vergrößerter Derivatevielfalt und verkürzter Dauer zur Verfügbarkeit auf dem Markt ist eine Optimierung des Produktentwicklungsprozesses unumgänglich um den Kundenansprüchen gerecht zu werden. Durch die Optimierung des Produktentwicklungsprozesses ist auch unmittelbar der Entwicklungsprozess von Betriebsmitteln betroffen, wodurch deren Anforderungen zur Herstellung der unterschiedlichen Derivate und Varianten an Komplexität zunehmen [1].

Daraus folgend muss eine Produktionsstätte in deutlich kürzerer Zeit beschrieben, geplant, entwickelt, aufgebaut und in Betrieb genommen werden. Mit digitalen Absicherungsmethoden wie beispielsweise virtueller Inbetriebnahme (VIBN) besteht eine effiziente Möglichkeit zur Validierung von Produktionsanlagen, mit der Zeit und Kosten bei der physischen Inbetriebnahme eingespart werden können. VIBN ermöglicht die Validierung des Verhaltens von Anlagen anhand eines verfügbaren Testprogramms, welches im heutigen Engineering Workflow bei der Erstellung zeitaufwendig ist und meist manuelle Nachjustierung benötigt. Dieser Missstand ist darin begründet, dass die zu validierenden Kriterien in keinem standardisierten und formalisierten Format spezifiziert sind. Wie in [2] beschrieben, wird der Zeit- und Kostenvorteil, der durch die VIBN erzielt werden kann, bei der Gegenüberstellung mit dem Aufwand zur Erzeugung der Testfälle meist nicht erreicht.

Der vorliegende Beitrag fokussiert das Optimierungspotential in der Beschreibung von erforderlichen Ressourcen und führt eine Methodik zur automatisiert-generischen Erhebung von formalisierten Anforderungen mit modellbasiertem Ansatz ein. Die Methodik bedient sich der formalisierten Prozessbeschreibung nach (VDI/VDE 3860) um Absicherungskriterien in ein standardisiertes Format zu überführen.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

Der Anlagenentwicklungsprozess lässt sich in vier verschiedene Kategorien unterteilen. Die Konzeption, Konstruktion, Absicherung und Administration, siehe Abbildung 1.

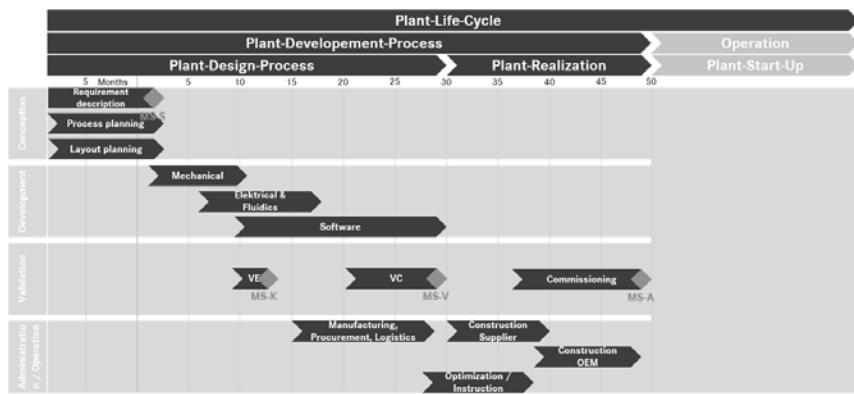


Bild 1: Anlagenentwicklungsprozess nach [1].

# Hardware-in-the-Loop-Simulation zur Evaluierung einer Modellbasierten Prädiktiven Regelung für Windenergieanlagen

**S. Dickler, M.Sc., Dipl.-Ing. U. Jassmann, Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Abel,**  
Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen University;  
**PD Dr.-Ing. habil. J. Zierath, W2E Wind to Energy GmbH, Rostock**

## Kurzfassung

Im Sinne des Rapid Control Prototyping ergänzt eine Hardware-in-the-Loop-Simulation die eigentliche Reglerentwicklung und Reglererprobung zu einem systematischen Entwurf des Regelungssystems. Die Erprobung der Regelung findet zunächst in Systemsimulationen statt, in denen Regler und Streckenmodell in einer gemeinsamen Entwicklungsumgebung simuliert werden. In anschließenden Hardware-in-the-Loop-Simulationen wird die Regelung auf der Zielhardware implementiert und am Streckenmodell, welches auf einem Echtzeit-simulationsrechner läuft, getestet. Um den Regelungsalgorithmus auf der Zielplattform umzusetzen, muss dieser gegebenenfalls modifiziert und der Programmcode für die Hardware mit einer durchgängigen Toolkette generiert werden.

In diesem Beitrag wird dieses Vorgehen des Reglerentwurfs für eine Modellbasierte Prädiktive Regelung für eine drehzahlvariable, dreiblättrige Horizontalachs-Windenergieanlage skizziert und der Fokus auf die Funktionstauglichkeit, die Implementierungsdetails sowie den Rechenaufwand der Regelung auf einer Speicherprogrammierbaren Steuerung gelegt. Die Modellprädiktive Regelung ermöglicht dabei eine einfache Behandlung des auftretenden Mehrgrößenproblems mit Beschränkungen, in welchem die elektrische Ausgangsleistung optimiert und die mechanischen Lasten der Anlage bei gleichzeitiger Einhaltung der Betriebsgrenzen verringert werden sollen. Durch den Einsatz der Modellprädiktiven Regelung kann im Vergleich zu konventionellen einschleifigen Regelungskonzepten sowohl die maximale Leistungsabweichung, als auch der Maximalwert der Turmkopfbeschleunigung für den Lastfall einer extremen Betriebsböe um etwa 50 % reduziert werden. Zudem werden die maximalen Turmfußbiegemomente um circa 15 % verringert und die Beruhigungszeiten der Turm- und Blattschwingung verkürzt. Vor dem Hintergrund einer begrenzten Rechenkapazität der Zielhardware weist eine Modellprädiktive Regelung aufgrund der Online-Optimierung im Vergleich zu einschleifigen Regelungskonzepten allerdings eine hohe Rechenzeit auf, die bei der Umsetzung auf der Speicherprogrammierbaren Steuerung zu berücksichtigen ist.

Durch den Einsatz einer Move-Blocking-Strategie innerhalb der Modellprädiktiven Regelung wird deren Rechenzeit um die Hälfte verkürzt, ohne die Regelungsergebnisse zu beeinträchtigen, so dass die Regelung in der vorgeschlagenen Konfiguration auf der Industriesteuerung umgesetzt werden kann und eine mittlere Rechenzeit von 60 ms aufweist.

## 1. Motivation und Einleitung

Die Anforderung an eine Windenergieanlage (WEA) auch in Schwachwindgebieten eine höhere Leistungsausbeute zu generieren, führte in den vergangenen Jahren zu einer immer größeren Skalierung von Turm und Rotorblättern [5]. Daraus resultieren flexiblere mechanische Strukturen und höhere dynamische Belastungen der Anlagenkomponenten. Für einen sicheren und effizienten Betrieb der Anlage muss das Regelungssystem diese mechanischen Lasten zuverlässig reduzieren und gleichzeitig die Einhaltung der Betriebsgrenzen garantieren. Für dieses Mehrgrößenproblem mit Beschränkungen kann eine Modellbasierte Prädiktive Regelung (MPR) verwendet werden.

Die Nutzung einer MPR zur Leistungsregelung und Lastreduktion einer WEA ist Gegenstand zahlreicher aktueller Forschungsvorhaben, wobei vorwiegend die methodische Umsetzung untersucht wird. Im vorliegenden Beitrag wird die MPR darüber hinaus auf einer Industriesteuerung implementiert, um Hardware-in-the-Loop(HiL)-Tests durchführen zu können. Der Fokus liegt auf der Funktions- und Praxistauglichkeit, den Implementierungsdetails und dem benötigten Rechenaufwand der MPR auf der Hardware.

Zunächst wird dazu ein aus [3] bekanntes Konzept einer MPR zur WEA-Regelung vorgestellt. Wegen der rechenintensiven Optimierung der Regelung wird zur Umsetzung auf einer – in Windenergieanlagen regulär eingesetzten – Industriesteuerung eine MPR mit sogenannter Move-Blocking-Strategie verwendet. Systemsimulationen der MPR und des zu regelnden Prozessmodells in einer gemeinsamen Simulationsumgebung auf der Steuerungshardware zeigen, dass die Rechenzeit mit dieser Strategie reduziert werden kann, ohne dabei die Regelungsergebnisse zu beeinträchtigen. Zum weiteren Regelungsentwurf soll die MPR in einer HiL-Simulation erprobt werden, wobei die Regelung auf einer Speicherprogrammierbaren Steuerung umgesetzt wird und das zu regelnde Prozessmodell auf einem Simulationsrechner läuft. Dazu wird ein möglicher HiL-Aufbau vorgestellt. Zur Evaluierung des Regelungsalgorithmus werden die Simulationsergebnisse der MPR diskutiert und mit Ergebnissen einschleifiger Regelungskonzepte verglichen.

# Automatisierte Durchführung von Abnahmen gravimetrischer Dosiersysteme auf Basis von Hardware-in-the-Loop Simulation und Verifikation

**Marco Antonio Rodriguez, Dr. Luigi Di Matteo,**

Di Matteo Förderanlagen GmbH & Co. KG, Beckum;

**Dr. Dominik Aufderheide,**

Di Matteo Förderanlagen GmbH & Co. KG, Beckum,

Institut für Computer Science, Vision und Computational Intelligence  
(CV&CI) – Fachhochschule Südwestfalen, Soest;

**Prof. Dr. Andreas Schwung,**

Institut für Computer Science, Vision und Computational Intelligence  
(CV&CI) – Fachhochschule Südwestfalen, Soest

## Kurzfassung

Auf Grund der Notwendigkeit die Qualität der Herstellung und Installation eines gravimetrischen Dosiersystems für Schüttgüter zu verbessern wurde ein automatisches Testsystems entwickelt, welches auf Basis einer Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulation in der Lage ist die notwendige Werksabnahme des gesamten Systems durchzuführen.

Das entwickelte Testsystem besteht dabei im Wesentlichen aus (i). einer Echtzeit-HiL-Simulation und den notwendigen Schnittstellen auf Basis von Standardkomponenten, (ii). einer Benutzerschnittstelle zur Definition der Testroutinen und (iii). einer Verifikationsmaschine (verification engine) für die selbsttätige Datensammlung und nachgelagerte Validierung und Protokollierung.

Auch wenn die Applikation derzeit noch im Rahmen von Tests weiter evaluiert wird, konnte bereits gezeigt werden, dass das vorliegende Testsystem und die zugrundeliegende Architektur in der Lage ist die notwendigen Testprozeduren vollständig durchzuführen, wobei eine bewusst gewählte modulare Struktur die notwendige Erweiterbarkeit für andere Applikationen garantiert.

## 1. Einführung

Die Entwicklung moderner automatisierter Systeme (z.B. in Produktionsstätten, zur Prozesssteuerung in der chemischen Industrie oder in logistischen Versand- und Verteilanlagen) sind nur auf Basis komplexer Planungsmethoden und entsprechender ingenieurtechnischer Aufgabenstellung zu realisieren. Hierbei zeichnen sich solche Systeme typischerweise durch einen hohen Grad an Individualisierung aus, so dass die tatsächliche Realisierung, von der ersten Idee bis hin zur erfolgreichen Inbetriebnahme, häufig mehrere Jahre in Anspruch nehmen kann und dabei in der Regel unterschiedlichste Gewerke miteinbeziehen muss, wie zum Beispiel die notwendige Verfahrenstechnik, die Modellierung zugehöriger logistischer Prozesse, die Entwicklung der maschinenbaulichen Komponenten, die Hardwareentwicklung der elektrotechnischen Schaltanlagen, sowie natürlich die entsprechende Softwareentwicklung [1].

Die physische Konfiguration eines Automatisierungssystems hängt also immer im Wesentlichen von dem zu automatisierenden Prozess ab, so dass die genaue Konfiguration der beteiligten Geräte und Anlagenteile (z.B. Sensorik und Aktorik, Steuerungskomponenten, etc.) in unterschiedlichen Projekten hochgradig individuell ausgeprägt sein muss. Gleiches gilt somit naturgemäß auch für die jeweils zu entwickelnde Steuerungssoftware, da zum einen die zu steuernden Prozesse stark voneinander abweichen können und zum anderen in der Regel für spezifische Hardwarekomponenten auch entsprechende spezifische Softwaremodule Anwendung finden müssen (z.B. zur Ansteuerung von Frequenzumrichtern oder zur Realisierung einer Feldbuskommunikation). Umso entscheidender ist die Durchführung von umfangreichen Werksabnahmen (Factory Acceptance Tests – FATs) zur Validierung der erwünschten Funktion und Qualität des Automatisierungssystems für die Gewährleistung einer späteren erfolgreichen Inbetriebnahme. Hierbei würde im Idealfall das Steuerungssystem zusammen mit der zu automatisierenden Maschine getestet um die Ganzheitlichkeit der Abnahme zu gewährleisten.

Generell kann allerdings festgestellt werden, dass obwohl die Komplexität von automatisierten Systemen in den vergangen Jahrzehnten stets zugenommen hat, alle gängigen Methoden für die Durchführung von FATs immer noch starken Limitierungen unterworfen sind.

Hardware-in-the-loop (HiL) Simulation zur systematischen Verifikation der Funktionalität mechatronischer Systeme wird zunehmend als integrales Werkzeug zur Verbesserung der Produktqualität bei gleichzeitiger Steigerung der Kosteneffizienz angesehen. Hierbei dienen die

# Synchronisierung von digitalen Modellen mit realen Fertigungszellen auf Basis einer Ankerpunktmethoden am Beispiel der Automobilindustrie

## Synchronization of Digital Models with Real Production Cells Based on an Anchor-Point-Method using Automotive Industry as an Example

**Behrang Ashtari Talkhestani, M.Sc.,**

Universität Stuttgart, Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME);

**Dr.-Ing. Wolfgang Schlögl,**

Siemens AG, Digital Engineering der Siemens-Division Digital Factory;

**Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich,**

Universität Stuttgart, Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme

### **Schlagwörter:**

Digitaler Zwilling, Ankerpunktmethode, Virtuelle Inbetriebnahme, Datenmodellierung, Fertigungszellen

### **Kurzfassung**

Die zunehmende Produktvielfalt und die Verkürzung der Produktlebenszyklen erfordern eine schnelle und kostengünstige Rekonfiguration bestehender Produktionssysteme [1]. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist ein aktuelles digitales Modell der bestehenden Fertigungszelle, im Folgenden Digitaler Zwilling genannt, eine geeignete Lösung. Der Digitale Zwilling führt zu einer Kostenreduktion durch Verkürzung der Umrüstzeiten durch virtuelle Planung und Simulation basierend auf dem aktuellen Zustand der realen Produktionsanlage als auch durch eine frühzeitige Erkennung von Konstruktions- oder Prozessablauffehlern in der Produktionsanlage. Voraussetzung für die Verwendbarkeit des Digitalen Zwilling vom Produktionssystem ist allerdings, dass ein aktuelles (virtuelles) Anlagenmodell von den mechatronischen Bestandteilen der realen Anlage während der verschiedenen Phasen ihres Lebenszyklus existiert. In diesem Beitrag wird die domänenübergreifende, mechatronische Datenstruktur der virtuellen Fertigungszellen in der Automobilindustrie diskutiert. Es wird eine systematische Ankerpunktmethode vorgestellt, mithilfe derer die Abweichungen zwischen den virtuellen Modellen und der Realität detektiert und ermittelt werden können. Basierend darauf wird eine sogenannte regelbasierte Konsistenzprüfung zur durchgängigen, domänen-

übergreifenden Synchronisierung der aktuellen mechatronischen Ressourcenkomponenten der Produktionssysteme mit deren virtuellem Anlagemodell vorgestellt.

## Abstract

Today, the life of the production systems is often longer than the life cycle of the products, which are produced on these production systems. Therefore, a new design and conversion of the production line is constantly necessary to integrate new products throughout the life cycle of the production plants [1]. To face this challenge one solution is an always in sync digital model of existing manufacturing cells, hereafter called the Digital Twin. The Digital Twin can be used to reduce the complexity of reconfiguration by early detection of design or process sequence flaws of the system in virtual commissioning. However, a prerequisite for a digital twin of the production system is that a current virtual plant model of the structured, mechatronic resource components of the real plant during the different phases of its life cycle. This article discusses the cross-domain mechatronic data structure of the virtual manufacturing cells in the automotive industry in the context of RAMI 4.0. A systematic method is presented to detect deviations between the Digital Twin of the production plants and the real system. Based on this, an anchor-point-method for the continuous, domain-across synchronization of current mechatronic resource components of the body shop in the automotive industry with its virtual plant model is presented.

## 1. Einleitung

Die Fertigung in Europa steht durch strukturelle Veränderungen in der Weltwirtschaft unter starkem Druck [2]. Steigende Produktvielfalt und kurze Lebenszyklen fordern eine schnelle Rekonfiguration und Umrüstung des Produktionssystems. Nach Jahren steigender Gewinne sind Unternehmen der Automobilindustrie derzeit mit stagnierenden oder sogar abnehmenden Märkten konfrontiert [3]. Aufgrund des daraus resultierenden verstärkten Wettbewerbs um wichtige Marktanteile sind die Automobilhersteller in einem Innovationsrennen tätig, das durch eine steigende Anzahl von Produktvarianten mit zahlreichen Produktderivaten gekennzeichnet ist. Darüber hinaus sinken die Innovations- und Modellzyklen stetig. Zum Beispiel lag im Jahr 1980 der Modellzyklus in der Automobilindustrie gemittelt bei 10,6 Jahren; heute hingegen ist der Lebenszyklus eines Modells etwa 6 Jahre, mit einer sinkenden Tendenz [4]. Diese Bedingungen führen zu einer ständig zunehmenden Komplexität im Produktionsprozess, so dass sich komplexere und hoch automatisierte Fertigungssysteme ergeben. Diese zunehmende Komplexität steht auch im Zusammenhang mit dem steigenden Einsatz und der Verknüpfung von Mechanik und Elektronik sowie Software in Form von mechatronischen Anlagenkomponenten. Die Fertigungszellen in der Automobilindustrie bestehen aus

# Automatische Programmierung und Bahnplanung als Grundlage für wandlungsfähige Anlagen in der Montagetechnik

## Reduktion der Engineering-Aufwände durch intelligente, vernetzte Funktionseinheiten

Dipl.-Ing. (FH) **M. Vorderer**, Dr.-Ing. **S. Schröck**, Dr.-Ing. **S. Junker**,  
Robert Bosch GmbH, Renningen;  
M.Sc. **S. Weltin**,  
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen;  
M.Sc. **D. Palombo**,  
Hochschule Ravensburg-Weingarten, Weingarten;  
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. **A. Verl**,  
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und  
Fertigungseinrichtungen (ISW), Universität Stuttgart, Stuttgart

### Kurzfassung

Wandlungsfähige Anlagen bieten das Potential, schnell auf neue Produktvarianten oder Stückzahlen angepasst werden zu können. Im Gegensatz zu hochspezialisierten Sondermaschinen werden diese Anlagen einfach rekonfiguriert oder durch neue Prozesse ergänzt. Ein solches Anlagenkonzept stellt das bei der Robert Bosch GmbH entwickelte System CESA<sup>3</sup>R (Concept for Engineering free, Scalable, Advanced Automated Assembly system for Rapid ramp up) dar. CESA<sup>3</sup>R zeigt eine Umsetzung aktueller Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0. Prozessmodule können auf einer Grundplatte rastermaßlos angeordnet werden, die Position der Module wird selbstständig erkannt und basierend darauf Programmablauf und -parametrierung automatisch angepasst. Um bei dieser hohen Wandlungsfähigkeit einen zuverlässigen Betrieb ohne gesonderten Engineering-Aufwand zu ermöglichen, sind technisch herausfordernde Konzepte hinsichtlich der Programmierung, aber auch der Bahnplanung nötig. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages werden Lösungen aus diesen beiden Bereichen konzeptionell vorgestellt und deren Implementierung und Evaluation beschrieben.

## 1 Motivation

Wandlungsfähigkeit stellt eines der zunehmend wichtigen Merkmale automatisierter Anlagen dar, um die zukünftigen Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0 zu adressieren [1]. Diese Herausforderungen resultieren dabei primär aus immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen, der steigenden Nachfrage nach individualisierten Produkten und nicht zuletzt auch der Forderung nach immer kürzeren Zeitspannen von der Produktidee hin zur automatisierten Fertigung. Um die in diesem Umfeld oft diskutierten Ansätze, Herangehensweisen und theoretischen Ansätze auch begreifbar zu machen, wurde das wandlungsfähige Anlagenkonzept CESA<sup>3</sup>R entwickelt [2], welches verschiedene theoretische Ansätze zu einem wirklich wandlungsfähigen und skalierbaren Anlagenkonzept zusammenführt. Während Themen wie die automatische Lokalisierung oder auch die Modellierung der Montageprozesse [3] in vorigen Beiträgen thematisiert wurden, werden in diesem Beitrag nach einer kurzen Einführung des generellen Anlagenkonzeptes die beiden wichtigen Bausteine der automatischen Programmgenerierung sowie der Bahnplanung beleuchtet.

## 2 Wandlungsfähiges Anlagenkonzept CESA<sup>3</sup>R

Der Ansatz von CESA<sup>3</sup>R basiert auf der Zerlegung von automatisierten Montageanlagen in standardisierte, mechatronische Objekte (MO). Diese repräsentieren Montage- und Handhabungsfunktionen und beinhalten sämtliche, für den selbständigen Betrieb notwendige Eigenschaften. Dazu gehören neben dem implementierten Prozess die Steuerungstechnik, eine präzise Lokalisierungseinheit zur Positionsbestimmung im sub-mm Bereich, die universelle Beschreibung der eigenen Fähigkeiten und eine Plug&Produce-Funktionalität für die automatisierte Inbetriebnahme (Bild 1).



Bild 1: Die mechatronischen Objekte (MO) repräsentieren eine Montagefunktion und beinhalten sämtliche, für den eigenständigen Betrieb notwendigen Komponenten [2]

# Aufgabenorientierte Programmierung für die Mensch-Roboter-Kooperation

## Integration einer Tätigkeitserkennung in die aufgabenorientierte Programmierung

**J. Berg, C. Richter, Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart,**  
Fraunhofer IGCV, Augsburg

### Kurzfassung

Zur flexiblen Automatisierung der Montage werden derzeit verstärkt Ansätze der Mensch-Roboter-Kooperation untersucht. Um den Einsatz des Roboters flexibel gestalten zu können, muss die Programmierung des Roboters vereinfacht und durch Nicht-Experten anpassbar werden. Dazu wird im Rahmen dieses Beitrags ein Ansatz zur aufgabenorientierten Programmierung beschrieben, bei dem eine Tätigkeitserkennung des Menschen für den Betrieb integriert wird. Damit soll es möglich sein, dass der Roboter die vom Mitarbeiter ausgeführte Tätigkeit erkennt, um so seine eigenen Aufgaben zu starten. Zur Programmierung ist eine Benutzeroberfläche vorgesehen, auf der die Aufgaben zu Mensch und Roboter zugeordnet und angepasst werden können.

### Abstract

For the flexible automation of assembly processes, the human-robot-cooperation is subject of several works. In order to make the application of robots more flexible, the programming has to be eased so that non-experts are able to adapt robot programs. This paper describes an approach for a task-oriented programming system which includes an action recognition for the human actions during operation. Thus, the human actions can be recognized in order to start the robots action on the right time. For the programming a human-machine-interface is planned where the tasks will be presented, allocated to human and robot and where changes can be made.

### 1. Einleitung

Der hohe Anteil an manuellen Montagetätigkeiten in Zusammenhang mit hohen und weiter steigenden Löhnen führen zu einer erhöhten Nachfrage nach Automatisierung, um die Produktion in Hochlohnländern erhalten zu können [1]. Aufgrund der vermehrten Nachfrage nach individualisierten Produkten, steigt die Anzahl der Produktvarianten [2]. Daher ist es

notwendig, ein gewisses Maß an Flexibilität in der Produktion zu erhalten, welches durch Vollautomatisierung verringert werden würde.

Ein Ansatz, um Tätigkeiten automatisieren zu können, aber gleichzeitig eine flexible Produktion zu erhalten, ist die Mensch-Roboter-Kooperation, bei der Mensch und Roboter im gleichen Arbeitsraum arbeiten. Hierbei kann der Schutzaun entfallen, der bei herkömmlichen Industrierobotern im Einsatz ist. Nach [3] sind drei adressierte Bereiche im Rahmen der Forschung der Mensch-Roboter-Kooperation: Sicherheit, Planung der Mensch-Roboter-Kooperation und die Programmierung des Roboters. Im Bereich der Sicherheit für Anwendungen der Mensch-Roboter-Kooperation wird einerseits an technischen Sicherheitskonzepten im Roboter, wie Kraft-Momenten-Sensoren, gearbeitet und andererseits werden Normen für die Sicherheit erweitert und konzipiert. Der Zertifizierungsprozess einer Applikation der Mensch-Roboter-Kooperation ist langwierig, wodurch ein schneller Einsatz der Applikation gehemmt wird. Die Planung des Einsatzes der Ressourcen in der Mensch-Roboter-Kooperation, bei der verschiedene Kriterien beachtet werden, ist nach [4] aufwändig. Die Programmierung der Roboter erfordert Expertenwissen, das in kleinen und mittelständischen Unternehmen meist nicht vorhanden ist. [5].

Um die Programmierung der Roboter speziell für die Mensch-Roboter-Kooperation zu erleichtern, wird in diesem Bericht ein Ansatz zur aufgabenorientierten Programmierung des Roboters präsentiert, bei dem bereits während der Programmgenerierung eine Tätigkeitserkennung des Mitarbeiters für den Betrieb einbezogen wird. Die Tätigkeitserkennung dient zum Erkennen der menschlichen Tätigkeiten, um daraus für den Roboter ableiten zu können, ob seine Aufgabe gestartet werden kann.

Nachdem im folgenden Kapitel auf den Stand der Technik eingegangen wird, wird daran anschließend das aufgabenorientierte Programmiersystem beschrieben, wozu zunächst die Systemarchitektur vorgestellt wird. Nachfolgend wird das Programmiermodul beschrieben und das Konzept der Benutzerschnittstelle vorgestellt. Abschließend wird der Anwendungsfall zur Erprobung des Systems vorgestellt.

## 2. Stand der Technik

Nachfolgend werden Arbeiten aufgeführt, die in Zusammenhang mit dem präsentierten Ansatz stehen. Zunächst werden Arbeiten beschrieben, die Bezug auf die Mensch-Roboter-Kooperation, vor allem auf die Adaption des Roboters an den Menschen, nehmen. Im Weiteren wird die Programmierung von Industrierobotern, insbesondere die aufgabenorientierte Programmierung, adressiert.

# Modellbasierte Planung und Konfiguration von verteilten Funktionsumfängen in der Feldebene

## Model-based planning and configuration of distributed functions in the field

**T. Glock, S. Otten, S. Rebmann, Eric Sax,**  
FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe

### Kurzfassung

Die Planung und Konfiguration von heutigen Industrieanlagen sind mit existierenden Vorgehen und Planungswerkzeugen realisierbar. Im zunehmend vernetzten Umfeld und der damit einhergehenden Dezentralisierung von Funktionalitäten im Kontext von Industrie 4.0 bestehen Herausforderungen, die mit vorhandenen Verfahren und Techniken nicht bewältigt werden können. Insbesondere existieren keine Ansätze zur Planung, Analyse und Konfiguration von hybriden Anlagen, die eine Vereinigung von traditionellen und Internet of Things (IoT) Technologien beschreiben können. In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, welches auf Basis von Methoden und Werkzeugen der Automobil-Entwicklung eine durchgängige, modellbasierte Beschreibung von dezentralen Funktionen, deren Verteilung auf Hardware sowie Analyse und Konfiguration unterstützt. Dies ermöglicht erstmals die gesamtheitliche Auslegung und Konzeption von hybriden Netzwerken in Industrieanlagen in frühen Produktentwicklungsphasen. Der Beitrag wird durch eine beispielhafte Anwendung und Validierung des modellbasierten Ansatzes an einem IoT-Demonstrator einer Mehrtankanlage abgerundet.

### Abstract

Planning and configuration of current industrial plants can be realized with existing methods and tools. The increasingly connected environment and the decentralization of functionalities in the context of industry 4.0 leads to challenges that cannot be handled with existing methods and tools. No approaches are available for description, analysis and configuration of hybrid systems which consist of traditional and Internet of Things (IoT) technologies. This paper show a concept based on methods and tools from automotive development that allowed a model-based description of decentralized functions, their distribution to hardware as well as analysis of the model and a configuration of the plant.

This approach allows the comprehensive design and conception of hybrid networks in industrial plants in early product development phases. The model-based approach will validate with the help of an exemplary application of a multi-tank system IoT-demonstrator.

## 1. Einleitung

Mit dem Beginn des Zeitalters von Industrie 4.0 (I4.0), welches durch eine dezentrale Verteilung von Funktionalitäten sowie der intelligenten Vernetzung aller Akteure der Wertschöpfungskette vom Zulieferer bis hin zum Kunden charakterisiert ist, gewinnt die Anbindung an das Internet of Things (IoT) zunehmend an Bedeutung. Der Wandel ist durch einen schrittweisen Übergang von heutigen, eingesetzten Anlagentechnologien zu vollkommen dezentralen und hochvernetzten Anlagentechnologien geprägt.

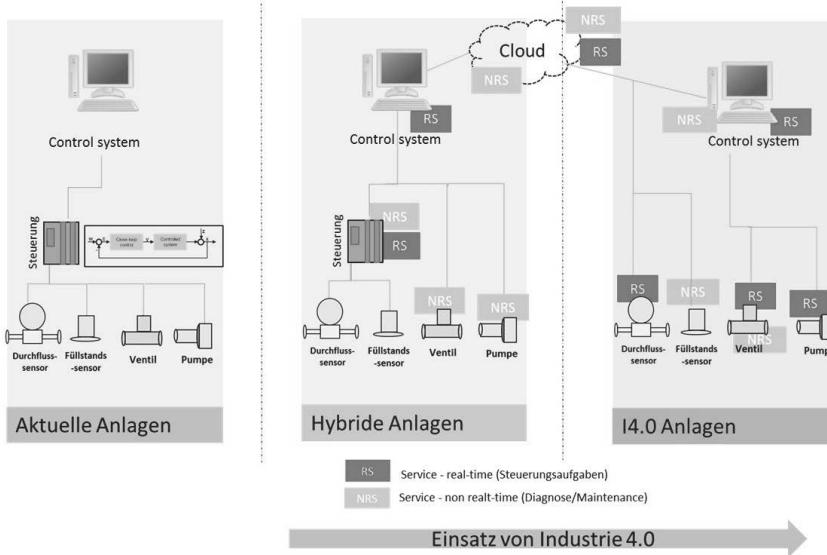


Bild 1: Der Wandel von der heutigen Anlage zu der Industrie 4.0 Anlage

In Bild 1 ist der Prozess des Wandels von der zentralen Anlagenlösung bis hin zur dezentralen Industrie 4.0 Anlage aufgezeigt. Die hybride Anlage beschreibt hierbei eine Kombination aus Geräten, welche einerseits traditionelle Technologien, wie zum Beispiel PROFIBUS, PROFINET, HART beinhalten sowie andererseits IoT-Technologien basierend auf service- oder funktionsorientierten Ansätzen unterstützen.

# Integration von Serviceschnittstellen in Funktionsbausteinarchitekturen

**Constantin Wagner, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple,**  
Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen University, Aachen

## Kurzfassung

Im Rahmen einer fortschreitenden Digitalisierung der industriellen Produktion durch Initiativen wie Industrie 4.0 und IoT gewinnen servicebasierte Architekturen zunehmend an Bedeutung. Dafür wurde die Vision entwickelt, dass einzelne Aggregate, Teilanlagen, Anlagen und ganze Unternehmen über Servicesysteme ihre Fähigkeiten anbieten und damit für andere Marktteilnehmer nutzbar machen. Diese Entwicklung resultiert in einer noch flexibleren und höher vernetzten Industrie bzw. Gesamtwirtschaft. In der vorliegenden Veröffentlichung wird dazu das Interface von Funktionsbausteinen für das nachrichtenbasierte Aufrufen von Services aus dem Bereich der Prozessführung vorgestellt. Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Anbindung von Funktionsbausteinen an das Servicesystem der Ressourcen aus der IEC 61499. Diese Funktionsbausteine dienen dazu, alle Prozessführungsservices, die ein Serviceprovider bereitstellt, aufzurufen und den Serviceprovider entsprechend der gegebenen Randbedingungen zu parametrieren. Das Interface des Bausteins muss dabei soweit es möglich ist einheitlich sein, um eine Standardisierung zu ermöglichen, auf der anderen Seite aber wandlungsfähig genug sein, um die große Flexibilität von Services nicht einzuschränken. Um dem gerecht zu werden, wird auf verschiedene Möglichkeiten der Bausteinerzeugung eingegangen. Das vorgestellte Konzept wird prototypisch in der Laufzeitumgebung des Lehrstuhls für Prozessleittechnik implementiert und erprobt. Dabei werden die bekannten der Konzepte der service- und kommandoorientierten Prozessführung, sowie das Nachrichtensystem des Lehrstuhls verwendet.

## Einführung

Im Rahmen einer fortschreitenden Digitalisierung der industriellen Produktion durch Initiativen wie Industrie 4.0 und IoT gewinnen servicebasierte Architekturen zunehmend an Bedeutung. Im Rahmen dessen wurde die Vision geäußert, dass einzelne Aggregate, Teilanlagen, Anlagen und ganze Unternehmen über Servicesysteme ihre Fähigkeiten anbieten und damit für andere Marktteilnehmer nutzbar machen. Das Ergebnis wäre die Entstehung eines noch

flexibleren und höher vernetzten Wirtschaftsstandorts in Deutschland als dies bisher der Fall ist.

In der industriellen Leittechnik sind die Sprachen der IEC 61131-3 [1] für die Implementierung von automatisierungstechnischen Lösungen sehr verbreitet. Diese Sprachen haben sich in der Vergangenheit bei der Umsetzung von Automatisierungsprojekten bewährt und darüber hinaus sind viele Mitarbeiter der Domäne mit ihnen bestens vertraut. Daher gibt es zum jetzigen Zeitpunkt keine Anzeichen, dass sich absehbare Zeit etwas grundlegend an ihrer Verbreitung und ihrer Bedeutung ändert.

Der verstärkte Einsatz von servicebasierten Architekturen und Servicesystemen macht die Integration dieser Paradigmen und Lösungsansätze in die IEC 61131 Welt erforderlich. In der IEC 61499 [2] ist eine Anbindung der Funktionsbausteine an das Servicesystem der Ressourcen bereits integriert. Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung wird dazu das Interface von Funktionsbausteinen für das Aufrufen von Services aus dem Bereich der Prozessführung vorgestellt. Diese Funktionsbausteine dienen dazu alle Prozessführungsservices die ein Serviceprovider bereitstellt aufzurufen und den Serviceprovider entsprechend der gegebenen Randbedingungen zu parametrieren. Darüber hinaus wird auf verschiedene Möglichkeiten, diesen zu erzeugen eingegangen. Anschließen wird die prototypische Implementierung des Bausteins und dessen Erprobung im Rahmen der Prozessführungskonzepte des Lehrstuhls beschrieben.

Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 wird der aktuelle Stand der Technik im Umfeld des vorgestellten Konzepts zusammengefasst. Unser Lösungsansatz wird im dritten Kapitel vorgestellt und beschrieben. Kapitel 4 fasst Voraussetzungen und Randbedingungen für den Lösungsansatz zusammen. Im fünften Kapitel wird die prototypische Implementierung des Konzepts vorgestellt mit deren Hilfe unser Konzept erprobt wurde. Im letzten Kapitel wird der Beitrag zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Arbeiten bzw. das weitere Vorgehen gegeben.

## Ausgangslage

### *Service orientierten Architekturen*

In Service orientierten Architekturen (SOA) werden Services (Dienste) als Designprinzip verwendet. Diese sind dadurch Charakterisiert, dass sie eine beschriebene Aufgabe erfüllen und ein spezifiziertes Interface besitzen. Wie oder von welchem Serviceprovider (Dienstanbieter) die Aufgabe erfüllt wird, ist für den Serviceuser (Dienstnutzer) nicht zwingend erkennbar. Services sind für potentielle Nutzer auffindbar oder sind diesen bekannt. Im Rahmen von Serviceimplementierungen können andere Services genutzt werden, dieses Vorgehen

# Plug-and-Produce based on Standardized Industrie 4.0 Asset Administration Shells

## Use Cases, Architecture, Prototype, and Standardization Gaps

Dr.-Ing. Heiko Koziolek, Dr.-Ing. Dirk Schulz,

Dr. Stephan Sehestedt, Roland Braun,

ABB Corporate Research, Ladenburg

### Abstract

Engineering and commissioning field devices and production modules in typical manufacturing settings is today still a largely manual and often error-prone process. Most proposed Plug&Produce approaches rely on proprietary technologies, device descriptions, and device functionalities and thus cannot incorporate devices from different vendors. In this contribution, we propose a minimal, but expressive AAS structure that is fully based on industry standards and Namur recommendations. We show how this AAS structure can be mapped to different communication technologies, such as OPC UA and MQTT. As a proof-of-concept, we have implemented a prototype using the proposed AAS structure to realize a restricted device-level PnP scenario. Due to the use of standards, our results can be easily reproduced by researchers and practitioners, so that a broad applicability of our concepts is possible.

### 1. Introduction

Integrating field device or plant modules into a production facility is still a largely manual and error-prone task today [3] [1]. Long commissioning times for industrial plants contribute to high overall cost and also make plants less flexible, as configuration changes are expensive and potentially unreliable. The so-called plug&play concept in the IT world addressed a similar problem for personal computers starting in the mid-1990s. During the last 15 years, many engineers and researchers have been working on transferring this concept in the industrial automation domain to achieve “plug&produce” (PnP), a more automated approach towards industrial device integration. The Industrie 4.0 movement has accelerated research into this direction.

While PnP can be achieved to a certain extent for integrating the devices of a specific vendor with each other, the task becomes much harder if PnP shall work seamlessly across vendor borders. In this case, standardized device descriptions and configurations are required, so

that newly connected devices can be identified, their capabilities can be assessed, and a configuration suitable for the given context can be given to them.

An Industrie-4.0-PnP-approach can already build on substantial standardization work, so that a realization becomes foreseeable in the near future. The FDI standard [3] provided prerequisites for specifying device description in a standardized structure, which can be communicated in an interoperable way using OPC UA. For industrial field devices, vendor-neutral property catalogs, such as eCl@ss already contain significant information to aid a capability assessment. On the other hand, auto-discovery approaches for IP-based networks are available which streamline the task of network configuration in a PnP scenario. There are also numerous academic works illustrating PnP concepts for classical field devices.

The contributions of this paper are 1) a PnP use case specification based on IEC 62559-2, 2) a conceptual architecture and structuring of the information needed for a vendor-neutral PnP approach, and 3) a prototypical realization of the architecture using OPC UA to prove the concepts. The scenario shows the seamless integration of a sensor device into a control system, and allows startup of basic functionality. The approach is intended to enable an informed discussion on standardization gaps. It does not use proprietary technology and can be easily reproduced by researchers and practitioners.

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 summarizes the Platform Industrie 4.0 scenario “Adaptable Factories” and surveys related work. Section 3 sketches a use case specification derived for the scenario. Section 4 describes a generic architecture to address the requirements out of the use case, and Section 5 shows how the architecture can be mapped to OPC UA and MQTT. Finally, Section 6 describes an example implementation of the use case for a concrete setting and discusses different standards.

## 2. Plug & Produce for Adaptable Factories

### 2.1 Scope

The application scenario Adaptable Factories [2] sketches a flexible production line that can be re-configured during runtime. For today's production lines, a re-configuration to manufacture a new product variant or to benefit from new production capabilities implies a significant overhead in manual and thus expensive work. Analogous to the “plug-and-play” concept for desktop computers, the vision is to have “plug-and-produce” capabilities for future production lines. New field devices or production modules shall be integrated into production lines with minimal or no manual overhead, thus greatly increasing the production flexibility.

Such an adaptable factory would consist of modular production facilities that are intelligent and interoperable and can be easily re-composed or extended to address customer needs

# Semantische Allianz 4.0: Semantische Inhalte für Industrie 4.0

**Constantin Hildebrandt, André Scholz, Alexander Fay,**  
Helmut-Schmidt-Universität Hamburg;  
**Tizian Schröder, Thomas Hadlich,**  
Otto-v.-Guericke Universität Magdeburg;  
**Christian Diedrich**, Otto-v.-Guericke Universität Magdeburg;  
**Martin Dubovy**, Rösberg Engineering, Karlsruhe;  
**Christian Eck, Ralf Wiegand**, eCI@ss e.V., Köln

## 1. Kurzfassung

Kooperation und Kollaboration technischer Systeme ist in verschiedenen Anwendungskontexten eines der wesentlichen Ziele der Vision der Industrie 4.0. Hierzu ist es jedoch notwendig, eine geeignete semantische Basis für den Informationsaustausch der technischen Systeme zu definieren. Dies ist das Ziel des Projektes SemAnz4.0. Im Rahmen des Projektes wird, basierend auf internationalen Standards, die maßgeblich von deutscher Seite vorangetrieben werden, ein Konzept entwickelt, welches die Informationsmodellierung und den Informationsaustausch technischer Systeme im Kontext von Industrie-4.0-Anwendungsszenarien ermöglichen soll. Die Normen und Standards bzw. die sie unterstützenden Organisationen bilden damit perspektivisch eine „Semantische Allianz für Industrie 4.0“ – daher das Akronym „SemAnz4.0“. Der vorliegende Beitrag stellt ein Konzept zur Systemmodellierung dar, das auf der Nutzung einer modellübergreifenden Semantik basiert. Auf diesem Konzept aufbauende Systemmodelle bilden die für den Anwendungskontext des Systems notwendigen Informationen ab, sodass sie durch andere Systeme interpretierbar sind, und stellen somit die Basis für die Kooperation bzw. Kollaboration dieser Systeme dar. Das SemAnz4.0-Konzept wird in diesem Beitrag sowohl technologieunabhängig dargestellt als auch für ein Beispiel der verfahrenstechnischen Domäne mit Hilfe von AutomationML und eCI@ss implementiert.

## 2. Einleitung

Das Konzept „Industrie 4.0“ (I40), welches entsprechend [1] auf die Kollaboration und Kooperation (KnK) technischer Systeme setzt, wird sowohl in Deutschland als auch international als Schlüsselinnovation für die Zukunft verstanden und mit Hochdruck in Forschung und Industrie verfolgt [2]. Im Kontext der I40 bezieht sich die KnK technischer

Systeme sowohl auf eine horizontale Dimension, in der ein möglichst hoher Grad an Automatisierung in den Wertschöpfungsnetzwerken erreicht werden soll, als auch auf eine vertikale Dimension, in der Systeme von der Sensor-Aktor-Ebene bis zur Unternehmensleitebene in einer durchgängigen Lösung integriert sind [3]. Zur Realisierung einer derartigen Interaktion technischer Systeme ist es unerlässlich, die Semantik ausgetauschter Informationen entsprechend zu beschreiben, sodass von allen beteiligten Systemen der Informationsgehalt ausgetauschter Nachrichten gleichermaßen interpretiert werden kann [4]. Betrachtet man die Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 (AG2) [5], so ist das Thema Semantik essentieller Bestandteil für acht der zehn beschriebenen Szenarien. Wie in [3] dargestellt, besteht jedoch noch erheblicher Handlungsbedarf hinsichtlich Methoden und Prozessen zur Erstellung, Qualifizierung und Prüfung einer während des gesamten Lebenszyklus verwendbaren Semantik.

Der vorliegende Beitrag fokussiert auf die Modellierung mechatronischer Systeme und stellt dar, wie die Informationen im Engineering gewonnen und so modelliert werden können, dass sie anschließend in der Betriebsphase für bestimmte Anwendungen automatisiert genutzt werden können. Kapitel 2 stellt hierzu drei wesentliche Anforderungen vor und stellt das SemAnz4.0-Konzept vor. Kapitel 3 beinhaltet das Systemmetamodell, und Kapitel 4 beschreibt das Eigenschaftsmetamodell des Konzepts. Kapitel 5 stellt an einem Beispiel dar, wie das SemAnz4.0-Konzept in Use-Cases der I40 genutzt werden kann, während Kapitel 6 die Ergebnisse des Beitrags zusammenfasst.

### **3. Konzept zur Modellierung semantischer Inhalte**

Die Arbeitsgruppe 2 (Forschung und Innovation) der Plattform Industrie 4.0 entwickelt Anwendungsszenarien, um mögliche Potentiale der Digitalisierung in der produzierenden Industrie aufzuzeigen [5]. Im Rahmen des Projektes SemAnz4.0 wurden vier dieser Szenarien ausgewählt, die in Summe sowohl horizontale als auch vertikale Integration sowie das Engineering der Systeme beinhalten. Bei den ausgewählten Szenarien handelt es sich um „auftragsgesteuerte Produktion“ (AGP), „smarte Produktentwicklung für smarte Produktion“ (SP2), „Value-based Services“ (VBS), sowie das Szenario der „wandlungsfähigen Fabrik“ (WFF). Diese Szenarien wurden über die Langfassungen, auf die in [5] hingewiesen wird, hinaus weiter konkretisiert und spezialisiert, und anhand realer Fallbeispiele wurde untersucht, welche Informationen die beteiligten Systeme in ihrem jeweiligen Anwendungskontext austauschen müssen. Aus der Analyse der so spezialisierten Anwendungsszenarien wurden Anforderungen an das Konzept zur semantischen Modellierung von Systeminformationen in

# Workflow zur Einführung der Virtuellen Inbetriebnahme im Engineering von Automatisierungssystemen

## Weiterführung der Richtlinienarbeit des GMA FA 6.11

Prof. Dr.-Ing. **M. Barth**, HS Pforzheim;  
Dipl.-Inform. **O. Stern**, RIF e.V., Dortmund;  
Dipl.-Ing. **B. Iffländer**, Dr.-Ing. **M. Oppelt**, Siemens AG, Erlangen;  
Prof. Dr.-Ing. **J. Jäkel**, HS Leipzig;  
Prof. Dr.-Ing. **R. Schumann**, Dipl.-Ing.(FH) **P. Hoffmann**, HS Hannover;  
Prof. Dr.-Ing. **R. Schmidt-Vollus**, HS Nürnberg;  
Dipl.-Ing. **R. Schulze**, AviComp Controls GmbH;  
Dipl.-Ing. **C. Richter**, Fraunhofer IGCV, Augsburg;  
Dipl.-Ing.(FH) **M. Hoernicke**, ABB AG, Ladenburg;  
Dr.-Ing. **L. Hundt**, inpro GmbH, Berlin

### Kurzfassung

Der GMA Fachausschuss (FA) 6.11 widmet sich seit 2013 der Erarbeitung der VDI/VDE Richtlinie 3693 [1] zum Themenfeld der Virtuellen Inbetriebnahme (VIBN). 2016 wurde Blatt 1 der Richtlinie „Modellarten und Glossar“ mit Definitionen zu Testkonfigurationen, Testmethoden und Modellarten, die im Rahmen der Virtuellen Inbetriebnahme eingesetzt werden, veröffentlicht. Aktuell erarbeiten die Mitglieder des FA Blatt 2 der Richtlinie, welches die Einführung der VIBN in Unternehmen thematisiert. Im Fokus steht ein Best-Practice-Ablauf, dessen Aktivitäten, Dokumente und beteiligte Rollen detailliert beschrieben werden. Darüber hinaus wird ein Ausblick auf künftige Arbeiten zu weiteren Blättern der Richtlinie gegeben.

### Abstract

In 2013, the technical division „Measurement and Automatic Control“ of the Association of German Engineers founded a new technical committee working in the field of Virtual Commissioning. In 2016, the first results have been published in the new guideline VDI/VDE 3693 [1] providing definitions for possible test configurations, test methods and simulation models for the simulation-based validation of control code for automation systems. The forthcoming second part of the guideline presents a workflow for integrating Virtual Commissioning in industrial automation projects. It describes the related activities, documents and roles of the involved parties. Additionally, an outlook on future work of the technical committee will be given.

## 1. Einleitung

### 1.1 Motivation für eine Richtlinie zur VIBN

Die Virtuelle Inbetriebnahme ist seit mehreren Jahren ein Forschungsfeld von Universitäten, Hochschulen und Unternehmen. Nach wie vor widmen Konferenzen und Journale der VIBN ganze Sessions bzw. Fokusthemen. Trotz dieser erheblichen Zuwendung hat die VIBN bislang nicht den flächendeckenden Status einer industriellen Standardlösung innerhalb des Engineerings von Automatisierungssystemen erreicht. Die Analyse der Gründe hierfür und die Unterstützung der VIBN auf ihrem Weg zu einem flächendeckenden Einsatz hat sich der GMA Fachausschuss 6.11 als Ziel für seine Arbeiten gesetzt. Der Fachausschuss setzt sich aus Vertretern von Universitäten, Hochschulen und Unternehmen zusammen, welche die VIBN als Lösung anbieten oder geeignete Werkzeuge und Methoden für deren effizienten Einsatz entwickeln und bereitstellen. Des Weiteren finden sich unter den Mitgliedern Anlagenbetreiber, deren Automatisierungstechnik (AT) mithilfe der VIBN getestet werden soll. Mit dem 2016 veröffentlichten Blatt 1 der VDI/VDE-Richtlinie 3693 [1] zu den Themen „Modellarten und Glossar“ ist ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zum flächendeckenden Einsatz der VIBN in Automatisierungsprojekten erreicht. Anbieter und Nutzer können sich nun anhand definierter Begriffe zu Modellen und Testkonfigurationen zielgerichtet über die Thematik informieren, austauschen bzw. deren Einsatz festlegen. Die in diesem Beitrag beschriebenen Inhalte des sich aktuell in der Bearbeitung befindenden 2. Richtlinienblattes betreffen einen weiteren Hinderungsgrund für die Anwendung der VIBN: deren effiziente Einführung. Oftmals hängt die Einführung der VIBN in Unternehmen von einzelnen Entscheidern und dann auch von den für die Umsetzung verantwortlichen Ingenieuren ab [2]. Aufgrund der fehlenden Erfahrung sind notwendige Fragestellungen zur Organisation, zu benötigter Hardware und Software, zu Schlüsselqualifikationen, Dokumentationen oder Durchführung der VIBN nicht bekannt, was zu Beeinträchtigungen bzw. im Extremfall zum Scheitern des Vorhabens führen kann.

Als Basis der grundlegenden Entscheidung für den Einsatz der VIBN wird in den folgenden Abschnitten zunächst eine objektive Argumentation in Bezug auf die Chancen, Herausforderungen und Grenzen der VIBN in Automatisierungsprojekten gegeben.

### 1.2 Chancen des Einsatzes der VIBN

Die nachfolgende Aufzählung enthält Aspekte, die für den Einsatz der virtuellen Inbetriebnahme von Automatisierungssystemen sprechen:

- Die VIBN ermöglicht eine Minimierung der Risiken für Mensch, Umwelt und Investitionsgüter durch den Einsatz eines Automatisierungssystems, dessen Funktionsweise

# Virtuelle Inbetriebnahme komplexer Produktionsanlagen mittels echtzeitfähiger Co-Simulation

## Co-Simulation unter Einbindung industrieller Steuerungssysteme

**C. Scheifele** M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **O. Riedel**, Prof. Dr.-Ing. **A. Verl**,  
Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der  
Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW), Stuttgart

### Kurzfassung

Im Engineering-Prozess von vollautomatisierten Produktionsanlagen besteht der Bedarf an innovativen simulationsbasierten Methoden und Werkzeugen, welche die steigende Komplexität beherrschbar machen und am experimentierfähigen Modell Optimierungen ermöglichen. Im Rahmen einer **Hardware-in-the-Loop (HIL) Simulation**, einer speziellen Testkonfiguration für die **Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN)**, wird das reale Steuerungssystem über die reale Kommunikationsperipherie mit einem virtuellen Maschinenmodell, das zeitsynchron mit dem realen, unveränderten Steuerungssystem interagiert, verbunden. Die Online-Berechnung des Systemverhaltens der Produktionsanlage (**Echtzeitsimulation**) nimmt dabei eine Schlüssel-funktion ein, da die virtuelle Produktionsanlage über die reale Kommunikationsperipherie mit dem industriellen Steuerungssystem kommuniziert. Dieser Beitrag behandelt die Fragestellung, wie auch komplexe Verhaltensmodelle einer virtuellen Produktionsanlage durch eine **Co-Simulation** unter Einbindung realer Steuerungssysteme echtzeitfähig abgebildet werden können.

### Abstract

In the engineering process of fully automated production plants, there is the need of innovative simulation-based methods and tools, which make increasing complexity controllable and optimizations at experimental models possible. In **hardware-in-the-loop (HIL) simulation**, a special test configuration for **virtual commissioning (VIBN)**, the real control system is connected to a virtual machine model via real communication periphery. The virtual machine model interacts synchronously with the real, unchanged control system. Here, the online calculation of the production plant's system behaviour (**real-time simulation**) plays a key role,

as the virtual production plant communicates with the industrial control system via real communication periphery. This article addresses the problem of imaging also complex behaviour models of virtual production plants in real-time through a **co-simulation** involving real control systems.

## 1. Motivation und Zielsetzung

Zur Erfüllung der massiven Anforderungen an Leistung, Qualität und Kosten bei steigendem Automatisierungsgrad ist der Einsatz von virtuellen Methoden und Werkzeugen im Engineering („*Digital Engineering*“) von industriellen Produktionssystemen unabdingbar. Eine Methodik des Digital Engineerings ist die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN).

Nach VDI/VDE 3693 lassen sich für die VIBN drei Testkonfigurationen definieren. Die Testkonfigurationen unterscheiden sich dabei „in der Repräsentation der Steuerung (emuliert oder real) sowie in der Implementierungsform des Steuerungscodes“ [1]. Diese sind (vgl. [1]):

- **Model-in-the-Loop (MIL):** Abstrahiertes Steuerungsprogramm in Modellsprache, keine Kommunikationsperipherie
- **Software-in-the-Loop (SIL):** Emulierte oder angepasste Steuerung, Steuerungsprogramm in der Programmiersprache des Steuerungssystems, virtuelle Kommunikationsperipherie mit weichen oder keinen Echtzeitanforderungen
- **Hardware-in-the-Loop (HIL):** Reale Steuerungshardware, Steuerungsprogramm in der Programmiersprache des Steuerungssystems, reale Kommunikationsperipherie mit zeitdeterministischen Echtzeitanforderungen (vgl. [2])

Aus Sicht der industriellen Steuerungstechnik nimmt vor allem die HIL-Simulation einen hohen Stellenwert im Digital Engineering von Produktionssystemen ein, da die reale, unveränderte Steuerungshardware an der virtuellen Produktionsanlage vorab in Betrieb genommen werden kann. MIL und SIL werden in frühen Phasen des Engineerings eingesetzt, in denen das reale Steuerungsprogramm oder die reale Steuerungshardware noch nicht vorliegt. Ziel hierbei ist es, im Entwicklungsprozess am experimentierfähigen Modell die Produktionsanlage auszulegen und simulationsbasiert Tests durchzuführen.

Bei der MIL- und SIL-Simulation ist die Echtzeitfähigkeit des Simulationsmodells aufgrund des direkten Anwender-Feedbacks wünschenswert. Bei der HIL-Simulation nimmt die Online-Berechnung des Systemverhaltens der Produktionsanlage eine Schlüsselfunktion ein, da die virtuelle Produktionsanlage über simulierte Feldbusteilnehmer mit dem realen Steue-

# Aspekte zur Entwicklung von industriellen Augmented Reality Lösungen

## Aspects of the Development of Industrial Augmented Reality Solutions

Dipl.-Ing. **L. Baron**, Dipl.-Ing. **M. Freund**, Dipl.-Ing. **Ch. Martin**,

PD Dr.-Ing. **A. Braune**,

Technische Universität Dresden, Institut für Automatisierungstechnik

### Kurzfassung

Anwendungen unter Einsatz von *Augmented Reality (AR)*-Technologien gewinnen zunehmend an Relevanz in diversen industriellen Anwendungen, zum Beispiel für Produktpräsentationen, Ausbildung und Lehre, Engineering, etc. Bei der Entwicklung solcher Anwendungen – im Speziellen von Bedien- und Beobachtungslösungen – müssen verschiedene Normen und Richtlinien beachtet werden, um zu gewährleisten, dass Anforderungen an die Betriebssicherheit in der jeweiligen Anlage eingehalten werden. In diesem Beitrag sollen einige Aspekte bezüglich der Anwendbarkeit solcher Richtlinien auf AR Anwendungen untersucht werden. Darüber hinaus werden weitere Aspekte betrachtet, die bei der Einführung von AR Anwendungen im großen Maßstab relevant sind, wie etwa die durchgängige Nutzbarkeit von CAD-Anlagenmodellen zur automatischen Erzeugung von AR-Lösungen. Schließlich stellen wir eine Fallstudie einer AR-Anwendung für eine prozesstechnische Kleinversuchsanlage vor.

### Abstract

Augmented Reality (AR) applications gain more and more relevance in various industrial applications lately, e. g. for product presentations, education, engineering, etc. In the industrial domain, especially in process supervision applications, a number of standards and guidelines have been established to ensure that the design of user interfaces meets the safety requirements of plants or factories. Hence, we seek an evaluation if these guidelines can be applied to AR applications. Moreover, there are other aspects to consider in case AR solutions shall be applied on a larger scale in industrial applications. Thus, it is being discussed whether CAD plant models can be used to generate AR applications automatically. Finally, in this contribution, we present the first preliminary results of a case study on the application of those standards to a visual AR application for in-field inspection and servicing scenarios.

## 1. Einleitung

Auf *Augmented* oder *Virtual Reality* (AR/VR – Erweiterte/Virtuelle Realität) basierende Lösungen werden häufig als Schlüsseltechnologien für das *Internet of Things* (IoT) oder fortschrittliche Assistenzsysteme auf Basis der *Industrie 4.0*-Herausforderungen betrachtet [1]. Ein AR-System erweitert reale Umgebungen, indem deren reale mit virtuellen Objekten kombiniert werden. Das System muss dabei durch geschickte dreidimensionale Ausrichtung die virtuellen und realen Objekte in Beziehung zueinander setzen, sodass die virtuellen Objekte als Teil der realen Umgebung wahrgenommen werden. Die AR-Benutzungsschnittstelle muss dabei in Echtzeit arbeiten [2], damit die Szene als möglichst natürlich wahrgenommen werden kann.

Einige existierende industrielle AR-Anwendungen verbessern die Darstellung von Produkten für Besucher und Kunden in einer Fabrik oder für Produktschulungen [3], wobei auf Erfahrungen aus dem Bereich der Navigations-, Besucher- und Reiseinformationssysteme zurückgegriffen werden kann [4]. Andere industrielle AR-Anwendungen sind auf die Produktentwicklung und -montage oder die Unterstützung von Wartungsaufgaben fokussiert [3, 5]. Einige dieser Anwendungen visualisieren dabei fehlende Komponenten beim Produktzusammenbau oder verbessern frühzeitige Tests und Einschätzungen der Gebrauchstauglichkeit industrieller Produkte. Für die Produktmontage wurden bereits AR-Prototypen entwickelt, die ortsfeste Komponenten mit virtuellen Annotationen versehen, um den nächsten Montageschritt anzuleiten [5]. Dabei wird das Personal mittels textueller oder grafischer Instruktionen angeleitet, die eine Verbesserung gegenüber den etablierten Anleitungen in Papierform darstellen.

Im Gegensatz dazu müssen in Bedien- und Beobachtungslösungen für industrielle Prozesse, insbesondere bei Wartungs- und Inspektionsaufgaben, Prozessdaten in Echtzeit angezeigt werden, um eine Beurteilung des Zustands eines technischen Prozesses oder bestimmter Geräte und Maschinen zu ermöglichen. Dies ist insbesondere bei der Fehlersuche und -erkennung sowie zur Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit relevant. Daher müssen auch AR Systeme in der Lage sein, Prozessdaten in der augmentierten Umgebung anzuzeigen. Heutzutage haben industrielle AR-Lösungen jedoch üblicherweise noch keinen Zugang zu Live-Prozessdaten.

Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit bzw. zur Erfüllung softwareergonomischer Anforderungen werden klassische Benutzungsschnittstellen (UI – User Interface) typischerweise unter Berücksichtigung einschlägiger Normen und Standards entwickelt. Daher ist davon auszugehen, dass auch AR-basierte UIs diese Anforderungen erfüllen müssen. Daraus resultiert die Forschungsfrage, wie AR-Lösungen entsprechend zu gestalten sind. Zur Be-

## Neuer Standard für Ethernet im Feld der Prozessanlage: IEEE 802.3-10SPE

### A new standard for Ethernet in the field of Process Automation plants: IEEE 802.3-10SPE

**Dr.-Ing. Jörg Hähnische,**

Endress+Hauser Process Solutions AG, Reinach/Schweiz;

**Michael Kessler,**

Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim/Deutschland

#### **Kurzfassung**

Industrial Ethernet basierte Netzwerke sind in der Fertigungsautomatisierung Stand der Technik. Spätestens seit Industrie 4.0, Industrial Internet of Things (IIOT) oder Anwendungen von Big Data wird die Forderung nach einer durchgängigen Ethernet- basierten Kommunikation vom Feld bis in die „Cloud“ immer offensichtlicher. In der Prozessautomatisierung werden Feldgeräte dagegen immer noch überwiegend über 4...20 mA und HART eingebunden. In diesem Bereich der Automatisierungstechnik gelten für die Übertragungstechnik harte Anforderungen, die von heutigen Fast-Ethernet Varianten (100/1000 BASE-TX) nicht erreicht werden: Spannungsversorgung und Kommunikation über eine Zweidrahtleitung und dies über lange Wegstrecken von bis zu 1200 Metern. Lösungen, die diese Anforderungen erfüllen sollen, müssen auch noch geeignet sein, die in der Prozessautomatisierung üblichen eigensicheren Zweidraht- Messgeräte, wie z.B. Druck- oder Temperaturmessgeräte anschließen zu können, ohne die Kosten für die Anschaltung zu erhöhen.

In dem Beitrag wird die Technologie und der Status der Entwicklung einer gemeinsamen Plattform sowie die aktuellen Arbeiten in der IEEE 802.3 – 10SPE Projektgruppe vorgestellt. Ziel dieser Aktivitäten ist es, eine einheitliche und selbst für einfache Sensorik wie Drucktransmitter oder Temperaturmessumformer wirtschaftliche digitale Ethernet- Übertragungstechnik mit Kommunikation und Stromversorgung über eine Zweidrahtleitung zu spezifizieren und als Norm zu verabschieden.

#### **Abstract**

Industrial Ethernet based networks are state of the art in factory automation. Industry 4.0, IIOT or "Big Data" applications are making the need for a seamless Ethernet based commu-

nication from the field to the cloud obvious. In process automation however, field instruments are still connected through 4...20 mA and HART. Process plants put challenging requirements on the physical layer that are not met by today's Fast Ethernet (100/1000 BASE-TX): Power supply and communication via two wires and long cable runs of up to 1200 m. Solutions fulfilling these requirements must as well allow the connection of common intrinsically safe devices like pressure or temperature transmitters without increasing the connection cost.

This paper presents the technology and the status of development of a common platform as well as the current activities in the IEEE 802.3 – 10SPE taskforce. These activities are aiming to specify and standardize a common Ethernet Physical Layer providing communication and power over two wire data line that allows the economical connection of even simple devices like pressure or temperature transmitters.

## 1. Aktueller Trend in der Automatisierungstechnik

Die vierte Industrielle Revolution ist in vollem Gange. Industrie 4.0 bedeutet Automatisierung mit Cyber Physical Systems, die auf der Vernetzung von Komponenten untereinander und mit Applikationen in der Cloud basieren. In der Fertigungsbereich ist dieses Thema schon sehr weit vorgedrungen, nimmt die Digitalisierung der Komponenten und deren

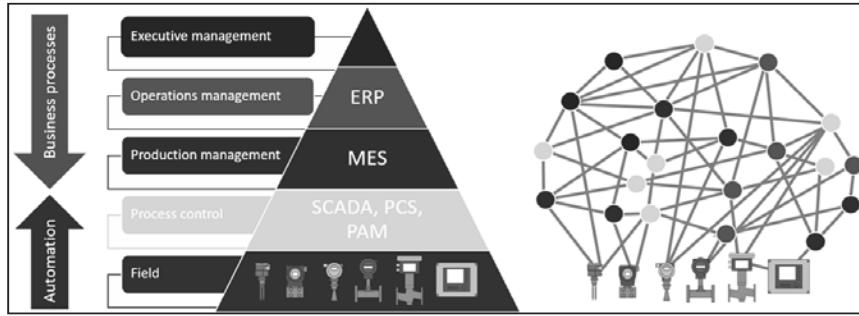


Bild 1: Traditionelle Automatisierungspyramide vs. I4.0 basierte Automation

Einbindung in neuartige Anwendungen zu. Mit der explosionsartigen Entwicklung der IT (Information Technology) ist diese zunehmend auch in den OT (Operation Technology) Bereich der industriellen Anwendungen vorgedrungen. Dies hat zu nachhaltigen Veränderungen in der Systemarchitektur geführt. Wie in Bild 1 dargestellt, wandelt sich die klassische Automatisierungspyramide hin zu einer flachen Architektur in welcher die typischen Automatisierungsfunktionen erhalten bleiben, jedoch die Vernetzung durchgängig ist von der Feldebene

# Bluetooth als Übertragungsprotokoll für Prozessregelungen

**T. Stein, M.Sc., Dr.-Ing. J. Kiesbauer, Dr.-Ing. J. Fuchs,**  
SAMSON AG, Frankfurt a. M.;  
**Prof. Dr.-Ing. U. Konigorski, TU-Darmstadt**

## Kurzfassung

Dieser Artikel beschreibt Bluetooth als Übertragungsprotokoll in Prozessregelkreisen mit dezentralen Reglern für Systeme, deren Zeitkonstanten deutlich kleiner sind als die Übertragungsintervalle der Funkübertragungsstrecke zwischen drahtlosen Sensoren und Aktoren. Um dennoch einen performanten Regler zu entwerfen, wird auf eine Kombination aus drahtlosen und drahtgebundenen Messwerten gesetzt und auf ein Multiratenentwurfskonzept zurückgegriffen. Die Leistungsfähigkeit des entworfenen Reglers unter Nutzung von Bluetooth als Messwertübertragungsprotokoll wird am Beispiel einer Durchflussregelung veranschaulicht.

## Abstract

This article focuses on the operation of Bluetooth as transmission protocol in the field of process control with decentral controllers for systems with small-time constants compared to the transmission interval between wireless sensors and actuators. To realize a controller with high performance, a combination between wireless and wired measured values in relation with a multirates design concept will be used. The capability of the designed controller in combination with Bluetooth for measurement data transfer will be shown with an example of flow control.

## 1. Einführung in Funkanwendungen

Drahtlose Kommunikation hat in vielen Lebensbereichen Einzug gehalten. In den letzten beiden Jahrzehnten wurde eine Reihe unterschiedlicher Übertragungsprotokolle entwickelt, die hauptsächlich auf den Übertragungstechnologien IEEE 802.11.x, IEEE 802.15.1 oder IEEE 802.15.4 basieren. Eine kleine Auswahl an Protokollen, die einen dieser Standards nutzen, sind WLAN, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, WirelessHART, ISA100.11a, 6LoWPAN oder auch proprietäre Protokolle. Einsatzbereiche sind die Unterhaltungselektronik, die Übertragung von Musik mittels Bluetooth, WLAN für den mobilen Internetzugang oder die Übertragung von Mess- und Steuerungsdaten in der Hausautomation u.v.m. Auch in der

Industrie gewinnt die drahtlose Kommunikation zunehmend an Bedeutung, wobei im Vergleich zur Unterhaltungselektronik andere Anforderungen an sie gestellt werden. So ist die Garantie der Ausfallssicherheit und Unempfindlichkeit gegenüber Störungen ein unumgängliches Thema. Auch Sicherheit gegenüber dem Zugriff Unbefugter und eine deterministische Datenübertragung für Regelungstechnische Anwendungen muss sichergestellt sein. Aufgrund dieses Anforderungsprofils werden derzeit drahtlose Technologien hauptsächlich für unkritische Diagnose-, Konfigurations- sowie Überwachungsaufgaben verwendet. Im Bereich der Regelungstechnik, insbesondere für Systeme mit einer hohen Dynamik, sind sie nur selten im Einsatz. Einige Arbeiten, die sich mit drahtlosen Regelungen beschäftigt haben, sind [1, 2, 7, 8, 9]. Insbesondere in [1] und [2] wurden Regelungskonzepte zur Durchflussregelung vorgestellt, die WirelessHART als Übertragungsprotokoll zur drahtlosen Rückführung von Messwerten nutzen. In beiden Arbeiten wurde gezeigt, dass generell eine Regelung mit WirelessHART möglich ist, aber aufgrund der Struktur von WirelessHART große Einschränkungen bei der Umsetzung einer Regelung bestehen. Deswegen beschäftigt sich dieser Artikel mit dem Bluetooth Low Energy (BLE) Protokoll, welches ebenfalls im geschlossenen Regelkreis einer Durchflussregelung betrieben werden soll. Ein wichtiger Bestandteil bei der Umsetzung der diesem Artikel zugrundeliegenden Untersuchungen war es, ein Bluetooth-Netzwerk zu schaffen, welches aus mehreren Netzwerkeinnehmern besteht. Unter Nutzung von Bluetooth wird ein Multiraten-Regelkonzept am Beispiel eines Versuchsstands vorgestellt, mit dem es ermöglicht wird, ein System modellbasiert entsprechend seiner Systemdynamik schnell auf seinen Sollwert auszuregeln, auch bei relativ zur Systemdynamik hohen Übertragungsintervallen von Messwerten in der drahtlosen Rückführung und bei Paketausfällen.

## 2. Das Bluetooth Protokoll

Im Jahr 1994 wurde von der Firma Ericsson ein Konzept zur Funkverbindung technischer Geräte entworfen, welches als Ersatz für die bis dahin vorhandene Infrarot-Technik dienen sollte. Dieses Konzept mündete in den Bluetooth Standard IEEE 802.15.1, welcher durch die SIG (Bluetooth Special Interest Group), ein Zusammenschluss mehrere Unternehmen, vorangetrieben wurde. Bluetooth nutzt das frei verfügbare ISM-Band (Industrial, Scientific and Medical Band). Im Vergleich zu älteren Bluetooth Versionen weist die Version 4, durch die BLE eingeführt wurde, grundlegende Änderungen auf. So sind ab dieser Version 40 Kanäle mit einer Kanalbreite von 2 MHz vorhanden und es steht eine Übertragungsbandbreite von 1 Mbit/s zur Verfügung. BLE besitzt drei Advertising Kanäle, die

# Anomalieerkennung in der Kommunikation industrieller Anlagen

## Anomaly Detection in the Communication of Industrial Systems

**H. Adamczyk, M. Krammel**, KORAMIS GmbH, Saarbrücken;  
**C. Siegwart** M.Sc., ZeMA gGmbH, Saarbrücken;  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **G. Frey**, Universität des Saarlandes, Saarbrücken

### Kurzfassung

Der Beitrag präsentiert erste Ergebnisse, die im Rahmen des Forschungsprojektes AnoKo (KORAMIS GmbH, ZeMA gGmbH, FKZ: 01IS16041) - Anomalieerkennung in der Kommunikation industrieller Anlagen 4.0 zur Abwehr von Cyberangriffen – entstanden sind. Dabei geht es um das Erkennen unerlaubter Eingriffe in industrielle Produktionsanlagen, die unter Umständen dramatische Folgen haben können. Schwerpunkte sind dabei die Analyse bestehender Kommunikationsprotokolle, das Monitoring und die Anomalieerkennung innerhalb einer industriellen Anwendung.

### Abstract

The contribution presents first results that occurred within the scope of the research project AnoKo (KORAMIS GmbH, ZeMA gGmbH, FKZ: 01IS16041) – Anomaly detection in the communication of industrial systems 4.0 for the defence of cyber attacks. The main objective of the project is to recognize unauthorized interventions in industrial production systems, which can have dramatic consequences. The focus will be on analysis of existing communication protocols, monitoring and anomaly detection of an industrial application.

### 1. Einführung und Motivation

In der jüngsten Vergangenheit erleben wir einen deutlichen Anstieg der Bedrohungen durch Cyberkriminalität. [1] beschreibt eindrucksvoll, dass sowohl kleine als auch große Unternehmen aller Industriezweige von einer immer weiter steigenden Anzahl an Cyber-Attacken betroffen sind. 2015 gab es demnach über 430 Millionen registrierte neue Malware Varianten. Dies entspricht einem Zuwachs von 36% zum vorherigen Jahr 2014. Deutschland als starkes

Industrie- und Forschungsland ist besonders von dieser Art der Bedrohung betroffen. Nach einer Studie [2] wird der Schaden alleine an der deutschen Wirtschaft in den zurückliegenden 5 Jahren auf über 65 Milliarden Euro geschätzt. Mit einem Schaden von 27 Milliarden Euro hat dabei besonders die produzierende Industrie mit dieser Gefahr zu kämpfen. Komplexe Cyberangriffe entwickeln sich daher für Industrieunternehmen zu einem immer größeren Risikofaktor. Durch die zukünftige Entwicklung im Rahmen von Industrie 4.0 steigt die Vernetzung der einzelnen Komponenten weiter stark an, da cyber-physische Systeme eine eigene Intelligenz besitzen und zunehmend autark miteinander interagieren. Sicherheitslücken bzw. Schwachstellen der Produktionssysteme in Form von Design, Implementierungs- sowie Konfigurationsfehlern können daher dramatische Folgen für die gesamte vernetzte Anwendung haben. Schwachstellen bieten dabei Potential für unerlaubte Zugänge und ungewünschte Eingriffe in das Produktionssystem und können beispielsweise zur fehlerhaften Produktion, zum Stillstand der Anlage oder gar zu Personenschäden führen.

Diese Entwicklung macht deutlich, dass zukünftige Forschung und die damit verbundenen Investitionen im Bereich Cybersecurity unumgänglich sind. In diesem Beitrag steht die Anomalieerkennung in der Produktion im Fokus. Abschnitt 2 beschreibt dazu zunächst gesetzliche Security Anforderungen. Der folgende Abschnitt befasst sich mit dem Industrieprotokoll PROFINET und beschreibt eine reale Montageanlage, die die Basis für die spätere Anomalieerkennung bilden wird. Damit ist die Grundlage für Abschnitt 4 gelegt, der eine Risikoabschätzung angibt und Schutzmaßnahmen herleitet. Abschließend steht die Evaluierung im letzten Abschnitt im Fokus.

## **2. Gesetzliche und normative Security Anforderungen**

Die EU-Richtlinie Netz- und Informationssicherheit, kurz NIS, definiert derzeit den aktuellen Stand regulatorischer Anforderungen. NIS beschreibt Maßnahmen zur Gewährleistung einer hohen gemeinsamen Netz- und Informationssicherheit in der Union. Sie richtet Anforderungen an die Mitgliedsstaaten, wie die Formulierung einer nationalen Strategie für Cybersicherheit. Weitere Anforderungen richten sich auch an Betreiber industrieller Anlagen, wie sie in den Branchen Energie (Strom, Gas, Öl), Transport (Luft, Bahn, Wasser, Straße) und Trinkwasserversorgung anzutreffen sind.

Die EU-Richtlinie wurde am 6. Juli 2016 veröffentlicht und mit dem IT-Sicherheitsgesetz in nationales Recht umgesetzt. Im Kern geht es beim nationalen IT Sicherheitsgesetz um die Absicherung kritischer Infrastrukturen, kurz KRITIS. Kritische Infrastrukturen im Sinne dieses Gesetzes sind Einrichtungen, Anlagen oder Teile davon, die den Sektoren Energie, Informa-

## Wie Sie Ihre IT-Sicherheit risikobasiert und betriebsverträglich steuern können

### Erstellung eines Risk-Treatment-Plans auf Basis eines Detailed Risk Assessments nach IEC 62443-2-1

**H. Rudolph, M. Müller, admeritia GmbH, Langenfeld**

#### **Kurzfassung**

Das Paper beschreibt die Konzeption, Erstellung und Umsetzung des detaillierten Risikobehandlungsplans und beinhaltet sowohl die Betrachtung der standardisierten organisatorischen und technischen Maßnahmen sowie die Aufnahme der aktuellen Betriebsorganisation als Basis für den zu erstellenden Risikobehandlungsplan. Die Umsetzung erfolgt in Workshops, welche die gesammelten Findings eines Detailed Risk Assessments sowie den Ist-Zustand der Betriebsorganisation mit in den Blick nehmen.

#### **1. Einleitung**

Wenn die Automation Security risikobasierend gesteuert werden soll, gilt es, ein kontinuierliches und handhabbares Riskmanagement einzuführen. Risk-Treatment-Plans (RTP) sind ein wesentlicher Bestandteil dieses Riskmanagements. Diese Abhandlung befasst sich damit, wie sich Risk-Treatment-Plans mit einfachen Mitteln betriebsverträglich gestalten lassen, auch wenn kein Security-Management-System vorhanden ist.

#### **2. Riskmanagement**

Die IT-Sicherheit in der vernetzten Automation Security wird vielfach risikobasiert gesteuert. Dies wird so auch in den einschlägigen Standards und Normen empfohlen, wie z. B. in der IEC 62443-Reihe [1], welche sich im aktuellen Entwurf ohnehin anhand der streng am Riskmanagement ausgerichteten ISO/IEC 27001 [2] orientiert. Das bietet vor allem den Vorteil, das Risikolevel je nach Risikobereitschaft organisationsintern selbst bestimmen zu können. Die Automation Security kann durch die zur Verfügung stehenden Risikostrategien nach dem Angemessenheitsgrundsatz umgesetzt werden. Die Steuerung der Automation Security über das Riskmanagement lässt sich dabei schlank über eine Policy und eine Automation Security

Governance realisieren und benötigt nicht zwangsweise ein Management System, welches naturgemäß etwas kopflastiger ist, da es neben der operativen Sicherheit auch das Security Management einschließt.

Was häufig fehlt, ist die betriebsverträgliche Ausrichtung der Automation Security.

Der Risikomanagementansatz erfordert eine kontinuierliche Risikoeinschätzung und die konsequente Einführung von Risk-Treatment-Plans und deren folgerichtige Nachbearbeitung sowie ein Ausnahme- und Eskalationsmanagement.

Eine regelmäßige Risikoeinschätzung wird in der Regel einerseits über die initiale und einer frequenziellen sowie einer anlassbezogenen Risikoeinschätzung sichergestellt.

Der Kern des Riskmanagements ist in den Risk-Treatment-Plans zu sehen, da hier die grundsätzlichen Risikostrategien Reduzierung, Transfer, Akzeptanz und Vermeidung durch Auswahl konkreter Maßnahmen zum Tragen kommen. Risk-Treatment-Plans bestehen aus technischen und organisatorischen Maßnahmen. Die Kunst ist dabei, das vorherrschende Betriebsregime so zu berücksichtigen, dass die im Risk-Treatment-Plan definierten Maßnahmen von der Betriebsführung akzeptiert, gelebt und betrieben werden können. Die Betriebsverträglichkeit steht hier im absoluten Vordergrund, da ansonsten wenig nachhaltige Maßnahmen definiert werden, welche keine allzu großen Halbwertzeiten aufweisen dürfen. Die Betriebsverträglichkeit muss u. a. durch die konsistenten Verfahren und Betriebsprozesse sichergestellt werden.

Gerade, wenn kein Management-System (z. B. Cyber Security Management System gemäß IEC 62443 [1]) vorhanden ist, ist die risikobasierte und betriebsverträgliche Ausrichtung der Automation Security das Maß der Dinge.

### **3. Risikoeinschätzung / -bewertung**

Eine Risikoeinschätzung beinhaltet auch die Bewertung der Risiken. Eine für die meisten Fälle geeignete Risikoeinschätzungsmethodik ruht auf einem szenarienorientierten Threat-Agent-Model, in dem Threat-Agents für Systemgruppen (Asset-Gruppen) in Abhängigkeit ihrer Kritikalitäten bzw. Schutzbedarfe über Angreifereigenschaften (Zugang, Fähigkeiten, Ressourcen) ermittelt werden. [3] Das geschieht über eine einfach zu parametrierende Modellierung der vorgenannten Relationen. Ist die Risikoeinschätzungsmethodik einmal modelliert, kann sie in der Regel für die nächsten Risikoeinschätzungen wiederverwendet werden, ggf. leicht modifiziert hinsichtlich bestimmter, sich unter Umständen geänderter Eigenschaften. [3] Eine solche Risikoeinschätzungsmethodik entspricht den in der IEC 62443-2-1 [1]

# Getrennte Schutzebenen sind die Basis für Safety und Security

## Independent Open Integration in der Funktionalen Sicherheit

Dr. A. Horch, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl

### Kurzfassung

Jeder Produktionsprozess birgt Risiken. Für Unternehmen in der Prozessindustrie ist es daher von größter Bedeutung, die Anforderungen der IEC 61511 für funktionale Sicherheit genau zu verstehen und korrekt umzusetzen. Um das Risiko von Stillständen und Zwischenfällen zu reduzieren, verlangt die IEC 61511 getrennte Schutzebenen für die Bereiche Steuerung und Überwachung, Prävention und Eindämmung sowie Notfallmaßnahmen. Jede dieser drei Ebenen übernimmt bestimmte Teifunktionen in der Risikominimierung und zusammen reduzieren sie die Gefahren, die vom gesamten Produktionsprozess ausgehen. Der Weg zu Funktionaler Sicherheit *und* Cybersecurity führt über *Independent Open Integration*.

### Abstract

Every production process harbors risks. For this reason, it is crucial that companies in the process industry properly understand and implement the IEC 61511 requirements for functional safety. To reduce the risk of downtimes and incidents, IEC 61511 requires separate layers of protection for control and monitoring, prevention and mitigation as well as for emergency measures. Each of these three layers addresses a specific aspect of minimizing risk and, collectively, they reduce hazards that originate within the overall production process. The path to functional safety *and* cyber security runs directly through *independent open integration*.

### 1. Einleitung

Jeder Produktionsprozess birgt Risiken. Zu diesen gehört heute auch zunehmend auch die Cyber-Kriminalität. Um in der Produktion ein höchstes Maß an Safety und Security zu erreichen, ist es für Unternehmen in der Prozessindustrie von größter Bedeutung, die Forderung der Normen für funktionale Sicherheit und Cyber-Security nach Trennung von Prozessleit- und Sicherheitssystem konsequent umzusetzen. Schließlich steht eine Menge auf dem Spiel: die Gesundheit der Mitarbeiter, die Sachwerte des Unternehmens und die Umwelt.

Um sich dem Zusammenspiel von Safety und Security anzunähern, ist es sinnvoll, zunächst einige Begrifflichkeiten zu klären. Es gibt zahlreiche Definitionen von Sicherheit. Ganz allgemein gilt: Sicherheit ist die Abwesenheit von Gefahr. Das bedeutet, ein Zustand ist sicher, wenn keine Gefahren herrschen. Da es gerade bei komplexen Systemen häufig nicht möglich ist, alle Risiken völlig auszuschließen, spricht man in der Industrie davon, dass Sicherheit die Freiheit von unvertretbaren Risiken ist.

Die Minimierung von Risiken auf ein vertretbares Maß ist Aufgabe der funktionalen Sicherheit. Ein System ist funktional sicher, wenn seine Sicherheit von einem sicherheitsbezogenen System abhängt und dieses seine Funktion erfüllt. Folgendes Beispiel verdeutlicht den Unterschied: Wenn aus einer Pipeline Öl strömt und Menschen vor Ort gefährdet, ist das ein Problem der Sicherheit. Kann ein System die Vereisung einer Pipeline nicht verhindern, obwohl genau das seine Aufgabe ist, und es kommt in der Folge zu einer kritischen Situation, ist das ein Problem der funktionalen Sicherheit.

Systeme der funktionalen Sicherheit schützen Menschen, Anlagen und Umwelt. Beispielsweise schalten sie Anlagen ein bzw. aus, wenn plötzlich gefährliche Situationen auftreten und Menschen nicht reagieren (können) bzw. andere Sicherheitsvorkehrungen nicht funktionieren. Sie sollen verhindern, dass es zu Unfällen oder unerwünschten, kostspieligen Anlagenstillständen kommt.

## 2. Getrennte Schutzebenen reduzieren Risiko

Unternehmen in der Prozessindustrie erkennen zunehmend die Wichtigkeit von Safety-Standards für die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit ihrer Anlagen. Die Norm IEC 61511 [1] für funktionale Sicherheit definiert klar, wie sich das Risiko von Stillständen und Zwischenfällen bestmöglich reduzieren lässt: Sie verlangt getrennte Schutzebenen für die Bereiche Steuerung und Überwachung, Prävention und Eindämmung sowie Notfallmaßnahmen (siehe Bild 1).

# Automatisierte Durchführung von Softwaretests für PLT-Sicherheitsfunktionen

Dr.-Ing. Andreas Ziegler, Dr.-Ing. Martin Roser,  
Dr.-Ing. Tobias Kleinert, BASF SE, Ludwigshafen

## Kurzfassung

Die Durchführung von Softwaretests für PLT-Sicherheitsfunktionen stellt häufig eine zeitaufwändige, sich stark wiederholende und fehleranfällige Aufgabe dar. Demnach birgt eine Automatisierung von Teilbereichen der Softwareprüfung erwartungsgemäß ein beträchtliches Potenzial zur Steigerung von Qualität und Effizienz.

Dieser Beitrag präsentiert einen Ansatz zur automatisierten Testdurchführung, bei dem Testfälle mittels OPC sequentiell an das Testsystem übermittelt und dynamisch, funktionsorientierte Modul- bzw. Integrationstests durchgeführt werden. Der Ansatz basiert auf Testfallbeschreibungen geringen Formalisierungsgrads und bietet somit eine praxisnahe Lösung für die effiziente Prüfung von PLT-Sicherheitsfunktionen unter Beachtung der geltenden Normen.

Das Potenzial dieses Ansatzes hinsichtlich Zeiteinsparung, Fehleraufdeckung und Fokussierung auf besonders relevante Testszenarien wird an anschaulichen Beispielen für Modultests steigender Komplexität diskutiert und abschließend Wege zur konsequenten Weiterentwicklung dieses Ansatzes hinsichtlich durchgängig automatisierter Funktionstests bis hin zur Entwicklungs- und Inbetriebnahme-Unterstützung von komplexen, modellbasierten PLT Sicherheitssystemen durch geeignete Anbindung an Prozesssimulationsmodelle.

## 1. Einleitung und Abgrenzung

Der Einsatz von PLT-Sicherheitseinrichtungen zur Absicherung von Prozessrisiken hat die letzten Jahre stark zugenommen. Dabei ist nicht nur die Anzahl, sondern auch die Komplexität angestiegen. Ein Beispiel sind modellbasierte PLT-Sicherheitseinrichtungen, die immense Vorteile hinsichtlich Anlagensicherheit und Prozessführung besitzen. Die steigende Komplexität stellt jedoch hohe Anforderungen an Rechenleistung von SSPS-Systemen und führt aufgrund von hohen Qualitätsanforderungen (IEC61511 bzw. IEC61508) zu einem sehr hohen Prüfaufwand während der Softwareentwicklung.

Andererseits existiert im Bereich der Software-Verifikation ein breites Spektrum an Prüftechniken zur Bewertung der Software-Qualität. Die Prüftechniken können unter anderem

hinsichtlich Testausführung (dynamisch – statisch) und Prüfkriterium (funktionsorientiert – nicht funktionsorientiert) unterschieden werden. Insbesondere die Testdurchführung durch Ausführen der kompilierten Anwendungssoftware (sog. dynamische Prüftechniken), sind in der Praxis sehr weit verbreitet [1]. Bei funktionsorientierten Tests wird die Anwendungssoftware hinsichtlich korrekter Funktion auf Basis der Spezifikation geprüft.

Beim Test von PLT-Sicherheitseinrichtung liefern dynamische, funktionsorientierte Tests einen essentiellen Beitrag zur Bewertung und Sicherstellung der Software-Qualität. Die traditionelle, manuelle Durchführung solcher Tests ist sehr zeitaufwändig und fehleranfällig: Eine Vielzahl von Eingangsvariablen müssen gesetzt und die Reaktion der Ausgangsvariablen dokumentiert werden. Zusätzlich besteht eine besondere Herausforderung beim Funktions- test von zeitabhängigen Sequenzen oder anderen Zeitverhalten im Zeitbereich weniger Sekunden. Durch eine automatisierte Testdurchführung wird hier eine effiziente und qualitativ hochwertige Softwareprüfung gewährleistet.

Dynamische, funktionsorientierte Tests können prinzipiell in fünf automatisierbare Bereiche untergliedert werden: Testfallgenerierung, Testdurchführung, Testauswertung, Testdokumentation und Testmanagement. Bild 1 zeigt diese fünf Segmente mit den jeweiligen Schnittstellen, die als Voraussetzung für eine erfolgreiche Automatisierung des jeweiligen Abschnitts verstanden werden können.

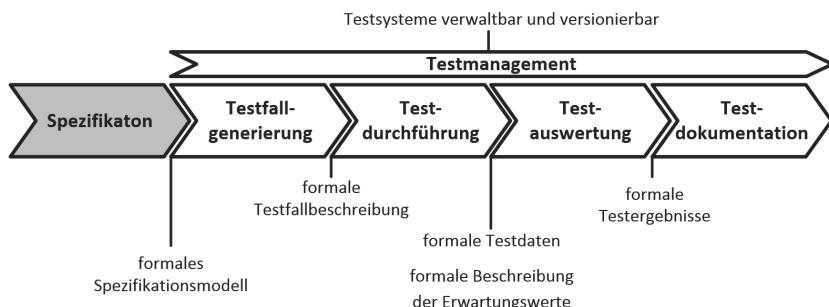


Bild 2: Automatisierbare Bereiche bei dynamischen, funktionsorientierten Test

Zur Automatisierung der Testfallgenerierung ist ein formales Spezifikationsmodell notwendig, welches auch automatisiert aus formalisierten Anforderungen erzeugt werden könnte [2]. Allerdings ist die Erstellung eines formalen Spezifikationsmodells innerhalb eines standardisierten, validierungspflichtigen Vorgehens für PLT-Sicherheitsfunktionen sehr anspruchsvoll und aufwändig. Eine pragmatische Alternative ist die Testfallgenerierung direkt aus der Implementierung [3]. Die Spezifikation wird hierbei nicht zur Generierung der Testfälle heran-

# Architekturentwurf für simulationsbasierte Assistenzsysteme in prozesstechnischen Anlagen

**L. Schegner**, Technische Universität Dresden, PLT, Dresden;  
**S. Hensel**, Technische Universität Dresden, SVT, Dresden;  
**J. C. Wehrstedt, R. Rosen**, Siemens AG, Corporate Technology, München;  
**L. Urbas**, Technische Universität Dresden, PLT/SVT, Dresden

## Kurzfassung

Der effiziente Betrieb prozesstechnischer Anlagen stellt eine komplexe Aufgabe dar, bei der die Operatoren Produktionsziele, Ressourceneinsatz und verschiedenartige Randbedingungen wie die Planung von Wartungen und Verfügbarkeiten gleichzeitig und abgestimmt berücksichtigen müssen. Der Mensch hat bei seinen kognitiven Fähigkeiten ebenso wie bei menschlichen Handlungen in unbekannten Situationen natürliche Beschränkungen. Eine Möglichkeit, diesen Einschränkungen zu begegnen, sind Assistenzsysteme. Diese unterstützen den Menschen, indem notwendige Teilaufgaben innerhalb einer Gesamtaufgabe übernommen und/oder ausgeführt werden. Einzelne Assistenzfunktionen sind in verschiedenen Lebensbereichen bereits stark integriert, beispielsweise in Autos oder Flugzeugen.

Dieser Beitrag untersucht, inwieweit diese etablierten Assistenzfunktionen auf die Prozessführung übertragen werden können und welche weiteren spezifischen Funktionen benötigt werden. Ergebnis ist eine logische Architektur für ein simulationsbasiertes Assistenzsystem in der Prozessindustrie.

## 1. Motivation

Der effiziente Betrieb prozesstechnischer Anlagen stellt eine komplexe Aufgabe dar, bei der Produktionsziele wie Produkt-Mix und -menge und Ressourceneinsatz zu beachten sind. Darüber hinaus gibt es verschiedenartige Randbedingungen wie die Planung von Wartungen und die Sicherstellung von Verfügbarkeiten, die abgestimmt zu berücksichtigen sind. Insbesondere bei kurzfristigen Änderungen, beispielsweise einem Zusatzauftrag, oder im Fall von Störungen und damit verbundenen Ausfällen liegt ein erhöhter Informations- und operativer Unterstützungsbedarf vor. Dieser muss sicherstellen, dass bei kurzer

Reaktionszeit angemessen auf die jeweilige Situation reagiert werden kann. Dies schließt den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage und die verbundenen Aktivitäten wie z.B. die Logistik ein. Dieser Anforderungen lassen sich unter Verwendung von Informations- und Kommunikationstechniken durch ein betriebsparalleles Assistenzsystem realisieren.

In Ausschreibungen für Automatisierungslösungen wird heute meistens neben der Basisautomatisierung von produktions- und verfahrenstechnischen Anlagen zunehmend auch eine Nachfrage nach sogenannten High-Level-Automatisierungsfunktionen gefunden. Diese lassen sich auch mit dem Begriff „Assistenzsystem“ beschreiben, welche in analoger Weise und in weiter Verbreitung heute in mannigfaltiger Art sich in jedem neuen Auto wiederfinden.

Ein Assistenzsystem wird als ein technisches System beschrieben, welches den Menschen unterstützt. Dafür übernimmt das Assistenzsystem notwendige Teilaufgaben innerhalb einer Gesamtaufgabe und/oder führt diese aus .

Die Assistenzsysteme unterscheiden sich von der Basisautomatisierung, darin, dass sie ihre Entscheidungen nicht nur basierend auf Mess- und Beobachtungsgrößen im System treffen, sondern auf einen heterogenen Eingangsmix zurückgreifen, wie Umgebungsinformationen, Wetter, Ressourcen, Maintenance, Logistik etc.

Im Gegensatz zu einem vollautomatischen Betrieb ersetzen Assistenzsysteme nicht die Anlagenfahrer, sondern unterstützen ihre Handlungen durch eine kompakte Darstellung von Informationen und Handlungsempfehlungen und einem zeitlich und/oder räumlich begrenztem Eingreifen. Diese Assistenzfunktionen können nicht nur für eine Personengruppe (Stakeholder) angeboten werden, sondern für alle an dem System Beteiligten wie Anlagenfahrer, Wartungsteams und Management. Denn ein effizientes Management und Betrieb einer Anlage erfordert eine Synchronisierung der verschiedenen Interessensgruppen.

Assistenzsysteme folgen in der Regel einem 4-stufigem Aufbau:

- **Informieren:** Hier werden relevante Betriebsdaten in einer zentralen Darstellung angezeigt. Dies sind in der Regel aktuelle Betriebsdaten, wie Durchsatz, Energieverbrauch usw. sowie davon abgeleitete Key Performance Indicators (KPIs). Diese ermöglichen eine Bewertung, wie der aktuelle Betrieb gegenüber einem Set von Referenzwerten zu bewerten ist. Die Darstellung kann von einfachen Zahlen über Diagramme mit der zeitlichen Darstellung bis hin zu mehrdimensionalen Netzdiagrammen reichen.
- **Analysieren:** Hier werden z.B. dem Anlagenfahrer die Ergebnisse von Analyseverfahren wie z.B. Simulationen, Massenbilanzierungen oder Trendkurven

# Erhöhte Anlagenverfügbarkeit durch die Integration von Industrie 4.0-fähigen Messgeräten in Cloud-basierte Asset Health-Applikationen

Dipl.-Wirtschaftsing. **Hans Joachim Fröhlich, Marco Colucci, MBA**, Endress+Hauser Flowtec AG, Reinach, Schweiz;

## Kurzfassung

Die Wertpotentiale des Condition Monitoring lassen sich durch einen unabhängigen Feldgerätezugang entsprechend Namur / VDI Technologie-Roadmap Prozesssensoren 4.0 erschließen – demonstriert in einem aktuellen Leuchtrumpfprojekt mit Durchflussmessgeräten

## Abstract

Independent field device access as defined in the Namur / VDI technology roadmap Process Sensors 4.0 is going to help unleash the value potential of condition monitoring – demonstrated in a current lighthouse project with Coriolis massflow meters

## 1. Vorausschauende Wartung und Asset Health Monitoring in der Prozessindustrie

Die Verfügbarkeit von Produktionsmitteln zu erhöhen wird nicht nur als einer der wichtigsten Wertetreiber von Industrie 4.0 angesehen [1], sie ist zudem das zentrale Anliegen der vorausschauenden Wartung verfahrenstechnischer Anlagen in der Prozessindustrie [2].

Da der überwiegende Teil von Aggregaten und Systemkomponenten auch heute noch entweder reaktiv, d.h. auf Störungen reagierend, oder präventiv, d.h. anhand definierter und vorab terminierter Eingriffe erfolgt, gehören Anlagenstillstände und mithin entsprechende Opportunitätskosten zum Alltag in der Prozessindustrie [2]. Liegt die Verfügbarkeit hoch ausgelasteter verfahrenstechnischer Anlagen heute etwa zwischen 85% und 90%, stehen geplante wie ungeplante Stillstände zu etwa gleichen Teilen für die nicht realisierte Kapazität [2].

Als Wertetreiber von Industrie 4.0 ebenso wichtig einzustufen ist die Unterstützung des Wartungspersonals durch Wissen und Informationen aus sog. Asset Health-Applikationen [1]. Diese stellen dem Nutzer situativ und automatisiert Entscheidungshilfen zur Verfügung, um Eingriffe gezielt und effizient vorbereiten oder ausführen zu können. Die Wirksamkeit solcher

Systeme hängt ganz entscheidend von der Aussagekraft der im Feld gewonnenen Condition Monitoring-Daten ab. Sollen dem Anlagenbetreiber bzw. seinem Dienstleister im Sinne der vorausschauenden Wartung zeitlich hinreichende Reserven zum Planen und Handeln verschafft werden, sind nicht nur möglichst eindeutige Aussagen über den aktuellen Abnutzungszustand von Anlagenkomponenten und Bauteilen zu ermitteln, sondern zeitig auch Trends in den entsprechenden Kennwerten zu erfassen und sicher zu interpretieren. Die vorausschauende Wartung ist insoweit zustandsabhängig, wie ihr Aussagen über den Nutzungsvorrat von Aggregaten oder Komponenten zugeführt werden, die auf aktuellen Zustandskennwerten und deren Extrapolation in die Zukunft beruhen.

## Industry 4.0

How to navigate digitization of the manufacturing sector  
Indicative quantification of value drivers

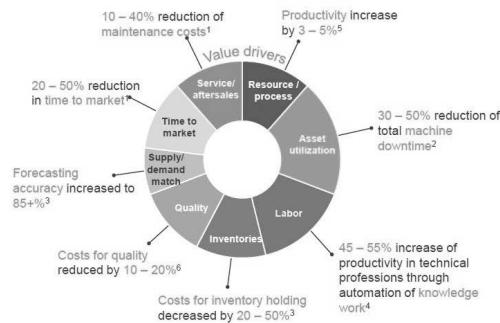


Bild 1: Wertetreiber von Industrie 4.0 im produzierenden Gewerbe insgesamt [1]

Angesichts der bestehenden und überdies weiter steigenden Vielfalt an Prozessen und Aggregaten in der verfahrenstechnischen Industrie, erscheint die Erarbeitung von Standardlösungen für ein aussagekräftiges Asset Health Monitoring nahezu aussichtslos. Vielmehr ist von einer differenzierten Erarbeitung solcher Lösungen auszugehen, die den besonderen Möglichkeiten und Gegebenheiten in jedem Betrieb Rechnung tragen.

## 2. Nutzenkategorien für Asset Health und Condition Monitoring

Die vorhandenen Nutzenpotentiale zur Verknüpfung von Erfahrung und Wissen können in drei Kategorien eingeteilt werden:

1. Werden Informationen lediglich aus einzelnen Feldkomponenten betrachtet, so können bereits daraus konkrete Hinweise auf einen Nutzungsvorrat bis zu fälligen Instandhaltungs-

# Dynamisches Cyber-Ressourcen Management im Cyber-physischen Produktionssystem

## Ein Fog/Edge- und Cloud-orientiertes Lösungsmuster für zukünftige Industrie 4.0-Middlewares

M.Sc., **M. Engelsberger**, Prof. Dr-Ing. **T. Greiner**,  
Hochschule Pforzheim, Pforzheim

### Kurzfassung

Durch den Wandel der Automatisierungspyramide hin zu dezentral vernetzten Produktionsystemen entstehen vielfältige Herausforderungen. Ein Teil dieser Herausforderungen besteht im Umgang mit dynamischen Ereignissen im Produktionssystem, etwa durch die veränderliche Verfügbarkeit von IT-Ressourcen. Diese Veränderungen wiederum können aus unterschiedlichen Quellen getriggert werden. Der Beitrag beschreibt ein Lösungsmuster zur Behandlung von dynamischen Events mittels Methoden des Cyber-Ressourcen-Managements unter Beachtung spezifischer Eigenschaften und Fähigkeiten zukünftiger cyber-physischer Produktionssysteme (CPPS). Hierzu wird eine formalisierte Modellwelt entwickelt, um sowohl Automatisierungs- als auch IT-relevante Attribute des CPPS abzubilden und dynamische Vorgänge zu charakterisieren. Eine multikriterielle Metrik ermöglicht die Bewertung und den Vergleich von Laufzeitevents. Ressourcenoperationen, in Form von auf die Problemdomäne angepasste Algorithmen, bilden den reaktiven Bestandteil des vorgestellten Lösungsmusters. Hierbei wird explizit die heterogene Systemstruktur, bspw. durch Nutzung von Techniken des Edge-Computings berücksichtigt. Die Evaluierung der Methode erfolgt als qualitatives Anwendungsszenario anhand eines verfahrens-technischen Beispielprozesses.

### 1. Einleitung

Automatisierungssysteme befinden sich im Wandel hin zu dezentralen, vermaschten und ad-hoc miteinander verbundenen Systemknoten. Die Gesamtheit aus vernetzten physischen und virtuellen Ressourcen bildet das cyber-physische Produktionssystem (CPPS) [1, 2]. Mit der steigenden Anzahl verschiedener Typen, Verschaltungen und Interaktionen zwischen einzelnen Hard- und Softwareelementen steigt die Komplexität und Fragilität des Gesamtsystems stark an. Zur Laufzeit auftretende verhältnismäßig kleine Events können zu Fehler-

kaskaden führen, welche das Gesamtsystem in seinem Produktionsablauf stören. Als Beispiele seien zu- und abgehende Geräte und Dienste, schwankende Quality-of-Service-Parameter aufgrund veränderlicher Auslastungen von Netzen und Diensten sowie Events im Bereich der Sensorik und Aktuatorik genannt. So möchte man bspw. die Vorteile Cloud-basierter Ressourcen zur Prozessanalyse, -monitoring und -optimierung nutzen [3]. Werden diese Ressourcen jedoch statisch ins System eingebunden, kann dies zu Konflikten bei der Erfüllung von Anforderungen in anderen automatisierungstechnischen Systemteilen führen. Dabei kann ein statisch eingebundener Steuerdienst zum Zeitpunkt seiner Inbetriebnahme einwandfrei funktionieren. Wird nun aber im Betrieb aufgrund dynamischer Einflüsse plötzlich mehr Rechenkapazität benötigt, als ursprünglich eingeplant, hat das System keine Möglichkeiten dem Problem zu begegnen. Durch ein dynamisches Cyber-Ressourcen-Management entstehen notwendige Freiheitsgrade um auf geplante sowie ungeplante Ereignisse zu reagieren und auftretende Verschlechterungen zur Laufzeit zu beheben. Im Folgenden wird eine Methode zum dynamischen Management der Kontroll- und Datenelemente (allgemein Cyber-Ressourcen) eines CPPS vorgeschlagen, welche bei dynamischen Events eine automatisierte Rekonfiguration der Cyber-Ressourcen zwischen den Systemdomänen Feld, Fog/Edge und Cloud vornimmt (siehe Bild 1). Die Fog- bzw. Edge-Domäne bilden IT-Ressourcen am Rande (Edge) der Netzwerkstruktur des Systems, d.h. in unmittelbarer Feld-Nähe, welche mit Methoden des Cloud Computings arbeiten [4]. Unter Cloud Computing sind virtualisierte IT-Ressourcen in Rechenzentren zu verstehen, die service-orientiert bereitgestellt werden [5].

## 2. Ansatz und Ziele

Der vorgestellte Ansatz besteht darin Laufzeitevents aus der Cyber-Ebene (d.h. Dienste und Daten), der physischen Prozess-Ebene (Sensoren, Aktuatoren, Smart Objects) sowie der physischen IT-Ebene (Rechenknoten, Netze) auszuwerten und die Cyber-Ressourcen anhand ihrer Anforderungen neu im System einzubinden und zu platzieren (siehe Bild 1). Dies ermöglicht eine beständige Neuanpassung der Cyber-Ressourcen an die momentanen Eigenschaften und Fähigkeiten des sich beständig wandelnden Produktionssystems. Für diese Anpassungsvorgänge sollen alle im System vorhandenen IT-Ressourcen möglichst optimal genutzt werden. Hierzu werden neben den im Feld vorhandenen Steuergeräten, auch IT-Systeme der lokalen Cloud (Fog/Edge) sowie Cloud-basierte Ressourcen genutzt. Die Berücksichtigung dieser unterschiedlichen Ressourcen ermöglicht es Datenverarbeitungsvorgänge jeweils dort auszuführen, wo die beste Balance zwischen Kosten (für Übertragung, Verarbeitung, Speicherung) und Nutzung (Bereitstellung benötigter

## Device as a Module

### Ergebnisse einer Gebrauchstauglichkeitsstudie zur funktionalen Beschreibung intelligenter Feldgeräte auf Basis der Arbeiten am Module Type Package

## Device as a Module

### Results of a study on functional description of intelligent field devices using the Module Type Package

M.Sc. **Andreas Stutz**, Dr.-Ing. **Mathias Maurmaier**,  
Dipl. Ing. **Oliver Thurau**, Dipl. Ing. **Andreas Fink**,  
**Michelle Blumenstein, Mario Unser**, Siemens AG, Karlsruhe

#### Kurzfassung

Diverse Arbeitsgruppen innerhalb der NAMUR, des ZVEI und der VDI/VDE Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik arbeiten derzeit an einer Spezifikation eines Datenaustauschformats zur automatisierten Integration von Modulen in eine übergeordnete Prozessführungsebene (PFE). Dieses Format, genannt Module Type Package (MTP), besitzt beschreibende Informationen zu den zu integrierenden Teilfunktionen des Moduls in die unterschiedlichen Subsysteme der PFE. Neben einer semantischen Beschreibung der auszutauschenden Daten, werden auch Funktion und Darstellung eines Moduls im MTP beschrieben. In diesem Beitrag wird aufgezeigt, dass diese Beschreibungsbestandteile auch für eine optimierte Beschreibung intelligenter Feldgeräte herangezogen werden können. Die Anwendbarkeit des Konzepts wird mit einer beispielhaften Beschreibung eines intelligenten Coriolis-Durchflussmessgeräts mit integrierter Dosierfunktionalität gezeigt.

#### Abstract

Different working groups of NAMUR, ZVEI and VDI/VDE GMA, are working on a specification for a new Engineering Data Exchange Format, focusing on the integration of modules into a top-level process control system. This format, called Module Type Package (MTP), contains semantic information about the module features, which must be integrated into the subsystems of the top-level control system. Next to the semantic information of the exchanged data, the functionality and visualization of a module will also be described. This content could also be used for an optimized and automated integration of intelligent field

device functionality. This study shows, how an intelligent Coriolis flow measurement device with integrated dosing functionality, can be described in a functional manner.

## **1. Einleitung: Intelligente Feldgeräte in einem Szenario der Modularen Automation**

In der NE 148 [1] werden Anforderungen an die Automatisierungstechnik zur Realisierung modularer Anlagen aufgezeigt. Heutige Leitsysteme sind oftmals zwar modular aufgebaut und unterstützen eine Modularisierung der Anlagen. Doch die Granularitäten der Modularisierung, welche aus der Verfahrenstechnik resultiert, und andererseits der Modularisierung innerhalb von Leitsystemen sind regelmäßig unterschiedlich, da sie aus unterschiedlichen Betrachtungsweisen und Zielstellungen resultieren. Zudem fehlen Standards zur einfachen, herstellerübergreifende Integration von Anlagenmodulen [2]. An der Erstellung genau dieser Standards arbeiten derzeit mehrere Arbeitskreise des ZVEI, der NAMUR und der GMA.

Das erste wichtige Ergebnis dieser Gremien war die Festlegung eines einheitlichen Verständnisses des Begriffs Modul in der NAMUR/VDI Richtlinie 2658 [3]. Ein Modul im Sinne der Modularen Automation ist eine über alle Gewerke hinweg abgeschlossene Einheit, die eine oder mehrere verfahrenstechnischen Funktionen erfüllt. Dies impliziert aus Sicht der Automatisierungstechnik, dass das Modul einerseits die gesamte Instrumentierung aufweist, die zur Erfüllung der verfahrenstechnischen Funktion benötigt wird. Andererseits verfügt das Modul auch über eine eigene Steuerung, auf welcher die Automatisierungssoftware ausgeführt wird.

Heutige intelligente Feldgeräte besitzen teils integrierte Funktionen für Grenzwertüberwachung oder gar ganze Ablaufsequenzen zur Ausführung komplexerer technologischer Funktion, wie beispielsweise eine Dosierfunktion. Mit diesem Funktionsumfang können intelligente Feldgeräte zur Automatisierung eines einfachen Moduls wie einer Dosiereinheit dienen, ohne dass eine separate Steuerung benötigt wird. Heute wird die technologische Funktion zumeist im Anwenderprogramm einer Steuerung gelöst, da die Integration der Feldgerätefunktionen durch heutige Gerätebeschreibungsdateien nicht abgedeckt ist. Diese Lücke in der Beschreibung intelligenter Feldgeräte verhindert eine effiziente Integration dieser technologischen Funktionen in heutige Automatisierungssysteme.

In vorangegangenen Studie, „Module as a Device“ [4], wurde bereits eine Untersuchung in ähnlichem Stile durchgeführt, wobei der Fokus auf der Betrachtung eines Moduls als Feldgerät gelegt war. Aufbauend auf [4] wird in diesem Beitrag nun aufgezeigt, welche

# Engineering und Überprüfung der gegenseitigen Abhängigkeiten von Diensten eines automatisierten Moduls

**Jan Ladiges, Aljosha Köcher, Peer Clement,  
Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität Hamburg;  
Thomas Holm, Wago Kontakttechnik, Minden;  
Paul Altmann, Leon Urbas, Technische Universität Dresden**

## Kurzfassung

Dieser Beitrag stellt ein Beschreibungsmittel und eine Methode für das Engineering und die Überprüfung von Dienste-Abhängigkeiten im Rahmen des Modulengineering für die modulare Prozessautomation vor. Hierzu wird aus der Dienste-Deklaration eine Matrix generiert, die beim Engineering des Moduls genutzt werden kann, um die Abhängigkeiten zwischen den Diensten festzulegen. Zudem werden die Dienste als Petri-Netz beschrieben, und die Abhängigkeiten werden in die Petri-Netz-Struktur überführt. Eine formale Analyse dieser Petri-Netze erlaubt die Verifikation u.a. hinsichtlich erreichbarer Zustände und Deadlock-Freiheit. Damit kann die Qualität des Designs der Dienste sichergestellt werden.

## 1. Einleitung

### 1.1 Modulare Prozessautomation und das NAMUR Module Type Package

Die Prozessindustrie steht einem steigenden Bedarf an Wandlungsfähigkeit ihrer Produktionsanlagen gegenüber. Volatile Beschaffungs- und Absatzmärkte sowie der immer lauter werdende Wunsch nach kundenindividuellen Produkten gehören zu den wichtigsten Gründen hierfür [1,2]. Die Modularisierung wird als ein wichtiger Befähiger für die Wandlungsfähigkeit von Produktionsanlagen insbesondere in der Pharma- und Chemieindustrie angesehen [3]. Anstatt Anlagen wie heute üblich monolithisch und damit wenig flexibel hinsichtlich der Änderung des Produktionsprozesses und der Produktionskapazität zu errichten und zu automatisieren, sollen Anlagen künftig aus mehreren Modulen zusammengesetzt werden. Diese Module erfüllen jeweils zuvor definierte verfahrenstechnische (Grund-)Funktionen und sind bereits entsprechend automatisiert.

Mit der Modularisierung einher geht das Konzept der Wiederverwendung, sofern Module universell und für verschiedene Produktionsprozesse einsetzbar entworfen werden [4]. Ent-

sprechend kann das Engineering einer modularen Anlage in ein vorverlagertes und projektunabhängiges Modul-Engineering sowie das projektabhängige Integrations-Engineering aufgeteilt werden [3]. Ein Großteil der anfallenden Engineeringleistung verfahrenstechnischer Anlagen wurde dann bereits im Modul-Engineering erbracht, was eine nicht unerhebliche Reduktion der Aufwände zur Planung und Errichtung der Anlage ermöglicht [5]. Entsprechend kann neben der Flexibilität des Produktionsprozesses, hervorgerufen durch die Rekonfigurierbarkeit mittels Änderung der Modulkonstellation, auch eine verkürzte *time-to-market* neuer oder geänderter Produkte erzielt werden [6].

Diese Versprechen können jedoch nur erfüllt werden, wenn eine schnelle und unkomplizierte Integration der Module sowohl logisch als auch physikalisch möglich ist. Zur effizienten logischen Integration in eine übergeordnete Prozessführungsebene (PFE), z.B. ein Prozessleitsystem, ist eine maschinenlesbare Beschreibung des Moduls und seiner Fähigkeiten notwendig. Ein solches Austauschformat ist das „Module Type Package“ (MTP) an dessen Standardisierung und Normung derzeit in mehreren NAMUR/ZVEI und GMA-Arbeitskreisen gearbeitet wird [7,8]. Es beschreibt neben den Fähigkeiten des Moduls u.a. auch die Kommunikationskanäle und -variablen sowie sämtliche Informationen zur automatischen HMI-Generierung [8], womit eine nahezu aufwandslose Integration der Module in die PFE möglich ist [9].

## 1.2 Kapselung von Modulfunktionalitäten in Diensten und deren Repräsentation

Das Konzept des MTP sieht vor, dass die vom jeweiligen Modul angebotenen verfahrenstechnischen Funktionalitäten in sogenannten Diensten gekapselt werden. Beispiele für solche Dienste können verfahrenstechnische Grundoperationen wie *Röhren* und *Filtern* sein, oder aber auch Hilfsfunktionen wie *Reinigen* und *Befüllen*. Das Prozessengineering der PFE reduziert sich damit auf eine Dienste-Orchestrierung und -parametrierung [10]. Um eine herstellerübergreifende Integration von Modulen zu ermöglichen, muss auch die Ausführung der Dienste vereinheitlicht ablaufen. Das heißt, der Prozessführungsebene muss im Vorfeld bekannt sein, welche Zustände ein Dienst einnehmen kann und welche Zustandsübergänge möglich sind. Angelehnt an die Prozedurelemente der chargenorientierten Fahrweise [11] wird das Verhalten eines Dienstes daher mittels eines IEC 61512/PackML-basierten Zustandsautomaten beschrieben, siehe Bild 1. Zusätzlich müssen ein Modul oder einzelne Dienste eines Moduls eine Betriebsartenumschaltung ermöglichen. Der zustandsbasierten Prozesssteuerung folgend muss für jede Betriebsart ein solcher Zustandsautomat oder eine Untermenge dessen vorhanden sein [12,13].

# Modulübergreifende Regelkreise mit I-Device

## Ergebnisse einer Studie zur Modulintegration auf Basis der PROFINET-Funktionalität I-Device

### Module-spanning Control loops using I-Device

#### Results of a study analyzing module integration based on the standardized PROFINET functionality I-Device

**Stefan Jerlitschka, Nico Bullinger, Andreas Stutz,**

**Mathias Maurmaier,**

Siemens AG, Process Industries and Drives Division, Karlsruhe

#### Kurzfassung

Die aktuell im NAMUR Arbeitskreis 1.12 „Automatisierung modularer Anlagen“ und dem ZVEI-Arbeitskreis „Modulare Automation“ erarbeiteten und in der VDI Richtlinie 2658 spezifizierten Konzepte zur Modularen Automation ermöglichen es, Anlagen aus einzelnen Modulen mit jeweils eigener Automatisierung aufzubauen. Mit den in der ersten Version der Richtlinie enthaltenen Konzepten und Einschränkungen können modulübergreifende Regelkreise nicht realisiert werden. In diesem Beitrag werden anhand einer Beispielanlage Anwendungsfälle von modulübergreifenden Regelungen vorgestellt. Es werden drei Ansätze zur Realisierung modulübergreifender Regelkreise beschrieben: Im ersten Ansatz wird der Regelkreis über das Operator System geschlossen. Im zweiten und dritten Ansatz wird eine übergeordnete Steuerung eingesetzt. Die Kommunikation erfolgt je nach Ansatz über OPC UA oder über die PROFINET-Funktionalität I-Device. Als Ergebnis zeigt sich, dass mit I-Device modulübergreifende Regelkreise einfach und performant realisierbar sind.

#### Abstract

Several working groups in NAMUR and ZVEI currently work on concepts and standards for Modular Automation. These standards enable end users in process industries to built their plants upon reusable modules, which all feature an own controller. The concepts and restrictions of the first version of this standard do not allow the realization of module-spanning control loops. In this paper, we present use cases for module spanning control loops within a real plant. Furthermore, three approaches for the realization of module-spanning control loops are presented. The first approach uses the Operator System, the second and third one another controller on plant level. OPC UA or PROFINET I-Device is used for the communication between the module and the higher level controller. It is shown that I-Device provides a good basis for module spanning control loops.

## 1. Einleitung

Es steht mittlerweile außer Frage, dass modulare, verfahrenstechnische Anlagen die in vielen Brächen so wichtige Time To Market reduzieren und die Anpassungsfähigkeit an neue Marktanforderungen im Vergleich zu konventionellen Anlagen deutlich erhöhen können [1]. An dem Ziel, die Modularität der Anlagen auch in der Automatisierungstechnik volumnfänglich zu unterstützen, arbeiten der gemeinsame Arbeitskreis Modular Automation von NAMUR und ZVEI sowie eine Vielzahl weiterer technischer Arbeitskreise bei der NAMUR und der GMA. In diesen Arbeitskreisen wurden nicht zuletzt bedingt durch eine klare Fokussierung auf eine sogenannte 80%-Lösung bereits viele wertvolle Ergebnisse erzielt. Regelkreise, welche sich über mehrere Module hinweg erstrecken, wurden aus den aktuellen Diskussionen in den Arbeitskreisen explizit ausgeklammert. In diesem Beitrag soll genau diese Thematik der modulübergreifenden Regelkreise genauer hinterleuchtet werden.

Im folgenden Kapitel wird hierzu zunächst ein Überblick über den Grundgedanken der modularen Automation gegeben. Anhand einer Beispielanlage wird in Kapitel drei und vier diskutiert, wie mit den Randbedingungen der Modularen Automation eine sinnvolle Modularisierung erfolgen kann und welche Herausforderungen dabei zu lösen sind. Eine zentrale, derzeit unbeantwortete Fragestellung wird sein, wie modulübergreifende Regelkreise realisiert werden können. In den zentralen Kapiteln dieses Beitrags wird ein Lösungsansatz für diese Fragestellung auf Basis der offenen, standardisierten PROFINET Funktionalität I-Device vorgestellt.

## 2. Der Grundgedanke der Modularen Automation

In der NE 148 [2] werden Anforderungen an die Automatisierungstechnik zur Realisierung modularer Anlagen aufgezeigt. Heutige Leitsysteme sind oftmals zwar modular aufgebaut und unterstützen eine Modularisierung der Anlagen. Doch die Granularitäten der Modularisierung, welche aus der Verfahrenstechnik resultiert, und andererseits der Modularisierung innerhalb von Leitsystemen sind regelmäßig unterschiedlich, da sie aus unterschiedlichen Betrachtungsweisen und Zielstellungen resultieren. Zudem fehlen Standards zur einfachen, herstellerübergreifende Integration von Anlagenmodulen. An der Erstellung genau dieser Standards arbeiten derzeit mehrere Arbeitskreise des ZVEI, der NAMUR und der GMA.

Das erste wichtige Ergebnis dieser Gremien war die Festlegung eines einheitlichen Verständnisses des Begriffs Modul in der VDI Richtlinie 2658 [3]. Ein Modul im Sinne der Modularen Automation ist eine über alle Gewerke hinweg abgeschlossene Einheit, die eine oder mehrere verfahrenstechnischen Funktionen erfüllt. Dies impliziert aus Sicht der Automatisierungstechnik, dass das Modul einerseits die gesamte Instrumentierung aufweist,

# Beschreibung von Bedienbildern modularer Anlagen – Ergebnisse der NAMUR/ZVEI-Arbeitskreise (1.12.1 und 2.9.1) sowie des VDI/VDE-GMA FA 5.16

Dipl.-Ing. **Stephan Hensel**, Prof. Dr.-Ing. **Leon Urbas**, Technische Universität Dresden, Dresden;  
M.Sc. **Henry Bloch**, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg;  
Dipl.-Ing.(FH) **Mario Hoernicke**, ABB Forschungszentrum, Ladenburg;  
M.Sc. **Andreas Stutz**, SIEMENS AG, Karlsruhe;  
Dipl.-Ing.(FH) **Christoph Kotsch**, HIMA Paul Hildebrandt GmbH, Brühl;  
Dr.-Ing. **Thomas Holm**, Wago Kontakttechnik, Minden;  
Dr.-Ing. **Jens Bernshausen**, Invite GmbH, Leverkusen;  
Dipl.-Ing. (FH) **Simon Kronemeier**, BASF SE, Ludwigshafen;  
Dipl.-Ing. (FH) **Axel Haller**, ABB Automation GmbH, Mannheim

## Kurzfassung

Der Namur-Arbeitskreis 1.12 „Automatisierung modularer Anlagen“ und die ZVEI-Arbeitsgruppe „Modulare Automation“ erarbeiten derzeit in Kooperation mit dem VDI/VDE-GMA FA 5.16 „Middleware in der Automatisierungstechnik“ eine Spezifikation einer herstellerneutralen Beschreibung von Modulen und überführen diese in die Standardisierung (VDI/VDE/NAMUR-Richtlinie 2658). In diesem Beitrag werden die Ergebnisse in Bezug auf die technologieunabhängige Modellierung von Bedienbildern modularer Anlagen präsentiert. Des Weiteren wird ein kurzer Einblick in derzeit laufende Arbeiten zur Erstellung einer Datenstrukturbibliothek gegeben.

## 1. Motivation

Anwender und Hersteller aus der Prozessindustrie sowie Universitäten entwickeln derzeit Lösungen, die die in der NE 148 [1] formulierten Anforderungen realisieren, um auf neue Herausforderungen in der Prozessindustrie, wie kürzere Produktlebenszyklen und volatile Märkte reagieren zu können [2]. Speziell werden standardisierte Schnittstellen für die modulare Automation gefordert, die die Wandlungsfähigkeit modularer Anlagen ermöglichen [3]. Das initial im DIMA-Projekt [4] und von der Namur weiterentwickelte Module Type Package (MTP), als herstellerneutrale Beschreibung von Modulen, bildet dabei die Basis für die Integration von Modulen in eine Prozessführungsebene (PFE). Dieser Beitrag fasst die Ergebnisse der Zusammenarbeit der unterschiedlichen Gremien bei der Erarbeitung des MTP speziell anhand der Bedienbildbeschreibung von Modulen zusammen. In den Namur/ZVEI-

Arbeitskreisen (AK) 1.12.1 und 2.9.1, die sich aus Mitgliedern von Herstellern und Anwendern modularer Automation, sowie Universitäten zusammensetzen, werden Anforderungen und technische Umsetzungen zu den Bedienbildbestandteilen von Modulen diskutiert. Die Ergebnisse werden durch den VDI/VDE-GMA FA 5.16 um Laufzeit- und Architekturaspkte erweitert und in die nationale Standardisierung (VDI/VDE/NAMUR-Richtlinie 2658) überführt, die im Folgenden Basis für einen IEC-Standard darstellen soll.

In vorangegangenen Publikationen [5, 6] wurden Zwischenstände des allgemeinen Aufbaus des MTP (der aktuelle Stand wird in Abschnitt 2.2 nochmals anhand der aktuellen VDI/VDE/NAMUR-Richtlinie 2658, Blatt 1 [7] zusammengefasst) und ein erster Stand der Bedienbildmodellierung [8] vorgestellt. Innerhalb des letzten Jahres wurde dieser Stand vor allem in Bezug auf die Modellierung des Human Machine Interface (HMI) durch die Arbeitskreise weiterentwickelt. Die Anforderungen an das resultierende Informationsmodell für die Beschreibung des HMI wurden durch den AK 2.9.1 weiter präzisiert und durch den AK 1.12.1 in eine technologienunabhängige Beschreibung überführt. Weiterhin wurde die herstellerunabhängige Darstellung prototypisch mit AutomationML umgesetzt (analog zu [8]), um Beispieldatensätze für die Validierung bereitzustellen. Auf der Namur-Hauptsitzung 2016 konnte die Anwendbarkeit des Konzeptes durch Prototypen unterschiedlicher Industrievertreter demonstriert werden. Die hierbei entwickelten Konzepte und Modellierungsmethoden sollen in der VDI/VDE/NAMUR-Richtlinie 2658, Blatt 2 festgehalten werden. Die in diesem Beitrag vorgestellte Modellierung der Bedienbilder ermöglicht für kurzfristige Lösungen eine pixelbasierte Bildbeschreibung, die für langfristige Lösungen mit einem verbindungsorientierten Beschreibungsansatz ergänzt ist. Dieser verbindungsorientierte Ansatz wird durch die Verwendung von semantischen Gruppen für Bildgenerierungsalgorithmen nutzbar. Diese Gruppen erlauben eine inhaltlich sinnvolle Adaption des Bedienbildes auf unterschiedliche Zielgeräte mit sehr unterschiedlichen Formfaktoren.

## 2. Bedienbildmodellierung

Die Bedienbildbeschreibung stellt einen Aspekt der Schnittstellen- und Funktionsmodellierung im MTP dar. Ausgehend von der Eingliederung der Bedienbilderstellung in den Engineeringprozess wird im Folgenden die Modellierung von Bedienbildern innerhalb des MTPs vorgestellt.

### 2.1. Bedienbilder im Engineering

Im Zuge des Modul-Engineerings fertigen Modulhersteller ein oder mehrere Bedienbilder der Verfahrensschritte an, die in einem Modul realisiert sind. In die Bedienbildbeschreibung des

# Integration von Gerätemodellen in die Prozesssimulation

## Konzeptidee und Evaluierung einer Modellbeschreibung

M.Sc. **T. Heinzerling**, Dr. **M. Oppelt**,  
Siemens AG, Erlangen

### Kurzfassung

Die Anbieter von Automatisierungslösungen für prozesstechnische Anlagen sehen sich mit steigenden Anforderungen bezüglich Komplexität, Anlagensicherheit und verkürzter Projektlaufdauer konfrontiert. Eine Möglichkeit, diesen verschärften Anforderungen gerecht zu werden, ist der umfassende Einsatz von Simulationstechniken während des kompletten Lebenszyklus einer Anlage. Dies ermöglicht die frühzeitige Erprobung von Lösungskonzepten und Identifizierung von Fehlern, noch bevor die reale Anlage verfügbar ist.

Dabei ist es jedoch wichtig, sich nicht nur auf die Simulation von verfahrenstechnischen Vorgängen und Komponenten zu beschränken. Um ein umfassendes und möglichst realitätsnahe Modell der kompletten Anlage zu erhalten, müssen auch Verhalten und Eigenschaften der verbauten Geräte (wie z.B. Sensoren und Aktoren) im Simulationsmodell detailgetreu nachgebildet werden, da diese einen signifikanten Einfluss auf das Verhalten der Gesamtanlage haben. Eine Berücksichtigung der Feldgeräte bei der Simulation steigert die Genauigkeit und somit den Nutzen des Anlagenmodells. Insbesondere wird der Test des Automatisierungssystems verbessert, da das Verhalten der verbauten Geräte inklusive möglicher Fehlfunktionen abgebildet und für den Nutzer sichtbar wird. Der Einsatz von Gerätemodellen während der Virtuellen Inbetriebnahme eines Leitsystems ermöglicht somit die frühzeitige Verifikation der Geräteparametrierung.

Dieser Beitrag beschreibt ein Konzept für die Erstellung und Einbindung solcher Simulationsmodelle von Feldgeräten sowie die prototypische Implementierung des zyklischen und azyklischen Kommunikationsverhaltens [1]. Die Prototypen decken die wichtigsten generischen Gerätemodelle ab. So wurden zum Beispiel Simulationsmodelle für verschiedene Analoge und Binäre Sensoren, Endlagenschalter und Stellungsregler umgesetzt. [2] Außerdem wurden detaillierte Gerätemodelle erstellt, die produktsspezifische Eigenschaften und Funktionen enthalten. Ziel ist es mit dem Konzept eine Basis für die Erstellung von Gerätemodellen durch den Gerätehersteller selbst zu schaffen [2].

Die Einbindung und Parametrierung solcher Gerätemodelle kann jedoch zu einem erhöhten Projektierungsaufwand während der Simulationserstellung führen. Um diesen Mehraufwand zu reduzieren wird in diesem Beitrag zudem ein Konzept für die automatisierte Übernahme

der simulationsrelevanten Parameter der Feldgeräte aus einem Anlagenplanungstool vorgestellt. Durch die Wiederverwendung von vorhandenen Informationen lässt sich somit der zusätzliche Aufwand für die Erstellung der GesamtSimulation reduzieren.

## 1. Einleitung und Motivation

Moderne Feldgeräte sind technisch ausgereifte Automatisierungskomponenten und dienen längst nicht mehr ausschließlich der Aufnahme elementarer Prozessgrößen (Sensoren) und der Weitergabe von Stellbefehlen an den Prozess (Aktoren) [3,4]. Dennoch werden Feldgeräte in der Anlagensimulation weitestgehend lediglich als idealisierte und abstrakte Komponenten [1] berücksichtigt. Diese vereinfachten Komponenten beschränken sich auf eine relativ simple Simulation des Geräteverhaltens und berücksichtigen nur selten produktsspezifische Eigenschaften, Parametersätze und Funktionen. Dies ist besonders kritisch für intelligente Feldgeräte, die über eine azyklische Datensatzkommunikation Informationen mit einem Automatisierungssystem austauschen. Durch diese vereinfachten Modelle lassen sich also nur bestimmte Teilespekte des Geräteverhaltens simulieren.

Auch im Rahmen des Factory Acceptance Tests, der einen wichtigen Meilenstein im Anlagenengineering darstellt, werden nur in Ausnahmefällen und vereinzelt reale Feldgeräte eingesetzt und im Zusammenspiel mit der Automatisierung getestet. In diesem Fall fehlt jedoch fast immer eine Verbindung mit dem zu automatisierenden Prozess. Somit lässt sich lediglich die Kommunikation zwischen dem Gerät und dem Automatisierungssystem verifizieren – der Einfluss bestimmter Gerätefunktionen auf den Prozess kann nicht getestet werden.

Dies führt dazu, dass bisher eine vollständige Verifizierung der korrekten Geräteparametrierung und somit des Geräteverhaltens erst während der realen Inbetriebnahme des Leitsystems im Feld möglich ist. Somit werden potenzielle Fehler in der Projektierung erst zu einem sehr späten Zeitpunkt gefunden. Die Integration von detaillierten Gerätemodellen in die Prozesssimulation birgt eine Vielzahl an Vorteilen. Durch sie lassen sich bestimmte Fehler bereits während des Anlagenengineerings identifizieren und beheben. Somit werden unnötige und aufwändige Nacharbeiten während der Inbetriebnahme reduziert und Folgefehler vermieden. Durch den Einsatz von Simulationsmethoden kann die Abwicklungszeit von Kundenprojekten verkürzt, die Effektivität des Engineerings gesteigert und somit letztendlich die Kosten reduziert werden. Mit Hilfe der simulationsgestützten Testdurchführung kann die Engineering-Qualität und somit auch die Anlagensicherheit erhöht werden. Zu all diesen Punkten kann der umfangreiche Einsatz von detaillierten Gerätemodellen einen wichtigen Beitrag leisten. Dies gilt vor allem dann, wenn sie in Kombinationen mit einer Prozesssimulation ein-

# Big Data in der Prozessindustrie

## Frühzeitige Erkennung und Entscheidungsunterstützung

Dipl.-Ing. **Sebastian Heinze**, Dipl.-Ing. **Markus Graube**,  
Dipl.-Ing. **Luise Schegner**, Prof. Dr.-Ing. habil. **Leon Urbas**,  
Technische Universität Dresden, Dresden;  
M. Sc. **David Arnu**, Dipl.-Inf. M. Sc. **Ralf Klinkenberg**,  
Rapidminer GmbH, Dortmund;  
M. Sc. **Andreas Schmidt**, PD Dr. habil. **Martin Atzmüller**,  
M. Sc. **Hassan Al Mawla**, M.Sc. **Alexander Rehmer**,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Andreas Kroll**, Prof. Dr. **Gerd Stumme**,  
Universität Kassel, Kassel;  
Dr. **Benjamin Klöpper**, Dipl.-Inform. (FH) MBA **Marcel Dix**,  
Dr.-Ing. **Martin Hollender**, Dr. **Moncef Chioua**,  
ABB Forschungszentrum, Ladenburg

### Kurzfassung

Der hohe Automatisierungsgrad in vielen Produktionsanlagen der Prozessindustrie erlaubt mittlerweile einen hochwirtschaftlichen Betrieb der Anlagen. Die Produktivität des Leitwartenpersonals steigt durch die wachsende Anzahl der pro Person zu überwachenden Prozesse und durchzuführender Arbeitsabläufe [1]. Gleichzeitig schwindet aber auch die Erfahrung in Bezug auf das dynamische Verhalten der Anlagen, womit die Bildung ganzheitlicher mentaler Modelle erschwert wird [3]. Bei der Bewältigung von unerwarteten Situationen, etwa beim Auftreten vieler Alarme und Meldungen („Alarmschauer“) ist dieses Wissen jedoch von großem Vorteil [3]. Im Rahmen des BMBF geförderten Forschungsprojektes FEE ([www.fee-projekt.de](http://www.fee-projekt.de)) wurde deshalb ein auf Big-Data-Technologien aufbauendes System konzipiert und als Forschungsdemonstrator implementiert, das bei der frühen Erkennung von Ereignissen und der Entscheidungsfindung assistiert. Dazu werden die bereits vorhandenen, heterogenen Daten der Anlage (Engineeringdaten, Sensordaten, Schichtbücher, Betriebsvorschriften, etc.) in einer gemeinsamen Plattform zusammengeführt und dem Nutzer integriert zugänglich gemacht [4]. Mit Hilfe einer Auswertung in Echtzeit können Frühwarnungen zu mit hoher Wahrscheinlichkeit auftretenden Problemen sowie Analysen auf Basis der aktuellen Daten im Kontext präsentiert werden. Neben dem klassischen Condition Monitoring wird so ein Übergang zu einem proaktiven Handlungsmodell ermöglicht. Die Anwendungsmöglich-

keiten und Vorteile für die Leitwartenfahrer und Prozessspezialisten werden anhand von Szenarien erläutert, die mit Anomalie-Erkennung, Batchvorhersage, Datenexploration, Prozessdatensuche, Emissions- und Eventvorhersage die Vielfalt der Prozessindustrie abbilden.

## 1. Motivation

Bei Planung und Betrieb prozesstechnischer Anlagen werden große Mengen an Dokumenten und Daten generiert, unter anderem R&I Fließbilder, Daten der Kontrolllogik, Daten der Alarmkonfigurationen, Alarm- und Eventdaten, Prozessdaten & Messwerte, Wartungsnotizen, Reparatur- & Inspektionsbericht, Schichtbücher sowie Labormesswerte & -auswertungen, die in verschiedenen Silos abgelegt sind. Die derzeitige Analytik analysiert und verbessert bereits den Betrieb der Anlagen [3,6,7]. Dennoch ist diese oft auf einzelne Datenquellen ohne eine datensiloübergreifende semantische Integration beschränkt. Die Integration der heterogenen Daten der Anlage führt zum Begriff des „Big Data“ [8]. Am Beispiel einer Raffinerie, die mehr als 300 GB an reinen Messwerten aus mehr als 60.000 Sensoren mit einer Samplingrate zwischen einer und 60 Sekunden erzeugt, lassen sich schnell die erreichten Dimensionen abschätzen. Die Struktur der Daten reicht von strukturierten Daten (Sensorwerte, Inhalte von Datenbanken), teilweise strukturierten Daten (Alarm- und Eventlogs) bis hin zu unstrukturierten Daten von Schichtbüchern und Betriebsanleitungen und ist somit stark heterogen. In Verbindung mit der langen Speicherdauer (>10 Jahre) werden somit Big-Data-Analysen und Machine-Learning-Ansätze auch in der Prozessindustrie benötigt, da die Big-Data-Kriterien hohes Datenvolumen, hohe Datenrate und hohe Datenvielfalt in besonderen Maße erfüllt sind.

In dem Beitrag wird gezeigt, wie eine frühzeitige Erkennung von Abweichungen und Entscheidungsunterstützung durch die Integration bereits vorhandener Daten im prozesstechnischen Umfeld effizient realisiert werden kann. Nach einer Betrachtung des Standes der Technik in Abschnitt 2 wird das Konzept des FEE-Projektes in Abschnitt 3 vorgestellt und in Abschnitt 4 anhand von Anwendungsszenarien exemplarisch dargestellt. Mit Hilfe der in Abschnitt 5 vorgestellten geeigneten Darstellung im Human-Machine-Interface (HMI) können diese integrierten Daten von Operateuren in einen Kontext (ähnliche vergangene Ereignisse, semantisch beziehbare Meldungen) gesetzt werden. Diese Kontextualisierung unterstützt eine schnelle Bewertung der Analyseergebnisse und trägt somit dazu bei, dass Operateure vorausschauend frühzeitig auf sich anbahnende kritische Situationen reagiert können. Abschnitt 6 fasst das Erreichte zusammen und mündet in einer Diskussion der Ergebnisse in Abschnitt 7.

# KPI Klassen und deren Anwendung für KPI Self-Service Entwicklung von KPI Bibliotheken basierend auf ISO22400 und MESA KPI-ML

Dr-Ing. **Jan Schlake**, Dipl.-Inf. **Werner Schmidt**,

ABB Forschungszentrum, Ladenburg;

Dr. **Margret Bauer**,

School of Electrical and Information Engineering,

University of Witwatersrand, Johannesburg, South Africa

## Kurzfassung

Key Performance Indikatoren (KPIs) sind ein wichtiges Werkzeug für die Optimierung der Anlagenperformance. Sie geben einen schnellen Überblick über den aktuellen Stand der Produktion und werden für Benchmarking, im Verbesserungsprozess und zur Fehlerursachenanalyse benutzt. Die Implementierung in den täglichen Betriebsablauf hängt dabei stark von den technischen Möglichkeiten des Calculation Frameworks sowie von den Fähigkeiten und den Wünschen der verantwortlichen Personen ab. Üblicherweise ist die Realisierung von KPIs sehr personen- und prozessspezifisch. In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten neuer, offener Automatisierungsarchitekturen für die Berechnung von KPIs für das Manufacturing Operation Management evaluiert. Hieraus wird eine Vision für ein standardisiertes KPI Calculation Framework basierend auf der ISO22400 und dem elektronischen Austauschformat MESA KPI-ML entwickelt. Die Idee wird mit Hilfe von KPIs für Pumpen demonstriert.

## Abstract

Key Performance Indicators (KPIs) are an important tool for Plant Performance Optimization. KPIs give a quick overview over the actual status of the production. KPIs are used for benchmarking, to trigger improvement processes, and can give guidance for root cause analysis. Unfortunately, the implementation into the daily operation depends strongly on the calculation framework installed in the process plant as well as on the person responsible for the calculation. Usually, KPI calculations are engineered individually. In this contribution, we review new open automation architecture with respect to KPIs for Operations Management, develop a vision of a standardized KPI calculation framework based on the ISO 22400 standard and MESA KPI-ML. The idea will be demonstrated using KPIs for pumps.

## 1. Einleitung

In der Prozessindustrie werden Key Performance Indikatoren (KPIs) eingesetzt, um den Zustand einer komplexen prozesstechnischen Anlage auf einen Blick einschätzen zu können. Damit stellen sie eine wichtige Basis z.B. für kontinuierliche Verbesserung dar. Die Grundannahme dabei ist, dass es nur wenige (gemessene oder berechnete) Kennzahlen gibt, die die wesentlichen Aspekte des Betriebes beschreiben können [1, 2]. In der industriellen Praxis ist allerdings oft ein Wildwuchs von KPIs zu beobachten, d.h. KPIs folgen keinem Standard und werden ad-hoc definiert.

Die Standardisierungsgremien haben sich diesem Thema weltweit schon seit einiger Zeit angenommen, was zu zahlreichen lokalen Standards geführt hat, z.B. [2]. Auf dieser Grundlage wurde 2014 der Standard ISO22400 veröffentlicht [1]. Der ISO-Standard definiert und beschreibt KPIs für Manufacturing Operations Management (MOM) und empfiehlt für wesentliche Anwendungsbereiche Berechnungsvorschriften. Um eine breite Anwendung in der Industrie und eine Möglichkeit zum Austausch von KPI-Beschreibungen zu schaffen, wurde 2015 von MESA das Datenaustauschformat KPI-ML veröffentlicht [3].

### 1.1. Key Performance Indikatoren (KPI)

Mathematisch gesehen ist ein KPI in der Regel eine einfache Berechnungsvorschrift, die aus Zahlen und/oder Zeitreihen wieder eine Zahl oder eine Zeitreihe berechnet. Laut ISO 22400 ist ein KPI allerdings nicht nur eine Zahl, sondern immer in einen Kontext eingebettet (Wer führt die Berechnung wofür durch? Für welches Asset wird der KPI berechnet? ...) und mit einem Ziel verbunden ist (Was ist der Zielwert des KPIs? Was ist ein guter/schlechter KPI?). In der Praxis stehen diese Informationen leider häufig nicht zur Verfügung. Subject Matter Experts (SMEs) berechnen sich ihre eigenen KPIs: in verschiedenen Softwareumgebungen und auf die jeweils bevorzugte Art und Weise ohne diese Informationen allen zugänglich zu machen. Daraus resultierende Probleme sind u.a.:

- keine Vergleichbarkeit der KPIs über Rollen- und Anlagengrenzen hinweg;
- zeit- und kostenaufwendige Datenbeschaffung;
- keine konzeptualisierten KPIs;
- teure Installation von neuen bzw. Änderung von existierenden KPI-Berechnungen.

### 1.2. Struktur

Der Beitrag gliedert sich wie folgt: In Abschnitt 2 werden typische KPI Anwendungen betrachtet und deren technischen Vor- und Nachteile typischer Umsetzungen in der Praxis beleuchtet. Danach wird in Abschnitt 3 auf KPI Calculation Frameworks und deren Einbindung in die Automatisierungsarchitektur eingegangen. Abschnitt 4 betrachtet den neuen KPI Use

# Integriertes Sicherheitskonzept zum Schutz von Gebäudeautomationssystemen in kritischer Infrastruktur

**Peter Semmelbauer, Prof. Dr.-Ing. Andreas Grzemba,**  
Institut ProtectIT, Technische Hochschule Deggendorf, Deggendorf;  
**Michael Lemmer, Flughafen München GmbH, München**

## Kurzfassung

Der Einsatz gewöhnlicher IT-Kommunikationstechniken in der Gebäudeautomation bringt viele Vorteile mit sich. Einheitliche und durchgängige Schnittstellen ermöglichen die Verbindung zwischen verschiedenen Netzwerken. Ein Standard, der dies spezifiziert ist Building Automation and Control Networks / Internet Protocol (BACnet/IP). Dabei handelt es sich um ein Netzwerkprotokoll, welches die Gebäudeautomation mit den Standards der Internetprotokollfamilie verbindet. Jedoch besitzt es auch Schwachstellen. Der weitverbreitete Einsatz dieser Technologie in kritischer Infrastruktur (KRITIS) bringt ein hohes Schadenspotential im Fehlerfall mit sich. Aus diesem Grund ist es wichtig, passende Schutzkonzepte zu entwickeln.

Die vorliegende Arbeit zeigt Schwachstellen und Angriffsszenarien im IP-basierten Gebäudeautomationsprotokoll BACnet/IP und stellt ein mehrjähriges Sicherheitskonzept vor. Dabei wird durch die Kombination technischer und organisatorischer Maßnahmen das Gebäudeautomationsnetzwerk gezielt strukturiert und eine wirksame Zugangs-/Zugriffskontrolle bzw. Überwachungsmöglichkeit geschaffen.

Durch die Verknüpfung der verschiedenen Methoden ergibt sich ein ganzheitlicher, systematischer Sicherheitsansatz als integraler Bestandteil der Gebäudeautomation.

## 1. Einleitung

Durch den Einsatz von Gebäudeautomation in kritischer Infrastruktur können Angriffe auf die betreffenden Systeme hohe menschliche und wirtschaftliche Verluste verursachen. So ist es denkbar, dass Angreifer die Kontrolle über die Heizungs- und Klimaanlage eines Gebäudes übernehmen und damit mutwillig erhebliche Störungen verursachen (bspw. durch Abschalten der Klimaanlage in einem Rechenzentrum, um die Umgebungstemperatur zu erhöhen und ein Herunterfahren der Server zu erzwingen). Um solchen Szenarien vorzubeugen, ist es

notwendig die Schwachstellen von Gebäudeautomationssystemen zu untersuchen und die Ursachen näher zu analysieren.

Die Sicherheit von Gebäudeautomationssystemen ist stark abhängig von der eingesetzten Kommunikationstechnologie. In der Vergangenheit setzten viele Hersteller dabei auf den Einsatz proprietärer Protokolle. Diese konnten nicht oder nur mit Schwierigkeiten von Fremdherstellern implementiert werden, da das Wissen und Knowhow beim jeweiligen Systemanbieter lag. Allerdings wurde dadurch auch die Angriffsfläche klein gehalten.

Doch der Wunsch nach durchgängiger Vernetzung mit Anbindung an das Internet erforderte neue Denkweisen. Ein möglicher Ansatz ist die Kombination (vormals) proprietärer Systeme mit Standard-Informationstechnologien, wie der Internetprotokollfamilie. Diese Portierung auf offene Technologien, wie Ethernet oder TCP/IP ermöglicht hohe Übertragungsleistungen und eine Geräteanbindung von der Feld- bis in die Leitebene. Aus diesem Grund dienen diese Technologien als Basis vieler Gebäudeautomationsprotokolle. Dadurch wird es vereinfacht, Systeme verschiedener Hersteller miteinander zu verknüpfen. Diese Fähigkeit zur Zusammenarbeit bezeichnet man als Interoperabilität. Voraussetzung ist die Einhaltung gemeinsamer Standards.

Ein Standard der das Konzept der Interoperabilität umsetzt, ist das BACnet-Protokoll. Es ist mit einem Marktanteil von 57 % (gemessen an der Anzahl verkaufter Controller) eines der meistverwendeten Gebäudeautomationsprotokolle weltweit und erfreut sich wachsender Beliebtheit [1].

Doch ein hoher Grad an Interoperabilität bringt auch neue Herausforderungen mit sich. Bei der hersteller- und geräteübergreifenden Kommunikation über das Protokoll entsteht ein offenes Gesamtsystem. In der Folge kann bei der Implementierung oder Wartung eines Teilsystems auch auf Daten zugegriffen werden, die in keinem Zusammenhang mit diesem stehen. Ohne Vorkehrungen, die einen kontrollierten und nachvollziehbaren Zugriff ermöglichen, können datenschutzrechtliche und technische Risiken entstehen. Der BACnet-Standard bietet hierfür nur unzureichende Schutzmaßnahmen.

Aus diesem Grund ist ein Sicherheitskonzept notwendig, mit dem Zugriffe gezielt gesteuert und protokolliert werden können, ohne dabei das Gesamtsystem hinsichtlich der Interoperabilität einzuschränken.

Die vorliegende Arbeit zeigt Schwachstellen und Angriffszenarien bei BACnet/IP. Es werden typische Anforderungen an Gebäudeautomationssysteme in KRITS erläutert.

Darauf aufbauend wird ein dreistufiges Sicherheitskonzept erstellt und dessen Machbarkeit anhand einer prototypischen Implementierung demonstriert.

# Verteilte Intrusion-Detection-Systeme für die Feld- und Leitebene

**Klaus Theuerkauf, Marco Meier,**

Geschäftsfeld IKT & Automation,

Institut für Automation und Kommunikation e.V. Magdeburg;

**Daniel Meister,**

Airbus Defence and Space GmbH, Taufkirchen

## 1. Kurzfassung

Verschiedenste Angriffe auf industrielle Steuerungstechnik zeigen, dass sich in den letzten Jahren der Fokus vom Diebstahl von Firmeninterna hin zum direkten Angriff auf die unteren Automationsebenen verschiebt. Wegen der globalen Aufstellung von Produktionsprozessen ist anzunehmen, dass nicht nur der Ausfall klassischer kritischer Infrastrukturen zu volkswirtschaftlichen Disruptionen führt, sondern dass die Angriffe auf klein- und mittelständische Unternehmen Folgen für weitere Prozesse mitbringen. Als Beispiel für einen Angriff auf die Feld- und Leitebene einer kritischen Infrastruktur sei der Ausfall des ukrainischen Stromversorgers Kyivoblenergo im Dezember 2015 [LAC16] genannt. Im Rahmen der Eindämmung der Folgen von derartigen Angriffen erzwingt der Gesetzgeber mit dem IT-Sicherheitsgesetz den Einsatz eines Informations-Sicherheits-Management-Systems (ISMS), welches allerdings nur das Vorgehen zur Überwachung des Sicherheitszustandes des Unternehmens reglementiert, selbst aber keine Überwachungsinstrumente bietet.

Im Rahmen des FP7-Projektes ECOSSIAN: European COntrol System Security Incident Analysis Network werden nun verschiedene Lücken im Prozess der Erkennung und Mitteilung von Sicherheitsvorfällen geschlossen. Die Partner haben sich das Ziel gesetzt, sowohl die horizontale als auch die vertikale Integration von Sicherheitsbeobachtungen zu vertiefen. Ersteres ist verbunden mit dem branchenübergreifenden Austausch über Vorfälle (incidents) und Bedrohungen (threats) [EC15]. Die Vertiefung der gemeinsamen Geschäftsprozesse im Rahmen der Industrie 4.0 macht eine solche Zusammenarbeit unabdingbar.

Allerdings kann nur über Vorfälle berichtet und reagiert werden, die auch tatsächlich beobachtet werden können. Traditionell wurden nur IT-Systeme einer Überwachung und Beobachtung von verdächtigem und potentiell unerwünschtem Verhalten unterworfen. Industrielle Kommunikation war und ist der Ausfallsicherheit, Redundanz und Datenintegrität verschrieben. Hier setzt die vertikale Integration von Sicherheitssystemen ein. Im Blickpunkt der

Forschungsbestrebungen ist die Überwachung von Echtzeitkommunikationssystemen hinsichtlich der oben genannten traditionellen Ziele, erweitert durch die Überwachung von unerwünschter und schädlicher Kommunikation in Echtzeitsystemen. Der Einsatz eines so genannten Intrusion Detection Systems ist spätestens seit den erfolgreichen Angriffen auf deutsche Schwerindustrie auch auf Steuerungsebene unabdingbar.

Architekturen klassischer Feldbuskommunikation, die durchaus Ringe und Maschen ermöglichen, sind nur unzureichend durch Intrusion Detection Systeme aus dem IT-Umfeld zu überwachen. Es wird an dieser Stelle aus Architektsicht ein zweistufiges Verfahren vorgeschlagen, um die Überwachung der Assets zu ermöglichen:

- Verteilte Überwachung an dedizierten Kommunikationspfaden, die zuvor als kritisch identifiziert wurden (z.B.: vor und nach Gateways/Proxys, nach Funkkopplung)
- Verteilte Überwachung in den Automatisierungskomponenten selbst

Während die erste Stufe passiv und nicht disruptiv für laufende Anlagen realisierbar ist, müssen für die zweite Stufe bestehende Komponenten erweitert oder ersetzt werden. Es sollen im Folgenden Lösungen für beide Stufen betrachtet werden.

Die Notwendigkeit verteilter Überwachung ergibt sich aus der Heterogenität heutiger Anlagen, in denen oftmals verschiedene Feldbussysteme (sowohl Ethernet-basierte als auch klassische) parallel betrieben werden und über Gateways miteinander verbunden sind. Angriffe auf einzelne Teilnehmer lassen sich nach Gateways sonst nur sehr eingeschränkt erkennen.

## 2. Kontext und Herkunft der Untersuchungen - ECOSSIAN

Die durch die Globalisierung immer enger zusammenrückende Welt führt neben der unternehmerischen Vernetzung auch zu einer technischen Vernetzung von Organisationen. Wie mit den Angriffen auf die deutsche Stahlindustrie und bei den Angriffen auf das ukrainische Verteilernetz gezeigt, können diese unternehmerischen Verquickungen zu sich kaskadierenden Abhängigkeiten führen.

Im FP-7 Projekt **ECOSSIAN**(European COntrol System Security Incident Analysis Network) wird dieser vertieften Zusammenarbeit von technischen und betriebswirtschaftlichen Systemen Rechnung getragen. Durch die vertikale Vernetzung des Sicherheitsmonitorings vom Unternehmen bis in die europäische Ebene hinein wird ein geregelter Austausch von Vorfalls- und Bedrohungsinformationen ermöglicht. Allerdings erweist sich der technische Fortschritt in traditionell konservativen Industrien wie der Fabrikautomation auch als Bedrohung per se.

## Verfahren zur sicheren Passwort-basierten Anwenderauthentifizierung

Dr. rer. nat. **Björn Haase**, Endress + Hauser Conducta GmbH & Co. KG

### Kurzfassung

Neue Kommunikationstechnologien, wie neue Bluetooth-Standards erobern den Consumer-Markt, wobei aus Rechenleistungs- und Energiegründen oft gerade beim Passwortschutz entscheidende Abstriche gemacht wurden. Viele dieser Systeme wurden nicht für die Sicherheitsanforderungen auf Industrieanlagen konzipiert. So ist z.B. die Passwortüberprüfung (PIN) bei Bluetooth 4.0 Low-Energy nicht einmal gegen passive Lauschangriffe geschützt.

Eine Analyse der für Industrieanlagen anzusetzenden Bedrohungslage ergab, dass eine geeignete Lösung im Einsatz sogenannter PAKE-Verfahren (Password Authenticated Key Exchange) besteht, die Passworte sicher gegen Lauschangriffe und „Phishing“-Angriffe schützen können, selbst wenn eine sogenannte „Public-Key-Infrastruktur“ (PKI) nicht zur Verfügung stehen sollte.

Bekannt sichere Password-Überprüfungsprotokolle wie, z.B. „Secure Remote Password“ (SRP) überfordern jedoch vielfach die Fähigkeiten von Feldgeräten bezüglich der Rechenleistung bzw. Stromaufnahme. Eigene Forschungstätigkeit bei Endress + Hauser, internationale Zusammenarbeit mit Universitäten und eine durch Fraunhofer-AISEC durchgeführte Sicherheitsanalyse haben aufgezeigt, wie das ursprünglich vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik für den elektronischen Personalausweis entworfene PACE-Protokoll für den bei Endress+Hauser entwickelten „Secured Service Channel“ (SSC) auch auf kleinsten Rechnersystemen zu Einsatz kommen kann.

Damit können hohe industrielle Sicherheitsanforderungen auch mit dafür zunächst nicht ausgelegten Consumer-Funkstandards erzielt werden. Selbst bei Verwendung schwacher Passworte kann ein Schutzniveau entsprechend einem Äquivalent von ~128 bit symmetrischer Schlüssellänge erreicht werden, wie es von Organisationen wie dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) oder dem amerikanischen Department of Homeland Security (DHS) empfohlen wird.

## 1. Motivation und Aufbau dieses Beitrags

Die zunehmende internetbasierte drahtgebundene und drahtlose Vernetzung von Feldgeräten stellt neue Anforderungen an die IT-Sicherheit für die Anwender und Anbieter von Automatisierungslösungen. Eine zentrale Komponente bildet dabei die sichere Authentifizierung des Bedienpersonals.

Technologien, wie Iris- oder Fingerabdruckscanner, sind heute zwar verfügbar, sind jedoch für den industriellen Einsatz aus vielen Gründen nicht praktikabel. Die Verwendung von (Drahtlos-) Identifikationskarten ist für Feldgeräte, insbesondere für die Klasse der eigensicheren explosionsgeschützten 4..20 mA Geräte aus Gründen des Energiebudgets ausgeschlossen.

Auf absehbare Zeit bleibt somit das klassische Passwort mit all seinen Schwächen ein wichtiger Mechanismus für die Zugangsgewährung. Die Sicherheit der Passwortauthentifizierung rückt damit ins Zentrum der Sicherheitsbetrachtung.

Neue Kommunikationstechnologien, wie Bluetooth 4.0. erobern derweil den Consumer-Markt, wobei aus Rechenleistungs- und Energiegründen gerade beim Passwortschutz entscheidende Abstriche gemacht wurden. So ist z.B. die Passwortüberprüfung (PIN) bei Bluetooth 4.0 Low-Energy nicht gegen passive Lauschangriffe geschützt. Das mag für Anwendungen wie Pulszähler für Sportler ggf. vertretbar sein.

Dieser Artikel gibt einen Überblick zum Ergebnis der in diesem Kontext bei Endress + Hauser (E+H) durchgeführten Sicherheitsanalyse und den daraus abgeleiteten Sicherheitsanforderungen an den Secured Service Channel (SSC), der einen sehr sicheren Zugriff über Bluetooth auf unsere Meßgeräte ermöglicht.

Unser Ziel ist, die wesentlichen Kernaspekte herauszuarbeiten, ohne dabei tiefgehendes Wissen über Kryptographie und kryptographische Protokolle vorauszusetzen.

Dieser Beitrag ist folgendermaßen strukturiert. In Abschnitt 2 wird zunächst die für Industrieanlagen anzusetzende Bedrohungslage bei passwortbasierter Zugangsgewährung analysiert. Es wird insbesondere auf die Klasse der Wörterbuch- und Phishing-Angriffe eingegangen.

# Interoperabilität von OPC UA und DDS

**M. Azarmipour, Prof. Dr.-Ing. U. Epple,**  
RWTH Aachen University, Aachen

## Kurzfassung

Die vertikale und horizontale Integration der AutomatisierungsPyramide sind zentrale Ziele der Industrie 4.0, wobei die vertikale Integration eine Vernetzung innerhalb eines Unternehmens und die horizontale Integration eine Vernetzung zwischen verschiedenen Unternehmen ermöglichen soll. Für diese Vernetzungen wird ein Kommunikationsprotokoll benötigt. Von der Plattform Industrie 4.0 wird OPC Unified Architecture als Kommunikationsmittel für diese Vernetzungen favorisiert. Neben Industrie 4.0 gibt es andere Initiativen, die ähnliche Ziele verfolgen, z. B. das Industrial Internet Consortium. Das Consortium setzt für die steigende Vernetzung auf das Kommunikationsprotokoll Data Distribution Service. In diesem Paper sollen beide Kommunikationsprotokolle miteinander verglichen werden und Schwächen und Stärken gegenübergestellt werden. Abschließend wird eine Methode zur Kombination vorgestellt, die es erlaubt von den Vorteilen beider Protokolle zu profitieren.

## Abstract

The vertical and horizontal integration of automation pyramid is a central element of industry 4.0. The horizontal networking establishes an internal connection for a company and the vertical networking makes an external connection between different companies possible. The mentioned network requires a communication protocol. Industry 4.0 uses OPC UA for this connections. There are also other initiatives like industry 4.0 that follow a similar goal, but use other communication protocols, for example Industrial Internet Consortium that uses Data Distribution Service. Each protocol has some advantages and disadvantages that will be compared in this paper. Finally, a method will be introduced to combine these protocols to get the advantages of both of them.

## 1. Einleitung

Industrie 4.0 bezeichnet die vierte industrielle Revolution, in der ein höherer Grad von Vernetzung zwischen Maschinen, Sensoren, Geräten und Menschen erreicht wird. Durch diese Vernetzungen wird die AutomatisierungsPyramide (aus Kommunikationssicht) aufgelöst und in eine stark vernetzte Architektur umgewandelt [1]. Das Ziel dieser Vernetzung ist eine

schnelle Anpassung der Produktion an aktuelle Bedingungen, um eine flexible und wandelbare Produktion zu ermöglichen. Innerhalb der Industrie 4.0 Initiative wird OPC Unified Architecture (UA) als Kommunikationsprotokoll für die Vernetzung bevorzugt. Die amerikanische Initiative, das Industrial Internet Consortium (IIC) [2], strebt einen breiten Einsatz von „Internet of Things-Technologien“ in den verschiedenen Domänen an. Niedrige Latenzen, ein hoher Durchsatz, Skalierbarkeit und Ausfallsicherheit sind wichtige Anforderungen des IIC [2]. Diese Anforderungen können durch den Einsatz von Data Distribution Service (DDS) erfüllt werden.

Die Interoperabilität beider Protokolle ist aus verschiedenen Gründen von großem Interesse. Ein Blick auf die Schwächen und Stärken dieser Protokolle verdeutlicht, dass diese sich durch eine Kombination weitgehend ergänzen lassen. Dadurch können, die Vorteile des einen die Schwächen des anderen sehr gut kompensieren. Zudem, hat das IIoT [3] branchenweite Interoperabilitätsprobleme. Um ein breites Spektrum von Branchen abzudecken, erfordert das IIoT eine weitgehende Interoperabilität und Konnektivität zwischen verschiedenen Organisationen. In diesem Zusammenhang müssen I4.0 und IIC ihre Referenzarchitekturen, Standards und darunter auch ihre Kommunikationsprotokolle OPC UA und DDS zusammengeführt werden. Diese Arbeit fängt mit einer Einführung in OPC UA und DDS an. Darin werden die inneren Architekturen, ihre Stärken und Schwächen erläutert. Als nächstes werden diese verglichen. Anschließend wird eine Möglichkeit präsentiert, wie die beide Protokollen interoperabel arbeiten können.

## 2. OPC UA

OPC UA ist in der IEC-Norm 62541 [4] standardisiert. Es hat eine Server/Client Architektur, in dem die Kommunikationsteilnehmer entweder Server oder Client sind. Server stellen Daten und Informationen den Clients zur Verfügung. Möchte ein Client Daten erhalten, muss er eine Anfrage an einen Server schicken und der Server antwortet auf diese Anfrage [5]. OPC UA ist als „Stack“ spezifiziert (siehe Abbildung 1). „Untere“ Grenze des Stacks stellt die Abbildung auf das Transportprotokoll TCP dar und nach „oben“ ist eine Dienstschnittstelle definiert, die auf dem Metamodell von OPC UA arbeitet [4]. Dieser Stack besteht aus einem SecureChannel Layer, der für die Verschlüsselung und Signierung der Daten zuständig ist. Die Authentifizierung des Nutzers wird vom Session Layer übernommen. Die Daten können, entweder binär oder als XML/Web Services encodiert werden. Die Serialisationsschicht übernimmt die De- und Enkodierung [5].

## Harmonisierung im Kontext Industrie 4.0

### AutomationML und OPC UA

Dr.-Ing. **M. Schleipen**, R. Henßen, Dr.-Ing. **O. Sauer**,

Fraunhofer IOSB, Karlsruhe;

**N. D'Agostino**, CENIT AG, Hannover;

**M. Damm**, Ascolab GmbH, Kalchreuth;

**A. Dogan, J. Ladiges**, HSU-HH, Hamburg;

**C. Ewertz**, CENIT AG, Stuttgart;

Dr.-Ing. **A. Gössling**,

Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, Hattersheim;

Dr.-Ing. **T. Holm**, WAGO Kontakttechnik GmbH & Co.KG, Minden;

Dr.-Ing. **S. Hoppe**, OPC Foundation, Verl;

appl. Prof. Dr.-Ing. **A. Lüder, N. Schmidt**, OvGU, Magdeburg;

Dr.-Ing. **R. Wilmes**, Phoenix Contact, Bad Pyrmont

#### Kurzfassung

Standards spielen im Umfeld von Industrie 4.0 eine große Rolle. AutomationML und OPC UA sind zwei der am meisten in diesem Bereich diskutierten Standards. Die Harmonisierung bestehender Standards ist zukunftsweisend für die heterogene Standardisierungslandschaft in diesem Umfeld. Die gemeinsame Arbeitsgruppe der OPC Foundation und des AutomationML e.V. befasst sich seit 2014 mit der Nutzung externer Standards im Kontext von AutomationML und OPC UA. Dazu gehört auch die Harmonisierung der in der Arbeitsgruppe erarbeiteten Companion Specification „OPC UA for AutomationML“ mit anderen OPC UA Companion Specifications.

#### Abstract (optional)

Standards are of high importance in the context of Industrie 4.0. AutomationML and OPC UA are two well-known and discussed standards in this context. The harmonization of existing standards is trend-setting for the heterogeneous standardization landscape in this field. The joint working group of OPC Foundation and AutomationML e.V. deals since 2014 with the usage of external standards in the context of AutomationML and OPC UA. This includes the harmonization of the companion specification „OPC UA for AutomationML“ (which was developed by this working group) and other OPC UA companion specifications.

## 1. Einleitung und Motivation

Standards ermöglichen eine offene und nahtlose Kommunikation, außerdem sichern sie eine allgemeine, umfassende und herstellerübergreifende Verwendung der entwickelten Konzepte, Architekturen und Vorgehensweisen. Daher spielen sie im Kontext Industrie 4.0 eine große Rolle, um die Interoperabilität zu gewährleisten (siehe auch [0]). Interoperabilität bedeutet frei übertragen, dass Systeme und Anwender durchgängig und ohne Datenverluste interagieren [1]. Es geht also darum, Daten effizient auszutauschen und gleichzeitig allen Kommunikationspartnern ein einheitliches Verständnis der ausgetauschten Informationen zu ermöglichen.

In den letzten Jahren wurden bereits unterschiedliche Technologien und Formate entwickelt. So sind für Modellierung von Entwurfsinformationen sowohl generische Datenformate wie STEP [2] und AutomationML [3,14] als auch spezifische Datenformate wie die in der VDI Richtlinie 3690 [4] genannten Formate. Für die Modellierung von Informationen über die geplante und tatsächliche „Leistung“ von Produktionssystemen im Betrieb entstanden Formate wie B2MML [5] oder KPI-ML [6]. Darüber hinaus existieren Technologien, die den eigentlichen Datenaustausch realisieren. Diese reichen von bestehenden Feldbussen [7] bis zu Technologien wie OPC [8], OPC UA [13] und Web Services [9]. AutomationML und OPC UA sind zwei der heute häufig in diesem Bereich diskutierten Standards.

Eine Kombination all dieser Technologien und Formate (Modellierung und Austausch von Entwurfs- und Laufzeitdaten) ist bisher jedoch noch nicht umfassend standardisiert worden. Um der Heterogenität in diesem Umfeld zu begegnen, müssen genau diese bestehenden und genutzten Lösungen für verschiedene Anwendungsfälle und Aspekte miteinander geeignet kombiniert werden. AutomationML und OPC UA fördern die Kombination mit anderen Standards explizit bspw. durch die Einbindung externer Standard-Modelle in AutomationML oder die Erarbeitung und Bereitstellung von Companion Specifications in OPC UA.

Die gemeinsame Arbeitsgruppe der OPC Foundation und des AutomationML e.V. befasst sich seit 2014 mit der Nutzung externer Standards im Kontext von AutomationML und OPC UA. Dazu gehört auch die Harmonisierung der in der Arbeitsgruppe erarbeiteten Companion Specification „OPC UA for AutomationML“ mit anderen OPC UA Companion Specifications.

## 2. OPC UA Companion Specifications

OPC UA Server organisieren ihre Informationen (ihren Adressraum) über ein Netz aus Knoten, die durch typisierte Referenzen miteinander verbunden sind. Das Objektmodell beinhaltet einen einheitlichen Satz von Knotentypen. Dabei sind im Adressraum nicht nur Instanzdaten, sondern auch die zugehörigen Typdaten enthalten. Knoten gehören zu Knotenmengen

# OPC UA als adaptive Microservice-Architektur für die verteilte Automation von Linearbeschleunigern

Dipl.-Ing. **Chris Paul Iatrou**, Dipl.-Ing. **Julian Rahm**,  
Prof. Dr.-Ing. **Leon Urbas**, Technische Universität Dresden, Dresden;  
Dipl.-Ing. **Reinhard Steinbrück**, Dr. rer. nat. **Michael Kuntzsch**,  
Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf, Dresden;  
Dr. **Martin Hierholzer**, Dr. **Martin Killenberg**,  
Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg

## Kurzfassung

Der forschungsgebundene Einsatz von Elektronenbeschleunigern erfordert flexible Prozessführungs- und Überwachungssysteme, um Eigenschaften der Elektronenstrahlen an variierte Forchungsschwerpunkte anpassen und anfallende Messdaten der Experimente zu parametrisieren, aufzuzeichnen und auswerten zu können. Die Anforderungskombination von Wandelbarkeit, Echtzeitfähigkeit sowie hohe Datenvolumina führte zur Entwicklung des branchenspezifischen, modularen µTCA.4-Standards, dessen Baugruppen autonome Steuer- und Regelsysteme umsetzen. Komponenten von µTCA.4 implementieren die verteilten, physiknahen Regelungs- und Steuerungsstrategien der Strahlenquelle, während andere Sensor-Aktor-Systeme mit industriellen Leitsystemen und Steuerungstechnik ausgestattet sind. Derart heterogene, verteilte Automatisierungsarchitekturen erschweren die flexible Zusammenführung anfallender Daten für die Qualitätskontrolle und Experimentauswertung. Zusätzlich müssen sowohl geschultes operatives Personal sowie die beteiligten Forscher Zugriff auf die Datenbestände haben. Dieser Beitrag untersucht, in wie weit OPC UA als Microservice-Architektur die Anforderungen an eine gut automatisierbare und für den Endanwender zugängliche Integration erfüllt. Dazu werden zunächst die Eigenschaften und Anforderungen an eine entsprechende Architektur anhand des am Helmholtz-Zentrums Dresden-Rossendorf betriebenen Elektronenbeschleunigers ELBE hergeleitet. Daraufhin wird das gemeinsam entwickelte Lösungskonzept und das domänen spezifische Informationsmodell vorgestellt. Abschließend werden dessen Interoperabilität mit industriellen Systemen und semantische Integration in Datenendpunkten ausgewertet.

## 1 Einleitung

Der vom Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf betriebene Elektronen Linearbeschleuniger für Strahlen hoher Brillanz und niedriger Emittanz (ELBE) bietet die Gelegenheit, den Einsatz klassisch strukturierter Automatisierungs- und Prozessleittechnik im Licht aktueller Technologietrends zu untersuchen. ELBE ist ein 40-MeV-Linearbeschleuniger. Als Injektor kann wahlweise eine supraleitende Hochfrequenz-Fotoelektronenquelle oder eine thermionischen Elektronenquelle dienen. Alleinstellungsmerkmal der Anlage ist, dass der Elektronenstrahl im Dauerstrichbetrieb (continuous wave; 1,6mA) betrieben werden kann [1]. Die vom ELBE-Beschleuniger generierten hochenergetischen Elektronenpulse können in eine Reihe von Sekundärstrahlen umgewandelt und für Experimente verwendet werden. Unter Anderem können optische Experimente und Spektroskopie mit elektromagnetischen Wellen im THz-Bereich durchgeführt werden [2]. ELBE stellt ein einmaliges Untersuchungsobjekt für die Automatisierungstechnik dar, da die Anlage mit industrieüblicher Steuerungstechnik (Siemens S5, S7), den damit verbundenen Kommunikationstechnologien und Prozessleitsystemen ausgerüstet wurde [3]. Dabei bestehen inhärent Anforderungen an sehr hohe Daten durchsätze in einer intelligenten, dezentralisierten Feldebene. Deren Endgeräte müssen flexibel und herstellerübergreifend mit traditionellen Prozessleitsystemen aber auch nutzerseitigen Datenerfassungsendpunkten verbunden werden. Ähnliche Anforderungen entstehen gegenwärtig in industriellen Anwendungen im Zusammenhang aktueller Entwicklungen von Industrie 4.0 und dem iloT.

In der klassischen Automatisierungspyramide wird akzeptiert, dass mit steigender Prozessnähe der Echtzeitbedarf steigt und die Kommunikationsbandbreite sinkt. Elektronenbeschleuniger brechen mit diesen industrietypischen Randbedingungen, da in Feldnähe sehr große Datenmengen im Submillisekundenbereich übertragen werden müssen. Die dafür notwendige Bandbreite übersteigt die asynchronen Fähigkeiten industrieller Feldbusse maßgebend. Die Branche ist daher in einem hohen Maß von domänenspezifischer Steuerungstechnik und Prozessleitsystemen geprägt. Zur Erfüllung der Anforderungen aus der Steuer- und Regelungstechnik wurde der *Micro-Telecommunications-Computing-Architecture*-Standard für physikalische Forschungsbetriebe adaptiert ( $\mu$ TCA.4). Darin wird ein modulares Backplane-System für hardwarebasierte Regelbausteine spezifiziert („Crate“), dass in ELBE über eine PCI-Express-Schnittstelle an einen Linux Server gekoppelt ist. Regelaufgaben im Bereich der Hochfrequenz-Regelung (engl.: Low Level Radio Frequency, LLRF) werden autonom durch die Crates wahrgenommen, während die Parametrierung und Überwachung über die Serverplattform ermöglicht wird.

# Die Rolle der Industrie 4.0 „Verwaltungsschale“ und des „digitalen Zwilling“ im Lebenszyklus einer Anlage

## Navigationshilfe, Begriffsbestimmung und Abgrenzung

Dr.-Ing. R. Drath, Dr. S. Malakuti, S. Grüner,  
ABB Forschungszentrum Ladenburg;  
J. Grothoff, C. Wagner, Prof. Dr.-Ing. U. Epple,  
RWTH Aachen;  
Dr. M. Hoffmeister, Festo AG und Co, Esslingen;  
P. Zimmermann, ITQ GmbH, Garching b. München

### Kurzfassung

Industrie 4.0 hat eine beeindruckende Vielfalt neuer Begriffe hervorgebracht, z. B. *Verwaltungsschale* oder *Digitaler Zwilling*. Dahinter stehen Kernparadigmen von Industrie 4.0, aber ihre Bedeutung ist selbst in der Fachwelt keineswegs harmonisiert – eine ungewollte Quelle für Missverständnisse und Divergenzen. In diesem Beitrag beleuchten die Autoren Industrie 4.0-Begriffe entlang des typischen Lebenszyklus einer Anlage, von der Idee bis zum Betrieb. Im Ergebnis werden nicht nur die einzelnen Konzepte von Industrie 4.0 am praktischen Beispiel verständlicher, sondern auch die Vision von Industrie 4.0 aus unterschiedlichen Blickwinkeln greifbarer. Ziel dieses Beitrages ist nicht, neue Terminologien zu definieren, sondern die bestehenden Definitionen zu erklären und die scheinbaren Widersprüche und Rekursionen aufzulösen. Die Autoren leiten aus dieser Betrachtung Architekturempfehlungen für eine Industrie 4.0 Architektur ab und geben Handlungsempfehlungen für Gerätehersteller, Systemintegratoren, Anlagenbetreiber und Industrie 4.0-Architekten.

### 1 Einleitung und Motivation

Industrie 4.0 [1], kurz I4.0, hat eine beeindruckende Vielfalt neuer Begriffe hervorgebracht. Begriffe wie *Verwaltungsschale* [3], *digitaler Zwilling* [4], *digitaler Schatten* [5], *digitaler Engel*, *virtuelle Repräsentation* [6] oder *I4.0 Komponente* [6] sind in aller Munde, werden aber vielfältig interpretiert. Trotzdem werden diese Begriffe zügig mit den zentralen Lösungsparadigmen zur Umsetzung von I4.0 verwoben, ein idealer Nährboden für Missverständnisse und Divergenzen [2]. Dadurch entstehen derzeit eine Reihe von Arbeiten und Architekturvorschlägen, die teilweise widersprüchlich und unscharf formuliert erscheinen. Primär fehlt es an der Verknüpfung, Harmonisierung und Abgrenzung der oben genannten Begriffe und der

dahinterstehenden Konzepte. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Domänen und Partner im Umfeld von I4.0, deren unterschiedliche fachliche Hintergründe und der damit einhergehenden unterschiedlichen Begriffsbasis ist ein gemeinsames Begriffsverständnis zur kooperativen und branchenübergreifenden Arbeit von außerordentlicher Relevanz. Im Vorfeld der derzeit anstehenden prototypischen Implementierungen muss jetzt sichergestellt werden, dass die Begriffsdefinitionen und Konzepte einheitlich und konsistent sind. Andernfalls kann, insbesondere im Vorfeld der derzeit anstehenden Prototypen, die Divergenz in den Begriffsinterpretationen zum Hindernis für den technischen Fortschritt werden und bedarf daher einer klaren Begriffsbestimmung und Abgrenzung.

## 2 Definitionen und Interpretationen aus der Literatur

In diesem Abschnitt werden Definitionen und Interpretationen aus der Literatur vorgestellt. Im nachfolgenden Kapitel werden diese Begriffe näher beleuchtet.

### 2.1 Digitaler Zwilling

Eine erste Definition des Begriffs *digitaler Zwilling* (engl. *Digital Twin*) wurde bereits im Jahre 2010 durch die NASA innerhalb einer Veröffentlichung der Technology Area 11 (Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap) ausgearbeitet. Er wird dort als *integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin* beschrieben [7]. Der digitale Zwilling ist nach dieser Definition somit als hochdetailliertes Simulationsmodell von Raumfahrten oder Flugzeugen zu verstehen, welches den Zweck verfolgt das reale Flugobjekt möglichst exakt in der Virtualität abzubilden. Durch die Entwicklung moderner Simulationswerkzeuge konnten in den letzten Jahren innerhalb der Domäne der Automatisierungstechnik ebenso immer detailliertere Simulationsmodelle von Maschinen und Anlagen aufgebaut werden, welche in der Lage sind, die physischen Prozesse und Zustände umfassend virtuell abzubilden. In Anlehnung an die Terminologie der NASA verbreitete sich daher auch für derartige Modelle verstärkt der Begriff „Digitaler Zwilling“, nicht zuletzt aufgrund der hervorragenden Eignung als Marketingbegriff für die zugehörigen Simulationsprodukte. Der Begriff verleitet jedoch zu verschiedenen Interpretationen und Deutungen im Maschinen- und Anlagenbau. Noch immer wird er oft im Sinne der ursprünglichen Definition als reines Simulationsmodell zur Entwicklung, virtuellen Inbetriebnahme oder auch zum Testen verschiedener Konfigurationen verwendet [8][9][10]. [11] hingegen definiert den *digitalen Zwilling* als umfassende physische und funktionale Beschreibung von Komponenten, Produkten oder Systemen nebst sämtlichen Informationen die über die verschiedenen Lebenszyklen hinweg in irgendeiner Art und Weise für das reale

# Entwicklung und Evaluierung einer Schnittstelle zum unternehmensübergreifenden Austausch von Lebenszyklusinformationen

## An interface for cross-enterprise exchange of lifecycle-information – Development and evaluation

Dipl.-Ing. Lars Evertz,

Lehrstuhl für Prozessleittechnik, RWTH Aachen University

### Kurzfassung

Im Zuge der Globalisierung und der immer engeren Vernetzung und Verzahnung der Wertschöpfungsprozesse zwischen verschiedenen Unternehmen kommt der Optimierung des unternehmensübergreifenden Zusammenspiels eine besondere Bedeutung zu. Da dieses Zusammenspiel durch den Austausch materieller oder immaterieller Dinge bestimmt wird, liegt es nahe diese Dinge in ihrem Lebenszyklus zu verfolgen, um die anfallenden Daten zur Optimierung der Wertschöpfung heranziehen zu können. Durch diese Verfolgung werden die Dinge zu Entitäten.

Der unternehmensübergreifende Austausch von Metadaten der Dinge ist dabei bislang weniger ausgereift, als der Austausch der Dinge selbst. Daher wird in diesem Beitrag eine Schnittstelle entwickelt, die besagte Datenaustausch erleichtert und dabei die ausgetauschten Daten mit Semantik unterfüttert. Die Schnittstelle wird anschließend anhand zweier Anwendungsfälle evaluiert.

### Abstract

Due to globalization and advancement of information technology, value generation is done within complex networks of enterprises. These networks arise when enterprises exchange goods and services. Hence, it is crucial to monitor these exchanged things throughout their lifecycle to gather information needed to optimize the joint value generation.

As of now the exchange of meta-information concerning exchanged things is not a focal matter. Nevertheless, this is a key requirement for aforementioned optimizations. Therefore, in this paper an interface to ease this exchange of information is developed. Core requirements are flexibility and connection of semantic information to exchanged data. Furthermore integration into enterprise IT-infrastructure has to be easy. The developed interface is evaluated with two use cases.

## 1. Motivation

Wertschöpfung findet in Unternehmen auf verschiedenen Wegen statt. Im Rahmen der Initiative Industrie 4.0 wurden diese als Wertschöpfungsketten bezeichneten Gebilde unter Anderem den Bereichen Produktentwicklung, Anlagen- und Prozessentwicklung und Produktion zugeordnet [1]. In der Realität sind Unternehmen keine isolierten Einheiten. Sie betreiben Wertschöpfung in teils eng verkoppelten Netzwerken. Es ergeben sich Konstellationen, wie in Bild 1 vereinfacht dargestellt. Verschiedene Unternehmen geben Gegenstände untereinander weiter um diese bspw. weiter zu veredeln (Wertschöpfungskette Produktion), wie in der Bildmitte dargestellt, oder in ihrer eigenen Produktion zu nutzen (Anlagenentwicklung / Wartung). Unabhängig davon, wie die Verzahnung der Wertschöpfung exakt aussieht, werden die immer Dinge irgendeiner Form ausgetauscht. Diese Dinge müssen nicht materieller Natur sein. Auch Wissen kann weitergegeben werden.

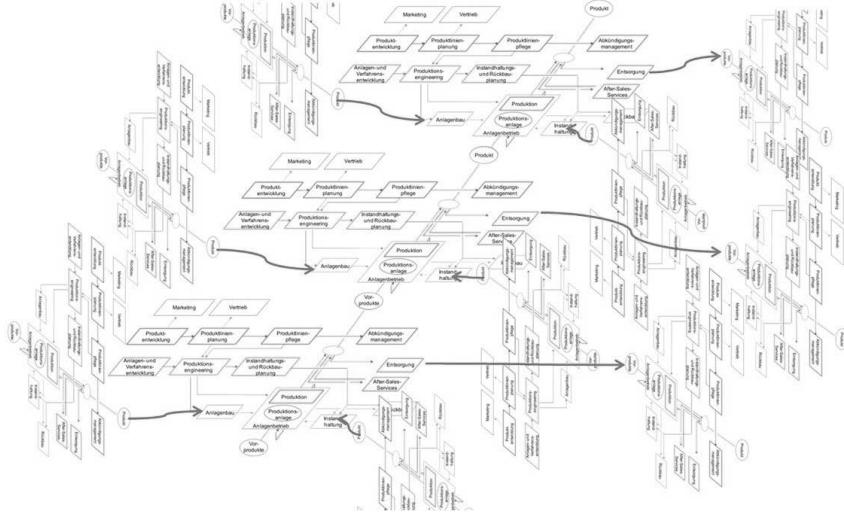


Bild 1: Zusammenspiel zwischen Wertschöpfungsketten verschiedener Unternehmen.

Die Pfeile stellen Übergänge von Gegenständen zwischen den Unternehmen dar. Die Teilbilder sind [1] entnommen.

Mit dem Wechsel einer Einheit von einem Unternehmen zum anderen wechselt der Verantwortungsbereich, in dem sie sich befindet. Dies geht bislang meist damit einher, dass das abgebende Unternehmen von den Informationen über den Zustand der Einheit abgeschnitten wird. Anders herum hatte das annehmende Unternehmen vorher kaum Informationen

# Durchgängige Anwendung des digitalen Zwillings im Kontext von Druckluftstationen

## Konzepte und Methoden für die modellbasierte automatische Planung, Auslegung, Steuerung und Analyse von Druckluftstationen durch Mitarbeiter in Vertrieb und Service

Dipl.-Ing. **F. Wagner**, KAESER Kompressoren SE, Coburg

### 1 Kurzfassung

Druckluftstationen werden kundenindividuell geplant und auf den mit Druckluft versorgten Prozess abgestimmt. Somit gleicht keine Druckluftstation der anderen, obwohl die Komponenten von Druckluftstationen standardisierte Produkte darstellen: Die Kombinatorik und Verschaltung dieser Standardkomponenten macht jede Druckluftstation einmalig. Einerseits bietet die rasch zunehmende Digitalisierung von Systemen und darin ablaufenden Datenverarbeitungsprozesse auch für Druckluftsystemanbieter wie die KAESER Kompressoren SE neue und attraktive Möglichkeiten für die (halb-)automatische Planung, Steuerung, Optimierungen, Analyse und Diagnose von Druckluftstationen. Andererseits ergeben sich hierbei infolge der großen Varianz der Druckluftstationen besondere Herausforderungen, insbesondere im Hinblick auf die effiziente Erstellung von statischen und dynamischen Modellen (digitalen Zwillingen) der Druckluftstationen durch Mitarbeiter, die nicht über Expertenwissen im Bereich Modellierung verfügen. Im Rahmen dieses Beitrags wird ein Einblick darauf gegeben, mit welchen technischen Lösungen die KAESER Kompressoren SE diese Herausforderung angeht.

### 2 Einleitung

Druckluft stellt in vielen industriellen Anwendungen ein unverzichtbares Energietransport- und Prozessmedium dar. Im industriellen Umfeld wird Druckluft durch Druckluftstationen bereitgestellt. Unter einer Druckluftstation versteht man einen Verbund von Komponenten mit unterschiedlichen Aufgaben:

- Drucklufterzeugung (z.B. Kompressoren)
- Druckluftaufbereitung (z.B. Trockner und Filter)
- Druckluftsicherung (z.B. Speicherbehälter)
- Druckluftverteilung (z.B. Ventile und Rohrleitungen)
- Automatisierungstechnik (z.B. maschinenübergreifende Steuerung)
- ...

Aufgrund der Komplexität von Druckluftstationen, die häufig in eigens dafür geschaffenen Räumen untergebracht werden, müssen Details einer Druckluftstation nicht erst beim Betrieb sondern bereits in der Planungsphase von industriellen Anlagen/Prozessen berücksichtigt bzw. ausgelegt werden.

Jede Druckluftstation wird kundenindividuell geplant und auf den erwarteten Verlauf des Druckluftverbrauchs des mit Druckluft versorgten Prozess abgestimmt, um unter Berücksichtigung kundenindividueller Anforderungen optimale Ergebnisse hinsichtlich Energieeffizienz, Kosteneffizienz und Verfügbarkeit zu liefern, wobei die Effizienzanforderungen stetig steigen. Somit gleicht keine Druckluftstation der anderen. Jede Druckluftstation ist ein Unikat, obwohl Druckluftstationen typischerweise aus standardisierten Komponenten bestehen.

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden bei Planung, Betrieb und Überwachung von Druckluftstationen immer mehr computergestützte Hilfsmittel, Methoden, Verfahren und Automatisierungslösungen eingesetzt, um diesen steigenden Anforderungen gerecht zu werden.

Stand 2017 ist in High-End-Installationen eine Situation erreicht, die vereinfacht wie folgt dargestellt werden kann:

- Die meisten Komponenten einer Druckluftstation sind mit einer elektronischen Steuerung ausgestattet und können über ein Bussystem/Netzwerk miteinander vernetzt werden. Dies ermöglicht im laufenden Betrieb der Druckluftstation auf einfache Weise das Einholen von Zustandsinformationen (Sensorwerte und abgeleitete Werte) aus den Komponenten und die Vorgabe von Betriebsbefehlen an die Komponenten.
- Eine maschinenübergreifende Steuerung steuert und überwacht den Betrieb einer Druckluftstation und ihrer Komponenten in Echtzeit. Moderne Steuerungsverfahren sind dabei als modellgestützte (Quasi-)Optimierungsverfahren realisiert und können die Energieeffizienz einer Druckluftstation beträchtlich steigern.
- Üblicherweise wird die maschinenübergreifende Steuerung auch dazu verwendet, das Verhalten der Druckluftstation zu visualisieren.
- Für die Planung einer Druckluftstation wird das zukünftige dynamische Verhalten einer Vielzahl möglicher Planungsvarianten/-alternativen der Druckluftstation und ihrer Komponenten für angenommene Verläufe des Druckluftverbrauchs vorhergesagt (simuliert) und auf dieser Basis die Variante mit den günstigsten Lebenszykluskosten ausgewählt und realisiert.
- Für die Überwachung von Druckluftstationen werden Daten aus Druckluftstationen zentral eingesammelt und mit Analysealgorithmen ausgewertet. Hiermit werden sich

## Sprache für I4.0-Komponenten

**Christian Diedrich,**

ifak – Institut für Automation und Kommunikation e. V., Magdeburg;

**Alexander Bieliaiev, Tizian Schröder,**

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg;

**Jürgen Bock,** KUKA Roboter GmbH, Augsburg;

**Andreas Gössling,**

Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, Hattersheim;

**Alexander Willner, Rolf Hänisch,** Fraunhofer FOKUS, Berlin;

**Heiko Kozolek,** ABB, Ladenburg;

**Andreas Kraft,** Telekom AG, Berlin;

**Florian Pethig, Oliver Niggemann,**

Fraunhofer Anwendungszentrum Industrial Automation (IOSB-INA);

**Johannes Reich,** SAP AG Walldorf;

**Jens Vialkowitsch,** Robert Bosch, Stuttgart;

**Friedrich Vollmar,** Selbstständig, Frankfurt/Main;

**Jörg Wende,** IBM Deutschland GmbH, Dresden;

**Thomas Hadlich,** Rockwell Automation, Leipzig

### Kurzfassung

Verwaltungsschalen bilden zusammen mit den Assets der digitalen Fabrik I4.0-Komponenten. Die Interaktionen zwischen den Verwaltungsschalen der Industrie 4.0-Komponenten orchestrieren das I4.0 System zur Umsetzung der Wertschöpfungsketten. Dafür benötigen die Verwaltungsschalen eine gemeinsame Sprache. Auf der Basis der Festlegungen der DIN SPEC 91345, d.h. des RAMIs und der Struktur der Verwaltungsschale wird in diesem Beitrag ein Sprachentwurf vorgestellt. Kern der Sprache sind Nachrichten, deren Inhalte und Auswirkungen semantisch beschrieben werden. Das Prinzip der Sprache wird als Grundlage des Interaktionsmodells unabhängig von technologischen Umsetzungen definiert. Dabei wird sie vom Konzept bis zur Syntax eines potentiellen aber beispielhaften Austauschformats beschrieben. Der Beitrag stellt den aktuellen Stand des Arbeitskreises GMA AK 7.20 „Semantik und Interaktion für I4.0-Komponenten“, der unter gleichem Namen auch als UAG der AG1 der Plattform I4.0 agiert, zur Diskussion.

**Stichwörter:**

Industrie 4.0, I4.0-Komponente, Verwaltungsschale, Interaktionsmodell, Nachrichtensprache

## 1 Einleitung

Eine hochflexible, intelligente Produktion erfordert zunehmende Wechselwirkungen zwischen den Komponenten des Produktionssystems sowie eine verbesserte Fähigkeit, auf veränderte Anforderungen und Anfragen zu reagieren. Um diesen Erfordernissen gerecht zu werden, wurde eine sogenannte I4.0-Komponente als wesentlicher Baustein der intelligenten Produktionsumgebung definiert. Ein I4.0-System besteht aus I4.0-Komponenten [1]. I4.0-Komponenten bestehen jeweils aus einem Asset (möglicherweise aus mehreren Assets) und seiner digitalen Repräsentation, in Form einer sogenannten Verwaltungsschale [2]. Zur Durchführung von I4.0-Szenarien interagieren die I4.0-Komponenten miteinander. Diese Interaktionen können horizontal sein, d.h. zwischen Komponenten derselben Betriebs- und Fabrikebene, oder vertikal, d.h. von der Produkt- und Sensor-Ebene bis hin zur Geschäfts-ebene innerhalb oder sogar über die Grenzen eines Unternehmens hinaus (Bild1). Außerdem sind Interaktionen entlang des Lebenszyklus von Assets vorgesehen.

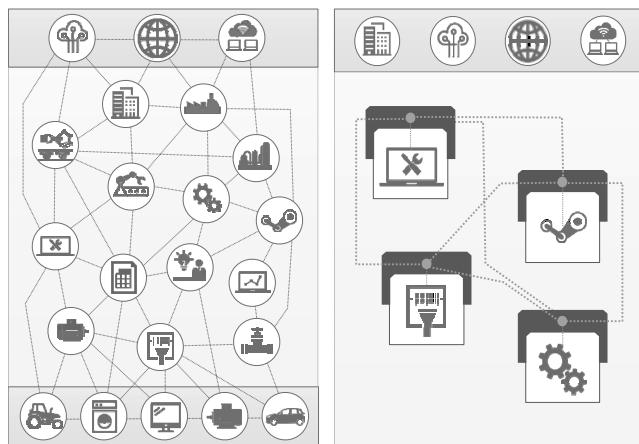


Bild 1: Verwaltungsschalen führen I4.0 Interaktionen durch

Dabei können die I4.0-Komponenten in das bestehende Referenz-Architektur-Modell Industrie 4.0 (RAMI 4.0 [1]) eingeordnet werden. Zwischen den I4.0-Komponenten findet ein Informationsaustausch statt, der weit über eine nach Stand der Technik übliche Feldbus-

## FDI – Auf dem Weg zur Industrie 4.0 Verwaltungsschale für Feldgeräte

**Dr. D. Schulz, S. Grüner**, ABB AG Forschungszentrum Deutschland;  
**A. Laubenstein, F. Fengler**, ABB Automation Products GmbH

### Kurzfassung

Die Verwaltungsschale ist zweifellos das Kernkonzept von Industrie 4.0. In ihr spiegelt sich die Digitalisierung der Produktion, indem sie die Daten und Funktionen von Produktions- und Logistikeinrichtungen auf einheitliche Weise in einer vernetzten Welt zugänglich macht. In einem bereits stark industrialisierten Umfeld bedeutet dies vorrangig, bestehende Technik und Anlagen nicht zu ersetzen, sondern sie so zu einzukapseln, dass die entsprechenden Investitionen möglichst ohne Veränderung weiter genutzt werden können.

Mit genau diesem Anspruch wurde die FDI Technologie (Field Device Integration) entwickelt und in der IEC 62769 bereits 2014 standardisiert

FDI deckt hierbei alle wesentlichen Funktionen der Schichten der Industrie 4.0 Referenzarchitektur ab, um die Assets der Feldebene Industrie-4.0-tauglich zu machen. FDI Server fungieren als IIoT Gateways, die IP-basierte Kommunikation mit bestehenden Feldgeräten über diverse Feldbusprotokolle ermöglichen (Asset- und Integrationsschicht). Die entsprechenden Daten und Gerätefunktionen werden dann über ein einheitlich strukturiertes OPC UA Informationsmodell (Informationsebene), also per IP-basierter Kommunikation (Kommunikationsebene), im industriellen Intranet verfügbar gemacht. FDI kapselt damit effektiv bestehende Feldbushierarchien und die darin befindlichen Geräte.

Zur vollständigen Implementierung von Industrie 4.0 gilt es nun, die Abdeckung des gesamten Lebenszyklus und die Festlegung der Bedeutung von Daten (Semantik) in den Informationsmodellen weiter voranzutreiben. Dies beinhaltet auch die Integration bestehender Standards wie etwa IEC 61987/61360 für die Geräteauswahl und Bestellung, aber auch die weiter vereinfachte Parametrierung und Inbetriebnahme etwa durch NAMUR Core Parameter (NE 131) bis hin zur Selbstkonfiguration (Plug and Produce). Mit einem einheitlichen „Gesundheitsstatus“ nach NE 107 ist ein erster Ansatzpunkt im FDI Modell vorhanden, der für die Integration mit Plant Asset Management (PAM) und Wartungsmanagementsystemen (CMMS) weiter auszubauen ist. Das FDI Informationsmodell ist spezifiziert und kann sofort angewendet werden, um Geräteinformationen für Cloudanwendungen bereitzustellen. Ähnlich muss nun auch der automatisierte Zugriff auf andere Daten, die im Lebenszyklus eines Geräts relevant sind definiert werden. Um diese Definition voranzubringen und damit auch

zukünftigen Anforderungen aus der NAMUR Open Architecture (NOA), Industrie 4.0 und IToT Rechnung getragen werden kann, hat die FieldComm Group eine Projektgruppe gegründet, die diese Anforderungen in technische Lösungen umsetzt.

Auf den folgenden Seiten beschreiben wir, wie eine Industrie 4.0 Verwaltungsschale für Feldgeräte in der Prozessautomatisierung entstehen kann und wie FDI bereits heute in diesem Kontext nutzbar ist.

## 1 Einleitung

### 1.1 Motivation und Problemstellung

Die Digitalisierung der Produktion betrifft alle Ebenen eines Automatisierungssystems von den Softwaresystemen auf ERP und MES Ebene bis zu den Hardwarekomponenten auf Controller- und Feldebene. Die Funktionen dieser Systeme und Komponenten sollen absehbar hersteller- und anlagenübergreifend auf einheitliche Art am Industriellen Internet der Dinge nutzbar gemacht („digitalisiert“) werden. Entsprechende Konzepte wie die Industrie 4.0 Verwaltungsschale [2] wurden bereits früh benannt und werden schrittweise in den Gremien und Fachausschüssen der Plattform Industrie 4.0, VDI/VDE GMA und ZVEI zu technischen Konzepten erweitert [4] [10]. Als Schnittstellentechnik wird das Maschine-zu-Maschine-Protokoll (M2M) OPC UA (OPC Unified Architecture) vorgeschlagen [18].

Für die Integration der Feldebene in der Prozessautomatisierung stellt der Field Device Integration Standard (FDI, IEC 62769) den aktuellen Stand der Technik da. FDI setzt ebenfalls auf OPC UA, um die Eigenschaften und Fähigkeiten der Feldgeräte in einem Informationsmodell abzubilden.

Trotz produktiver Konzeptarbeit sind die Digitalisierungskonzepte der Industrie 4.0 noch von der Konkretheit eines FDI IEC Standards entfernt. Umgekehrt bietet FDI jedoch bereits einen Großteil der von Industrie 4.0 geforderten Konzepte (siehe hierzu Abschnitt 3).

Mehr noch als die Entwicklung neuer Technik ist die Wiederverwendung bestehender Standards eines der Paradigmen von Industrie 4.0. Ziel ist es daher, auf Basis des bestehenden Standards die Evolution von FDI so voranzutreiben, so dass ein erweiterter FDI Standard als praxistaugliche Vorlage für konkrete Industrie 4.0 Normierung nutzbar ist. Auf den folgenden Seiten fassen wir die entsprechenden Anforderungen aus Industrie 4.0 (Abschnitt 2) sowie den bestehenden Stand der Technik (Abschnitt 3) zusammen, um auf dieser Basis konkrete Erweiterungen des FDI Standards vorzuschlagen (Abschnitt 4).

Ziel ist es, die bestehenden Stärken des FDI Standards hin zu einer Industrie 4.0 Verwaltungsschale für Feldgeräte auszubauen.

# openAAS – Die offene Entwicklung der Verwaltungsschale

**Florian Palm, Ulrich Epple,**

Lehrstuhl für Prozessleittechnik RWTH Aachen University

## 1. Kurzfassung

Der Beitrag befasst sich mit dem aktuellen Stand des Projekts openAAS. Dabei wird zunächst kurz das Konzept der Verwaltungsschale im Allgemeinen vorgestellt. Anschließend wird dann der Fokus und die getroffenen Annahmen von openAAS bei der Implementierung der Konzepte aufgezeigt sowie technologieneutrale Modelle zur Realisierung vorgeschlagen, mit dem die verwaltungstechnischen Fähigkeiten der Verwaltungsschale (Bereitstellung von Informationen zum Asset über den Lebenszyklus) ermöglicht werden können. Des Weiteren werden allgemeine Kommunikationsmuster für den Zugriff auf die Daten der Verwaltungsschale beschrieben. Schlussendlich werden die technologieneutralen Modelle mit dem offenen Laufzeit ACPLT/RTE sowie der Kommunikationsschnittstelle OPC UA abgebildet.

## 2. Einleitung Überblick Motivation

Um die Herausforderungen, die mit der 4. industriellen Revolution einhergehen zu bewältigen, werden in Arbeitsgruppen der verschiedenen Industrieverbände Lösungsansätze diskutiert. Die Verwaltungsschale ist ein Konzept, welches einem solchen Rahmen entwickelt wurde, um den Anforderungen der immer stärkeren Vernetzung gerecht zu werden. Anfang 2016 wurde zusammen von dem ZVEI und dem Lehrstuhl für Prozessleittechnik der RWTH Aachen University das Projekt „openAAS“, open Asset Administration Shell, mit einer zweijährigen Laufzeit gestartet. Das Projekt soll das Konzept der Verwaltungsschale mit einer praktischen Implementierung stützen um eine Grundlage für weitergehende Diskussion zu schaffen und mögliche Spezifikationslücken aufzuzeigen.

In diesem Beitrag wird ein Überblick über das Projekt openAAS gegeben und das Konzept der Verwaltungsschale im Allgemeinen vorgestellt werden,

## 3. Projektorganisation

Ein Steering Committee, das aus Vertretern ZVEI Mitgliedsfirmen besteht, unterstützt den Lehrstuhl und entscheidet über den Projektverlauf, die Umsetzung sowie die nächsten Meilensteine.

Zusätzlich soll openAAS im Bereich der Arbeitsgruppen der verschiedenen Verbände die Arbeiten synchronisieren und Grundlagen schaffen, um weitere Entwicklungen anzuregen.

Die Entwicklung findet offen statt, das heißt sowohl Spezifikationen als auch geschriebener Quellcode stehen auf der open source Plattform GitHub[1] allen Interessierten zur Verfügung. Des Weiteren werden Workshops veranstaltet, wodurch Entwickler angesprochen werden, die sich mit der praktischen Implementierung der Verwaltungsschale beschäftigen. Mit deren Hilfe wird versucht eine direkte Rückmeldung zu den Konzepten und der Implementierung zu erhalten. Die Rückmeldungen werden im weiteren Verlauf des Projekts für Verbesserungen verwendet.

Das Projekt verfolgt wesentlich zwei Ziele: Die Gestaltung und Auswahl der Modelle für die Verwaltungsschale und die konkrete Umsetzung. Das heißt es wird ein Durchstich von der konzeptionellen Ebene bis hin zur Implementierung gemacht (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Da das spezifizierte Modell technologienneutral spezifiziert wurde lässt sich es sich mit verschiedenen, auf dem Markt befindlichen Technologien umsetzen. In openAAS wurde zunächst auf OPC UA gesetzt, da es als eine aussichtsreiche Technologie, die die Grundlagen für sichere Kommunikation schafft (Verschlüsselung, Authentifizierung) und andererseits die Möglichkeit zur Informationsmodellierung bietet, gilt.

#### 4. Stand der Technik: Konzept der Verwaltungsschale

Die Verwaltungsschale ist ein Konzept, das seit 2015 diskutiert wird [2][3][4], welches es ermöglicht jegliche Gegenstände von Wert (Asset) auf die gleiche Art und Weise zu verwalten und in Interaktion zu treten. Zusammen mit dem Asset stellt die Verwaltungsschale die Industrie 4.0 Komponente dar (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dabei sind die kommunikativen Fähigkeiten des Assets zunächst einmal bei der Erstellung der Verwaltungsschale nicht entscheidend. Grundsätzlich soll also eine Rohrleitung genauso eine Verwaltungsschale erhalten können wie ein intelligenter Temperatursensor. Die Verwaltungsschale kapselt, wie eine Schale, einen Gegenstand ab und stellt damit die Schnittstelle zu anderen Systemen oder Komponenten dar. Es ist noch nicht abschließend geklärt, welche Funktionalität über die Schnittstelle der Verwaltungsschale abgewickelt werden soll. Es gibt verschiedene Überlegungen, welche Funktionen und Daten eine Verwaltungsschale erhalten soll. Dadurch entscheidet sich auch, wie komplex die Interna der Verwaltungsschale werden. Derzeit existieren Arbeiten dazu, wie Verhandlungen zwischen Industrie 4.0 Komponenten geführt werden [5] oder wie die Security der Verwaltungsschale gestaltet sein muss [6].

# Integrierte Verwaltungsschale nach RAMI 4.0 für Vier- und Zweileiter-Feldgeräte

## NAMUR Open Architecture

Dr.-Ing. P. Gebhardt,

Dr.-Ing. C. Spiegel,

Dipl.-Inf. A. Chachaj,

KROHNE Innovation GmbH, Duisburg

### Kurzfassung

Durch die Entwicklung hin zu Industrie 4.0 ist es für die Betreiber einer Produktionsanlage nötig geworden, sämtliche Komponenten ihrer Anlagen (Assets) vollständig informationstechnisch abzubilden. Diese Abbildung, nach RAMI 4.0 als Verwaltungsschale definiert, beinhaltet unter anderem Informationen über den vollständigen Lebenszyklus, den aktuellen Zustand, den Einbauort und gegebenenfalls aktuelle und historische Messgrößen eines Assets. Die DIN SPEC 91345 definiert das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) [1], welches den Funktionsumfang und die Auslegung einer Verwaltungsschale definiert. Die Implementierung dieser kann in vielfältigen Formen erfolgen. So ist es möglich für Assets, die über keine oder eine nur unzureichende Informationsverarbeitungseinheit verfügen, ein zusätzliches Gerät bereitzustellen, welches die Funktionalität einer Verwaltungsschale für ein oder mehrere Assets übernimmt. Verfügt das Asset über leistungsfähige Informationsverarbeitungseinheiten, so kann die Verwaltungsschale direkt implementieren werden.

In diesem Beitrag wird die integrierte Implementierung einer Verwaltungsschale nach RAMI 4.0 mittels der offenen Standards openAAS (Open Asset Administration Shell) [2] und OPC UA in einem Vierleiter-Feldgerät auf Basis eines Cortex-A9-Mikrocontrollers und dem Betriebssystem Linux vorgestellt, welches aus Arbeiten der NAMUR, des ZVEI und des Lehrstuhls für Prozessleittechnik der RWTH Aachen hervorging. Dabei ist die innere Struktur der Hardware und der Software so ausgelegt, dass die Rückwirkungsfreiheit der Verwaltungsschale auf das Asset gewährleistet ist. Allerdings ist diese Art der integrierten Implementierung nur auf Feldgeräten möglich, die über genügend elektrische Energie verfügen um einen leistungsstarken Mikrocontroller zu versorgen. Dies ist für Zweileiter-Feldgeräte in der Regel nicht der Fall. Um für diese Gerätekategorie dennoch eine Verwaltungsschale bereitstellen zu können, wird der Ansatz verfolgt, solche Geräte über eine energiesparende BLE

(Bluetooth Low Energy) Schnittstelle mit einem wie zuvor beschriebenen Vierleiter-Feldgerät zu verbinden. Die zugehörige Verwaltungsschale des Zweileiter-Feldgeräts wird somit auf dem im Vierleiter-Feldgerät vorhandenen Mikrocontroller implementiert. Eine schematische Darstellung dieser Vorgehensweise ist in Bild 1 dargestellt.

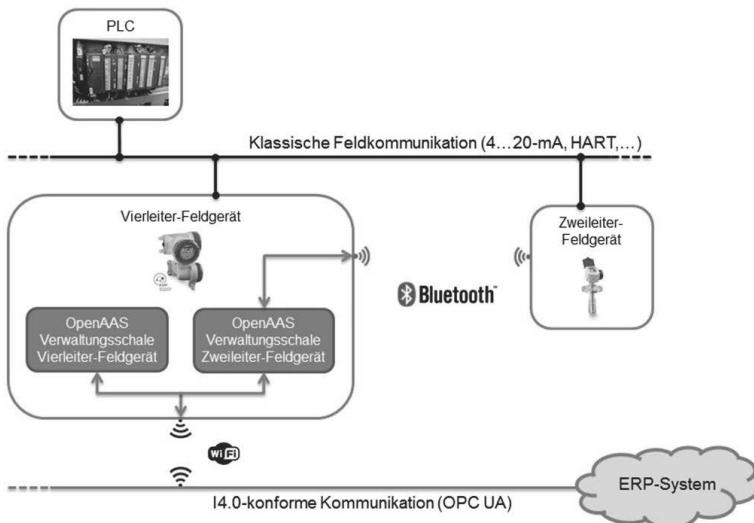


Bild 1: Verwendetes Kommunikationsmodell und Implementierung der Verwaltungsschalen

## 1. Einleitung

In der klassischen Prozessautomation dient ein typisches Feldgerät in der Regel der Erfüllung einer einzelnen, speziellen Aufgabe. So vermisst z. B. ein magnetisch-induktiver Durchflussmesser den Volumenstrom in einer bestimmten Anlagenkomponente, oder ein Stellantrieb schaltet ein bestimmtes Ventil. Müssen weitere Messgrößen erfasst oder weitere Stellglieder betätigt werden, kommen zusätzliche Sensoren und Aktoren zum Einsatz. Aus dieser spezialisierten Sichtweise heraus ergibt es sich, dass es meist ausreichend ist die Kommunikation mit den Feldgeräten auf eine einzelne Stell-, bzw. Messgröße zu beschränken. Dies ist unter anderem ein Grund für die extreme Verbreitung von einfachen analogen Schnittstellen, wie z. B. einer 4...20-mA-Stromschleife. Andere Vorteile dieser Art von Schnittstellen liegen in der Robustheit und der vergleichsweise einfachen Instandhaltung.

# Ableitung von Industrie 4.0-Modellen und -Diensten für Manufacturing Operations Management

Prof. Dr.-Ing. habil. **M. Wollschlaeger**, TU Dresden, Dresden;  
Dipl.-Ing. **M. Weinmann**, Emerson Automation Solutions, Langenfeld;  
Dr.-Ing. **T. Bangemann**, ifak e.V., Magdeburg;  
Dipl.-Ing. **O. Bieliaiev**, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg

## Kurzfassung

Die Aufgaben von MES werden in Industrie 4.0 weiter wachsen, hin zu einem übergreifenden Betriebsmanagement. Ein solches Manufacturing Operations Management ist ein wesentlicher Bestandteil eines Industrie 4.0-basierten Produktionssystems. Die für heutige MES definierten Funktionen und Interaktionsmechanismen müssen daher für Industrie 4.0 durch Definition von entsprechenden Teilmustern und Diensten aufbereitet und in interoperabler Form bereitgestellt werden. Der Beitrag motiviert und diskutiert eine solche Ableitung von Industrie 4.0-konformen Teilmustern und Diensten auf Basis der IEC/EN 62264.

## 1. Motivation

Industrie 4.0 verspricht die Flexibilisierung und Optimierung der Wertschöpfungsketten durch Digitalisierung von Daten über den Lebenszyklus industriell gefertigter Produkte sowie durch bedarfsgerecht und dynamisch miteinander interagierende Komponenten. Diese Industrie 4.0-Komponenten repräsentieren Assets – physische Objekte wie Objekte der Informationswelt – die in der Lage sind, Informationen zu speichern, Funktionen und Dienste auszuführen und diese auch anderen Industrie 4.0-Komponenten zur Verfügung zu stellen. Erreicht wird dies durch das Konzept der Verwaltungsschale, die jede Industrie 4.0-Komponente im Industrie 4.0-Verbund softwaremäßig abbildet und bekannt macht [0].

Angesichts der Flexibilisierung von Prozessen kommt effizienten Lösungen des Betriebsmanagements (Manufacturing Operations Management, MOM) für die Produktionssteuerung und –optimierung aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine zunehmende Bedeutung zu [2]. Gegenüber klassischen Manufacturing Execution Systems (MES), die funktional eher auf den Produktionssteuerungsaspekt fokussieren, dürfte MOM insbesondere durch Digitalisierung, Datenanalyse und intelligente Komponenten einen größeren Bereich an Funktionen abdecken.

In Bezug auf die softwaretechnische Umsetzung werden sich Lösungen weg von einem häufig monolithischen Softwaresystem hin zu funktionalen Modulen wandeln, die als eigenständige Komponenten oder als integrale Bestandteile von Industrie 4.0-Komponenten auch ver-

teilt implementiert werden. Die konkrete Verteilung der Funktionen auf die Module – und damit auf Industrie 4.0-Komponenten – wird sicherlich vom Einzelfall abhängen.

## 2. Vom MES zum digitalisierten Betriebsmanagement

Orientiert man sich an der betriebswirtschaftlichen Zielsetzung von Industrie 4.0, so wird schnell klar, dass die Fähigkeit, aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten, mehr an Flexibilität, Dynamik und Funktionalität benötigt, als dies heutige Manufacturing-Execution-Systeme mit ihrem traditionellen Fokus auf das Ausführungsmanagement bieten.

Die angebotenen Lösungen im Bereich MES werden sich weiterentwickeln müssen, hin zu einem umfassenden Betriebsmanagement (MOM), das in der Lage ist, diesen optimalen Wertschöpfungsfluss zu organisieren und dabei alle Aspekte des Betriebsmanagements zu berücksichtigen. Zieht man die Komplexität dieser Aufgabe sowie die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien in Betracht, so werden heutige monolithische Systeme überdacht werden müssen. Der heute erkennbare Trend geht zu Lösungen in einem kollaborativen Zusammenspiel unterschiedlicher modularer Komponenten und Funktionen des Betriebsmanagements.

Trotz des oben erwähnten Zwangs zur Weiterentwicklung haben die heutigen Manufacturing Execution Systems nach wie vor ihre volle Daseinsberechtigung, denn sie liefern schon jetzt Teilespekte und Informationen vor allem im Bereich des Produktionsmanagements, die man nicht ungenutzt lassen sollte. Daher ist die Abbildung der Funktionalität von MES auf die Elemente von Industrie 4.0 eine gute Ausgangsposition für die Entwicklung hin zu MOM.

Für die Definition der Aufgabenstellung von MES existiert eine Reihe von Publikationen verschiedener Verbände und Organisationen, die einen Fokus auf ihre jeweilige Anwendungsdomäne legen:

- IEC/EN 62264, Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen [3]
- VDI-Richtlinie 5600, Fertigungsmanagementsysteme (MES) [4]
- VDMA Einheitsblatt 66412-10, Manufacturing Execution Systems – Daten für Fertigungskennzahlen [5]
- NAMUR Arbeitsblatt 94, MES: Funktionen und Lösungsbeispiele der Betriebsleitebene [6]

Dabei kommt der allgemeinen Form, wie sie in [3] standardisiert ist, besondere Bedeutung zu. Es zeigt sich, dass die in diesem Standard definierten Funktionen und Modelle breit anwendbar sind. Dies belegt die Broschüre der AG MES des ZVEI „MES – Branchenspezifische Anforderungen und herstellerneutrale Beschreibung von Lösungen“ [7].

# Rolle der Kommunikationsschicht bei Industrie 4.0

**Dr. D. Schulz, Dr. J. Schmitt, Dr. M. Stanica,**  
ABB AG Forschungszentrum Deutschland

## 1 Kurzfassung

Die wandelbare, selbstorganisierende Produktion der Industrie 4.0 (I4.0) und die horizontale Integration von Wertschöpfungsketten bauen auf der Infrastruktur eines Industriellen Internet der Dinge (Industrial IoT) auf.

Während das Internet zur Kommunikation zwischen Unternehmen, Kunden, innerhalb und zwischen diesen Gruppen in den meisten Fällen leicht verfügbar ist, trifft dies für die Kommunikation zwischen Maschinen nur unzureichend zu. Plakativ gesprochen ist das Industrielle Internet für M2M Kommunikation eben noch nicht „einfach da“.

Kommunikation bei I4.0 bedeutet dabei, dass nahtlose Ende-zu-Ende Kommunikation in jeder Form vom Alleinstellungsmerkmal zum Massengut wird. Dies ist notwendig, um tatsächlich den Bedürfnissen der I4.0 nach medienunabhängiger, flexibler und vor allem sofort verfügbarer Kommunikation gerecht werden zu können. Protokollbarrieren und manueller Engineeringaufwand sind auf Informationsebene große Hindernisse, für den reinen Datentransport auf Kommunikationsebenen sind sie schlicht inakzeptabel.

Im Folgenden entwickeln wir die Kernanforderungen an die grundsätzliche Architektur und der I4.0 Kommunikationsschicht. Wie zeigen exemplarisch auf, wie Kernfunktionen der Kommunikationsinfrastruktur wie etwa Determinismus, Zuverlässigkeit oder Trennung von Datenverkehr umgesetzt werden können.

## 2 Kommunikation in der Industrie 4.0

Die Konvergenz zwischen Produktions-, Telekommunikations- und Informationstechnischen Systemen ist ein Kernthema der I4.0<sup>1</sup>. Die Zielsetzung einer flexiblen und gleichzeitig tieferen Integration von Wertschöpfungsketten wird erst durch eine stark überarbeitete Automatisierungsinfrastruktur ermöglicht, die nahtlosen Zugriff auf Information durch anwendungsgeheure Vernetzung ermöglicht [1]. In Bezug auf das Referenzarchitekturmodell I4.0 (RAMI

---

<sup>1</sup> Die Rede ist hier oft von der sogenannten „IT/OT Konvergenz“, also der Informationstechnik (IT) und der operativen (produktionsnahen) Technik (OT).

4.0) sind damit die Informations- und Kommunikationsschichten im Fokus [12], welche Informationszugriff und Datentransport auf standardisierte Weise ermöglichen.

Auf Informationsschicht existieren eine Reihe von Begriffen, welche die Digitalisierung bestehender Industrie 3.0 Systeme umschreiben, angefangen von der I4.0 Verwaltungsschale<sup>2</sup> über den digitalen Zwilling bis zu Schattenkopie [14]. Ziel ist letztlich immer, die Interoperabilität zwischen Anbietern und Nutzern von Information in verteilten, hersteller- und anlagenübergreifenden Produktionssystemen, die auf Basis einer dienstorientierten Architektur flexibel bereitgestellt wird [3].

Es bietet sich an, das Konzept der I4.0 Verwaltungsschale zu verwenden, um die Kommunikationsfähigkeiten insbesondere auch von Technik der IT-Domäne für die Informationsschicht der Automatisierung nutzbar zu machen [2]. Diese Bereitstellung *I4.0-konformer Kommunikation* ist die konkrete Aufgabe hinter IT/OT Konvergenz.

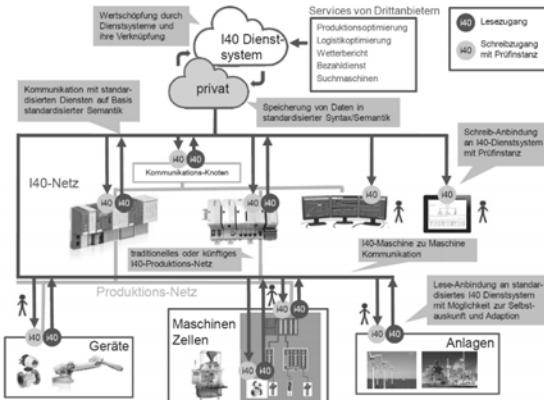


Bild 1: Konzept dedizierter Industrie-4.0-Netze [Quelle: Rainer Drath, ABB]

Um I4.0-konforme Kommunikation in bestehende Anlagen einzuführen, ohne die Integrität bestehender (prozess- und sicherheitskritischer) Anwendungen zu gefährden, schlagen wir das in Abbildung 1 dargestellte Konzept dedizierter Industrie-4.0-Netze vor, die unabhängig von vorhandenen Produktionsnetzen sind. Damit ist jedoch nicht notwendigerweise der Aufbau einer physischen Parallelinfrastruktur gemeint, die weder ökonomisch machbar noch technisch notwendig ist, sondern technische Konzepte, die einen (vor anderen Anwendun-

<sup>2</sup> „Alle relevanten Daten einer Hard- oder Softwarekomponente in der Produktion ... ergeben zusammengefasst ihr virtuelles Abbild, das in der Verwaltungsschale gespeichert ist“ [11]

# Aus dem Unterbau der Industrie 4.0

## Ein Beitrag zur Kommunikationsinfrastruktur für zukünftige Automatisierungssysteme

Dr.-Ing. S. Höme, Dr.-Ing. H. Albrecht, T. Talanis,  
Siemens AG, Nürnberg

### Kurzfassung

Im Rahmen von Industrie 4.0 wachsen Automatisierungstechnik und Informationstechnik zusammen. Wie und in welchem Umfang können hierbei etablierte Technologien und Methoden der IT-Kommunikation in die AT übertragen werden? Nicht zuletzt stellt die heute in der AT übliche zentrale Rolle der IP-Adressierung in Form fester, möglichst von langer Hand vorgeplanter IP Adressen eine von mehreren Hürden auf dem Weg zu mehr Flexibilität dar. Dieser Beitrag betrachtet dazu typische Anwendungsfälle im Lebenszyklus industrieller Anlagen anhand neuer technischer Lösungsansätze. Diese können einen flexiblen und zugleich konfigurationsarmen Betrieb zukünftiger AT-Kommunikationsnetze eröffnen.

### 1. Einleitung

In industriellen Anlagen berühren und begegnen sich zwei Verantwortlichkeiten im Hinblick auf die Kommunikationstechnik: einerseits die Informationstechnik (IT) und andererseits die Automatisierungstechnik (AT). In der Regel sind diese Verantwortlichkeiten zugleich als Ebenen ausgeprägt. Auf beiden Ebenen werden teils unterschiedliche, teils identische Technologien eingesetzt. In der Regel herrschen verschiedene Planungs- und Organisationsabläufe vor. Die industrielle Kommunikation leidet trotz der hohen Flexibilität der Ethernet- und IP-basierten Systeme an Einschränkungen. Diese liegen zum Beispiel im Bereich der Vergabe von Netzwerkkadressen und sind teils historisch und teils infolge spezieller Anforderungen der Automatisierungstechnik hinsichtlich Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, aber auch Organisation, entstanden.

Im Zuge von Industrie 4.0 und Digitalisierung steigen die Anforderungen hinsichtlich der Flexibilität von Anlagen und Maschinen (Aufbau, Erweiterung, Umzug, ...), sowie der Bedarf an Kommunikation innerhalb der AT, aber auch zwischen AT und IT weiter deutlich an. IT-Netze durchlaufen dabei, sowohl im Enterprise als auch in öffentlichen Netzen, schon seit Jahren erfolgreich ein rasantes Wachstum. Wie und in welchem Umfang können also deren Technologien und Methoden in die AT übertragen werden?

## 2. Situation

### 2.1 Anlagen-Lebensphasen

Automatisierungstechnische Anlagen durchlaufen in ihren Lebenszyklen typischerweise verschiedene Phasen. Bild 1 stellt dabei eine mögliche und vereinfachte Variante dar. Die Phasen sind hierbei insbesondere und dem Aspekt der automatisierungstechnischen Vernetzung ausgewählt.

Maschine, Zelle, Linie, ...



Bild 1: Lebensphasen einer automatisierungstechnischen Anlage

Für bestimmte Anlagenarten spielt das stetige Erweitern – gerade auch im laufenden Anlagenbetrieb – eine zunehmend gewichtigere Rolle. Eine Eigenart gegenüber beispielsweise einer Office IT ist der Gerätetausch: hierbei muss ein Gerät so austauschbar sein, dass die von ihm ausgeführte (Automatisierungs-) Funktion „sofort“ wieder hergestellt wird. Insbesondere steht hierbei also die Funktion im Vordergrund, nicht aber die Geräte-Identität.

### 2.2 Anlagen-Umzugszyklus

Zunehmend kommt auch noch ein übergeordneter Anlagenzyklus hinzu: der (mehrmalige) Umzug ganzer Anlagen von Standort zu Standort, wie im Bild 2 vereinfacht dargestellt.

Anlage



Bild 2: Umzug von automatisierungstechnischen Anlagen

Hierbei fallen nun die Inbetriebsetzungsphasen des Gesamtlebenszyklus stärker ins Gewicht, da sie diesen nun mehrfach durchlaufen werden. Für den Anlagenbetreiber ist daher wichtig, dass insbesondere die (Wieder-)Inbetriebsetzungsphasen deutlich reduziert werden können.

# Modellierung von Fertigungsfunktionen bringt Industrie 4.0 in Bestandsanlagen

**André Scholz, Constantin Hildebrandt, Christine Wentzien,  
Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg;  
Thorsten Mathes, Pepperl+Fuchs GmbH, Berlin**

## Kurzfassung

In diesem Tagungsbeitrag wird eine Engineering-Methode vorgestellt, welche mit Hilfe von verschiedenen, unabhängigen, aber stark miteinander verknüpften Modellen eine gewerke-übergreifende Planung bzw. Umplanung von Maschinen und Anlagen in der Fertigungstechnik ermöglicht. Hierzu werden die Funktionen der Anlage und der Teilanlagen in den Fokus gerückt. Mit Informationen, die durch Industrie-4.0-Komponenten zunehmend zur Verfügung stehen, können diese Modelle befüllt werden. Die vorgestellte Engineering-Methode, welche auch für die Planung von Neuanlagen verwendet werden kann, wird in diesem Beitrag auf Bestandsanlagen angewendet. Das dabei aufzubauende Systemmodell der Anlage wird in einem neutralen Datenaustauschformat abgelegt. An einem Beispiel einer Anlage zur Sensorfertigung soll die Anwendung der Methode erklärt und deren Nutzung zur Analyse des Systems aufgezeigt werden.

## 1 Einleitung

Im Rahmen der rasch zunehmenden Digitalisierung durch die Innovationen im Themenbereich von Industrie 4.0 [1] entstehen für das Engineering von Maschinen und Anlagen sowohl neue Herausforderungen als auch neue Chancen. Die Herausforderungen bestehen darin, in immer kürzerer Zeit immer komplexere Anlagen zu planen bzw. zu verändern, um die Anforderungen an Zeit, Kosten und Qualität zu erfüllen [2]. Die dafür erforderliche Effizienzsteigerung des Engineerings soll für Neuanlagen schon im Basic-Engineering beginnen, wo durch eine gemeinsame funktionale Planung der Gewerke die Basis für das Detail-Engineering der Anlage gelegt wird [2], [3]. Für Bestandsanlagen erfolgt das Reengineering im Rahmen von Umbauten, Modernisierungen oder mit der Anpassung an geänderte Anforderungen an die Anlage, verursacht durch Produktwechsel oder veränderte Produktionsbedingungen [4]. Die Chancen im Engineering entstehen durch die Einführung der Industrie-4.0-Komponenten und die damit zur Verfügung stehenden Informationen über Geräte und Dienstleistungen [5], die damit möglich werden. Die Industrie-4.0-Aspekte [6] des durchgängigen Engineerings und

der horizontalen Integration können durch die vorzustellende Methode somit auch Einzug auch in Bestandsanlagen halten.

### 1.1 Motivation

Beim Engineering von automatisierten Systemen die gewünschten Funktionen als Ausgangspunkt zu nehmen, wird in vielen Domänen propagiert und auch zunehmend realisiert, z.B. in der Prozessautomation und der Gebäudeautomation. In der Prozessautomation hat sich die funktionale Planung als methodische Vorgehensweise bereits etabliert. Ein wesentlicher Vorteil dieser funktionalen Planung ist es, in frühen Phasen des Engineerings eine lösungsneutrale Planung durchzuführen. Entscheidungen für konkrete Geräte werden somit in spätere Phasen verschoben, in denen mehr Details zu den konkreten Anforderungen definiert sind, welche durch die Geräte erfüllt werden sollen. Zudem ermöglicht das funktionale Planungsvorgehen besser als das Planen von Geräten ein gewerkübergreifendes Verständnis, da die geforderte Funktion der Anlage oder Maschine beschrieben wird. Die daraus resultierenden Planungsdokumente dienen allen beteiligten Gewerken des Engineerings als gemeinsame Planungsgrundlage und innerhalb der Projekte auch der gewerkübergreifenden Dokumentation. Etabliert hat sich in der Verfahrenstechnik das R&I-Fließbild [7] und in der Gebäudeautomation (GA) das GA-Schema [8]. Beide Dokumententypen sind in den angegebenen Quellen genormt und geben dem Anwender somit die Sicherheit der eindeutigen semantischen Bedeutung der in der Norm aufgeführten und durch den Anwender in der Planung verwendeten Inhalte. In der Fertigungstechnik hat sich ein solches standardisiertes Format bisher nicht etabliert [9]. Ein Grund dafür ist, dass die Mechanik mit ihrer dreidimensionalen Modellierung von Komponenten, deren Festigkeitsberechnungen und auch dynamischer Vorgänge in der fertigungstechnischen Planung eine zentrale Rolle spielt, während in der verfahrenstechnischen Planung die Verschaltung der Apparate untereinander und die Verbindung mit ihren prozesstechnischen Funktionalität im Fokus steht [10]. Durch die in der Fertigungstechnik dominierende Fokussierung der Mechanik auf die Komponenten entfällt häufig die lösungsneutrale Betrachtung der Funktion bei der Lösungssuche, oder sie wird zumindest nicht dokumentiert.

Der vorliegende Tagungsbeitrag stellt eine Methode vor, wie eine genormte Darstellung von Prozessen (in denen Funktionen ausgeführt werden) innerhalb einer Fertigungsanlage als funktionaler Teil des Systemmodells genutzt werden kann. Das daraus entstehende Modell der Anlage erscheint für die funktionale Planung in der Fertigungstechnik geeignet. Dass dies nicht nur im Engineering von Neuanlagen, sondern auch in der Umplanung von beste-

## Smarte Produktionsassistenten für die wandlungsfähige Produktion

### Neue Fertigungskonzepte im Zeitalter der digitalen Transformation

## Smart manufacturing assistants for the versatile production

### New manufacturing concepts in times of the digital transformation

Dr. Ing. **Michael Zürn, Thorsten Reichling**, Daimler AG, Sindelfingen;

Dr. Ing. **Matthias Reichenbach**, Daimler AG, Stuttgart;

**Jan Hodapp**, Daimler AG/BTU Cottbus – Senftenberg;

Prof. Dr. Ing. **Ulrich Berger**, Lehrstuhl für Automatisierungstechnik BTU Cottbus - Senftenberg

#### Kurzfassung

Die heutige Automobilindustrie ist durch zunehmende Individualisierungswünsche der Kunden sowie einer Verkürzung der Konjunkturzyklen gekennzeichnet. Für Fahrzeughersteller, wie der Daimler AG äußert sich diese Marktsituation in einer hohen Variantenvielfalt und Stückzahlschwankungen. Da die Ausprägungen dieser Einflüsse weitgehend unbekannt sind, muss das Produktionssystem darauf vorbereitet sein, bedarfsgerecht der Marktsituation angepasst zu werden. Diese Anpassungen müssen schnell, mit wenig Aufwand und geringen Kosten möglich sein. Wandlungsfähige Produktionssysteme gehören deshalb zu den strategischen Erfolgsgrößen für die Automobilindustrie.

Innerhalb dieses Beitrags wird ein modularer, skalierbarer Produktionsbaukasten vorgestellt, der Bestandteil einer Planungs- und Entwicklungsumgebung wandlungsfähiger Produktionskonzepte ist. Die hierfür genutzte grenzwerttheoretische Entwicklungsmethodik wird erläutert und die Skalierungsmöglichkeiten des Produktionsbaukastens mit Hilfe neuer Produktions-technologien betrachtet. Dabei zeichnet sich die Mensch-Roboter-Kooperation als wesentlicher Bestandteil wandlungsfähiger Produktionskonzepte ab. „Smarte Produktionsassisten-

ten“ sind intelligente und sichere Roboter-Applikationen, die sich als Möglichkeit hervortun die Mensch-Roboter-Kooperation als Schlüsseltechnologie in industriellen Anwendungen zu realisieren.

### **Abstract**

Today's automotive industry is characterized by a high level of individual customization and shorter business cycles. This market situation leads to a wide variety of models as well as fluctuations in volume for vehicle manufacturers, such as Daimler AG. Since the effects of these influences are not yet fully understood, the manufacturing system has to be able to adapt in a needs-oriented way to the current market situation. These adaptations need to be realized quickly, with minimal effort and a high cost-effectiveness. Here, adaptable manufacturing systems a part of the strategic success factors of the automotive industry.

This article introduces a scalable modular manufacturing system which is part of a planning and development environment of adaptable manufacturing concepts. Here, the applied limit value based calculation approach is explained. Furthermore, the scaling options of the modular system are observed using new production technologies. An essential component of adaptable manufacturing systems represents the human-robot collaboration. “Smart manufacturing assistants” are intelligent and secure robot applications. They present an opportunity to realize human-robot collaboration as key technology for industrial applications.

### **1. Beherrschen der Derivatevielfalt und volatiler Märkte durch einen wandlungsfähigen Produktionsbaukasten – Produktionskonzepte im Fertigungsnetzwerk**

Dynamische Märkte erfordern eine schnellere Marktreife von Produkten, kürzere Produktlebenszyklen und mehr Produktvarianten. Als entscheidende Herausforderung gilt es dabei, individualisierte Fahrzeuge wirtschaftlich zu produzieren. Zudem müssen Risiken volatiler Märkte wettbewerbsfähig am Produktionsstandort Deutschland bewältigt werden. Eine hohe Produktvielfalt und die steigende Anzahl an Derivaten im Automobilbau beinhaltet auf technologischer Seite ein wachsendes Spektrum an Materialkombinationen der Karosseriebauteile, Geometrieänderungen sowie variierende Stückzahlen.

Oftmals können bestehende Produktionskonzepte nur durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen, wie Anpassung der Schichtmodelle, auf Stückzahländerungen reagieren. Die Folgen sind ungenutzte Betriebsmittel, die durch Stillstandszeiten hohe Kosten verursachen und durch ihre starke Typgebundenheit nicht oder nur durch hohen Anpassungsaufwand in anderen Fertigungsbereichen eingesetzt werden können.

# Agiles Änderungsmanagement in der Automation industrieller Anlagen

Wirt.-Ing. **A. Gellermann**, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. **A. Fay**,  
Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg;

## Kurzfassung

Änderungen stoßen im industriellen Anlagenbau komplexe Prozesse an, die meist interdisziplinär abgewickelt werden. Auftretende Wechselbeziehungen zwischen diesen Prozessen bleiben in den meisten Ansätzen heutiger Änderungsmanagementsysteme unberücksichtigt. Dabei entstehen aufgrund inhaltlicher und organisatorischer Überschneidungen ungewollte Mehraufwände, die im Spannungsverhältnis zur optimalen Projektabwicklung stehen. Der hier vorgestellte Ansatz zeigt ein agiles Änderungsmanagement, welches Vorgaben für Änderungscluster sowie zweckmäßige Bearbeitungsreihenfolgen entwickelt.

## 1. Einleitung

Die Kundenforderung, im Anlagenbau stetig komplexer werdende Anlagen in immer kürzeren Projektlaufzeiten dem Kunden zur Verfügung zu stellen, führt zu einem immensen Marktdruck. Unternehmen des Sondermaschinenbaus müssen dabei in der Lage sein, Anlagen zu projektieren, bei denen teilweise die von der Anlage zu fertigenden Produkte zu Beginn der Auftragsvergabe noch nicht vollends fertig entwickelt sind, wodurch Planungsänderungen während des Engineering-Projekts unausweichlich werden. Diese Entwicklung macht eine angepasste Gestaltung von Planungsprozessen für die schnelle und zugleich effiziente Abwicklung von Projekten im Anlagenbau notwendig. Dabei ist auch die reibungslose Projektabwicklung durch inhaltliche und organisatorische Systematisierung änderungsbedingter Arbeitsabläufe sicherzustellen. Nach einer Studie der Technischen Hochschule Kaiserslautern werden für die Bearbeitung auftretender Änderungen durchschnittlich 35% der gesamten Arbeitszeit aufgebracht [1]. Eine signifikante Reduzierung dieses Aufwandes lässt sich nicht ausschließlich durch Vermeidungsstrategien, sondern vor allem durch eine Effizienzsteigerung im Änderungsmanagement erreichen.

Das Thema des Änderungsmanagements ist keine Modeerscheinung. Es ist insbesondere im Bereich des Produktentstehungsprozesses seit den 1990er Jahren fester Bestandteil der

wissenschaftlichen Diskussion. Im Rahmen einer umfassenden Digitalisierung, vor der viele Unternehmen derzeit stehen, rückt das Änderungsmanagement aktuell wieder verstärkt in den Fokus der Betrachtung. Die Motivation ist klar nachvollziehbar: Das manuelle Ausfüllen von Änderungsanträgen, das Kennzeichnen von Änderungsbedarfen auf Zeichnungsplots sowie die Ablage von Änderungsvorgängen in analogen Ordnern birgt trotz eines definierten Änderungsprozesses enorme Risiken. Nicht selten haben die Risiken dabei unmittelbaren Einfluss auf den Erfolg eines Projektes hinsichtlich der Faktoren Lieferzeit, Lieferqualität und Kosten. Bestrebungen der Vereinfachung von Antragsverfahren durch digitale Templates auf „Mobile Devices“ und „Red-Lining-Verfahren“ auf den digitalen Zeichnungsständen sowie die automatisierte Weitergabe und Zuordnung von Änderungs-Workloads sollen helfen, das Änderungsmanagement dem digitalen Zeitalter anzupassen. Einen wesentlichen Beitrag zur Prozessverbesserung im Änderungsmanagement bewirken diese Anpassungen jedoch nicht, weil sie nur die 1:1-Abbildung ineffizienter Vorgänge auf digitale Mittel darstellen.

## 2. Begriffsbestimmung

Nach der DIN 69901-5 ist unter einer Änderung das bestätigte Ergebnis eines genehmigten und vollzogenen Änderungsantrags zu verstehen. Damit bezieht sich der Begriff nach der DIN ausschließlich auf den durchgeführten Zustandswechsel eines Gegenstandes, dessen Konfiguration zum Zeitpunkt der Identifikation eingefroren war [2]. Der Begriff „Änderung“ kann jedoch zudem als inhaltliche Beschreibung einer Anpassung verstanden werden. Durch diese Erweiterung der Begriffsauffassung wird dem Ergebnis auch ein Prozess zur Erlangung dessen zugeordnet.

Das Änderungsmanagement verfolgt zwei wesentliche Strategien. Dies ist zum einen die effektive und effiziente Steuerung von Änderungsvorgängen und zum anderen die Vermeidung von Änderungen. Das Änderungsmanagement ist Teil des Geschäftsprozessmanagements, das die zielgerichtete, zeitlich-logische Abfolge von arbeitsteilig ausgeführten Aufgaben, Arbeitsschritten oder Aktivitäten steuert [3]. Neben Anregungen aus der wissenschaftlichen Forschung kommen Vorgaben für das Änderungsmanagement aus Standardisierungsorganisationen und Verbandsorganisationen. Allen Vorgaben gemein ist ein Prozess, der im Wesentlichen den allgemeinen Ablauf von Änderungen beschreibt. Elemente dieses Prozesses sind:

# Assistenzsystem zur Aufwandsabschätzung der Software-Evolution von automatisierten Produktionssystemen

M.Sc. **P. Marks**, Prof. Dr.-Ing. **M. Weyrich**,

Institut für Automatisierungs-technik und Softwaresysteme,  
Universität Stuttgart, Stuttgart

## Kurzfassung

Bestehende automatisierte Produktionssysteme sind einem ständigen Wandel unterworfen, da sie an geänderte Rahmenbedingungen angepasst werden müssen. Dies kann durch Änderungen der Hardware und/oder der Software erfolgen, wobei der Änderungszyklus der Software im Allgemeinen kürzer ist. Dabei ist für die Planung der Anlagen-Evolution auch die Abschätzung des durch eine Softwareänderung entstehenden Aufwands von Interesse. Unter Berücksichtigung von SPS-spezifischen Besonderheiten wird in diesem Beitrag das Konzept eines Assistenzsystems vorgestellt, das die Aufwandsabschätzung durch die Kombination von einem fallbasiertem Schließend mit der Anwendung von Software-Metriken unterstützt. Anschließend wird die Umsetzung des beschriebenen Assistenzsystems sowie eines Tools zur automatisierten Anwendung von Software-Metriken auf SPS-Programme gezeigt.

## 1. Einleitung

Automatisierte Produktionssysteme sind einem stetigen Wandel unterworfen, um in turbulenten Märkten konkurrenzfähig zu bleiben. Aktuelle Trends, die häufig im Kontext von Industrie 4.0 genannt werden, wie beispielsweise die kundenindividuelle Produktion in Losgröße 1, erfordern eine hohe Flexibilität der Produktionssysteme, um diese über Ihren kompletten Lebenszyklus von teilweise mehreren Jahrzehnten wirtschaftlich sinnvoll nutzen zu können. Da künftige Marktentwicklungen zum Zeitpunkt der Entwicklung eines automatisierten Produktionssystems nicht oder nur sehr ungenau vorhergesagt werden können und die Entwicklung der Maschine mit maximaler Flexibilität aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, kommt der Evolution von automatisierten Produktionssystemen eine große Bedeutung zu. Diese Evolution kann dabei sowohl durch die Änderung der mechanischen Struktur als auch insbesondere durch die Anpassung der Steuerungssoftware erreicht werden. Mittlerweile macht der Anteil der Software-Entwicklung ca. 50% der Kosten neuer Maschinen oder Anlagen aus. Dieser Anteil hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stetig erhöht [1]. Dabei ist ebenfalls beobachten, dass die Änderungszyklen der Software im Allgemeinen kürzer als die der Hardware sind [2]. Aus diesem Grund kommt der Betrachtung von Softwareänderungen

und der dadurch entstehenden Aufwände eine besondere Bedeutung bei der Evolution von automatisierten Produktionssystemen zu.

Die Steuerung automatisierter Produktionssysteme erfolgt in der Feldebene meist durch Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS). Die Entwicklung von SPS-Programmen weist einige Besonderheiten auf, die die Aufwandsabschätzung erschweren:

- **Vielfalt an Sprachen nach IEC 61131-3 mit unterschiedlicher Sprachhöhe:** Neben der assemblerartigen Anweisungsliste existieren auch grafische Programmiersprachen wie Kontaktplan oder die Funktionsbausteinsprache. Ebenfalls grafisch können Zustandsautomaten bzw. Schrittketten mit der Ablaufsprache beschrieben werden. Angelehnt an moderne Hochsprachen kann Strukturierter Text zur Programmierung eingesetzt werden. Die Sprachen unterscheiden sich neben den verwendeten Sprachelementen und deren Darstellung auch in der Verständlichkeit bzw. Analysierbarkeit der beschriebenen steuerungstechnischen Abläufe. Dabei sind auch persönliche Präferenzen und die Erfahrung mit den jeweiligen Sprachen beim Programmierenden zu berücksichtigen.
- **Unstrukturierterer Entwicklungsprozess im Vergleich zu klassischen Softwareprojekten:** Bei klassischen Softwareprojekten werden häufig strukturierte Vorgehensmodelle, beispielsweise das V-Modell, mit festdefinierten Zwischenprodukten verwendet, um die Qualität des zu entwickelnden Programmes und seiner Dokumentation sicherzustellen. Da die Entwicklung von automatisierten Produktionssystemen ein mechatronisches Projekt mit interdisziplinären Abhängigkeiten ist, verläuft der Entwicklungsprozess im Regelfall unstrukturierter. Die Software-Entwicklung ist dabei üblicherweise der letzte Entwicklungsschritt nach Auswahl und Aufbau der Automatisierungshardware und der Elektronikplanung, da erst dann die Schnittstellen zum technischen Prozess bekannt sind.
- **Häufige Änderungen des Steuerungsprogramms „on-site“, ohne Anpassung der Dokumentation:** Da sich zahlreiche Anpassungen am SPS-Programm erst bei der Inbetriebnahme oder im laufenden Betrieb (z.B. im Rahmen von Prozessoptimierungen) ergeben, werden diese im Regelfall sofort vor Ort durchgeführt. Sofern in der Entwicklungsphase eine Programmdokumentation oder Softwaremodelle erstellt wurden, so werden diese nachträglichen Anpassungen meist nicht nachgepflegt. Somit ist eine Dokumentation nach mehreren nichtdokumentierten Änderungen unbrauchbar für die Planung weiterer Evolutionsschritte.

Zur Durchführung von Anpassungen an der Software analysiert der Programmierer daher üblicherweise zunächst das vorliegende Programm und den zu steuernden technischen Pro-

# Optimierung der Sensoranordnung für ein bildgebendes Luftultraschallsystem

**Wei Yap Tan, Dr. Nicole V. Ruiter,**  
Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe;  
**Dr. Till Steiner, Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim**

## Kurzfassung

Luftultraschallsensoren werden in der Automatisierung eingesetzt, um Objektbewegungen zu detektieren und den Abstand von Objekten zum Sensor zu messen. Im Gegensatz dazu wird komplexere Objektlokalisierung häufig mit optischen Systemen realisiert. In diesem Beitrag wird ein bildgebendes Luftultraschallsystem vorgestellt, das komplexe Objektlokalisierung mit Ultraschall ermöglicht. Für eine Region-of-Interest (ROI) beliebiger Form mit mehreren Objekten wird ein Bild mittels Reflexionstomographie rekonstruiert. Mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen kann man das System für anspruchsvolle Objekterkennung einsetzen. Das vorgestellte Optimierungsverfahren für die Sensorpositionierung ermöglicht für eine gegebene Anzahl von Sensoren eine verbesserte Sensoranordnung für eine maximale Abdeckung der ROI und eine homogene Systemleistung.

## 1. Einleitung

Luftultraschallsensoren werden in der Automatisierung häufig für einfache Abstandsmessungen eingesetzt. Durch die Robustheit und die Unabhängigkeit von Farbe und optischen Reflexionseigenschaften der Objekte zeigen sich ultraschallbasierte Systeme in vielen Anwendungsfällen vorteilhaft gegenüber optischen Systemen [1]. Aktuelle Forschungen im Bereich Luftultraschall fokussieren sich auf die Entwicklung von linearen Ultraschall-Phasenarrays. Die Fähigkeit dieser Systemen zur gleichzeitigen Positionsdetektion mehrerer Objekten wurde in den ersten Ergebnissen nicht gezeigt [3, 4].

Dieser Beitrag erweitert die Arbeit in [5] um Ergänzungen zum Optimierungsverfahren und Verbesserungen in dem experimentellen Aufbau. In diesem Beitrag wird ein bildgebendes Luftultraschallsystem entwickelt, das eine sogenannte *Region-of-Interest* (ROI) mit mehreren Objekten umschließt. Mit dem *Synthetic-Aperture-Focusing*-Verfahren (SAFT) [6] wird ein Reflexionsbild der Objekte rekonstruiert. Diese Methode soll es ermöglichen, mit Hilfe von

Bildverarbeitungsverfahren und maschinellem Lernen Objekte in dem Ultraschallbild automatisch zu erkennen und zu klassifizieren.

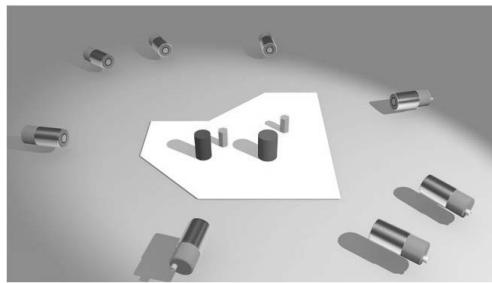


Bild 1: Die Abbildung zeigt einen Beispielentwurf eines bildgebenden Luftultraschallsystems mit acht Ultraschallsensoren. Die weiße Fläche ist die ROI. Vier Objekte können erkannt werden.

Bild 1 zeigt, wie ein solches bildgebende Luftultraschallsystem aussehen könnte. Die Sensoren sind rund um die ROI platziert. Die verschiedenen Objekte in der ROI sollen in dem rekonstruierten Bild erkannt werden. Für den Entwurf eines solchen Systems können folgende Fragen gestellt werden:

1. Wie viele Objekte können sich gleichzeitig in der ROI befinden?
2. Welche Abbildungsgenauigkeit wird verlangt?
3. Was ist die minimale Anzahl von benötigten Sensoren?
4. Was ist die optimale Sende- und Empfangscharakteristik der Sensoren?
5. Welche Anordnung der Sensoren ist optimal für die Abdeckung der ROI?
6. Welche Anordnung bietet eine homogene Verteilung der Abbildungsqualität?
7. Wie lässt sich das System kalibrieren?

Die Größe der ROI, die Ultraschallfrequenz, die Reichweite und der Öffnungswinkel der Ultraschallsensoren beeinflussen die Abbildungsqualität. Die minimale Anzahl von Sensoren wird immer ein Kompromiss zwischen der Abbildungsqualität wie zum Beispiel der Punktspreizfunktion, der ROI-Abdeckung und der Kosten sein. Für eine gute Abdeckung der ROI und eine homogene Verteilung des Abbildungsvermögens des Luftultraschallsystems muss die Anordnung der Sensoren entsprechend optimiert werden. Ein Ultraschallsensor-System zählt zu den sogenannten *Directional Sensor Networks* (DSN), da ein Ultraschallsensor nur in Vorwärtsrichtung Schall senden und empfangen kann. In [7] wurden

# Konzepte zur Nachführung des Messvolumens eines lateral messenden Weißlichtinterferometers

## Concepts for Adapting the Measurement Volume of a Lateral Scanning White Light Interferometer

**M.Sc. Sönke Bahr, M.Sc. Marc-Andre Otto,**

VMT Vision Machine Technic Bildverarbeitungssysteme GmbH,  
Mannheim;

**M.Sc. Tomas Domaschke,**

Institut für Flugzeug-Produktionstechnik der TU Hamburg-Harburg,  
Hamburg

### Kurzfassung

Bei der hochauflösenden Erfassung dreidimensionaler Oberflächeninformationen ist die Weißlichtinterferometrie eine verbreitete Technologie. Von einem Roboter geführt, kann sie auch für große Bauteile eingesetzt werden. [1, 2] Das Verfahren ist allerdings relativ langsam, da für jede Aufnahme, eines nur wenige Millimeter großen Messfeldes, der Sensor statisch zum Bauteil platziert werden muss. Mit einem neuen Ansatz, der eine kontinuierliche laterale Messung ähnlich einer Zeilenkamera ermöglicht, soll diesem Problem begegnet werden.

Bei der bisherigen Methode wird das Interferometer und somit die Kohärenzfläche mit einer Linearachse orthogonal zur Oberfläche bewegt und dabei eine definierte Anzahl an Schnittbildern erfasst. Das Volumen wird somit Scheibenweise aufgenommen. Der Intensitätswert für jeden Pixel resultiert aus der Interferenz des Referenz- mit dem Messstrahlengang. Liegen Teilbereiche der Oberfläche während der Belichtung eines Bildes in nächster Umgebung zur Kohärenzfläche, so sind in diesem Bereich erhöhte Intensitäten zu erwarten. Im Anschluss an den Messvorgang wird in einer Nachverarbeitung für jeden Pixel vereinfacht dargestellt diejenige Scheibe ermittelt, in der die höchste Intensität aufgetreten ist und daraus die Distanz zur Oberfläche berechnet. [3] Um größere Flächen zu messen, ist eine laterale Verschiebung des Sensors zwischen den Aufnahmen oder je nach Bauteilkomplexität sogar eine Umorientierung notwendig.

Bei dem neuartigen Ansatz das Interferometer kontinuierlich als lateral messendes Linieninterferometer zu betreiben wird der Sensor unter einem kleinen Winkel schräg zur Oberfläche

ausgerichtet. Die Vorschubbewegung erfolgt parallel zur Oberfläche. [4] Erste Versuche zeigen, dass das skizzierte Vorgehen in der Praxis funktioniert.

Die Messtiefe dieses Verfahrens ergibt sich aus der Schrägstellung der Kohärenzenebene und ist bei kleinen Winkeln dementsprechend gering. Daraus resultieren erhöhte Anforderungen an die Handhabungstechnik und die Nachverarbeitung. Der Sensor muss der Oberfläche präzise nachgeführt werden, um zu vermeiden, dass diese aus dem Messbereich läuft.

In diesem Beitrag werden drei Konzepte vorgestellt und miteinander verglichen, die eine Oberflächenadaptation mit Messdaten des realen Bauteils ermöglichen.

## Abstract

White-light interferometry is a widely-used technology for measuring three-dimensional surfaces. When mounted on a robot, it can be used for scanning larger parts as well. [1, 2] However, the method is relatively slow, because the sensor has to be held still in front of the object in order to perform a measurement of only a few square millimeters. This paper proposes a novel solution to this problem, which allows for a continuous, lateral measurement similar to that of a line scan camera.

In the classic approach, the interferometer, and therefore the coherence plane, are moved vertically towards the surface using a linear axis. In this vertical scanning approach, a user-defined number of frames are captured in each measurement, which then make up the measurement volume. Each pixel's intensity results from the interference between light from the optical measurement path and the reference path. The resulting intensity thus depends on the distance between the surface and the coherence plane in each capture. In the subsequent post-processing steps, the frame with the highest intensity is detected for each pixel, which allows the calculation of the pixels' distances. [3] To scan surfaces larger than a single field of view, a lateral shift between the individual measurements is required. For more complex objects, a change in orientation may also be necessary.

In the novel approach proposed here, the interferometer shall be used as a continuously-scanning, lateral line interferometer. The operating principle is to orient the sensor at a small angle and move it in parallel to the surface. [4] First experiments showed that the outlined procedure works with some restrictions. The measurement depth results from the tilt of the coherence plane, which is therefore very shallow for small angles. This leads to increased demands for the handling and post-processing technologies. The sensor has to follow the surface very precisely in order to avoid exceeding the measurement range.

In this paper, three adaptation concepts will be introduced and compared to each other. All of the aforementioned approaches use measurement data of the real part.

# Ein miniaturisierter Flammenionisationsdetektor für ein intelligentes Feldgerät zur Überwachung der Produktqualität oder der Umwelt

Dr.-Ing. **W. Kuipers**, Dr.-Ing. **J. Förster**, Dr.-Ing. **C. Koch**,  
KROHNE Innovation GmbH, Duisburg;  
Dr. **D. Jurkow**, VIA electronic GmbH, Hermsdorf;  
**C. Lenz**, Dr.-Ing. **S. Ziesche**, Fraunhofer IKTS, Dresden

## Kurzfassung

Die Miniaturisierung eines Flammenionisationsdetektors (FID) mittels keramischer Mikrosystemtechnik erlaubt den Betrieb des FID bei reduziertem Gasverbrauch und dennoch geringer Nachweisgrenze. Ferner wird der Einsatz von Sauerstoff anstelle von Luft als weiteres Verbrennungsgas ermöglicht, wodurch sämtliche Brenngase mittels Elektrolyse erzeugt werden können. Der mikrosystemtechnische FID mit integriertem Proton-Exchange-Membrane-Elektrolyseur (PEM-Elektrolyseur) kommt somit als Feldgerät ohne externe Gasinfrastruktur aus, was seinen Einsatz an Stellen ermöglicht, an denen bisher ein FID nicht (wirtschaftlich) betrieben werden konnte.

## Abstract

The miniaturization of a Flame Ionization Detector (FID) using ceramic multi-layer technology allows for a low limit of detection at reduced gas consumption. In addition, because of its operation with pure oxygen instead of air, all supply gases can be provided by electrolysis. The corresponding FID with integrated Proton-Exchange-Membrane-electrolyzer (PEM-electrolyzer) can be operated as a field device without external gas supply. This enables installation of the FID at measurement points, where this was not profitable up to now.

## 1. Einführung

Mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) lassen sich Kohlenwasserstoffe äußerst zuverlässig und in kleinsten Mengen nachweisen. Die kontinuierliche Überwachung des Gesamtkohlenwasserstoffgehaltes (Gesamt-C) in Luft, Abgas oder Prozessströmen ist relevant für die Immissions- und Emissionsüberwachung sowie für die Überwachung der technischen Richt-Konzentration (TRK) und der maximalen Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) als auch der unteren Explosionsgrenze (UEG). Messstellen befinden sich in Produktionsanlagen, Tanklagern, Müll- und Nachverbrennungsanlagen oder in Kläranlagen. Obwohl der FID Konkurrenzverfahren hinsichtlich Nachweigrenze und Querempfindlichkeit überlegen ist, wird er aufgrund der aufwendigen Versorgung mit Wasserstoff und aufbereiteter Luft nur begrenzt eingesetzt. Das in diesem Beitrag beschriebene Systemkonzept löst dieses Problem durch eine besondere Art der Miniaturisierung, welche den Betrieb des FID mittels integrierter Elektrolyse ermöglicht.

### Stand der Technik

In einem FID wird Wasserstoff zusammen mit Luft verbrannt (Bild 1). Der dabei entstehenden Flamme wird ein zu analysierendes Probengas zugeführt. Im Probengas befindliche Kohlenwasserstoffe werden in der Flamme ionisiert und können über ein elektrisches Feld abgesaugt werden. Hierdurch entsteht ein elektrischer Strom, der proportional zum Gesamtkohlenstoffgehalt im Probengas ist.

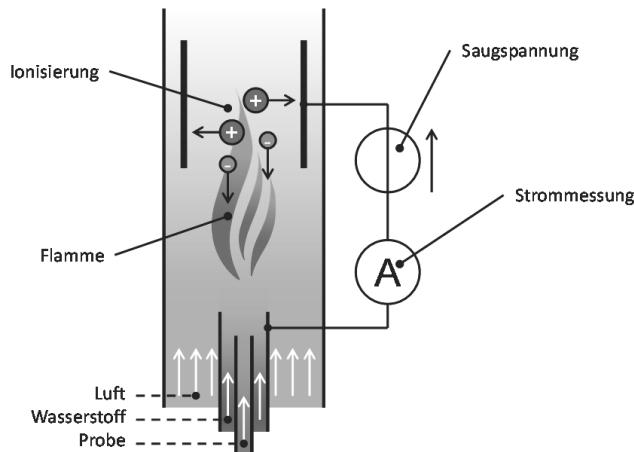


Bild 1: Schematische Darstellung eines konventionellen FID

# Industrial Security – Security Konzept für Prozess- und Fertigungsindustrie

## Produktivität umfassend schätzen mit industriespezifischen Konzepten

# Industrial Security – Security Concept for process and discrete industries

## Protecting productivity with ICS-specific concepts

**Christian Telgen**, Siemens AG, Köln

### Kurzfassung

Industrial Security ist eine sich ständig verändernde Herausforderung, aber eine kontinuierlich überwachte und integrierte Security ist jedoch eine sehr wichtige Grundlage für die industrielle Automatisierung.

Ethernet-Verbindungen reichen immer öfter bis in die Feldebene hinein. Für die Automatisierung von Anlagen bringt das zahlreiche Vorteile mit sich. Gleichzeitig aber werden dadurch bisher abgesicherte Produktionsprozesse von außen und innen angreifbar. Zuverlässigen Schutz kann hier nur ein Ansatz bieten, der Security Mechanismen und ein umfassendes Automatisierungsverständnis vereint. Um Industrieanlagen umfassend vor Cyber Angriffen von innen und außen zu schützen, muss auf allen Ebenen gleichzeitig angesetzt werden – von der Betriebs- bis zur Feldebene, von der Zutrittskontrolle bis zum Kopierschutz. Zu diesem Zweck nutzen wir eine tiefengestaffelte Verteidigung – „Defense in Depth“ – als übergreifendes Schutzkonzept, nach den Empfehlungen der ISA99 / IEC 62443, dem führenden Standard für Security in der industriellen Automatisierung.

### Abstract

Security threats force you to take action. As the level of digitalization increases, so too does the importance of comprehensive security concepts for automation applications. That's why Industrial Security is an essential element for industrial automation in the digital era. To ensure comprehensive protection of industrial plants from internal and external cyber-attacks, all levels must be protected simultaneously – ranging from the plant management level to the field level and from access control to copy protection. This is why our approach to comprehensive protection offers defense throughout all levels – “defense in depth”. This

concept is according to the recommendations of ISA99 / IEC 62443 – the leading standard for security in industrial applications. With defense in depth, Siemens provides a multi-layer concept that provides both all-round and in-depth protection.

## 1. Einleitung

Die voranschreitende Digitalisierung der industriellen Automatisierungssysteme ist verbunden mit zunehmender Vernetzung, großen Datenmengen und der Verwendung offener Standards, mit der die erforderliche Durchgängigkeit aller Ebenen erreicht wird. Sowohl für die diskrete, als auch für die Prozessindustrie bieten diese Veränderungen große Chancen und Vorteile, so dass man unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ sogar von einer weiteren industriellen Revolution spricht.

Die Schattenseite dieser Entwicklung ist aber die zunehmende Verwundbarkeit dieser Systeme gegenüber Cyberangriffen. So macht es die umfassende Vernetzung, zunehmende Datenmengen und durchgängige, standardisierte Anwendungen es Angreifern und Schadsoftware leichter auf die Systeme zuzugreifen. Hinzu kommt aber wie auch Studien und Vorfälle zeigen, dass die OT-Netze und Produktionsbereiche längst zu lukrativen Angriffszielen avanciert sind und das Vorgehen der Angreifer zunehmend aggressiver, die Werkzeuge effektiver und immer größere Ressourcen eingesetzt werden, so dass sich industrielle Anlagen mittlerweile auch professionell durchgeführten Angriffen ausgesetzt sehen.

Der sogenannte „Cyber War“ ist längst zur Realität geworden. Die veränderte Bedrohungslage erfordert ein grundlegendes Umdenken in Bezug auf Informations- und Zugriffsschutz, sowie das Vorgehen bei der Etablierung von industriellen Sicherheitskonzepten. Die Angreifer rüsten auf – sowohl Hersteller, als auch Betreiber von Automatisierungs- und Produktionssystemen müssen sich diesen Bedrohungen mehr denn je stellen.

Jedoch kann diesen Bedrohungen auch effektiv begegnet werden. Von einer 100%igen Sicherheit sollte man nie ausgehen, aber es gibt durchaus Mittel und Wege das Risiko auf ein vertretbares Maß zu reduzieren. Hierfür ist ein umfassendes Sicherheitskonzept erforderlich, das sowohl den verschiedenartigen Angriffen, als auch den professionellen Charakter der Angriffe Rechnung trägt und das Zusammenwirken der beteiligten Akteure, d.h. den Betreibern, Integratoren und Herstellern von Automatisierungssystemen erfordert.

# Unified Assessment of Dependability of Industrial Communication

**Sarah Willmann, André Gnad, Lutz Rauchhaupt,**  
Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak), Magdeburg

## Abstract

In this paper definitions of dependability parameters from different sources are discussed. The terms are structured in order to derive a suitable set of characteristic parameters for the dependability assessment of industrial communication. The importance of identifying the assets that shall be assessed is pointed out. A set of characteristic parameters for assessing industrial communication is proposed. Based on that we introduce an approach for a holistic assessment of heterogeneous industrial communication. Finally we discuss the possible use cases for the proposed approach.

## Kurzfassung

In diesem Beitrag werden Definitionen zur Zuverlässigkeit aus verschiedenen Literaturquellen diskutiert. Die dazugehörigen Begriffe werden strukturiert, um eine geeignete Auswahl von Kenngrößen zur Zuverlässigkeitssbewertung der industriellen Kommunikation zusammenzustellen. Es wird herausgestellt, dass es unerlässlich ist, die zu bewertenden Assets zu definieren. Es wird eine Auswahl von Kenngrößen zur Bewertung von industrieller Kommunikation vorgeschlagen, um darauf aufbauend einen Ansatz für eine gesamtheitliche Bewertung von heterogener industrieller Kommunikation vorzustellen. Zuletzt werden die möglichen Anwendungsfälle für den vorgeschlagenen Ansatz diskutiert.

## 1. Increasing relevance of dependability assessment of industrial communication

The digitalisation of production processes and the intended interaction between virtual representation and real asset raises the importance and the amount of communication in industrial automation systems. In addition to that, -more flexible changing production processes increase the challenges for industrial communication. However, communication technologies designed for mass market applications are still considered according to because of the availability of low-cost hardware and software. Also, in most cases the dependability requirements for those systems are lower than demanded by many industrial systems. New candidates for industrial communication systems are a group of standards targeting Time Sensitive Networking (TSN) and emerging standards of 5<sup>th</sup> Generation Mobile Networking (5G). Beside the

different design targets with respect to dependability there is also a different interpretation of dependability terms.

Interdisciplinary discussions, for example within the German BMBF-Förderprogramm "IKT 2020 - Zuverlässige drahtlose Kommunikation in der Industrie" ("ICT 2020 – Dependable Wireless Communication in Industry"), disclose the differences between dependability performance aspects and the importance of characteristic values. This can most likely lead to misunderstandings, erroneous developments or misinvestments. Therefore, the correct definition is critical for introducing communication technologies into an application field with high dependability requirements like the industrial automation.

The following aspects are: Section 2 discusses several terms and definitions of dependability parameters from different standard documents. The relation between them is shown in section 3. Here the relevance of the asset to be assessed is shown. Assets for communication are presented in section 4 and dependability parameters for them are introduced in section 5. In section 6 an abstract dependability parameter for a holistic assessment of heterogeneous industrial communication systems is proposed. Conclusions and further work is described in section 7.

## **2. Definitions of dependability and its characteristics**

A research of literature reveals different definitions of dependability and reliability. For the assessment of communication both terms are used.

In [1 – IEV 192-01-22] dependability is defined as "ability to perform as and when required" with a note that dependability is a collective term and includes the characteristics availability, reliability, recoverability, maintainability, and maintenance support performance, and, in some cases, durability, safety and security. This definition includes the term reliability. In [1 – IEV 192-01-24] reliability is defined more in detail as "ability to perform as required, without failure, for a given time interval, under given conditions". This definition seems to be similar to the term dependability as the following definition of reliability in [1 – IEV 603-05-01] and [2] "the ability of an item to perform a required function under stated conditions for a specified period of time [...]" . However, according to the above mentioned note reliability is only one, even if important, characteristic of the collective term dependability. In contrast to the up to now mentioned definitions we found for reliability in [3] "the amount of sent network layer packets successfully delivered to a given node within the time constraint required by the targeted service, divided by the total number of sent network layer packets." This definition is more equal to a packet ratio, which is only one dependability parameter specific for communication systems.

## DnSPro

### Offene Plattform für smarte Produktionssysteme

**Dr.-Ing. C. Spiegel,  
M.Sc. D. Kuschnerus,  
Dr.-Ing. P. Gebhardt,  
Dipl.-Ing. R. Kaisler,  
Dipl.-Ing. H. Mucke,  
KROHNE Innovation GmbH, Duisburg**

#### **Kurzfassung**

Industrie 4.0 ist einer der Bausteine der Hightech-Strategie der Deutschen Bundesregierung [1]. Das Förderprojekt DnSPro (Dezentral kooperierende sensor-basierende Subsysteme für Industrie 4.0-Produktionsanlagen) adressiert eine Reihe von Aspekten, die für die Etablierung derartiger Systeme erforderlich sind.

#### **1. Ziele von DnSPro**

DnSPro zeigt Alternativen zur klassischen Automatisierungstechnik, bei der heute auf jeder Ebene der in Bild 1 dargestellten Automatisierungspyramide anwendungs- und hersteller-spezifische Kommunikationsprotokolle verwendet werden. Dadurch besteht in herkömmlichen Anlagen oft kein Informationsdurchgriff von der Planungsebene über die Steuerungsebene bis hinunter zur Feldgeräteebene. Insbesondere wichtige Diagnoseinformationen aus Feldgeräten finden daher in aller Regel keine unmittelbare Berücksichtigung bei der Planung der Produktionsabläufe. Dadurch wird die in Industrie 4.0 forcierte vorausschauende Instandhaltung unnötig erschwert. Im Projekt DnSPro werden daher Subsysteme definiert und konzipiert, die Teilabläufe autark integrieren, also ohne die Notwendigkeit einer separaten speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Die Integration dieser Module erfolgt über standardisierte, selbstbeschreibende Protokolle wie z. B. OPC UA [2], welche zudem die direkte Anbindung an die Leit- bzw. Planungsebene ermöglichen. Dieses unter dem Begriff der vertikalen Integration bekannte Grundprinzip lässt sich prinzipiell auf alle Bereiche der Automatisierungstechnik übertragen; es findet Anwendung in der Prozess-, Fertigungs- und Gebäudeautomatisierung.

Um das Ziel der vertikalen Integration zu erreichen, definiert DnSPro Konzepte in Form von eingebetteten Systemen, die es erlauben, das Know-how verschiedener unabhängiger Anbieter geschützt auf einem einzigen Elektroniksystem zu integrieren. Das Thema Sicherheit

nimmt damit eine zentrale Position im Projekt ein. Das geistige Eigentum der einzelnen Know-how-Lieferanten muss vor unbefugtem Zugriff, z. B. Auslesen der Programme, geschützt sein. Als typische DnSPro-Anordnung ist z. B. ein Durchflusssensor mit integrierter Ventilregelung für Dosierungsapplikationen denkbar. Hierbei muss das Update einer einzelnen Software-Komponente, z. B. der Ventilregelung, durchführbar sein, wobei die parallel ablaufende Software des Sensors zu jedem Zeitpunkt effektiv geschützt (IT-Sicherheit) und in ihrer Lauffähigkeit nicht beeinträchtigt ist (Verfügbarkeit). Weiterhin soll im Projekt untersucht werden, inwieweit sich Container-Lösungen als Basis für funktional sichere Systeme eignen.

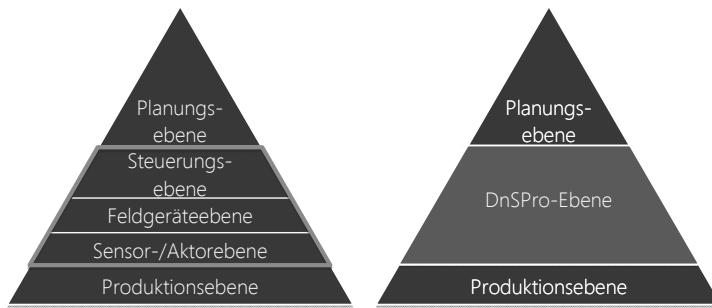


Bild 1: Automatisierungspyramide (klassisch und nach DnSPro)

Im Rahmen des Förderprojekts wird die Idee von DnSPro in Form einer intelligenten Abfüllanlage zur Abfüllung von beliebigen Flüssigkeiten in Behälter verschiedener Form und Größe demonstriert. Insbesondere die Abfüllung von schäumenden Getränken wie z. B. Bier bietet sich aufgrund der Komplexität der zugrundeliegenden Prozesse für eine Demonstration an und wird daher im Projekt angestrebt. Zu den für die Demonstration erforderlichen Teilkomponenten zählt neben einem modernen Regelungskonzept auf Basis der modellprädiktiven Regelung (MPC) auch die für die vorausschauende Instandhaltung erforderliche Sensor- und Informationsfusion.

Das Projekt DnSPro wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Förderprogramms SElekt I4.0 (Sensorbasierte Elektroniksysteme für Anwendungen für Industrie 4.0) gefördert. Das Gesamtbudget beträgt rund 4,8 Mio. € bei einer Förderquote von 50 %. Das Projekt wurde im November 2015 begonnen; die Projektlaufzeit beträgt 3 Jahre.

# Modellgetriebene Entwicklung von plattformunabhängigen Automatisierungslösungen für industrielle Nähprozesse

B.Eng. **A. Fogel**, B.Eng. **M. Gysin**, Prof. Dr.-Ing. **T. Heverhagen**,  
Prof. Dr.-Ing. **C. Wittenberg**, Hochschule Heilbronn

## Kurzfassung

Der Schwerpunkt des Projektes besteht darin, verschiedene Steuerungen, wie sie bei industriellen Nähprozessen zum Einsatz kommen, mit einer modellgetriebenen und plattformunabhängigen Entwicklung zu bedienen. Dabei ist das Projekt in zwei Bereiche unterteilt. Der eine Teil befasst sich mit der Entwicklung einer mobilen HMI, welche unabhängig der eingesetzten Steuerung eine bedienerfreundliche Oberfläche bietet. Der andere Teil fokussiert die Entwicklung eines Codegenerators, welcher modellgetrieben Software für verschiedene Steuerungsplattformen erstellen kann.

Die Realisierung erfolgt im Rahmen des vom Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) geförderten Projektes „MEntAPS“ [1], in Kooperation zwischen der Hochschule Heilbronn und der Firma RSG Automation Technics GmbH & Co. KG in Bietigheim-Bissingen.

## Abstract

The focus of the project is to use various controls, such as those used in industrial sewing processes, with a model-driven and platform-independent development. The project is divided into two areas. One part deals with the development of a mobile HMI, which offers a user-friendly interface independent of the controller used. The other part focuses on the development of a code generator that can create model-driven software for various controller platforms.

The project is being implemented within the framework of the "MEntAPS" [1] project, funded by the Central Innovation Program for medium-sized enterprises (ZIM), in cooperation between Heilbronn University and RSG Automation Technics GmbH & Co. KG in Bietigheim-Bissingen.

## 1. Einleitung

Industrielle Nähprozesse besitzen eine hohe Komplexität, welche sich durch eine große Anzahl an schnellen Inputs/Outputs auszeichnet. Auch der Funktionsumfang solcher Anlagen ist immens, da zur Umsetzung des Poka Yoke Prinzips sehr viele Überwachungsfunktionen eingebunden sind, die wesentlich zur Produktqualität beitragen. Trotz dieser stetig wachsenden Komplexität sollen sich die Anlagen dennoch leicht in die bestehende Produktion integrieren lassen. Um schnell und flexibel auf derartige Kundenwünsche nach herstellerspezifischen Steuerungen gerecht zu werden, eignet sich die plattformunabhängige und modellgetriebene Entwicklung.

Auch rückt die Verwendung von mobilen Human Machine Interfaces (HMI) immer weiter in den Vordergrund, da bei den aktuellen Anlagengrößen eine ortsunabhängige HMI viele Vorteile mit sich bringt.

## 2. Entwicklung der Mobilen HMI

Mobile Geräte, wie Smartphones und Tablets, nehmen im Alltag einen immer größeren Stellenwert ein. So wird die Verwendung dieser Geräte als HMI mit innovativen Bedienkonzepten für industrielle Anlagen immer interessanter. Dieser Teil des Forschungsprojekts konzentriert sich auf die mobile und plattformunabhängige Mensch-Maschine-Interaktion.

### 2.1. Anforderungsanalyse

Eine immer häufiger vorkommende Anforderung, ist die Verwendung der im Kundenbetrieb etablierten Steuerung. Da bei der Produktion von industriellen Nähanlagen die Kundenzufriedenheit eine große Rolle spielt, wird dieser Anforderung eine große Bedeutung zugeordnet. So muss eine mobile HMI fähig sein, steuerungsunabhängig die gleiche bekannte und benutzerfreundliche Bedienoberfläche mit modernen Interaktionsmöglichkeiten zur Verfügung zu stellen. Auch an die verschiedenen Funktionalitäten, welche anlagenspezifisch vorhanden sind, muss die HMI schnell und unkompliziert anpassbar sein.

Eine der wichtigsten Anforderungen an eine Applikation, dieser Tage die multilinguale Bedienoberfläche. Anlagenbediener aus verschiedenen Herkunftsländern können durch sprachgebundene Missverständnisse Fehler verursachen. Um dem Vorzubeugen muss die Spracheinstellung der HMI zur Laufzeit änderbar und allgemein erweiterbar sein.

# Ein zentrales, multiperspektivisches Datenmodell für die automatische Generierung von Simulationsmodellen für die Virtuelle Inbetriebnahme

## A central multiperspective data model for the automatic generation of simulation models for virtual commissioning

Dr.-Ing. **T. Baudisch**, Dipl.-Tech.Math. **Veronika Brandstetter**,

Dr. rer. nat. **J. C. Wehrstedt**, M. of Systems Eng. **M. Weiß**,

Siemens AG, München;

Dr. rer. pol. **T. Meyer**, Volkswagen AG, Wolfsburg

### Kurzfassung

Produktionssysteme sind meist komplexe mechatronische Systeme bestehend aus vielen einzelnen Komponenten (Förderbänder, Roboter, usw.), deren korrekte Funktionsweise für den wirtschaftlichen Erfolg essentiell ist. Um die Funktion vor dem Einsatz in der realen Anlage abzusichern und möglichst kurze Montage- und Inbetriebnahme- bzw. Umrüstzeiten zu erreichen, kann eine virtuelle Inbetriebnahme durchgeführt werden. Dabei wird die Funktionsweise des Produktionssystems in einer Simulationsumgebung getestet.

Dennoch ist die virtuelle Inbetriebnahme heute oft nicht fester Bestandteil des Entwicklungsprozesses von Produktionsanlagen. Da das Erstellen des virtuellen Inbetriebnahmemodells einen hohen Aufwand erfordert, hält es viele Firmen von dieser Art der simulativen Absicherung ab. Oftmals divergieren die Entwicklungsdaten und die Eingangsdaten für die Simulation im Engineeringprozess sehr schnell, da die Simulationsmodelle wenig in eben diesen Prozess eingebunden sind. Folglich stimmt das virtuelle Inbetriebnahmemodell häufig nicht mit der echten Anlage überein. Ein weiterer Grund, warum es von der realen Anlage abweicht, ist, dass das virtuelle Inbetriebnahmemodell bei Rekonfigurationen nicht aktualisiert wird. In diesem Beitrag wird basierend auf AutomationML (AML) ein zentrales Datenmodell vorgestellt, in dem die Engineeringdaten aus den verschiedenen Engineeringwerkzeugen der unterschiedlichen Disziplinen gesammelt und Änderungen entlang des gesamten PLM-Prozesses an einer Stelle konsistent nachgepflegt werden können. So ist es möglich zu jedem Datenstand jederzeit halbautomatisch Simulationsmodelle für die virtuelle Inbetriebnahme zu generieren. Das Vorgehen wird in diesem Beitrag auf Basis des Simulationswerkzeugs Process Simulate illustriert.

In einem Ausblick wird untersucht, welche Schritte notwendig sind, um über das zentrale Datenmodell hin zu einer automatischen Generierung des Steuerungscodes zu kommen und

so die virtuelle Inbetriebnahme vollständig und nahtlos in den Entwicklungsprozess zu integrieren.

## 1. Virtuelle Inbetriebnahme in der Automobilindustrie

Bei der virtuellen Inbetriebnahme handelt es sich um einen wichtigen Qualitätsmeilenstein im Produktionsanlagenentstehungsprozess und während des Ramp-Ups von cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS). Sie ist der erste Prozessschritt, bei dem alle Engineeringergebnisse kombiniert und getestet werden und der letzte Schritt vor der realen Inbetriebnahme. Von besonderem Interesse sind hierbei das Programm der Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) sowie das Roboterprogramm. Als Vorteil wird gesehen, dass für die virtuelle Inbetriebnahme die reale Anlage nicht erforderlich ist, sondern dass sie im Büro bzw. Labor unter Verwendung einer Simulation durchgeführt werden kann [1]. Dabei werden die Roboterprogramme interpretiert und zusammen mit dem originalen SPS-Programm auf einer realen oder emulierten SPS ausgeführt. Durch diesen Aufbau können nicht nur Prozesszeiten erfasst werden, sondern vor allem die Logik der einzelnen Komponenten sowie der Informationsaustausch zwischen den Komponenten getestet und beobachtet werden.

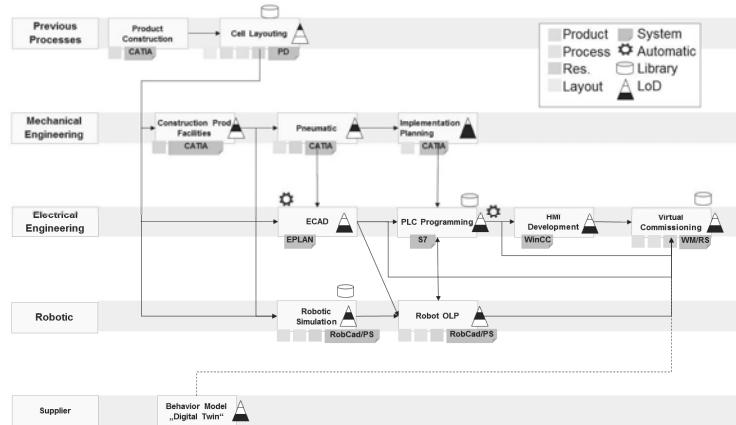


Bild 1: Beschreibung der Prozessschritte und Informationsflüsse verschiedener Disziplinen für eine virtuelle Inbetriebnahme

Da die virtuelle Inbetriebnahme der realen direkt vorgeschaltet ist und das funktionsfähige Zusammenspiel aller Engineeringergebnisse getestet werden muss, werden viele Eingangsdaten aus unterschiedlichen Toolketten benötigt (Bild 1). Dazu zählen mindestens das SPS-

# Anwendung von Technologien der Erweiterten Realität bei der Entwicklung eines Robotersystems für Montageaufgaben

**M.Sc. Wenchao Zou, M.Sc. Duc Tho Le, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Berger,**  
Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus

## Kurzfassung

Die steigende Produktvielfalt und die Anforderung nach höherer Flexibilität in der Produktion sowie nach Steigerung der Produktivität erfordern im industriellen Umfeld eine Erhöhung des Automatisierungsgrades. Vor diesem Hintergrund steigert sich der Robotereinsatz in der Industrie seit Jahren. Jedoch liegt der Automatisierungsgrad im Montagebereich immer noch auf einem niedrigen Niveau, weil entweder der hohe Zeitbedarf zur Entwicklung eines Robotersystems und/oder der hohe Aufwand zur Umsetzung ins Zielsystem hinderlich auf die Erhöhung des Automatisierungsgrads wirken. In diesem Paper wird eine neue Methode zur Entwicklung eines Robotersystems für Montageaufgabe vorgestellt. Diese Methode zielt auf Erstellung einer Montageaufgabe durch Anwendung der Erweiterten Realität (Augmented Reality, Abkürzung AR). Eine virtuelle Montageaufgabe mit virtuellen Bauteilen wird händisch ausgeführt, dadurch wird diese Montageaufgabe visualisiert dargestellt und automatisch im Zielsystem erstellt.

## 1. Einleitung

Heutzutage nehmen Roboter in der Industrie eine immer wichtigere Rolle ein. Einerseits erfordert der stets steigende Bedarf an Produkten im industriellen Umfeld eine Erhöhung der Produktivität, um die Durchlaufzeit der Produktion zu reduzieren. Aus diesem Grund ist die Erhöhung des Automatisierungsgrads in der Produktion schon lange ein Thema und wird vielfältig untersucht. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Produktvarianten – eine höhere Produktvielfalt ist zu handeln. Vor diesem Hintergrund ist Entwicklung spezieller Anlagen für jedes neue Produkt wirtschaftlich ungünstig. Aus diesen Gründen steigert sich der Robotereinsatz in der Industrie seit Jahren. Es ist jedoch festzustellen, dass der Automatisierungsgrad im Montagebereich immer noch auf einem niedrigen Niveau liegt [1]. Besonderes in kleinen und mittleren Unternehmen mit individualisierten oder variierenden Produkten besteht wegen des hohen Aufwands zur Entwicklung und Modifizierung eines Robotersystems immer eine Diskrepanz zwischen den kleinen Losgrößen und dem Einsatz von Robotern.

Dieser hohe Aufwand beschränkt die Flexibilität des Robotereinsatzes und folglich die Erhöhung des Automatisierungsgrads. Deswegen besteht die Lösung zur Erhöhung des Automatisierungsgrads in der Reduzierung des Aufwands welcher zur Entwicklung und Modifizierung eines Robotersystems notwendig ist.

Ein Teil des hohen Aufwands ergibt sich aus dem hohen Zeitbedarf bei der Entwicklung eines Robotersystems, insbesondere bei der Programmierung des Roboters mit nicht intuitiven Methoden, zumeist textuell oder graphisch. Eine große Menge an Quellcodes oder Blockschaltbilder hindern den Entwicklern nicht nur dabei das Programm zu verstehen und zu modifizieren, auch das visuelle Erscheinungsbild ist für das Verständnis meist nicht förderlich. Deswegen kann die endgültige Bahnplanung des Roboters i. a. nicht vorhergesehen werden. Infolgedessen ist die Entwicklung von Testmethoden, deren Durchführung und das Debugging zeitaufwändig. Ein weiterer Teil des hohen Aufwands ergibt sich aus dem hohen Erfordernissen bei der Umsetzung in das Zielsystem. Wird ein Robotersystem für neue Montageaufgabe oder in neue Umgebung modifiziert, müssen die Bahnplanung und die Umgebungsdaten für den Roboter aktualisiert werden. Die Modifizierung verursacht häufig große Menge neu einzugebenden Daten. Darüber hinaus erfordert die Entwicklung und Modifizierung eines Robotersystems meist den Einsatz von Entwicklern mit Expertenkenntnissen, welche nur durch Schulung und langjährige Erfahrungen zustande kommen.

Aus diesen Gründen sollte eine intuitive und benutzerfreundliche Lösung zur Entwicklung und Modifizierung eines Robotersystems gefunden werden. Eine Möglichkeit zur Lösung besteht in der Nutzung von AR. Die aufgezeigte Methode in diesem Paper zielt auf ein Robotersystem für Montageaufgaben mit folgenden Vorteilen:

1. Benutzerfreundlichkeit: das Robotersystem ist anwendbar für Entwickler ohne oder mit geringen Kenntnissen in der Roboterprogrammierung;
2. Intuitive Operation: die Roboterprogrammierung erfolgt möglichst durch Teachen in einer virtuellen bzw. augmentierten Umgebung;
3. Flexibilität: die Programme zur Ausführung der Montageaufgabe sollten flexibel modifizierbar sein und einfach auf beliebigen Robotersteuerungen implementiert werden können.

## 2. Stand der Technik

Die Entwicklung eines Robotersystems mit intuitiven Methoden ist bereits seit Jahren Gegenstand der Forschung. Eine Methode zur Programmierung und Steuerung eines Roboters ist die durch visuelle Eingabe. Beispielsweise zeigt [2] die Entwicklung und Programmierung eines Robotersystem mit zwei Armen für Montageaufgabe mittels menschlicher Gesten. In

# Betrachtung eines chemischen Verbundstandorts als System of Systems zur dezentralen Optimierung – Das notwendige Informationsmanagement

**Christian v. Trotha, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple,**

RWTH Aachen University, Aachen;

**Shaghayegh Nazari, Prof. Dr.-Ing. Sebastian Engell,**

TU Dortmund, Dortmund;

**Christian Sonntag, TU Dortmund / euTeXoo GmbH, Dortmund;**

**Benedikt Beisheim, Dr.-Ing. Stefan Krämer, INEOS Köln GmbH, Köln**

## Kurzfassung

Dieser Artikel gibt einen Einblick in ein Teil der Ergebnisse des EU Projekts DYMASOS. Dabei wird insbesondere auf die entwickelten Werkzeuge eingegangen. Der Fokus liegt auf einer Informationsplattform, die dem System of Systems weiten Informationsaustausch dient. Im Rahmen des Projektes wurde diese an einem Verbundstandort der Chemieindustrie eingesetzt und zur Validierung von Managementstrategien verwendet.

## 1. Einleitung

Der Begriff System of Systems (SoS) hat seinen Ursprung im militärischen Bereich und wird zur Beschreibung kooperierender Systeme verwendet [1]. SoS zeichnet aus, dass sie aus teilweise unabhängigen Systemen bestehen, die – unter Umständen phasenweise – zur Erreichung übergeordneter Ziele kooperieren. Dabei wird jedes dieser Systeme eigenständig koordiniert und organisiert. Zusätzlich kann sich die Konfiguration eines SoS innerhalb seines Lebenszyklus ändern. Dies bedeutet, dass Systeme den Verbund verlassen oder diesem beitreten können. Außerdem besitzen SoS potenziell emergentes Verhalten. Im Rahmen des EU-Projekts DYMASOS<sup>1,2</sup> wurden unter anderem große Verbundstandorte der Chemieindustrie als physikalisch-gekoppelte SoS betrachtet [2]. Dabei stellen die unterschiedlichen durch Material- und Energieströme gekoppelten Anlagen die Systeme dar, die

---

<sup>1</sup> Dynamic Management of physically coupled System of Systems

<sup>2</sup> The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement no FP7-ICT-2013-10-611281.

gemeinsam das SoS bilden. Das Hauptziel des Projektes war es, Methoden für das dynamische Management, die Koordination und die Optimierung solcher Standorte zu entwickeln. So wurden beispielsweise verteilte marktbasierter Koordinationsstrategien für die Optimierung von Verbundstandorten entwickelt und teilweise eingesetzt [3–5].

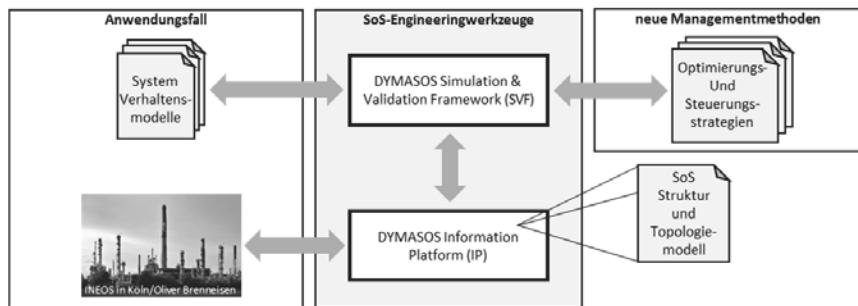


Bild 1: Die DYMASOS-Engineering-Werkzeugkette

Um eine einfache Validierung und Anwendung verteilter Koordinationsstrategien zu unterstützen, wurde die Entwicklung von Engineering-Konzepten in das Projekt mit eingebunden [6]. Dabei wurden zwei Werkzeuge entwickelt, das *DYMASOS Simulation and Validation Framework (SVF)* für die simulationsbasierte Validierung der Koordinationsstrategien und die *DYMASOS Information Platform (IP)* für das notwendige Informationsmanagement. Bild 1 zeigt die entwickelten Werkzeuge und den Datenaustausch zwischen diesen und anderen Komponenten des Projekts. Wie gezeigt, dient die *IP* als Informationsbrücke zwischen (den IT-Systemen) der industriellen Anlage und dem *SVF* [7, 8] und stellt dem Framework benötigte Information zur Verfügung. Das *SVF* kombiniert diese Informationen mit dynamischen Verhaltensmodellen der Systeme und den entwickelten Koordinationsstrategien und ermöglicht so deren Validierung mittels dynamischer Simulation in *Modelica*, einer gebräuchlichen Modellierungssprache für komplexe, heterogene Systeme.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf dem Informationsmanagement und dessen Validierung in einem chemischen Verbundstandort. Der Beitrag ist wie folgt strukturiert: Zunächst wird der Stand der Technik in Bezug auf die Informationsmodellierung betrachtet. Anschließend werden die notwendigen Informationen und das entwickelte Informationsmodell erläutert. Im darauffolgenden Abschnitt wird auf die prototypische Implementierung der entwickelten *IP* eingegangen, anschließend wird der Arbeits- und Informationsfluss der DYMASOS-

# Anwendungsorientierte Zertifizierung von Systemen der Gebäudeautomation

Prof. Dr. **J. Müller**, B.Eng, **R. Nienhaus**,

Institut für Technische Gebäudeausrüstung, TH Köln;

Dipl.-Ing. **E. Hinck**, Gebäudewirtschaft der Stadt Köln

## Kurzfassung

Der Beitrag beschreibt die anwendungsorientierte Zertifizierung von Systemen der Gebäudeautomation im Labor für Regelungstechnik und Gebäudeautomation der TH Köln. Nach Analyse von Prüfsystemen für BACnet-Systeme werden Cluster von zusätzlich entwickelten Testfällen und die Testumgebung der anwendungsorientierten Zertifizierung an der TH Köln vorgestellt.

Erste Ergebnisse der Zertifizierung von Systemen zeigen Limitierungen der Automatisierungsfunktionalität, die sich ohne Zertifizierung erst bei der Inbetriebnahme oder im Betrieb von Gebäuden offenbaren würde.

## 1. Motivation

In Folge stetig ansteigender Anforderungen an moderne Gebäude (Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Kosten, ...) werden in zunehmendem Maße Systeme der Gebäudeautomation eingesetzt. Für Automationssysteme der Gebäudeautomation hat sich BACnet [1] als Standardprotokoll für die Kommunikation zwischen Automations- und Managementebene, zunehmend auch zur Kommunikation in der Feldebene (z.B. Pumpen über BACnet MS/TP), etabliert.

Zur Sicherstellung der Interoperabilität werden BACnet-Automationssysteme (Automationsstationen, Feldgeräte) auf Konformität zum Standard grundlegend zertifiziert. Im Rahmen dieser Zertifizierung werden Gerätefunktionalitäten überprüft, die vom Systemhersteller durch PICS (Protocol Implementation Conformance Statement) beschrieben werden. Diese PICS beschreiben z.B. das unterstützte Geräteprofil, unterstützte Objekttypen (Funktionsblöcke vom Typ Analog Input/Output, Binary Input/Output, Trend Objekte etc.), deren Eigenschaften (les- und schreibbare Parameter, so genannte Property), unterstützte Zeichensätze, Eigenschaften der Kommunikationsanbindung, unterstützte Kommunikationsfunktionen in Form von BIBBs (BACnet Interoperability Building Blocks: Lese, Schreib-, Erkundungsfunktionen etc.).

Trotz erfolgreicher BACnet-Zertifizierung zeigen sich bei der Umsetzung von Automationsanwendungen in der Praxis teilweise Einschränkungen der gewünschten Automatisierungs-

funktionalität. Ursachen sind eine nicht ausreichende Spezifizierung von Objekteigenschaften (z.B. Anzahl der Zeichen eines schreibbaren Properties), nicht dokumentierte technische Grenzen (z.B. eine limitierte Zahl von instanziierbaren Objekten in Automationssystemen), die Erzeugung einer erhöhten Kommunikationslast durch Automationssysteme etc.

Die beschriebenen Einschränkungen offenbaren sich zumeist erst während der technischen Bearbeitung oder der Inbetriebnahme auf der Baustelle, so dass Umplanungen resp. zusätzliche Installationsaufwendungen resultieren. Dies führt zu größeren Verzögerungen und gesteigerten Kosten bei der Fertigstellung der Gebäude.

## 2. Anforderungen von Anwendern an Systeme der Gebäudeautomation

Um diese Einschränkungen im Vorfeld von Bauprojekten zu vermeiden, formulieren Anwender der Gebäudeautomation funktionale Anforderungen an BACnet-Systeme. Diesen Ansatz verfolgt die AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen) mit der Empfehlung „BACnet in öffentlichen Gebäuden“ [2]. Die Spezifikation definiert Anforderungen bzgl. verpflichtender Objekte, Eigenschaften, Diensten und definiert somit eine Mindestausstattung von BACnet-Geräten für den Einsatz in öffentlichen Gebäuden. Diese Mindestanforderungen werden in Form von Profilen (AMEV-Profile A und B) dokumentiert, und dienen als Basis für die Erteilung von AMEV-Testaten (Bild 1). Hierbei erfolgt keine Zertifizierung der geforderten Gerätefunktionalität durch Tests; es wird lediglich die Konformität der PICS gegen AMEV-Profile - durch den Vergleich von Dokumenten - bescheinigt.

AMEV-Anforderungen sind aus zahlreichen Anwendererfahrungen in BACnet-Projekten entstanden. Ihr Nutzen spiegelt sich in der hohen Marktakzeptanz, welche durch die breite Verwendung in Ausschreibungen belegt ist. So werden Geräte, unabhängig ob in öffentlichen oder privaten Bauten, immer öfter nach Vorgaben der AMEV-Profile gefordert.

Zusätzlich zu den allgemeinen Anforderungen in AMEV-Profilen existieren spezifische Festlegungen von Betreibern größerer Liegenschaften (Kommunen, Versicherungskonzerne etc.), die wesentlich detaillierter die Implementierung von Funktionalität in BACnet-Geräten beschreiben. So kann beispielweise das Anlagenkennzeichnungssystem einer Liegenschaft eine Mindestzeichenlänge für den Parameter „Description“ eines Funktionsblocks fordern, welche im BACnet-Standard nicht näher spezifiziert ist. In der Praxis kann die fehlende Festlegung je nach Hersteller zu uneinheitlichen und unübersichtlichen Ausprägungen in der Anlagenkennzeichnung führen.

## 20 Varianten, ein Release: Plattformstrategie in der Controller-Softwareentwicklung bei Vaillant

**Matthias Stursberg**, Vaillant GmbH, Remscheid;  
**Dr.-Ing. Hartmut Pohlheim**, Model Engineering Solutions GmbH, Berlin

### Kurzfassung

Software-Funktionen werden zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor in vielen bislang stark durch Mechanik und Elektronik geprägten Bereichen wie der Heizungs- und Klimatechnik. Die effiziente Entwicklung hochwertiger Software erfordert einen grundsätzlich neu aufgesetzten Entwicklungsprozess. Am Beispiel der Entwicklung von Controller-Software für Wärmepumpen bei der Vaillant Group wird vorgestellt, wie Entwicklungsprozesse erfolgreich neu ausgerichtet werden können. Die hohe Anzahl von Produkt-Varianten bei der Vaillant Group führte zu einem enormen Aufwand bei der Pflege der Controller-Software. Mit dem neuem Ansatz einer Integration von Software-Plattformstrategie, modellbasierter Softwareentwicklung und Rapid Prototyping wird bei geringerem Aufwand eine höhere Qualität erreicht. Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz in der Serienentwicklung und das eingesetzte adaptierbare Vorgehensmodell für die Prozessneugestaltung zeigen aus unserer Sicht die Erfolgskriterien für die Einführung des neuen Prozesses.

### 1. Herausforderungen

Die Entwicklung von Controller-Software in der Automatisierungstechnik ist häufig geprägt durch eine hohe Anzahl von Produkt-Varianten und durch eine traditionelle, auf langen Anforderungsdokumenten basierende code-zentrierte Entwicklung. Die steigenden Anforderungen an Qualität, Effizienz und schneller funktionaler Erweiterung moderner eingebetteter Systeme können auf diesem Wege aber zukünftig nicht mehr effizient umgesetzt werden.

Die Vaillant Group geht deswegen neue, innovative Wege und gestaltet den Entwicklungsprozess für Controller-Software grundlegend neu. Im Team für die Software-Entwicklung der Wärmepumpen-Controller wurden in einem Pilotvorhaben verschiedene Prozessinnovationen wie der Einsatz eines professionellen Requirements-Engineerings, einer auf die Software bezogenen Plattformstrategie, der modellbasierten Softwareentwicklung und von Rapid Prototyping integriert und erprobt.

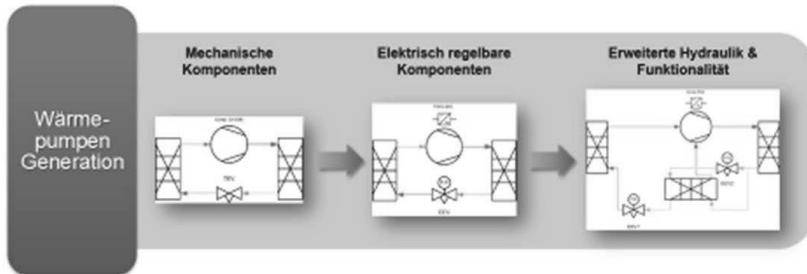


Bild 1: Wärmepumpen in verschiedenen Generationen und Funktionsumfang

Ausgangspunkt waren mehrere Generationen von Wärmepumpen, jeweils in mehreren Produktvarianten und Weiterentwicklungen, siehe Bild 1. Die einzelnen Generationen und Geräte wurden ausgehend von Grundanforderungen entsprechend der jeweiligen Bedürfnisse entwickelt.

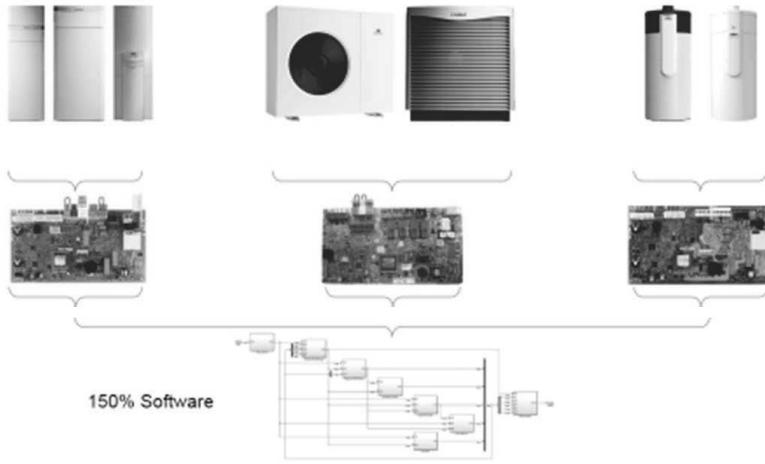


Bild 2: Gerätespezifische Entwicklung von Wärmepumpen führt bisher zu getrennten Entwicklungsumfängen – Ziel ist eine Software, die alle Umfänge umsetzt

Mit der neuen Wärmepumpenplattform sollen die verschiedenen Stränge wieder zusammengeführt werden. Ziel ist die Entwicklung einer Plattform, die nicht nur eine Generation von Geräten abdeckt, sondern die Varianten aller Generationen vereint. Aus den verschiedenen Varianten soll eine 150%-Software-Plattform abgeleitet werden.

# Integriertes Engineering mithilfe von Roundtrip-Konzepten in der Prozessindustrie

## Datenkonsistenz von der Projektierung bis zur Demontage

**J. Rahm, M. Graube, L. Urbas** Technische Universität Dresden, Professor für Prozessleittechnik, Dresden

### *Kurzfassung*

Während der Planungsphasen einer prozesstechnischen Anlage entsteht eine Vielzahl von verschiedenen Planungsdokumenten, die stark voneinander abhängen. Während des Lebenszyklus einer Anlage werden Teile dieser Dokumente geändert oder ergänzt. Diese Änderungen in alle betroffenen Dokumente zu übernehmen, ist meist eine manuelle Tätigkeit, die zeit- und kostenintensiv ist [1]. In diesem Artikel wird das aus der Softwareentwicklung bekannte Roundtrip-Engineering-Konzept adaptiert, um die Konsistenz der Planungsdaten auch bei Änderungen an den verschiedenen Modellen zu garantieren. Dies wird mit Hilfe von komplementären Transformationsvorschriften erreicht, die Modelle erstellen und synchronisieren können. Damit ist es möglich die Anlagenplanung auf Dokumentebene vollständig zu parallelisieren und auf Änderungen über den gesamten Lebenszyklus automatisiert zu reagieren.

### *Abstract*

During the planning phases of a chemical plant, a great number of domain-specific data models are created, all of which influence one another. Marking these models consistent with each other in process industry environments usually still involves a large amount of manual work. This article proposes an approach to reach data consistency over the whole plant life cycle automatically, with a prospect of interoperability across engineering environments. This is achieved by adapting the well-known roundtrip engineering concepts from software development to process industry models and use cases. In this way it will be possible to create and synchronise models from heterogeneous areas over its entire lifecycle.

## 1. Einleitung und Motivation

Während der verschiedenen Planungsphase einer chemischen Anlage entsteht eine Vielzahl von gewerkspezifischen Daten [1]. Dabei ist ein starker Austausch zwischen den einzelnen Phasen nötig. Durch die spezialisierten Werkzeuge der einzelnen Gewerke und der Notwendigkeit zwischen den Gewerken und den Phasen Informationen auszutauschen, gibt es seit vielen Jahren Bestrebungen Interoperabilität zwischen den Werkzeugen zu erreichen, in der Prozessindustrie auch als integriertes Engineering bezeichnet [2]. Ziel ist es, durch definierte Schnittstellen den zeitintensiven manuellen Datenaustausch zwischen den Gewerken zu reduzieren. Denn zum aktuellen Stand besitzen die Planungswerkzeuge untereinander nur rudimentäre Schnittstellen zum Datenaustausch, die den Workflow stark einschränken [3]. Das integrierte Engineering schafft die Möglichkeit von einem sequenziellen Planen einer Anlage zu einem vermehrt parallelen Planen zu gelangen, wenn Daten einfacher ausgetauscht werden können [4]. Auch nach der Inbetriebnahme werden Komponenten der Anlagen ausgetauscht oder weitere hinzugefügt. Diese lokalen Änderungen haben Auswirkungen auf die verschiedenen Gewerke und deren Daten, was zu einer inkonsistenten digitalen Anlage führt. Die Wiederherstellung der Konsistenz in allen Planungsdaten erfordert daher ein hohes Maß an Disziplin und Zeit.

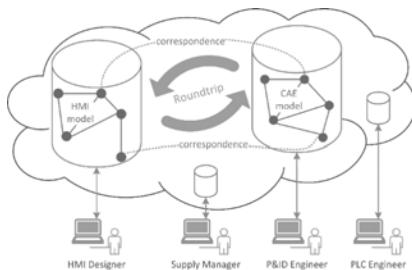


Bild 1: Schematische Darstellung der Einsatzumgebung eines Roundtrip-Engineering-Systems

Um die Herausforderung der Konsistenzwahrung einer digitalen Anlage zu lösen wird in dem Artikel ein Lösungsansatz mittels Roundtrip-Engineering-Konzepten präsentiert. Ziel ist es die einzelnen Gewerke und deren Datenhaushalte zu verknüpfen und zu synchronisieren, wie in Bild 1 dargestellt, um einen automatischen Abgleich der verschiedenen Planungsdaten zu erreichen. Technisches Mittel hierzu ist ein Synchronisationsnetzwerk. Dazu werden mit Hilfe von komplementären bidirektionalen Transformationsvorschriften korrespondieren-

## IT-Sicherheit als Startpunkt neuer Geschäftsmodelle

Dipl.-Ing.oec. **S. Rohr**, MBE **N. Sinner**,  
accessec GmbH, Groß-Bieberau;  
M.Sc. **G. Shaabany**, TU Darmstadt/DIK, Darmstadt

### Kurzfassung

Industrie 4.0 beschreibt den Trend der steigenden Digitalisierung in der Produktion. Die voranschreitende Vernetzung der Systeme verspricht neue Wertschöpfungsmöglichkeiten und Geschäftsmodelle durch Datenanalysen, birgt jedoch auch Gefahren im Bereich der IT-Sicherheit. Teilweise fehlt es grundsätzlich an solchen neuen Geschäftsmodellen und teilweise sind die vorgeschlagenen Modelle auf Basis der heutigen IT-Sicherheitsmaßnahmen nicht umsetzbar bzw. zu riskant. Es muss daher eine parallele Weiterentwicklung von IT-Sicherheit und Geschäftsmodellen im Kontext Industrie 4.0 erfolgen. Die Beschreibung neuer Geschäftsmodelle lässt sich mit bewährten Methoden, wie dem Business Modell Canvas vornehmen. Aber nur wenn die Geschäftsmodelle auch mit der rasanten Entwicklung einhergehen und dieser voraus sind, kann von Geschäftsmodellinnovationen oder Entrepreneurship gesprochen werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts IUNO werden sowohl IT-Sicherheit in Industrie 4.0, als auch die Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen betrachtet. Der Anwendungsfall „Technologiedatenmarktplatz“ steht dabei für ein neues Konzept, welches das Anbieten und Erwerben von Technologiedaten möglich macht, ohne dass die Daten vollständig offen gelegt werden. Auf diesem Szenario lassen sich verschiedene Geschäftsmodelle aufsetzen und Anforderungen an die IT-Sicherheit formulieren.

## 1. Einleitung

Mit Industrie 4.0 wird die vierte industrielle Revolution bezeichnet, die vor allen Dingen durch den Trend des „Internet of Things“, die zunehmende Vernetzung und immer intelligentere, autonome Systemen vorangetrieben wird. Die Industrie erlebt damit erneut einen Wandel, indem sich innovative Geschäftsmodelle realisieren lassen. Um neue Geschäftsmodelle für die Industrie 4.0 umzusetzen, sind häufig zusätzlich technische Entwicklungen im Bereich der IT-Sicherheit erforderlich. Die dringend notwendige IT-Sicherheit kann dabei aber nicht nur als eine Herausforderung, sondern muss auch als eine Chance verstanden werden.

In dem vorliegenden Paper wird zunächst allgemein auf Industrie 4.0, IT-Sicherheit, Geschäftsmodelle und Geschäftsmodellinnovationen eingegangen. Im Nachgang wird ein Anwendungsbeispiel aus dem Forschungsprojekt IUNO aufgezeigt, anhand dessen sich mögliche Industrie 4.0 Geschäftsmodelle und die Rolle der IT-Sicherheit praxisnah darstellen lassen.

## 2. Industrie 4.0

Steigende Automatisierung und zunehmende Vernetzung sind Schlüsselemente, um die Effizienz der Produktion zu verbessern. Unter dem Stichwort Industrie 4.0 soll der nächste Schritt der Optimierung eingeleitet werden, in dem die klassischen unternehmensinternen und - übergreifenden Grenzen aufgehoben werden und eine automatisierte Vernetzung über diese Grenzen hinweg ermöglicht wird. Die vom Bundesministerium für Forschung und Bildung betriebene Plattform Industrie 4.0 schreibt dazu konkret: „*Auf dem Weg zu Industrie 4.0 werden sich bisher lineare Wertschöpfungsketten zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken mit automatisiertem Austausch von sensiblen Produktions- und Prozessdaten über Unternehmensgrenzen hinweg wandeln, um eine effiziente Produktion zu ermöglichen [1].*“ Technische Grundlage hierfür sind intelligente, digital vernetzte Systeme, mit deren Hilfe eine weitestgehend selbstorganisierte Produktion möglich wird [1]. Als Schlüsseltechnologie für die vierte industrielle Revolution werden sogenannte cyber-physische Systeme (CPS) angesehen, wie in Bild 1 dargestellt. Der Begriff hat seinen Ursprung in den USA und ist in Deutschland durch die Forschungsagenda „CPS“ eng mit dem Trend Industrie 4.0 verbunden. Hier heißt es, CPS kennzeichnen sich durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze. Die wesentliche Neuheit im Vergleich mit bisherigen Automatisierungssystemen stellt die Vernetzung über offene und globale Informationsnetze (sprich: das Internet) dar [2].

# Virtuelle Inbetriebnahme auf Basis von automatisch generierten Wasserfahrtsmodellen

**Dr.-Ing. Mathias Oppelt, Dipl.-Ing. Wolfgang Kruppa,**  
Siemens AG, Erlangen;  
**Dipl.-Ing. Thomas Bell, Siemens AG, Karlsruhe**

## Kurzfassung

Für die risikoarme, fehlerfreie und schnelle Inbetriebnahme von industriellen Anlagen spielt die virtuelle Inbetriebnahme zunehmend eine Schlüsselrolle. Der Test gegen ein virtuelles Anlagenmodell (eine Simulation) ermöglicht einen umfassenden Test der originalen Automatisierungsprogramme vor Einsatz auf der realen Anlage. Hauptproblem für einen noch flächendeckenderen Einsatz der virtuellen Inbetriebnahme kann nach wie vor in der Verfügbarkeit von passenden Modellen gesehen werden. Dieser Beitrag stellt ein umgesetztes Konzept zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen auf Basis von Anlagenplanungsdaten vor. Basis für die Generierung ist eine eigens auch dafür entwickelten Bibliothek zur Simulation des Anlagenverhaltens auf dem Level einer Wasserfahrt. Mit dem hier vorgestellten Konzept und der Bibliothek soll ein Beitrag für einen standardmäßig möglichen Einsatz der virtuellen Inbetriebnahme in jedem Automatisierungsprojekt für eine Prozessanlage geleitet werden.

## 1. Einleitung

Moderne industrielle Anlagen wachsen stetig in ihrer Komplexität und damit wachsen die Anforderungen an das Engineering und den Betrieb dieser Anlagen. Für eine risikoarme und schnelle Inbetriebnahme von Anlagen, spielt die virtuelle Inbetriebnahme der Automatisierungstechnik zunehmend eine Schlüsselrolle. Als Hilfsmittel für den Automatisierungstechniker wird ein dynamisches Simulationsmodell der zu automatisierenden Anlage benötigt. Die Erstellung dieser Modelle stellt auch heute noch einen großen Aufwand dar [1, 2], der nicht zur Kernaufgabe eines Automatisierungstechnikers gezählt werden kann.

Zur Reduzierung der Modellierungsaufwände wurden schon seit längerem Ansätze für eine automatische Modellgenerierung auf Basis von Engineering- und Planungsdaten der Automatisierung bzw. der Anlage vorgestellt und weiter verfeinert [3, 4, 5]. Der Reifegrad der vorgestellten Lösung hatte bisher jedoch häufig einen Prototypencharakter und war daher für den breiten Einsatz nicht anwendbar.

Dieser Beitrag stellt zunächst den heutigen Stand der Technik bzw. Industrie einer automatischen Modellgenerierung für eine virtuelle Inbetriebnahme vor und zeigt, dass diese Ansätze inzwischen für einen deutlich breiteren Nutzerkreis verwendbar geworden sind. Ein „Integrated Engineering“ dringt damit auf die nächste Stufe vor und virtuelle Inbetriebnahme kann sich mit dieser Basis mehr und mehr zu einem lange gewünschten Standard [6] entwickeln.

Nach dem Stand der Technik wird in diesem Beitrag detailliert eine Schnittstelle zur automatischen Generierung von Prozessmodellen auf Basis von Planungsdaten vorgestellt. Anschließend beschreibt der Beitrag die Basis, welche für die Generierung notwendig ist, eine passende Simulationsbibliothek. Diese Bibliothek umfasst die wesentlichen Komponenten einer chemischen oder pharmazeutischen Anlage und erlaubt die schnelle Erzeugung eines Modells auf dem Level einer Wasserfahrt. Abschließend werden die Vorteile und Anwendungsfälle für diesen neuen integrierten Ansatz vorgestellt und diskutiert.

Die Basis für die Implementierung sind die Siemens Werkzeuge COMOS für die Anlagenplanung, SIMIT für die Anlagensimulation und SIMATIC PCS 7 für die Prozessautomatisierung.

## 2. Stand der Technik

In [5] wurde der aktuelle Stand der Technik zur automatischen Modellgenerierung umfassend herausgearbeitet und aufbereitet. Hinzu wurden in [5] auch Ebenen der Abstraktion für Simulationsmodelle eingeführt. Dieser Abschnitt gibt das wesentliche kurz wieder.

In Bild 1 sind die verschiedenen Ebenen der realen und virtuellen Anlage dargestellt. Zunächst kommuniziert die Steuerungsebene mit der Peripherie über die **Signalebene**. Die nächste Ebene beinhaltet die Sensoren und Aktoren (**Geräteebene**). Je nach Aufgabenstellung muss das Verhalten der Sensoren mehr oder weniger detailliert modelliert werden. Im einfachen Fall kann ein Aktor durch eine Verzögerung oder eine Rampe abgebildet werden. Die Modelle können aber auch deutlich komplexer werden. Auf der untersten Ebene befindet sich der Prozess der Anlage (**Prozessebene**). Der Prozess lässt sich durch phänomenologische oder physikalische Modelle abbilden. Ersteres lässt sich mit einfacher Logik realisieren und beschreibt grobe Zusammenhänge zwischen einzelnen Komponenten, wie z.B. die Beziehung zwischen einer Pumpe, einem Ventil und einem Tank, was bedeuten kann, dass bei laufender Pumpe und geöffnetem Ventil der Tank gefüllt wird. Das physikalische Verhalten des Prozesses, das meist mit differentialalgebraischen Gleichungen beschrieben wird, ist hierbei nicht berücksichtigt, dies könnte jedoch in einem weiteren Schritt erfolgen.

# Security Concept for a Cloud-based Automation Service

**B.Sc. Marco Ehrlich, M.Sc. Dorota Lang,**  
**Dr.-Ing. Lukasz Wisniewski, Dipl.-Math. Verena Wendt,**  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe (inT), Lemgo;  
**Dr.-Ing. Henning Trsek, rt-solutions.de GmbH, Köln;**  
**Prof. Dr.-Ing. Jürgen Jasperneite, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo**

## Kurzfassung

Neue und innovative Ansätze aus dem Bereich Industrie 4.0 werden durch die Verbindung von physikalischen und virtuellen Umgebungen und stetig steigender Vernetzung dazu führen, dass die anerkannte Automatisierungspyramide immer mehr verschwindet. Das Forschungsprojekt INAS-Cloud spezifiziert und entwickelt daher einen Cloud-basierten Automatisierungsdienst der eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) beinhaltet um die neuen Anforderungen hinsichtlich Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zu erfüllen. Da bestehende Security Konzepte für die Automation meistens auf einer strikten physikalischen oder logischen Trennung der Netzwerke beruhen und immer die volle Kontrolle des Betreibers voraussetzen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine Security Analyse des neuen Cloud-basierten Systems durchgeführt. Im Anschluss daran werden in Anlehnung an das Vorgehensmodell der VDI/VDE 2182 die Risiken eines definierten Anwendungsfalls bewertet und daraus die erforderlichen Maßnahmen als wesentlicher Bestandteil des Security Konzepts abgeleitet.

## Abstract

The Industrie 4.0 paradigms will break up with the traditional automation pyramid by connecting physical and virtual worlds. Current industrial components are always tailored for dedicated purposes and a flexible deployment is hardly possible. Therefore, the research project INAS-Cloud proposes an approach of a cloud-based automation service including a Programmable Logic Controller (PLC) in order to satisfy the new requirements for flexibility and adaptability. Since existing security concepts for automation systems always rely on strictly separated networks, which are completely under the control of the operator, a security analysis for the new cloud-based architecture is performed in this work. After a risk evaluation of a given use case, based on the VDI/VDE 2182 guideline, selected controls are defined as part of a possible security concept.

## 1. Introduction

The overall vision of Industrie 4.0 is to break up with the traditional automation pyramid by a tight integration of production and business levels. Physical and virtual worlds will be interconnected in cyber-physical systems (CPSs) to enable flexible and intelligent automation systems [1]. Nevertheless, the situation in the industrial domain today can be characterized by specialised hardware and software components for very dedicated purposes. This creates a heterogeneous landscape of various communication technologies in the industrial automation. A typical example are Programmable Logic Controller (PLC), which are responsible for controlling underlying physical processes using sensors and actuators as interfaces to the physical world. These devices are planned and commissioned in a very detailed way for specific applications and use case scenarios. This creates components which are solely usable for certain areas and results in a reduced flexibility.

In contrast to this current state future industrial automation systems need to be dynamically reconfigurable in order to address the demands of globally distributed volatile markets, such as lot size one or customer specific and intelligent products. The problem is the adaptability of PLCs towards the future developments of Industrie 4.0 [2]. In order to deal with these high demands for dynamics and flexibility, an Industrial-Automation-as-a-Service platform is developed, which offers various scalable automation services such as control of sensors and actuators, management and monitoring or energy optimization. The new platform is based on a service-oriented infrastructure inside the cloud. The utilization of cloud based architectures, as a platform for industrial applications, such as PLCs, is able to provide the required flexibility [7], [8]. Even though cloud based services provide interesting features, they pose specific challenges with regard to information security resulting in new threats and risk scenarios, which must be considered in order to achieve the required level of security. Therefore, existing best practices, such as the VDI/VDE 2182 guideline or the ISO/IEC 2700x standards series, have been used for the security analysis of selected aspects in this work [4], [5].

The proposed solution will be universally applicable and not tailored to a specific industry. Nevertheless, the chosen use case will show the usability in a real industrial domain. The control service that replaces the original functionality of a physical PLC in the field by a virtualized PLC in the cloud is integrated in the research factory 'SmartFactoryOWL' in Lemgo. In addition, a service for load peak management and monitoring is developed in order to demonstrate the additional benefits and possibilities of cloud systems. The information generated by the virtualized PLC such as load peaks, load profiles or calculations of overall efficiency are directly used inside the cloud infrastructure to generate forecasts for the energy usage of the observed machines and to prevent load peaks surpassing the contractually

# **Cyber-Physisches System zur Handhabung sensibler Objekte unter Berücksichtigung der Objekteigenschaften und dessen Verhalten**

## **A Cyber-Physical System for Handling of sensitive Objects with regard to the Objects Parameters and Behavior**

**S. Spies, M.Sc., K. Lenkenhoff, M.Sc.,**  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. **B. Kuhlenkötter,**  
Ruhr-Universität Bochum, Bochum

### **Kurzfassung**

In der Handhabungstechnik gibt es eine Vielzahl von Prozessen, die aufgrund der Sensibilität der zu handhabenden Objekte derzeit noch nicht automatisiert werden können. Beispiele solcher Objekte sind druckempfindliches Gebäck, Obst oder empfindliches Zellmaterial. Bei derzeit verfügbaren Systemen erfolgt lediglich eine Regelung der Kräfte und Momente zu den Zeitpunkten der Objektaufnahme und -ablage. Eine vollständige Überwachung der auf das Objekt wirkenden Kräfte und Momente, als auch des dynamischen Verhaltens des Objektes, während des gesamten Handhabungsvorgangs ist nicht möglich. Der Beitrag beschreibt einen Lösungsansatz zur echtzeitgeregelten Handhabung von sensitiven Greifobjekten. Da sowohl das Greifmodul als auch die Bewegung des Manipulators Einfluss auf die auf das Objekt wirkenden Kräfte während der Handhabung haben, werden beide Komponenten zusammen betrachtet und zu einem Cyber-Physische System kombiniert. Zusammen mit der integrierten Sensorik wird dann eine Regelung aufgebaut, die sowohl das Greifsystem als auch den Manipulator beeinflusst. Neben einer detaillierten Beschreibung des Konzeptes wird im Beitrag auf notwendige Anforderungen und Entwicklungen im Bereich der Greiftechnik, Sensorik und Steuerung eingegangen, die für die Umsetzung des Konzeptes erforderlich sind.

### **Abstract**

There is a high demand for automated handling of sensitive objects, e.g. pressure-sensitive pastries, fruit or sensitive cell material. However, easy to use and flexible solutions for an automated handling of those objects are not available yet. In currently available systems, the forces and moments are only considered while grasping or releasing the object. A complete

monitoring of the forces and moments as well as the dynamic behavior of the object during the entire handling process is not supported. The paper describes an approach for a real-time controlled handling of sensitive gripping objects. Since the grasping module and the manipulator influence the forces acting on the object during handling, both components are considered together and are combined into a cyber-physical system. Together with the integrated sensor system, a control system is developed which affects both, the gripping system and the manipulator. In addition to a detailed description of the concept, the paper discusses the requirements and necessary developments which are necessary for implementing the concept.

## 1. Einleitung und Motivation

Bei der automatisierten Handhabung von Objekten ist die Greiftechnik ein essentieller Baustein, da über das Greifsystem eine sichere Verbindung zwischen Objekt und Manipulator hergestellt werden muss. Bei der Handhabung von sensiblen Objekten ergeben sich bei der Realisierung eines sicheren Griffes allerdings zusätzliche Anforderungen, da eine Beschädigung des Objekts in jedem Fall zu vermeiden ist. Als Lösungsansatz werden in der Regel Kraft-Momenten-Sensoren eingesetzt, um den Greifvorgang zu überwachen. Erste wissenschaftliche Ansätze zur Handhabung sensibler Objekte existieren bereits seit den frühen 90er Jahren [1, 2]. Im Zuge aktueller Trends wie der Mensch-Roboter-Kollaboration oder Themen im Kontext von Industrie 4.0 ist in den letzten Jahren eine Zunahme an Arbeiten im Bereich der sensiblen Greiftechnik zu verzeichnen. Wird die Anzahl an Veröffentlichungen beziehungsweise die Anzahl an entsprechenden Zitierungen zur Identifizierung eines Forschungstrends herangezogen, so lässt sich eine deutliche Zunahme in diesem Bereich feststellen. Wie in Bild 1 dargestellt, entstand etwa jede zweite Veröffentlichung in diesem Bereich innerhalb der letzten fünf Jahre und in Bezug auf die Zitierungen entsprechender Artikel sind sogar etwa drei von vier Zitierungen aus den letzten fünf Jahren. Als Schluss lässt sich eine stetige Zunahme der Bedeutung von Kraft-Momenten-Sensorik im Bereich der Robotik festhalten.

Besonders das stabile und geregelte Greifen und Handhaben von Objekten ist seit einigen Jahren eine große Herausforderung, da diese Fähigkeiten außerhalb des Roboters liegt [3]. Inzwischen sind einige sensitive Greifsysteme auf dem Markt als Produkt verfügbar. Alle diese Systeme und Ansätze setzen dabei den Greifprozess, also die Objektaufnahme und -ablage, in den Fokus und nicht den Handhabungsprozess. Insbesondere die während des Handlings auftretenden dynamischen Kräfte, die besonders bei höheren Geschwindigkeiten leicht verformbare Produkte beschädigen können, werden derzeit kaum betrachtet. Dennoch

# Autonome Produktionssteuerung mittels direkter Identifikationsverfahren

**Lucas Kiefer, Christoph Richter, Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart,**  
Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungs-  
technik (IGCV), Augsburg

## Kurzfassung

Klassische Prozessleitsysteme, welche auf zentralen und hierarchischen Strukturen aufgebaut sind, können nur bedingt auf kurzfristige Änderungen reagieren und Störungen umgehen. Künftige Produktionssysteme müssen diesen Herausforderungen gewachsen sein, sodass zunehmend ein Trend zu dezentralen Systemen zu vermerken ist. Autonome Steuerungssysteme stellen eine vielversprechende Lösung dar, welche durch den Einsatz von AutoID-Technologien jedoch mit hohen mengenabhängigen Kosten verbunden sind. In diesem Beitrag wird ein Ansatz beschrieben, welcher über die Verwendung alternativer Identifikationsverfahren die mengenabhängigen Kosten reduziert.

## 1. Herausforderungen in der Produktionsplanung und -steuerung

Produzierende Unternehmen finden sich in einem turbulenten Marktumfeld wieder, welches durch immer individuellere und komplexere Produkte geprägt ist [1–3]. Dies führt zu einer erhöhten Anzahl an Einzelteilen, welche zudem stark voneinander abhängig sind und somit die Komplexität in der Produktion zunehmend erhöhen [4, 5]. Neben der aus dem Produkt stammenden statisch strukturellen Komplexität wirken weitere Faktoren (z. B. kurzfristige Auftragsänderungen) negativ auf die Planungssicherheit in der Produktion ein (vgl. Bild 1).

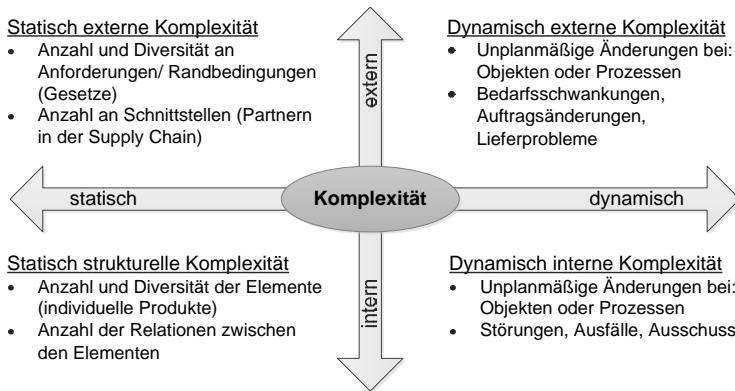


Bild 1: Dimensionen der Komplexität in Anlehnung an [6]

Zudem gibt es einen Trend zu sogenannten kundeninnovierten Produkten, bei denen der Kunde aktiv in den Herstellungsprozess eingreift [7, 8]. Dieser hohe Grad der Individualisierung erfordert folglich individuelle Bearbeitungs- bzw. Verarbeitungsprozesse, welche den einzelnen Produkten zugeordnet werden müssen.

Da diese Prozesse, vor allem in Summe, ein Scheduling deutlich erschweren bzw. bei sehr vielen kurzfristigen Änderungen obsolet machen, soll der entstehenden Komplexität mit einer verteilten Problemlösung begegnet werden. Zu diesem Zweck eignen sich heterarchische (=Gegenteil zur Hierarchie; gleichberechtigte Elemente) Systeme, in welchen sich die Produkte selbst steuern. Produkte bzw. Ressourcen als Elemente des Produktionssystems sollen durch eigens initiierte Kommunikation und Abstimmung in Abhängigkeit ihrer aktuellen Produktionssituation das lokale Optimum finden. Daraus resultiert eine der Leithesen der Initiative Industrie 4.0: *Objekte werden sich zukünftig selbstständig durch die Produktion steuern* [9]. Eine Einordnung der daraus resultierenden autonomen Produktionssteuerungen (=Selbststeuerungssysteme) sowie die Möglichkeiten zur Umsetzungen dieser Steuerungsart werden im Folgenden dargestellt.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

Zur Erläuterung von Selbststeuerungssystemen werden zunächst unterschiedliche Arten der Produktionssteuerung näher beleuchtet und erörtert was sich hinter dem Begriff intelligenter Objekte verbirgt. Anschließend werden die Funktionsweise sowie die Grundvoraussetzungen von Selbststeuerungssystemen geschildert und auf unterschiedliche Alternativen zur Erfüll-

# Formale Verifikation von Kommunikationsprotokollen am Beispiel von IO-Link Safety

Dipl.-Ing. **E. Hintze**, Dipl.-Ing. **S. Magnus**,  
Dr.-Ing. **J. Krause**, ifak e. V. Magdeburg

## Kurzfassung

Der Entwurf von Sicherheitskommunikationsprotokollen erfordert Spezifikationsprüfungen entsprechend der Sicherheitsgrundnorm IEC 61508 [1] für Funktionale Sicherheit. Diese empfiehlt eine formale Verifikation der wesentlichen Sicherheitseigenschaften ab Sicherheitsstufe 2. Für die Zulassung entsprechender Produkte werden funktionale Black-Box-Tests mit vollständiger Testabdeckung benötigt. Der Beitrag beschreibt eine durchgängige, UML-basierte Vorgehensweise und Werkzeugkette für die Modellierung, Verifikation, Testfallgenerierung und simulative Inbetriebnahme am Beispiel des Kommunikationsprotokolls IO-Link Safety.

## Abstract

The design of safety communication protocols requires concept evaluation according to the basic functional safety standard IEC 61508. It highly recommends a formal verification of the specified safety measures at safety integrity level (SIL) 2 and higher. Furthermore functional Black-Box tests with complete test coverage are required for the approval of products. The paper describes an UML based comprehensive approach and tool chain for modelling, verification, simulation, test case generation and commissioning with the example of the IO-Link Safety.

## 1. Der UML-basierte V&V-Ansatz

Die IO-Link Gemeinschaft hat mit IO-Link Safety die sicherheitsgerichtete Erweiterung des IO-Link Kommunikationsprotokolls bis SIL 3 definiert [2]. Sie basiert auf dem Black-Channel-Prinzip mit IO-Link Punkt-zu-Punkt-Kommunikation und einer Sicherheitskommunikationsschicht (Safety Communication Layer, SCL) oberhalb des IO-Link-Protokolls. Das Verhalten des SCL wurde mit Zustandsmaschinen spezifiziert. Die Verifikation dieser Zustandsmaschinen erfolgte mittels formaler Modelprüfung und Simulation auf der Basis eines UML-Modells. Für den Konformitätstest der Geräte sollen Testfälle aus dem Modell abgeleitet werden. Bild 1 zeigt die Vorgehensweise und Werkzeugkette.

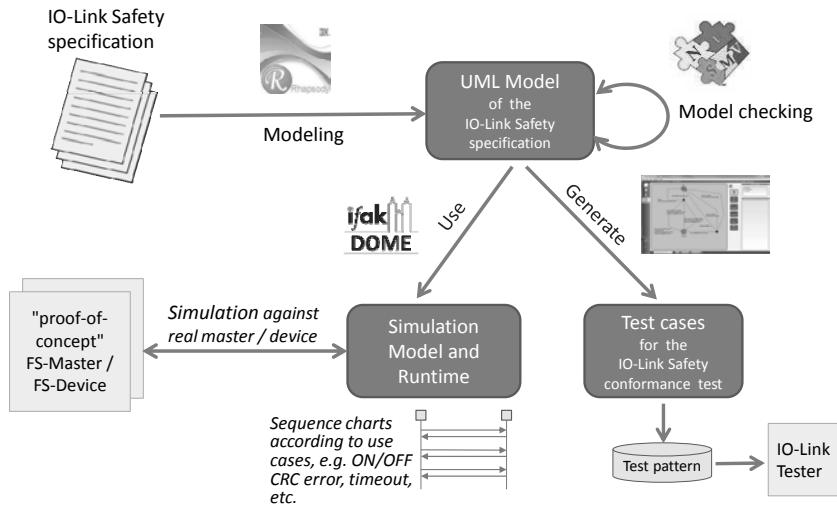


Bild 1: V&V-Ansatz für den Entwurf des IO-Link Safety Protokoll

Ausgangspunkt aller V&V-Aktivitäten ist ein UML-Modell des Kommunikationsprotokolls. Dieses wird über automatisierte Modelltransformationen in die verschiedenen Entwurfswerzeuge eingelesen. Sie umfassen einen Model Checker, eine Simulationsumgebung und einen Testfallgenerator.

Die formale Prüfung der Spezifikationseigenschaften wie Deadlock-Freiheit, Lebendigkeit, Schleifen, Erreichbarkeit sowie spezifischer Protokolleigenschaften erfolgt mit dem Model Checking Tool Spin.

Eine zentrale Rolle im Entwurfsprozess übernimmt die Simulationsumgebung DOME (Distributed Object Model Environment). Diese stellt neben Simulationsfunktionen eine portable Laufzeitumgebung für eine Vielzahl von Rechnerplattformen, auch mit Echtzeitigenschaften, bereit. Dadurch kann ein stufenweiser Entwurf von der reinen Simulation des entworfenen Protokolls bis zur hybriden Simulation gegen erste Implementierungen erfolgen.

Die abschließende Testfallgenerierung aus dem UML-Modell bildet die Basis für einen standardisierten Konformitätstest von Geräteimplementierungen gegen die Spezifikation.

# Beitrag zur Modellierung von Kreiselpumpen mit konzentrierten Parametern und Möglichkeiten zur Parameterschätzung

**F. Goppelt, M.Eng., Prof. Dr.-Ing. R. Schmidt-Vollus,**  
TH Nürnberg Georg Simon Ohm

## Kurzfassung

Bei der mathematischen Modellierung von Kreiselpumpen handelt es sich meist um die Ermittlung einer Funktion zur Beschreibung des Drucks bzw. der Förderhöhe in Abhängigkeit von quadratischen und linearen Termen der Drehzahl und des Volumenstromes. Das vorliegende Manuskript möchte eine weitere Möglichkeit zur Modellbildung von Kreiselpumpen mit konzentrierten Parametern auf systemtheoretischer Basis andenken. Hierbei wird zugrunde gelegt, dass als Eingangssignal die Kreisfrequenz der Antriebsmaschine und als Ausgangssignal nur der Pumpenausgangsdruck zur Verfügung stehen.

## Abstract

In mathematical modeling of centrifugal pumps the connection between pressure, volume flow and rotational speed is normally represented by a function for the pressure depending on quadratic and linear terms of rotational speed and volume. This manuscript reveals a further method for modeling centrifugal pumps. It shows a model with lumped parameters based on system-theoretical relations where the rotational frequency constitutes the input signal. As the only output signal the pressure of the centrifugal pump is available.

## 1. Motivation

Für die Modellierung von Kreiselpumpen durch Modelle mit konzentrierten Parametern lassen sich mehrere Gründe angeben:

Zunächst ist festzuhalten, dass Kreiselpumpen grundlegend über ihre Kennlinien, welche vom Hersteller bereitgestellt werden, charakterisiert sind. Diese weisen in den meisten Fällen quadratisches Verhalten sowohl im Volumenstrom  $Q$  als auch in der Kreisfrequenz  $\omega$  der Arbeitsmaschine auf. Die Förderhöhe  $H$  von Kreiselpumpen wird demnach in der Form

$$H(t) = a \cdot Q^2(t) + b \cdot Q(t) \cdot \omega(t) + c \cdot \omega^2(t) \quad (1.1)$$

beschrieben. Ansätze dieser Art finden sich z. B. in [1], [2], [3] und [4], wobei  $a$ ,  $b$  und  $c$  die jeweiligen Polynomkoeffizienten darstellen. Entsprechend könnte auch der Druck  $p$  modelliert werden, da er in direkter Proportionalität zur Förderhöhe  $H$  steht.

Ein weiterer Grund für die hier vorgestellte mathematische Modellierung ist, dass die Messwerte von Pumpenausgangsdruck oder Volumenstrom unter realen Bedingungen oftmals von den aus den Herstellerkennlinien ermittelten Werten abweichen. Die hinter dieser Modellierung mit Parameterschätzung stehende Motivation ist eine sogenannte „kennlinienlose“ Inbetriebnahme. Mit dem in Abschnitt 3 vorgestellten nichtlinearen Modell mit konzentrierten Parametern wäre eine „kennlinienlose“ Zustandsbeobachtung bei Kreiselpumpen denkbar, ohne diese vorher auf Prüfständen vermessen zu haben. Die Pumpe soll sich bei der Inbetriebnahme gegen einen geschlossenen Schieber selbst parametrieren und somit adaptierte Werte annehmen. Ein verifiziertes Systemmodell der Pumpe bildet die Grundlage für die Beobachtung von Druck oder Volumenstrom und dient daher zur Zustandsüberwachung dieser physikalischen Größen. Basierend auf demselben Modell ist darüber hinaus der Entwurf effizienter Regelstrategien möglich.

## 2. Hydraulische Modellierung in Analogie zur Elektrotechnik

Analog zu den konzentrierten elektronischen Parametern Widerstand  $R$ , Induktivität  $L$  und Kapazität  $C$  existieren in der Hydraulik ebensolche Parameter. NOLLAU gibt in [5] eine Herleitung für den hydraulischen Widerstand  $R_h$ , die hydraulische Induktivität  $L_h$  sowie die hydraulische Kapazität  $C_h$  an. Es gelten entsprechend folgende lineare Zusammenhänge:

$$p_R(t) = R_h \cdot Q_R(t) \quad (2.1)$$

$$Q_L(t) = \frac{1}{L_h} \cdot \int p_L(t) \, dt \quad (2.2)$$

$$p_C(t) = \frac{1}{C_h} \cdot \int Q_C(t) \, dt \quad (2.3)$$

In den Gleichungen (2.1) bis (2.3) bezeichnet  $p_R(t)$  den Druckabfall über dem hydraulischen Widerstand,  $p_L(t)$  den Druckabfall über der hydraulischen Induktivität sowie  $p_C(t)$  den Druckabfall über der hydraulischen Kapazität. Entsprechend verhält es sich mit den Volumenströmen  $Q_R(t)$ ,  $Q_L(t)$  und  $Q_C(t)$ , welche den Durchfluss durch die jeweiligen Komponenten kennzeichnen. Es ist klar ersichtlich, dass in Anlehnung an die Elektrotechnik (Spannung  $U$  und Strom  $i$ ) für den Druck und den Volumenstrom gilt [6]:

# Universal Process Optimization Assistant for Medium-sized Manufacturing Enterprises as Self-learning Expert System

**B.Sc. Alexander Diedrich, Dipl.-Inf. Jens Eickmeyer,**  
**Prof. Dr. rer. nat. Oliver Niggemann, Fraunhofer IOSB-INA, Lemgo;**  
**Dipl.-Ing. Peng Li, Institut Industrial IT, Lemgo;**  
**M.Sc. Tobias Hoppe, Resolto Informatik GmbH, Herford;**  
**Martin Fuchs, Miele & Cie KG, Bielefeld**

## Kurzfassung

In diesem Paper wird ein Verfahren zur Optimierung der Spülraumproduktion des Unternehmens Miele & Cie KG vorgestellt. Projektbeteiligte waren neben der Miele & Cie KG die Unternehmen Resolto Informatik GmbH und Wago Contact SAS, sowie das Forschungsinstitut Fraunhofer IOSB-INA. Das Verfahren umfasst die Erstellung eines Modells der Prozessdaten mit hybriden, zeitbehafteten Automaten und linearen Regressionsmodellen. Die Automaten dienen zur Abbildung der Struktur und zur Zusammenfassung von Anlagenzuständen zu Funktionsgruppen. Die linearen Regressionsmodelle dienen zur Analyse der kontinuierlichen Prozessdatenwerte. Auf die Modelle wird ein evolutionärer Optimierungsalgorithmus angewendet, mit dem Ziel, die Produktionszeit zu minimieren. Insgesamt konnte so die Produktionszeit in einem Bereich der Produktionsanlage um 1,5% minimiert werden und der Gesamtprozess stabilisiert werden.

Zur Visualisierung hat die Resolto Informatik GmbH eine Erweiterung für ihr Datenanalysetool Optivice entwickelt. Dieses unterstützt die Aufnahme von Prozessdaten mit OPC-UA, Speicherung der Prozessdaten in einer Cassandra Datenbank, sowie Integration der Modellierungs- und Optimierungsverfahren.

## 1. Einleitung

Cyber-physische Systeme als Teil heutiger Produktionsanlagen generieren eine Vielzahl von Produktionsdaten. Inzwischen ist es einem Maschinenbediener oder Prozessexperten oftmals nicht mehr möglich alle Prozessparameter zu überwachen oder nachzuvollziehen, welche Parameter für den Produktionsprozess entscheidend sind. Daher greifen Prozessexperten immer häufiger auf Erfahrungswissen und Heuristiken zurück, um Optimierungen durchzuführen. Dieses führt dazu, dass Produktionsanlagen häufig nicht optimal ausgesteuert sind und so bezüglich Produktionszykluszeiten, Energieverbrauch oder Stückzahl nicht das globa-

le Optimum erreichen. Unternehmen und Prozessexperten haben daher ein großes Interesse daran, ihre Produktionsmaschinen bestmöglich auszulasten und Stillstandzeiten zu minimieren. In diesem Bericht wurde die Spülraumproduktion bei Geschirrspülmaschinen des Unternehmens Miele & Cie KG analysiert. Ziel des Projektes war es, die Zykluszeit des Produktionsprozesses zu stabilisieren, um Kosten einzusparen und die Effizienz der Produktion zu erhöhen.

Dazu wurde ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt, welcher von der formalen Anlagenbeschreibung über eine statistische Modellbildung bis hin zur Produktionsoptimierung und Visualisierung reicht. Zur formalen Anlagenbeschreibung wird die Automation Markup Language (AutomationML) eingesetzt. Diese dient dazu die mit OPC-UA aufgenommenen Prozessdaten in sinnvolle Funktionsgruppen einzuteilen. Die diskreten Signale jeder Funktionsgruppe werden durch hybride, zeitbehaftete Automaten moduliert. Für jede dieser Funktionsgruppen wird dann eine datengetriebene Modellierung kontinuierlicher Daten eingesetzt, um ein statistisches Modell zu erhalten. Jedes Modell repräsentiert die Abhängigkeit kontinuierlicher Prozesssignale auf die Produktionszeit in der jeweiligen Funktionsgruppe. Auf jedes Modell wird ein evolutionärer Optimierungsalgorithmus angewendet, um zu ermitteln, welche Werte die Prozessparameter einnehmen müssen, um die Produktionszeit zu verringern.

Im Laufe dieses Projekts wurde zusammen mit der Firma Resolto Informatik GmbH der webbasierte Prototyp Optivice entwickelt, welcher eine automatische, datengetriebene Modellierung und Optimierung ermöglicht und eine Visualisierung und Analyse historischer und aktueller Prozessparameter unterstützt. Das Resultat ist, dass die Spülraumproduktion der Miele & Cie KG stabilisiert werden konnte und die Produktionszeit in einem Teilbereich um 1,5% verringert wurde.

## 2. Stand der Technik

Assistenzsysteme [1] zur virtuellen Produktionsplanung, erlauben es Unternehmen heute Risikoanalysen für eine verteilte Produktion vorzunehmen. Dabei beruhen die Möglichkeiten zur Prozessoptimierung auf dem Level der unternehmerischen Ressourcenplanung, des Produkts oder wechselnde Produktvarianten. Das in [1] beschriebene Projekt behandelt eine Optimierung der klassischen Produktionsplanung.

Ein allgemeiner Überblick über die Selbstoptimierung industrieller Prozesse findet sich in [2]. Es gibt zahlreiche Ansätze, um Verfahren zur Selbstoptimierung in technische Prozesse zu integrieren. In [3] wird beispielsweise eine selbstoptimierende Motorspindel beschrieben, die ihre dynamischen Eigenschaften selbstständig an die jeweilige Betriebssituation anpasst. [4] hat die Idee der Selbstoptimierung auf den Entwurfsprozess mechatronischer Systeme an-

## Erweiterung des „Secure Plug & Work“ für Safety-kritische Systeme

**Philip Kleen, Dr. Holger Flatt, Prof. Jürgen Jasperneite,**  
Fraunhofer-Anwendungszentrum Industrial Automation (IOSB-INA),  
Lemgo

### Kurzfassung

Eine Plug & Work-Technologie ermöglicht ein modulares Produktionssystem, welches sich aus beliebigen Produktionsmodulen (Arbeitsschritten) zusammensetzt. Bei der Entwicklung solcher Technologien wird oftmals die funktionale Sicherheit (Safety) nicht betrachtet. Weiter muss vor Inbetriebnahme einer neuen Kombination von Produktionsmodulen die Entstehung von neuen Gefahren geprüft werden. Dies erfolgt heute händisch durch einen Safety-Experten mithilfe der Maschinendokumentation. Die notwendige Adaptivität und autonome Rekonfiguration von Produktionsmodulen, die für eine flexible Produktionsumgebung notwendig sind, werden durch die funktionale Sicherheit eingeschränkt.

In diesem Beitrag wird ein Konzept vorgestellt, welches eine Plug & Work-Technologie um die funktionale Sicherheit erweitert. Dazu werden Safety-Eigenschaften des jeweiligen Produktionsmoduls in ein maschinenlesbares Modell überführt. Jedes Produktionsmodul wird durch Anforderungen und Garantien beschrieben. Eine übergeordnete Instanz liest die Safety-Eigenschaften der Produktionsmodule ein. Mithilfe des formalisierten Expertenwissens wird anhand der Eigenschaften die Entstehung von neuen Risiken geprüft. Die Anforderungen müssen durch Garantien anderer Produktionsmodule erfüllt werden. Durch die maschinell verarbeitbare Dokumentation von Safety-Eigenschaften wird erreicht, dass die händisch durchgeführte Risikobewertung von dem System unterstützt wird. Vorausgesetzt das Bewertungssystem ist entsprechend zertifiziert, ist es möglich die Risikobewertung komplett automatisiert durchzuführen. Im letzten Schritt ist eine Parametrierung der Safety-Verbindungen zwischen den Produktionsmodulen durch das System denkbar. Wiederkehrende Safety-Betrachtungen werden beschleunigt und vereinfacht, was eine Verkürzung der Rüstzeiten bedeutet. Die Erweiterung einer Plug & Work-Technologie für Safety-kritische Systeme ermöglicht den uneingeschränkten funktional sicheren Betrieb von modularen Produktionssystemen.

## 1. Einleitung

Zur Erfüllung der Anforderungen der vierten industriellen Revolution sind unter anderem flexiblere Fertigungsstrukturen notwendig [1]. Dies führt zu dem Ansatz, einzelne Produktions schritte in eigenständige vollständige Maschinen zu modularisieren und diese bedarfsorientiert zusammenzustellen. Dieser Ansatz ist bereits von verschiedenen Institutionen weiter vertieft worden. Das hier als allgemein bezeichnete modulare Produktionssystem kann sich aus Cyber-physikalischen Produktionssystemen (CPPS) oder aus offenen adaptiven Systemen (OAS) zusammensetzen. Im Folgenden werden Arbeitsschritte in einzelne vollständige, der Maschinenrichtlinie entsprechende, Produktionsmodule modularisiert. Diese können sowohl als OAS als auch CPPS verstanden werden. Ein schematischer Aufbau eines modularen Produktionssystems ist in Bild 1 gezeigt. Dieser berücksichtigt die NAMUR Empfehlung 148 [2] und wird für die weiteren Betrachtungen zugrunde gelegt. Produktionsmodule werden derart kombiniert, dass sich das Fertigungssystem dynamisch an die Produktionsaufträge anpasst. Durch das Hinzufügen von neuen, zum Konstruktionszeitpunkt unbekannten, Produktionsmodulen entstehen immer wieder neue Kombinationen. Diese Kombinationen bilden häufig eine neue Gesamtheit von Maschinen. Eine erneute Gefahren- und Risikobewertung nach ISO 12100 muss in jedem Fall durchgeführt werden, um eine Übertragung von Gefahren oder Entstehung von neuen Gefahren zu erkennen [3, 4]. Zum Beispiel kann es durch die Verschmutzung eines Transportbandes zu einer Veränderung des Risikos kommen. Wurde dies beispielsweise durch Metallspäne verschmutzt, kann es beim Fassen auf das Band zu einem erhöhten Risiko einer Schnittverletzung kommen. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer erneuten Risikobewertung und ruft einen erneuten Zertifizierungsprozess zum Konformitätsnachweis zur Maschinenrichtlinie hervor. Üblicherweise werden die zur

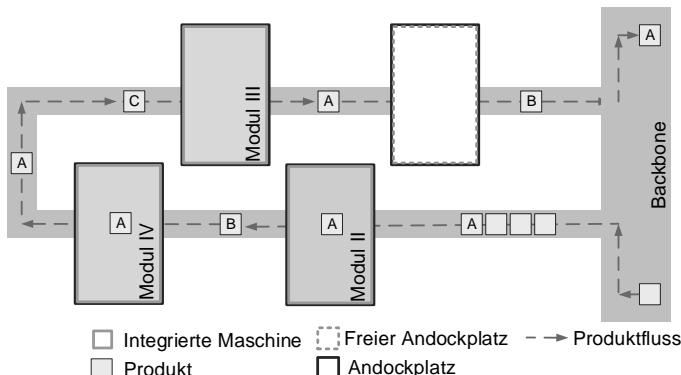


Bild 1: Schematischer Aufbau eines flexiblen Produktionssystems

# Security-Testing für industrielle Automatisierungssysteme

## ISuTest: Ein modulares Framework zur automatisierten Unterstützung bei der Entwicklung von sicheren Automatisierungskomponenten

Dipl.Inform. **S. Pfrang**, M.Sc. **D. Meier**,  
Fraunhofer IOSB, Karlsruhe

### Kurzfassung

Am Fraunhofer IOSB in Karlsruhe wurde das Security-Testing-Framework ISuTest entworfen und in einem Prototypen umgesetzt. ISuTest ermöglicht das automatisierte Überprüfen der Security-Eigenschaften von Automatisierungssystemen mithilfe von definierten Testfällen und baut auf dem auf Office-IT ausgerichteten „OpenVAS“ (Open Vulnerability Assessment System) auf. ISuTest ermöglicht Angriffe auf Automatisierungssysteme durchzuführen und daraus resultierende Reaktionen zu prüfen. Anhand dieser kann die Auswirkung auf die Funktionsfähigkeit und damit die Anfälligkeit gegenüber einem Angriff untersucht werden. Durch sein offenes und modulares Design ermöglicht ISuTest einfaches und effizientes Testen nahezu beliebiger Automatisierungskomponenten.

### Abstract

At the Fraunhofer IOSB in Karlsruhe a Security-Testing-Framework called ISuTest was designed and implemented. ISuTest enables the automated testing of the security properties of industrial automation equipment by using predefined test cases. It is compatible to the „OpenVAS“ (Open Vulnerability Assessment System) security testing framework. ISuTest makes it possible to conduct attacks on automation systems and capture the resulting reactions. This reveals the impact of attacks and possible vulnerabilities of the tested systems. Easy and efficient testing of arbitrary automation systems is enabled by the open and modular design of the ISuTest-Framework.

### 1. Motivation

Die fortschreitende Vernetzung in der Automatisierung unter dem Einfluss von „Industrie 4.0“ und dem „(Industrial) Internet of Things“ führt zu einem größeren Bedrohungsfeld im Bereich der IT-Sicherheit. Immer einfacher zugängliche Systeme und Komponenten haben dabei

einen großen Einfluss auf die IT-Security von Gesamtanlagen. Die Sicherheitseigenschaften einzelner Komponenten gewinnen daher immer mehr an Bedeutung für ihren Einsatz in modernen Industrieanlagen. Diese Eigenschaften umfassen dabei beispielsweise die Unterstützung von sicheren Kommunikationsprotokollen, welche Integrität, Verfügbarkeit und Vertraulichkeit ermöglichen. Auch ein robustes Verhalten im Falle von ungeplanten Eingaben gehört zu den Sicherheitseigenschaften, da solche Eingaben durch Fehlfunktionen entstehen können, aber auch gezielt von Angreifern provoziert werden können. Darüber hinaus müssen alle von einer Komponente angebotenen Dienste auf ihre Sicherheitseigenschaften untersucht werden, also sowohl Dienste aus dem klassischen IT-Bereich (z. B. Webserver), als auch Dienste aus der Automatisierung (z. B. industrielle Kommunikationsprotokolle). Um die Sicherheit von Automatisierungskomponenten bestimmen zu können, braucht es daher Systeme, die diese Sicherheitseigenschaften automatisiert überprüfen können. Aufgrund der Komplexität und Spezialisierung von Automatisierungskomponenten, gestaltet sich dies im industriellen Umfeld schwieriger als beispielsweise im Bereich der Office-IT, für die entsprechende Werkzeuge und Frameworks bereits existieren. Die Vielzahl an unterschiedlichsten Schnittstellen und Standards industrieller Komponenten stellen solche Systeme vor besondere Herausforderungen.

## 2. Grundlagen

Industrielle Anlagen und Systeme weisen andere Eigenschaften auf als Systeme der traditionellen Office-IT. Dies hat Auswirkungen auf den Umgang mit IT-Sicherheitsanforderungen. In der unterschiedlichen Priorisierung der klassischen Informationssicherheitsziele wird dieser Unterschied deutlich.

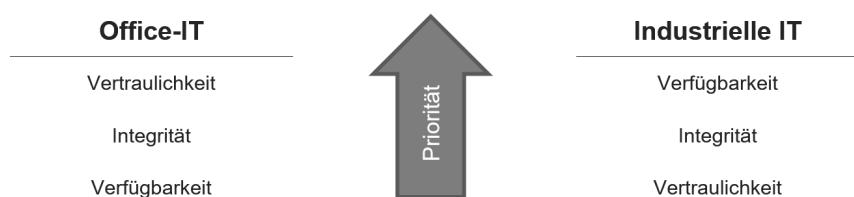


Bild 1: Unterschiede in der Priorität der Schutzzieelen der Informationssicherheit in der industriellen und klassischen Office-IT

## Smart Factory Web

### Plattform eines offenen Marktplatzes für Produktionsfähigkeiten

Dr.-Ing. Thomas Usländer, Dr. Kym Watson,  
Fraunhofer-Institut für Optronik,  
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB, Karlsruhe

#### Kurzfassung

Die Ziele und Architektur des Smart Factory Web als Plattform für die Vernetzung von Fabriken werden beschrieben. Die Fähigkeiten und Kapazitäten von Fabriken werden adaptiert und kombiniert zur flexiblen Erfüllung von Aufträgen. Die Industrie 4.0-Anwendungsszenarien „Auftragsgesteuerte Produktion“ und „Wandlungsfähige Fabrik“ werden dadurch ermöglicht. Als Grundlage für eine nachhaltige und offene Lösung dienen die Referenzarchitekturmodelle des Industrial Internet Consortium (IIC) und Industrie 4.0 sowie die internationalen Standards OPC UA und AutomationML.

#### Abstract

The paper describes the goals and architecture of the Smart Factory Web as a platform for the networking of factories. The capabilities and capacities of factories are adapted and combined to achieve a flexible order fulfilment. This enables the Industrie 4.0 application scenarios “order controlled production” and “adaptable factory”. The architectural concepts of IIC and Industrie 4.0 as well as the international standards OPC UA and AutomationML form the basis for a sustainable and open solution.

#### 1. Einleitung

Der Trend zur horizontalen und vertikalen Vernetzung von Produktionskapazitäten und werttragenden Unternehmensgütern (Assets) über das Internet ist eine der wesentlichen Charakteristiken der Industrie 4.0. Das RAMI4.0 trägt diesem Trend durch den Asset Type „connected world“ Rechnung. Die Anwendung des Industriellen Internets (of Things) (IIoT) [13] ermöglicht die Ersetzung der eher starren Verkettung von Produktionskomponenten durch flexible, per „plug & work“ schnell anpassbare Produktionsanlagen. Die Industrie 4.0-Anwendungsszenarien „Auftragsgesteuerte Produktion (AGP)“ und „Wandlungsfähige Fabrik (WFF)“ beschreiben, wie diese Fähigkeiten dazu verwendet werden können, Produktionsan-

lagen effizient an Auftragssituationen anpassen zu können. Zu Ende gedacht, können damit wie in anderen Branchen (wie z.B. der Touristik) virtuelle Marktplätze aufgebaut werden, in der die Produktionsfähigkeiten beschrieben, in einen Katalog eingetragen und zur „Buchung“ recherchiert werden können.

Um der Gefahr zu begegnen, dass derartige Marktplätze nur von wenigen Konzernen beherrscht werden, sollten sie auf offenen Standards basieren. Diese Zielsetzung verfolgt das Smart Factory Web. Es wird gemeinsam vom Fraunhofer IOSB und dem Korea Electronics Technology Institute (KETI) aufgebaut und realisiert. Im September 2016 wurde es vom Industrial Internet Consortium (IIC) als IIC Testbed anerkannt [1]. Ziel des Smart Factory Web ist der Aufbau eines Netzwerks von smarten Fabriksystemen, um eine flexible Anpassung von Produktionskapazitäten an die Auftragslage sowie eine Ressourcennutzung über Fabrikgrenzen hinaus zu ermöglichen.

Die ersten beiden smarten Fabriken sind zwei betriebsbereite Testfabriken in Deutschland: 1) die Modellfabrik Plug & Work beim Fraunhofer IOSB in Karlsruhe und 2) ausgewählte Anlagen der SmartFactoryOWL in Lemgo, einer gemeinsamen Initiative des Fraunhofer IOSB-INA und der Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Die Modellfabriken von KETI, die in Pangyo und Ansan in Südkorea stufenweise 2017-2019 in Betrieb gehen, kommen als integraler Bestandteil des Smart Factory Web dazu. Sie werden mit den deutschen Modellfabriken verbunden, um fabrik- und organisationsübergreifende Nutzungsszenarien auch international zu erproben. Aktuelle Informationen über diese Modellfabriken werden in Smart Factory Web Portal veröffentlicht [1]. Die koreanisch-deutsche Zusammenarbeit fördert zudem den Aufbau koreanischer Smart Factories und die dortige Nutzung von Schlüsselstandards wie AutomationML (für die Anlagenbeschreibung) und OPC UA (als Kommunikationsprotokoll) [2, 11]. Die deutschen Modellfabriken sind bereits heute Mitglied im Labs Network Industrie 4.0, so dass das «Smart Factory Web» auch als ein gemeinsames Testbed von IIC und Industrie 4.0 in Betracht kommt, um die Kompatibilität von IIRA und RAMI 4.0, den jeweiligen Referenzarchitekturmodellen von IIC und Industrie 4.0, voranzutreiben und zu demonstrieren. Dienstarchitekturen in der Automatisierungstechnik werden im Kontext der neuen Technologien des IIoT (Industrial Internet of Things) überdacht, siehe z.B. [9-12]. Ein Aufruf zur Mitarbeit im Smart Factory Web wurde über die Webseite [www.smartfactoryweb.com](http://www.smartfactoryweb.com) veröffentlicht.

## 2. Ziele des Smart Factory Webs

Das Smart Factory Web verfolgt folgende übergeordnete Ziele:

1. *Effiziente Auftragserfüllung durch flexible Adaption von Fähigkeiten und Kapazitäten in einem Netzwerk an intelligenten Fabriken.* Unter „Adaption von Fähigkeiten“ ver-

# **Einfache Verarbeitung von komplexen Protokollen zur Kommunikation mit Feldgeräten in der Prozessautomation**

## **Möglichkeiten zur Nutzung von Feldgeräte-Informationen in Cloud-Plattformen**

Dipl.-Ing. **Benedikt Rauscher**, Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim

### **Kurzfassung**

Moderne Feldgeräte in der Prozessautomation bieten oft vielfältige Service- und Diagnosefunktionen, die aussagekräftige Daten z.B. für vorausschauende und zustandsbasierte Wartungskonzepte liefern können. Über geeignete Kommunikations-Wege können solche Daten in Cloud-Systeme übertragen und dort zur Nutzung in IT-Anwendungen bereitgestellt werden.

Dabei müssen die zur Kommunikation mit Feldgeräten benutzten Protokolle interpretiert bzw. ausgewertet werden, was wegen deren Komplexität hohe Anforderungen an die Übertragungs-Hardware stellt.

In diesem Beitrag wird ein Verfahren beschrieben, bei dem die Interpretation von Beschreibungsdateien und die Datenübertragung getrennt betrachtet und auf verschiedenen Systemen durchgeführt werden, so dass die Übertragungs-Hardware deutlich kompakter ausgelagert werden kann und auch keine Internet-Anbindung benötigt.

### **Feldgeräte in der Prozessautomation**

In prozesstechnischen Anlagen werden unterschiedliche Feldgeräte wie Stellventile, Pumpen, Mess-Umformer und -Geräte für Druck, Temperatur, Durchfluss, Füllstand etc. verwendet, die alle einen dedizierten Zweck erfüllen. Stellventile steuern den Durchfluss gemäß ihres Sollwertes, Pumpen fördern Substanzen mit einer vorgegebenen Leistung, Messgeräte liefern einen Druck- bzw. Temperaturwert, ein Durchflussvolumen oder eine Füllstandshöhe in einem Behälter.

Alle diese Geräte sind über elektrische Schnittstellen an Leitsysteme angeschlossen, welche für die Prozessregelung zuständig sind und aus Messwerten von Sensoren Stellgrößen für Aktoren berechnen.

Sogenannte „intelligente“ Feldgeräte beinhalten einen mehr oder weniger leistungsfähigen Prozessor, welcher zum Beispiel die Messwerte aufbereitet, Kompensationen durchführt oder bei einem Aktor für die korrekte Umsetzung der Stellgröße sorgt.

In solchen Geräten werden zusätzlich vielfältige Daten generiert, die Informationen über den Gerätezustand oder Umgebungsbedingungen enthalten.

Daneben können bei vielen Geräte Betriebsarten oder Konfigurationen umgeschaltet werden, um unterschiedliche Aufgaben ausführen zu können.

### **Zustandsbasiert und vorausschauende Wartung**

In „intelligenten“ Feldgeräten berechnete zusätzliche Daten lassen Rückschlüsse auf den Zustand der Geräte oder der gesamten Anlage zu. Beispielsweise können mit geeigneten prozessanalytischen und mathematischen Verfahren anhand der aus solchen Daten gewonnenen Informationen Ausfälle vorausberechnet werden, so dass Wartungsintervalle angepasst und ungeplante Stillstände vermieden werden.

Insbesondere wenn die Feldgeräte in explosionsgefährdeten Bereichen betrieben werden, können mit einer solchen zustandsbasierten und vorausschauenden Wartung hohe Einsparungen und Effizienz-Steigerungen erreicht werden.

Am Beispiel eines pneumatisch angetriebenen Stellventils soll dies verdeutlicht werden. Solche Ventile sind als mediumberührte Bauteile mechanisch hoch belastet und müssen daher kritisch betrachtet werden.

Den Ventilen wird ein Sollwert übermittelt, der in einem lokalen Stellungsregler in ein Soll-Stellungssignal umgerechnet wird. Die Ist-Stellung wird über einen Positionssensor erfasst und ebenfalls dem lokalen Stellungsregler zugeführt, welcher wiederum aus der Differenz zwischen Ist- und Sollposition ein Steuersignal für die Pneumatik berechnet. Diese Pneumatik bewegt schließlich den Ventilstößel.

Aus den tatsächlichen Stellungen des Ventilstößels bei gegebener Soll-Stellung lassen sich Verschleiß-Effekte ermitteln. So führt ein ausgeschlagener Ventilsitz zu einer weiteren Ist-Stellung als im intakten Zustand, während das Verhalten bei Ablagerungen am Ventilsitz einen umgekehrten Effekt bewirkt.

Des Weiteren kann mit der sog. „Partial-Stroke“-Methode auch bei laufender Anlage mit Ventil in Mittelstellung festgestellt werden, ob das Ventil Sollwertänderungen folgt oder nicht [2]. Bei dieser Methode wird der Sollwert im Stellungsregler um kleine Werte um den vorgegebenen Wert herum variiert, was gewöhnlich ohne Auswirkung auf den zu regelnden Prozess