

Birgit Vogel-Heuser (Hrsg.)  
**Softwareagenten in der Industrie 4.0**

## Weitere empfehlenswerte Titel



*Automatisierungstechnik, 4. Auflage*

J. Lunze, 2016

ISBN 978-3-11-046557-0, e-ISBN (PDF) 978-3-11-046562-4,

e-ISBN (EPUB) 978-3-11-046566-2



*Computational Intelligence, 2. Auflage*

A. Kroll, 2016

ISBN 978-3-11-040066-3, e-ISBN (PDF) 978-3-11-040177-6,

e-ISBN (EPUB) 978-3-11-040215-5



*Handbuch der Künstlichen Intelligenz, 5. Auflage*

G. Görz, J. Schneeberger, U. Schmid (Hrsg.), 2013

ISBN 978-3-486-71307-7



*at- Automatisierungstechnik*

G. Bretthauer, 12 Hefte/Jahr

ISSN 0178-2312, e-ISSN 2196-677X

# **Softwareagenten in der Industrie 4.0**



Herausgegeben von  
Birgit Vogel-Heuser

**DE GRUYTER**  
OLDENBOURG

**Herausgeberin**

Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser  
Technische Universität München  
Lehrstuhl Automatisierung und Informationssysteme  
Fakultät für Maschinenwesen  
Boltzmannstraße 15  
85748 Garching bei München  
vogel-heuser@tum.de

ISBN 978-3-11-052445-1

e-ISBN (PDF) 978-3-11-052705-6

e-ISBN (EPUB) 978-3-11-052458-1

**Library of Congress Cataloging-in-Publication Data**

Names: Vogel-Heuser, Birgit, editor.

Title: Softwareagenten in der industrie 4.0 / Birgit Vogel-Heuser, editor.

Description: First edition. | Berlin/Boston : Walter de Gruyter GmbH, [2018] | Includes bibliographical references and index.

Identifiers: LCCN 2018010937 (print) | LCCN 2018013733 (ebook) | ISBN 9783110527056 (pdf) | ISBN 9783110524451 (softcover : alk. paper) | ISBN 9783110524581 (epub)

Subjects: LCSH: Operations research--Data processing. | Support services (Management)--Data processing. | Internet of things. | Artificial intelligence. | Raspberry Pi (Computer)

Classification: LCC T57.6 (ebook) | LCC T57.6 .S626 2018 (print) | DDC 658.4/034--dc23

LC record available at <https://lccn.loc.gov/2018010937>

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

© 2018 Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston

Umschlaggestaltung: PhonlamaiPhoto/iStock/Getty Images

Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Leck

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

# Einleitung

In Zeiten globaler Märkte und dem damit verbundenen weltweiten Wettbewerb, sowie immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigenden Anforderungen an Produkte, stehen Produzenten vor wachsenden Herausforderungen. Zudem fordert auch die dezentrale Steuerung des zukünftigen Energiemanagements immer agilere und leichter anpassbare Automatisierungssysteme, um die geforderte Flexibilität zu erreichen. Dies bedeutet gerade für die Entwickler klassischer Produktions- und Fertigungsanlagen große Herausforderungen. Doch auch gänzlich andere Domänen sind von diesem Wandel betroffen: So soll beispielsweise Strom gleichmäßiger in Netzen verteilt und eingespeist werden und in der Gebäudeautomation sollen sich Häuser möglichst energieeffizient selbst regulieren können. Einen oft genannten Lösungsvorschlag derartiger Problemstellungen stellen „Agentensysteme“ dar. Ein Agentensystem besteht aus einer Menge von Agenten – einer abgrenzbare Hardware und/oder Software mit definierten Zielen – die interagieren, um gemeinsam eine oder mehrere Aufgaben zu erfüllen. Mögliche Realisierungen eines Agentensystems wurden in der Vergangenheit bereits von vielen Forschungseinrichtungen sowie Unternehmen demonstriert. Mit Hilfe eines Agentensystems können Produktionssysteme flexibel an die sich wandelnden Anforderungen des Produkts, Prozesses oder der Ressource angepasst werden. Ähnlich, wie die Erfindung der Dampfmaschine das industrielle Zeitalter einläutete und die erste Montagelinie bei Ford den Weg zur Massenproduktion ebnete, soll in der Industrie 4.0 eine neue Ära der industriellen Produktion anbrechen. Fabriken sollen miteinander verknüpft sein, aber auch einzelne Produktionsbereiche, sowie Maschinen und Anlagen sollen miteinander in Kontakt stehen. Unter anderem mit Hilfe von Softwareagenten ist diese Vision keine reine Utopie mehr, sondern rückt in den Rahmen des Machbaren.

Der Schwerpunkt des VDI/VDE-GMA Fachausschusses 5.15 „Agentensysteme“ ist die Entwicklung agentenbasierter Applikationen in der Automatisierungstechnik. Im Fachausschuss beteiligen sich Mitglieder aus Universitäten und Forschungsinstituten sowie Hersteller und Anwender von Automatisierungssystemen an der Entwicklung neuartiger Ansätze, Anwendungen und Methoden von Agentensystemen in der Automatisierungstechnik. Als Ergebnis der Arbeiten liegen bereits drei Richtlinienblätter vor: VDI/VDE 2653 Blatt 1–3: Agentensysteme in der Automatisierungstechnik – Grundlagen, -Entwicklung und -Anwendung [1–3], die als Entscheidungshilfe bei der Erarbeitung und Anwendung von Agentensystemen in der Automatisierungstechnik dienen.

Im Rahmen des gemeinschaftlichen deutschlandweiten universitären Industrie 4.0-Demonstrators „myJoghurt<sup>1</sup>“ konnten erste Agentensysteme bereits erfolgreich in Betrieb genommen werden. Für die Quantifizierung der gewonnenen Flexibilität sowie Verfügbarkeit für ein Unternehmen durch die Einführung eines Agentensystems forscht der GMA FA 5.15 aktuell an Messmöglichkeiten, sogenannten Metriken. Durch die Anwendung verschiedener Metriken können Unternehmen bereits erste Berechnungen vornehmen, bei welcher Domäne sowie Produktionsanlage sich der Einsatz eines Agentensystems für das Unternehmen lohnt. Unabhängig von der jeweiligen Anwendungsdomäne konnten Muster (engl. Patterns) für das Agentensystem und Agenten an sich identifiziert werden. Diese Muster werden basierend auf bereits etablierten Mustern für verteilte Systeme (vgl. [4]) mit Hilfe von 14 Kriterien klassifiziert (siehe Tabelle 1).

Neben der Klassifikation der Muster eines Agentensystems sind Muster für die Teile des Systems, also die einzelnen Agenten, festzulegen. Dazu wird derzeit jedes der zwanzig vorliegenden Agentensysteme hinsichtlich der eingebundenen Agentenmuster verglichen und eine einheitliche Terminologie entwickelt. Die Ergebnisse sollen in das Richtlinienblatt 4 einfließen.

Eine erste Untersuchung von zehn Agentensystemen, die von Mitgliedern des GMA FA 5.15 durchgeführt wurde, weist als Hauptmotivation für die Einführung eines Agentensystems eine verbesserte Flexibilität (*Flexibility*) des Systems (acht von zehn Ansätze) auf gefolgt von der Verbesserung der Rekonfigurierbarkeit (*Reconfigurability*), Zuverlässigkeit (*Reliability und Dependability*) sowie Anpassbarkeit (*Adaptability*) (siehe Abbildung 1). Die hierbei angewandten Methoden und Techniken zur Erreichung dieser Anforderungen lassen sich in zehn Kategorien einteilen. Durch die Dezentralisierung der Steuerung, welche mit der Einführung eines Agentensystems einhergeht, gewinnen insbesondere Methoden zur Kommunikation, Verhandlung und Organisation innerhalb eines Agentensystems zunehmend an Bedeutung. Unerlässlich für die industrielle Einführung eines Agentensystems ist zudem die Entwicklung einer Schnittstelle zwischen dem Agentensystem und den Benutzern. Die Entwicklung einer solchen Schnittstelle wurde in allen untersuchten Ansätzen fokussiert. Die Untersuchung verdeutlicht die hohen Analogien der Zielstellungen sowie die dafür angewandten Methoden und Techniken eines Agentensystems und bekräftigt die Erstellung eines Musterkatalogs, mit welchem Softwareagenten aus wiederkehrenden Mustern für die jeweilige spezifische Anwendungsdomäne entwickelt werden können.

---

**1** Plattform Industrie 4.0 – Agentenbasierte Vernetzung von Cyber-Physischen Produktionssystemen (CPPS): <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/265-agentenbasierte-vernetzung-von-cyber-physischen-produktionssystemen-tu-muenchen/agentenbasierte-vernetzung-von-cyber-physischen-produktionssystemen.html>

**Tab. 1:** Klassifizierungskriterien für Muster von Multiagentensystemen (Kriterien mit \* basieren auf Eckert et al. [4]).

<b>Klassifizierungs-kriterium</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Beispiel</b>
<b>Musterkategorie*</b>	Vorteilhafte Funktionsmuster: Systemeigenschaften die durch Einsatz eines MAS erreicht werden können, wie bspw. Verbesserung der Flexibilität bzw. Anpassungsfähigkeit	Flexibilitätsmuster, Anpassungsfähigkeitsmuster, Zuverlässigkeitsmuster, Rekonfigurierbarkeitsmuster, Kommunikationsmuster
<b>Muster-Typ*</b>	Bezeichnung des Muster-Typen: Technologieunabhängige Aufgabe des MAS (klassifiziert)	Fehlertolerante Sensorik
<b>Muster-Name*</b>	Name des MAS Musters	Softsensor
<b>Musterbeschreibung</b>	Beschreibung der logischen Struktur (Welche Komponenten/Agenten beinhaltet das Muster?)	MAS mit 4 Elementen, die die Identifikation fehlerhafter Sensorik und deren automatische modellbasierte Ersetzung durch Softsensoren mit Zuverlässigkeit x% erlauben
<b>Kontext*/ Anwendungs-bereich</b>	Anwendungskontext des Entwurfsmusters	Verschiedene Domänen, z. B. Logistik, Verfahrenstechnik
<b>MAS-Architektur*</b>	Ansatz für Zustandekommen des Agentenverhaltens	Reaktiv / kognitiv / hybrid
<b>Lösung</b>	Graphische Darstellung der MAS-Architektur	Darstellung der Komponenten des MAS (Notation Klassendiagramm)
<b>Wissensbasis und -verarbeitung</b>	Wie ist das Wissen hinterlegt? Modelle, Regeln	Modell aus Engineering, Ontologie, Metamodell-Datenstruktur
	Wie erfolgt die Wissensverarbeitung? Mit welchen Methoden?	Inferenzmechanismen für Ontologien
<b>Lernen/Wissens-akquisition</b>	Methoden und Techniken zum Lernen der Fähigkeiten, der Wissensbasis	Maschinelles Lernen, neuronale Netze
<b>Implementierung</b>	Technologiespezifische Darstellung des MAS (Plattform, Sprachen)	Modell: SysML, Implementierungssprache IEC 61131-3
<b>Echtzeiteigenschaften</b>	Erfüllung der Anforderungen an Rezeitigkeit und Gleichzeitigkeit	Verwendung Ersatzsensor < 2 SPS-Zyklen < 40 ms
<b>Verlässlichkeit</b>	Anforderungen an Zuverlässigkeit, Wartbarkeit, Verfügbarkeit, Security und Safety	Softsensor kann Sensor mit Zuverlässigkeit von 85 % ersetzen
<b>Autonomie</b>	Eigenständigkeit/Unabhängigkeit bei Entscheidungen	Sensorersetzung nicht autonom, weil Anzahl der ersetzbaren Sensoren begrenzt
<b>Andere</b>	Weitere Kommentare	

Kategorie	Arbeiten	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Flexibility / Changeability</li> <li><input type="checkbox"/> Reliability</li> <li><input type="checkbox"/> Reconfigurability</li> <li><input type="checkbox"/> Adaptability / Agility</li> <li><input type="checkbox"/> Dependability</li> </ul>	[5] Wannagat, 2010	○ ● ●	x	x	x			x			x	
	[6] Schütz, 2011	○ ●	x		x		x		x	x		
	[7] Ulewicz, 2012	○ ●	x	x	x			x	x			x
	[8] Legat, 2014	○ ●	x		x			x	x	x		
	[9] Rehberger, 2016	○ ● ○	x	x	x		x	x	x	x	x	
	[10] Fischer, 2017	○ ● ○	x		x		x	x	x	x		x
	[11] Hoffmann, 2010	○ ●	x	x			x		x			x
	[12] Pech, 2010	○ ● ●				x	x	x	x			x
	[13] Ryashentseva, 2016	○ ● ●	●	x	x	x		x		x		x
	[14] Lüder, 2017	○ ● ●	●	x		x				x		x
	<b>Liste der angewandten Methoden und Techniken</b>	1. Implementierung auf heterogenen Plattformen										
		2. Prozess Synthese und Optimierung										
		3. Flexible Fertigungssysteme										
		4. Schnittstellen für Agenten und Menschen										
5. Semantische Modelle in einem MAS												
	6. Entscheidungsmechanismen (eines MAS bzw. Agenten)											
	7. Architekturen für die Implementierung von MAS in der Industrie											
	8. Cyber-Physische Produktionssysteme / Internet der Dinge											
	9. Agentenorientierte Softwareentwicklung (AOSE)											
	10. Kommunikation, Verhandlung & Organisation zwischen Agenten											

Abb. 1: Gegenüberstellung verschiedener Agentenansätze.

Mit dem vorliegenden Sammelwerk sollen unsere Erfahrungen bei der Entwicklung sowie dem Einsatz von Agenten zur Umsetzung des Paradigmas „Industrie 4.0“ aufgezeigt und zusammengefasst werden. Die Beiträge stammen von Mitgliedern des Fachausschusses 5.15 „Agentensysteme“ und bieten Einblicke in ein breites Spektrum aus Automatisierungstechnik und Energiemanagement.

Ob in der Anlagen- oder Gebäudeautomatisierung, im Energiemanagement oder in der Intralogistik – die Einsatzgebiete von Softwareagenten sind mannigfaltig. Die hier vorgestellten Beiträge stellen lediglich einen kleinen Ausschnitt dieser Möglichkeiten dar, bieten aber einen repräsentativen Überblick über Chancen und Herausforderungen von Agenten. Die in den letzten Jahrzehnten erfolgreich realisierten Agentensysteme werden somit systematisch zugänglich gemacht und bieten eine hervorragende technologische Basis für Industrie 4.0 bzw. Cyber-Physische Produktionssysteme.

Garching, Januar 2018

Birgit Vogel-Heuser, Sprecherin FA 5.15 Agentensysteme



## Literatur

- [1] VDI/VDE 2653 Blatt 1 (2010-06) Agentensysteme in der Automatisierungstechnik – Grundlagen.
- [2] VDI/VDE 2653 Blatt 2 (2012-01) Agentensysteme in der Automatisierungstechnik – Entwicklung.
- [3] VDI/VDE 2653 Blatt 3 (2012-03) Agentensysteme in der Automatisierungstechnik – Anwendung.
- [4] K. Eckert, T. Hadlich, T. Frank, A. Fay, C. Diedrich and B. Vogel-Heuser, „Design Patterns for Distributed Automation Systems with Consideration of Non-Functional Requirements,“ International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, 2012, pp. 1–7.
- [5] A. Wannagat, „Entwicklung und Evaluation agentenorientierter Automatisierungssysteme zur Erhöhung der Flexibilität und Zuverlässigkeit von Produktionsanlagen“, Dissertation, Lehrstuhl AIS, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität München, Sierke Verlag, 2010.
- [6] D. Schütz, M. Schraufstetter, J. Folmer, B. Vogel-Heuser, T. Gmeiner and K. Shea, „Highly reconfigurable production systems controlled by real-time agents, International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Toulouse, 2011, pp. 1–8.
- [7] S. Ulewicz, D. Schütz and B. Vogel-Heuser, „Design, implementation and evaluation of a hybrid approach for software agents in automation“, International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, Krakow, 2012, pp. 1–4.
- [8] C. Legat, B. Vogel-Heuser, „A Multi-Agent Architecture for Compensating Unforeseen Failures on Field Control Level“. In: T. Borangiu, D. Trentesaux, A. Thomas (eds.), „Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing and Robotics. Studies in Computational Intelligence“, Vol. 544. Springer, Cham., 2014.
- [9] S. Rehberger, L. Spreiter, B. Vogel-Heuser, „An agent-based approach for dependable planning of production sequences in automated production systems“, *Automatisierungstechnik (at)*, Vol. 66, Dezember, Oldenbourg Verlag, München, 2017.
- [10] J. Fischer, „Agent-based Automation Systems for Material Flow Systems That Enable an Easy Re-configuration of Material Handling Modules“, Master’s thesis, Lehrstuhl AIS, Fakultät Maschinenwesen, Technische Universität München, 2017.
- [11] M. Hoffmann, „Adaptive and Scalable Information Modeling to Enable Autonomous Decision Making for Real-Time Interoperable Factories,“ Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, RWTH Aachen, 2017.
- [12] S. Pech, „Agentenbasierte Informationsgewinnung für automatisierte Systeme“, Dissertation, Fakultät Elektrotechnik, Universität Stuttgart, 2014.
- [13] D. Ryashentseva, „Agents and SCT based self\* control architecture for production systems“, Dissertation, Institut IAF, Universität Magdeburg, 2016.
- [14] A. Lüder, A. Calá, J. Zawisza, R. Rosendahl, „Design pattern for agent based production system control – a survey“, IEEE Conference on Automation Science and Engineering, Xi’an, China, 2017.



# Inhalt

Einleitung — V

Autorenverzeichnis — XV

Thomas Aicher, Daniel Regulin und Birgit Vogel-Heuser

## **1 Dynamische Anbindung und automatische Konfiguration modularer Intralogistiksysteme mittels Agenten — 1**

- 1.1 Einleitung — 1
- 1.2 Anforderungen des modellbasierten Ansatzes — 3
- 1.3 Stand der Technik — 5
- 1.4 Modellbasierte Entwicklung von Modulen — 8
- 1.5 Evaluation der Rekonfigurationsdauer — 12
- 1.6 Zusammenfassung und Ausblick — 17

Literatur — 18

Theresa Beyer, Ramin Yousefifar, Karl-Heinz Wehking und Peter Göhner

## **2 Agentenbasierte Planung von Intralogistiksystemen — 21**

- 2.1 Einleitung — 21
- 2.2 Stand der Technik in der Planung von Intralogistiksystemen — 23
- 2.3 Struktur von Intralogistiksystemen — 25
- 2.4 Assistenzsystem zur Planung von Intralogistiksystemen — 26
- 2.5 Wissensmodellierung — 30
- 2.6 Umsetzung mithilfe von Softwareagenten — 31
- 2.7 Realisierung des Prototyps — 35
- 2.8 Vereinfachtes Anwendungsbeispiel — 35
- 2.9 Fazit und Ausblick — 40
- 2.10 Danksagung — 41

Literatur — 41

Max Hoffmann, Tobias Meisen und Sabina Jeschke

## **3 Agent OPC UA — 43**

- 3.1 Einleitung und Motivation — 43
- 3.2 Von der vertikalen Integration zu einer intelligenten Vernetzung — 47
- 3.3 Agent OPC UA – Ein skalierbarer Ansatz zur Integration von Multiagentensystemen in reale Produktionsanlagen — 55
- 3.4 Systemübergreifende Nutzung von Agenten zur intelligenten Produktionssteuerung — 59
- 3.5 Zusammenfassung und Ausblick — 64

Literatur — 65

Thorsten Schöler, Sebastian Pröll, Lucas Kögel und Thomas Hanka

**4 Software-Agenten zur Integration von Prozessen in der Fertigungs- und Gebäudeautomatisierung — 67**

- 4.1 Einleitung — 67
- 4.2 Anwendungsfälle — 68
- 4.3 Systemarchitektur zur Sensordatenfusion — 74
- 4.4 Datenmodell — 76
- 4.5 Beispielhafte Prozesse — 79
- 4.6 Datenauswertung — 83
- 4.7 Zusammenfassung und Ausblick — 87

Literatur — 87

Alexander Faul, Theresa Beyer, Matthias Klein, Desirée Vögeli, Rene Körner und Michael Weyrich

**5 Eine agentenbasierte Produktionsanlage am Beispiel eines Montageprozesses — 89**

- 5.1 Einleitung — 89
- 5.2 Aufbau der Modellanlage — 90
- 5.3 Agentenkonzept zur Steuerung — 93
- 5.4 Realisierung — 100
- 5.5 Anwendungsbeispiel — 102
- 5.6 Erweiterungen der Produktionsanlage — 105
- 5.7 Fazit — 106

Literatur — 107

Robert Brehm, Mareike Redder, Dmitry Kazakov und Cecil Bruce-Boye

**6 Agentenbasierte Regelung von Energieflüssen in Verteilnetzen durch ein Softwarebussystem — 109**

- 6.1 Zukünftige Energienetze — 109
- 6.2 Koordinierte Planung verteilter Speicherkapazitäten — 114
- 6.3 Implementierung der verteilten Steuerung durch eine verteilte Middleware — 119
- 6.4 Schlussbetrachtung — 123

Literatur — 124

Marco Schaarschmidt, Clemens Westerkamp und Hans Knöchel

**7 Anbindung von Software-Agenten an Sensorknoten und mobile Systeme — 125**

- 7.1 Einleitung — 125
- 7.2 Anwendungsfälle und Anforderungen — 126
- 7.3 Anforderungen an die Architektur — 129
- 7.4 Stand der Technik — 131

7.5 Architekturkonzept für ein intelligentes Sensor-Aktor-Netz — 134

7.6 Ergebnisse — 141

7.7 Fazit und Ausblick — 146

Literatur — 147

**Stichwortverzeichnis — 149**



# Autorenverzeichnis

**Dipl.-Ing. Theresa Beyer**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
ias@ias.uni-stuttgart.de

**Professor Dr.-Ing. Dr. h. c. Karl-Heinz Wehking**

Institut für Fördertechnik und Logistik  
Holzgartenstr. 15b  
70174 Stuttgart  
Karl-Heinz.Wehking@ift.uni-stuttgart.de

**M. Sc. Ramin Yousefifar**

Institut für Fördertechnik und Logistik  
Holzgartenstr. 15b  
70174 Stuttgart  
institut@ift.uni-stuttgart.de

**Professor Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
peter.goehner@ias.uni-stuttgart.de

**Dipl.-Ing. Alexander Faul**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
alexander.faul@ias.uni-stuttgart.de

**M. Sc. Matthias Klein**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
matthias.klein@ias.uni-stuttgart.de

**M. Sc. Desirée Vögeli**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
desiree.voegeli@ias.uni-stuttgart.de

**M. Sc. Rene Körner**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart

**Professor Dr.-Ing. Michael Weyrich**

Institut für Automatisierungstechnik und  
Softwaresysteme  
Pfaffenwaldring 47  
70550 Stuttgart  
michael.weyrich@ias.uni-stuttgart.de

**Dr. Robert Brehm**

SDU Mechatronics  
Mads-Clausen-Institutet  
Alsion 2  
6400 Sønderborg  
Denmark  
brehm@mci.sdu.dk

**M. Sc. Mareike Redder**

Fachhochschule Lübeck  
Kompetenz- und Wissenschaftszentrum für  
intelligente Energienutzung  
Mönkhofer Weg 239  
23562 Lübeck  
mareike.redder@fh-luebeck.de

**Dr. Dmitry Kazakov**

cbb Software GmbH  
Isaac-Newton-Straße 8  
23562 Lübeck

**Professor Dr.-Ing. Cecil Bruce-Boye**

Fachhochschule Lübeck  
Kompetenz- und Wissenschaftszentrum für  
intelligente Energienutzung  
Mönkhofer Weg 239  
23562 Lübeck  
cecil.bruce-boye@fh-luebeck.de

**M. Sc. Marco Schaarschmidt**  
Hochschule Osnabrück  
Laborbereich Technische Informatik  
m.schaarschmidt@hs-osnabrueck.de

**Professor Dr.-Ing. Clemens Westerkamp**  
Hochschule Osnabrück  
Laborbereich Technische Informatik  
c.westerkamp@hs-osnabrueck.de

**B. Sc. Hans Knöchel**  
Hochschule Osnabrück  
Laborbereich Technische Informatik  
hans.knoechel@hs-osnabrueck.de

**Professor Dr.-Ing. Hon. Dr. of ONPU  
Thorsten Schöler**  
Hochschule Augsburg  
Distributed Systems Group  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg  
thorsten.schoeler@hs-augsburg.de

**M. Sc. Sebastian Pröll**  
Hochschule Augsburg  
Distributed Systems Group  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg  
sebastian.proell@hs-augsburg.de

**M. Sc. Lucas Kögel**  
Hochschule Augsburg  
Distributed Systems Group  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg

**M. Sc. Thomas Hanka**  
Hochschule Augsburg  
Distributed Systems Group  
An der Hochschule 1  
86161 Augsburg

**Dipl.-Ing. MBA Max Hoffmann**  
RWTH Aachen  
Informationsmanagement im Maschinenbau  
Technologiezentrum am Europaplatz  
Dennewartstraße 27  
52068 Aachen  
Max.Hoffmann@ima-zlw-ifu.rwth-aachen.de

**Prof. Dr.-Ing. Tobias Meisen**  
RWTH Aachen  
Informationsmanagement im Maschinenbau  
Technologiezentrum am Europaplatz  
Dennewartstraße 27  
52068 Aachen  
tobias.meisen@ima-zlw-ifu.rwth-aachen.de

**Professor Dr. rer. nat. Sabina Jeschke**  
RWTH Aachen  
Cybernetics Lab IMA/ZLW & IfU  
Technologiezentrum am Europaplatz  
Dennewartstraße 27  
52068 Aachen  
sabina.jeschke@ima-zlw-ifu.rwth-aachen.de

**Dr.-Ing. Thomas Aicher**  
TU München  
Automatisierung und Informationssysteme  
Boltzmannstr.15  
85748 Garching  
aicher@ais.mw.tum.de

**M. Sc. Daniel Regulin**  
TU München  
Automatisierung und Informationssysteme  
Boltzmannstr.15  
85748 Garching  
d.regulin@gmail.com

**Professor Dr.-Ing. Birgit Vogel-Heuser**  
TU München  
Automatisierung und Informationssysteme  
Boltzmannstr.15  
85748 Garching  
vogel-heuser@tum.de



Thomas Aicher, Daniel Regulin und Birgit Vogel-Heuser

# 1 Dynamische Anbindung und automatische Konfiguration modularer Intralogistiksysteme mittels Agenten

**Zusammenfassung:** Automatisierte intralogistische Anlagen werden für jeden Einsatzfall individuell projiziert, um die spezifischen Kundenanforderungen optimal umzusetzen. Aus diesem Grund wird eine erhöhte Flexibilisierung von intralogistischen Anlagen benötigt. Ein wichtiger Bestandteil zur Realisierung der damit einhergehenden Herausforderungen ist die Verbesserung der Wiederverwendbarkeit von Steuerungssoftware sowie die Beherrschung der steigenden Komplexität, welche u. a. bei der Entwicklung des Materialflusssystems in den Domänen Elektrik/Elektronik, Mechanik und insbesondere Softwareentwicklung, auftritt. Dieser Beitrag stellt einen modellbasierten Engineering-Ansatz basierend auf einem geeigneten Metamodell vor, um die Architektur und Schnittstellen solcher Module zu definieren. Dadurch ist eine Reduzierung des Engineering-Aufwands für die Entwicklung eines flexiblen Materialflusssystems möglich. Die dafür notwendigen Wissensbasen der Agenten in einem Multi-Agenten-System können automatisch aus dem Modell abgeleitet werden. Da die flexible Zusammenstellung der Module ohne (Re-)Programmierung durchgeführt werden soll, wird ein intelligentes Agenten-basiertes Steuerungskonzept eingeführt. Abhängig vom Wissen der Agenten kann eine Online-Systemkonfiguration durchgeführt werden. Für die Online-Definition von Schnittstellen besitzen die Agenten zudem Kenntnis über Ihre geometrische Position. Weiterhin wird ein Kommunikationskonzept vorgestellt, das die Synchronisation von Modulschnittstellen in Echtzeit durchführt. Der Ablauf der Rekonfiguration wird an zwei Beispielen für das Hinzufügen oder Entfernen eines Moduls aufgezeigt. Die Dauer für die Rekonfiguration und die dadurch einhergehende Performanz des „Plug & Play“-Verfahrens wird ebenfalls vorgestellt.

## 1.1 Einleitung

Das steigende Bedürfnis nach kundenspezifischen Produkten erfordert ein neues Maß an Flexibilität in der Produktion, weshalb die Produktionsschritte zum Zusammenbau oder zur maschinellen Fertigung von Produkten an die Produkthanforderungen anpassbar zu gestalten sind. Aufgrund dieses Trends wird ein flexibles Logistikkonzept für den Materialfluss zwischen Maschinen und Montagestationen benötigt. Industrielle Materialflusssysteme (MFS), wie beispielweise Intralogistiksysteme, können sehr komplex werden und bedürfen ständiger Anpassung, wenn sie alle Transportrouten abdecken sollen, die je nach Produktkonfiguration und Produktfortschritt variieren.