

VDI

REIHE 08

MESS-,
STEUERUNGS-
UND REGELUNGS-
TECHNIK



Fortschritt- Berichte VDI

Lars Nothdurft, M. Sc.,
Aachen

NR. 1274

Konzept für ein rollen-
zentrisches Plug and
Produce zur Inbetrieb-
nahme und zum
Austausch von Feldgeräten

BAND

1|1

VOLUME

1|1

ACPLT
AACHENER
PROZESSLEITTECHNIK

Lehrstuhl für
Prozessleittechnik
der RWTH Aachen

Konzept für ein rollenzentrisches Plug and Produce zur Inbetriebnahme und zum Austausch von Feldgeräten

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Lars Nothdurft, M. Sc. RWTH

aus Aschaffenburg.

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kleinert

Tag der mündlichen Prüfung: 21.01.2022

VDI

REIHE 08
MESS-,
STEUERUNGS-
UND REGELUNGS-
TECHNIK



Fortschritt- Berichte VDI

Lars Nothdurft, M. Sc.,
Aachen

NR. 1274

Konzept für ein rollen-
zentrisches Plug and
Produce zur Inbetrieb-
nahme und zum
Austausch von Feldgeräten

BAND
1|1

VOLUME
1|1

ACPLT
AACHENER
PROZESSLEITTECHNIK

Lehrstuhl für
Prozessleittechnik
der RWTH Aachen

Nothdurft, Lars

Konzept für ein rollenzentrisches Plug and Produce zur Inbetriebnahme und zum Austausch von Feldgeräten

Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 08, Nr. 1274. Düsseldorf: VDI Verlag 2022.

102 Seiten, 35 Bilder, 10 Tabellen.

ISBN 978-3-18-527408-4, E-ISBN 978-3-18-627408-3, ISSN 0178-9546

43,00 EUR/VDI-Mitgliederpreis: 38,70 EUR

Für die Dokumentation: Plug and Produce – automatisierte Konfiguration – Geräterollen – Eigenschaftsausprägungsaussagen – Prozessleittechnik

Keywords: Plug and Produce – automatic konfiguration – device role – property value statements – process control technology

Die vorliegende Arbeit wendet sich an Ingenieur*innen und Wissenschaftler*innen aus der Prozessindustrie. Sie behandelt ein Plug and Produce Konzept für Feldgeräte in der Prozessleittechnik. Basis hierfür ist die formale Beschreibung von funktionalen Anforderungen in Form von Geräterollen und der Abgleich dieser mit Zusicherungen von Seiten des Geräts sowie dessen zugehörigen Gerätetyps. Kern der Arbeit ist die Definition und Strukturierung der erforderlichen Informationen sowie die Beschreibung eines allgemeinen Ablaufs des Plug and Produce Vorgangs. Weiter wird die Umsetzbarkeit des Konzepts mit industrieüblichen Technologien untersucht, um die Anwendbarkeit des Konzepts in der Praxis zu beurteilen. Das Konzept wurde in einem Demonstrator mit HARTfähigen Feldgeräten realisiert. Die nötigen Daten zu Rollen und Gerätetypen werden hierbei in Form von Verwaltungsschalen bereitgestellt.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Bibliothek (German National Library)

The Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

D82 (Diss. RWTH Aachen University, 2022)

© VDI Verlag GmbH | Düsseldorf 2022

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe (Fotokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, im Internet und das der Übersetzung, vorbehalten. Als Manuskript gedruckt. Printed in Germany.

ISBN 978-3-18-527408-4, E-ISBN 978-3-18-627408-3, ISSN 0178-9546

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Prozessleittechnik der RWTH Aachen entstanden. Diese Zeit am Lehrstuhl bildet einen sehr positiven Abschnitt meines Lebens mit vielen neuen Erfahrungen, einer tollen Gemeinschaft und viel Freude. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich in dieser Zeit in Aachen begleitet und unterstützt haben.

Zunächst gilt mein besonderer Dank Herrn Professor Dr.-Ing. Ulrich Epple für die Betreuung meiner Promotion. Er hat mich mit vielen, teils kritischen Diskussionen unterstützt und geholfen, den Fokus der Arbeit auf die wesentlichen Aspekte auszurichten. Zudem hat er mit seinem Führungsstil das kollegiale Arbeitsklima und freie, angeregte Diskussionen unter den Mitarbeitern ermöglicht.

Weiter bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Christian Diedrich, Inhaber des Lehrstuhls Integrierte Automation der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, für die Übernahme der Rolle des Zweitgutachters.

Auch möchte ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Tobias Kleinert, jetziger Inhaber des Lehrstuhls für Prozessleittechnik, für die konstruktive Kritik und die Verbesserungsvorschläge zu dieser Arbeit bedanken.

Großer Dank geht zudem an meine Kollegen am Lehrstuhl. Es hat mich gefreut, mit euch zusammen zu arbeiten und den Arbeitsalltag zu bestreiten. Besonderer Dank gebührt Christian, Mahyar und Torben für die interessanten Diskussionen zu den Themen dieser Arbeit. Zudem danke ich Martina Uecker für die Unterstützung beim Aufbau des Demonstrators sowie Frau Margarete Milesco für die Unterstützung bei organisatorischen Angelegenheiten.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie für die moralische Unterstützung in den stressigen Zeiten der Promotion bedanken. Ihr habt mir in diesen Zeiten die Motivation gegeben, die Promotion zügig durchzuziehen.

Aachen, 2022

Lars Nothdurft

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Symbole	VIII
Kurzfassung	X
Abstract	XI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Struktur der Arbeit	2
2 Problembeschreibung und Anforderungen	3
2.1 Aufgabe des Plug and Produce	3
2.2 Informationsmodelle	5
2.3 Kommunikation	6
2.4 Prozessleittechnische Randbedingungen	7
2.5 Problemszenarien	8
2.6 Zusammenfassung	8
3 Grundlagen und Stand der Technik	9
3.1 Gerätebeschreibung	9
3.1.1 Geräterollen	9
3.1.2 Gerätetyp	10
3.1.3 Geräteklasse	11
3.1.4 Geräteinstanz	11
3.2 Beschreibung von Semantik	14
3.2.1 Merkmalbibliotheken	14
3.2.2 Strukturierung von Eigenschaftsaussagen	15
3.3 Informationsbereitstellung	17
3.3.1 Verwaltungsschalen	17
3.3.2 Engineering-Werkzeuge	17
3.4 Kommunikation	18
3.4.1 HART	18
3.4.2 Profibus	20
3.4.3 IP-Netzwerke	21
3.4.4 Profinet	21
3.4.5 OPC UA	22
3.5 NOA	23
3.6 FDI	26
3.6.1 FDI-Package	26
3.6.2 FDI Architektur	26

3.6.3	FDI Informationsmodell	28
3.7	MTP	28
3.8	Eigene Vorarbeiten	29
3.9	Andere Plug-and-Produce-Konzepte	30
3.9.1	Prozesstechnik	30
3.9.2	Fertigungstechnik	31
3.9.3	Zusammenfassung	33
4	Konzept	35
4.1	Akteure	35
4.1.1	Informationsmodelle	37
4.1.2	Akteure der operativen Ebene	37
4.1.3	Akteure der Managementebene	39
4.2	Plug-and-Produce-Ablauf	45
4.2.1	Sicherung, Außerbetriebnahme und Umbau	46
4.2.2	Anschlusserkennung und Identifikation	47
4.2.3	Rollenverknüpfung	49
4.2.4	Datenaggregation und Eignungsprüfung	51
4.2.5	Umkonfiguration	52
5	Übertragung des Konzepts auf technische Realisierungen	59
5.1	Umsetzung der Informationsmodelle	59
5.1.1	Modellierung der Geräterolle	59
5.1.2	Modellierung von Gerätetypen	61
5.1.3	Modellierung von Geräteinstanzen	62
5.1.4	Modellierung des Rollen-Managers	63
5.1.5	Modellierung der Kommunikationssysteme	64
5.2	Technologie-Mapping	66
5.2.1	Technologien für die Informationsbereitstellung	66
5.2.2	Technische Umsetzung der Netzwerkdienste	67
5.3	Anwendungsszenarien	71
5.3.1	Anwendungsfall 1: Feldgeräte mit konventioneller Verdrahtung	71
5.3.2	Anwendungsfall 2: Feldgeräte mit digitaler Prozesswertübertragung	75
5.3.3	Anwendungsfall 3: MTP-Module	78
6	Prototyp-Implementierung	81
6.1	Aufbau	81
6.2	Implementierung der Kernautomatisierungsseite	83
6.3	Implementierung des M+O-Servers	85
6.3.1	Verwaltungsschalen	85
6.3.2	PnP-Manager	86
7	Diskussion und Ausblick	88
7.1	Diskussion	89
7.2	Ausblick	89

A Anhang	91
A.1 Rollendaten für Anwendungsfälle 1 und 2	92
A.2 Zusätzliche Abbildungen zur prototypischen Implementierung	93
Literatur	94

Abkürzungen und Symbole

AP	Applikationsprozess
ASE	Applikationsdiensteinheit
AML	AutomationML
CAE	Computer Aided Engineering
CAEX	Computer Aided Engineering Exchange
CDD	Common Data Dictionary
DCP	Discovery and basic Configuration Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DT	Digital Twin
EDD	Electronic Device Description
EDDL	Electronic Device Description Language
FDI	Field Device Integration
FDT	Field Device Tool
FTP	File Transfer Protocol
HART	Highway Addressable Remote Transducer
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identifikator
IP	Internet Protocol
IRDI	International Registration Data Identifier
I&M	Identification & Maintenance
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
M+O	Monitoring and Optimization
MES	Manufacturing Execution System

MTP	Module Type Package
NOA	Namur Open Architecture
NS	Namespace
OPC	Open Platform Communications
OPC UA	OPC Unified Architecture
OPC UA LDS	OPC UA Local Discovery Server
OSI	Open Systems Interconnection
PA-DIM	Process Automation Device Information Model
PLS	Prozessleitsystem
PLT	Prozessleittechnik
PnP	Plug and Produce
PVS	Property Value Statement
R&I-Fließbild	Rohrleitungs- und Instrumentenfließbild
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
SSC	Sequential State Chart
TCP	Transmission Control Protocol
TSN	Time-Sensitive Networking
UDP	User Datagram Protocol
UML	Unified Modeling Language
URI	Uniform Resource Identifier
VoR	Verification of Request

Kurzfassung

Die Strategie Industrie 4.0 ist eine deutsche Initiative zum Vorantreiben der Vernetzung und Digitalisierung in der Industrie. Ein Konzept im Zusammenhang mit Industrie 4.0 ist das „Plug and Produce“, die automatisierte Integration von Komponenten in eine Produktionsumgebung. Bestehende Ansätze bauen meist auf modernen Technologien aus dem Industrie-4.0-Umfeld auf und sind zu bestehenden Anlagen nicht kompatibel. Existierenden Konzepten, die mit alten Technologien funktionieren, fehlt es hingegen an Flexibilität und Anwendungsbreite.

In dieser Arbeit wird ein allgemeines Plug-and-Produce-Konzept für Feldgeräte in der Prozesstechnik entwickelt. Das Konzept kann für die erste Inbetriebnahme sowie den Wechsel eines Geräts nach einem Ausfall genutzt werden. Zudem ist es in einer Weise konzipiert, dass es auch Bestandsanlagen mit älteren Technologien unterstützt.

Kern des Konzepts ist die explizite Betrachtung der funktionalen Aufgaben (Rollen) in der Anlage und die automatisierte Zuordnung von Geräten zu diesen Aufgaben. Die Zuordnung wird durch einen Abgleich von Anforderungen auf Seite der Rolle und Zusicherungen auf Seite des Geräts erzielt. Dabei wird zwischen Eigenschaften und Fähigkeiten unterschieden. Letztere spiegeln die Funktion des Geräts wider. Für die Formulierung der Anforderungen und Zusicherungen wird das Eigenschaftsausprägungsaussagen-Modell genutzt. Die Zusicherungen des Geräts werden in feste Merkmale des Gerätetyps und veränderliche Eigenschaften der Geräteinstanz (die Parameter) unterteilt. Für eine erfolgreiche Eingliederung muss die Konfiguration des Geräts angepasst sowie die Prozesskommunikation zwischen Gerät und überlagerter Steuerung hergestellt werden.

Das Konzept teilt sich in zwei Aspekte auf. Zunächst umfasst dies eine Betrachtung der benötigten Informationen und Funktionen der beteiligten Komponenten. Die Komponenten im Kontext des Konzepts sind die Rolle, der Gerätetyp, die Geräteinstanz sowie die Kommunikation. Der zweite Aspekt beschreibt die Prozedur, die zum Absolvieren eines PnP-Vorgangs durchlaufen wird. Die Prozedur wird in fünf Blöcke von Schritten unterteilt. Der erste Block regelt die Vorbereitung bei einem Gerätewechsel. Anschließend wird das neue Gerät in die Kommunikation eingebunden und identifiziert. Im Folgenden werden dem Gerät die Rollen zugeordnet, welche das Gerät übernehmen soll. Ob das Gerät die gewählten Rollen übernehmen kann, wird anhand einer Eignungsprüfung zwischen Anforderungen der Rolle und Zusicherungen des Geräts getestet. Abschließend wird das Gerät konfiguriert, die Anbindung an die Steuerung angepasst und die Kommunikation zwischen beiden aufgebaut.

Nach der Beschreibung des Konzepts wird dessen Umsetzung mit technischen Lösungen analysiert. Es wird untersucht, wie geforderte Funktionalitäten mit gängigen Technologien bereitgestellt werden können. Weiter wird die technische Realisierung anhand von Anwendungsfällen durchexerziert. Die Umsetzbarkeit wird zudem an einer prototypischen Implementierung demonstriert. Abschließend werden offene Punkte und Möglichkeiten zur Erweiterung des Konzepts diskutiert.

Abstract

The Industrie 4.0 strategy is a German initiative to drive forward networking and digitalization in industry. One concept related to Industrie 4.0 is 'Plug and Produce', the automated integration of components into a production environment. Existing approaches are mostly based on modern technologies from the Industrie 4.0 environment and are not compatible with existing plants. Existing concepts that work with old technologies, on the other hand, lack flexibility and application breadth.

In this work, a general Plug and Produce concept for field devices in process technology is developed. The concept can be used for initial commissioning as well as for changing a device after failure. Furthermore, it is designed in a way that it also supports existing plants with older technologies.

The core of the concept is the explicit consideration of functional tasks (roles) in the plant and the automated assignment of devices to these tasks. The assignment is achieved by matching requirements on the role side and assurances on the device side. A distinction is made between properties and capabilities. The latter reflect the function of the device. The property value statement model is used to formulate the requirements and assurances. The assurances of the device are divided into fixed characteristics of the device type and variable characteristics of the device instance (the parameters). For a successful incorporation, the configuration of the device must be adjusted and the process communication between the device and the higher-level controller must be established.

The concept is divided into two aspects. First, this includes a consideration of the required information and functions of the components involved. The components in the context of the concept are the role, the device type, the device instance, and the communication. The second aspect describes the procedure that is followed to complete a PnP sequence. The procedure is divided into five blocks of steps. The first block regulates the preparation in case of a device change. Then, the new device is included in the communication and identified. In the following, the device is assigned the roles that the device is to assume. Whether the device can assume the selected roles is tested by means of a suitability test between the requirements of the role and the assurances of the device. Finally, the device is configured, the connection to the controller is adapted and the communication between the two is established.

After describing the concept, its implementation is analyzed with technical solutions. It is examined how required functionalities can be provided by common technologies. Furthermore, the technical realization is demonstrated by means of use cases. The feasibility is also demonstrated using a prototype implementation. Finally, open points and possibilities for extending the concept are discussed.

