

Reihe 22

Mensch-Maschine-
Systeme

M.Sc. Max Birtel,
St. Ingbert

Nr. 39

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion



Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAISERSLAUTERN

DISSERTATION

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion

Vom Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
der Technischen Universität Kaiserslautern
zur Verleihung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

genehmigte
Dissertation

von

Max Birtel, M. Sc.

aus St. Ingbert

Tag der mündlichen Prüfung: 13.10.2020

Dekan: Prof. Dr.-Ing. Tilmann Beck

Promotionskommission:

Vorsitzende Prof. Dr.-Ing. Kristin De Payrebrune

1. Berichterstatter Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski

2. Berichterstatter Prof. Dr. Antonio Krüger

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 22

Mensch-Maschine-
Systeme

M.Sc. Max Birtel,
St. Ingbert

Nr. 39

Systemstruktur zur
Bereitstellung von
Informationsservices für
den Menschen in der
modularen Produktion



Werkzeugmaschinen
und Steuerungen
TU KAISERSLAUTERN

Birtel, Max

Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices für den Menschen in der modularen Produktion

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 22 Nr. 39. Düsseldorf: VDI Verlag 2020.

154 Seiten, 83 Bilder, 16 Tabellen.

ISBN 978-3-18-303922-7, ISSN 1439-958X,

€ 57,00/VDI-Mitgliederpreis € 51,30.

Für die Dokumentation: Modularer Shopfloor – Dezentrale Produktion – Industrie 4.0 – Digitalisierung – Cyber-Physische Produktionsmodule – Informationsservice – herstellerübergreifender Prototyp – Selbstbestimmung des Mitarbeitenden

Die vorliegende Arbeit wendet sich an Ingenieure und Wissenschaftler im Bereich der Digitalisierung in der Produktion. Sie befasst sich mit dem Paradigma der Selbstbestimmung des Mitarbeitenden in der modularen Produktionsumgebung. Eine modulare Produktion ist in diesem Kontext durch eine zunehmende Dezentralisierung mit Cyber-Physischen Produktionsmodulen geprägt. Zur Realisierung der Selbstbestimmung wird ein Informationsservice definiert, der eine Kombination aus Mitarbeitenden, Information und dazugehöriger Interaktion darstellt. Der Prozess des Anlegens und Löschsens des Informationsservice sowie die dazu notwendige Systemstruktur wird erforscht und modelliert. Im Fokus steht eine herstellerübergreifende Realisierung, die durch eine prototypische Implementierung in einer modularen Testumgebung evaluiert wird.

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek 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 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 <http://dnb.ddb.de>.

Dissertation Technische Universität Kaiserslautern

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2020

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.

ISSN 1439-958X

ISBN 978-3-18-303922-7

Vorwort des Verfassers

Bereits während meines Studiums hat mich das Thema des Internets der Dinge bzw. Industrie 4.0 fasziniert. Durch die Kombination von Internet und Smartphone wurde den Menschen eine einfache und intuitive Möglichkeit zuteil, selbstbestimmt an Informationen zu gelangen. Die hier vorliegende Dissertation überträgt dieses Paradigma auf den Kontext der modularen und herstellerübergreifenden Produktionsumgebung. Die Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Researcher bei der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. sowie im Forschungsbereich Innovative Fabrikssysteme (IFS) am Deutschen Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI).

Für die Betreuung der Arbeit bedanke ich mich insbesondere bei Herrn Professor Ruskowski für die aufgebrachte Zeit und das entgegengebrachte Interesse zum Thema der Arbeit. Ebenfalls Dank aussprechen, möchte ich Herrn Professor Zühlke, der mir durch die Anstellung bei der SmartFactory KL die Möglichkeit zur Promotion eröffnete. Beiden danke ich ebenfalls für das Vertrauen, welches ich durch die Übertragung von Projekt- und Führungsverantwortung erfahren durfte. Dies hat meine fachliche und persönliche Weiterentwicklung stark vorangetrieben. Bei Herrn Professor Krüger möchte ich mich herzlich für die Anfertigung des Zweitgutachtens dieser Arbeit bedanken. Selbstredend gilt mein Dank auch Frau Professorin De Payrebrune für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Mein Dank gilt auch allen Kollegen, die mich über die Jahre in der SmartFactory KL und am IFS begleitet haben. Die Zusammenarbeit war stets vorbildlich, wodurch auch arbeitsintensive Phasen mit Bravour gemeistert werden konnten. Besonders erwähnen möchte ich dabei Jesko Hermann, Patrick Bertram, Dr. Florian Mohr, Alexander David, Pascal Rübel, William Motsch, Keran Sivalingam, Christian Kränzler und Manuel Heid. Weiterer Dank gilt den ehemaligen Kollegen Dr. Dennis Kolberg, Dr. Fabian Quint, Dr. Stephan Weyer, Dr. Marius Orfgen und André Hennecke, die insbesondere in der Anfangszeit wertvolles Feedback gaben. Zusätzlich Danke sagen möchte ich den Studenten Sebastian Gaag, Kevin Harnasch und Sebastian Badour, die mich bei der Realisierung des prototypischen Demonstrators unterstützten.

Final möchte ich meiner Familie und meiner Partnerin danken, die in den letzten Jahren sehr viel Verständnis aufgebracht haben und mich stets motiviert sowie in schweren Phasen der Arbeit mental unterstützt haben.

Mein allergrößter Dank gilt dabei meinen Eltern, die mich bereits seit frühen Jahren prägten und mir die Möglichkeit einer reibungslosen Ausbildung, bis hin zur Promotion, geschenkt haben. Sie haben mir stets den Rücken gestärkt und tragen einen maßgeblichen Anteil am erfolgreichen Abschluss meiner Promotion. Ich widme Ihnen diese Arbeit.

St. Ingbert, im Oktober 2020

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	VIII
Abstract.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Symbolverzeichnis	X
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Forschung.....	5
2.1 Auswirkungen der Digitalisierung auf die Produktionsumgebung.....	5
2.1.1 Ansätze zur Umsetzung von modularen Produktionsumgebungen.....	7
2.1.2 Architekturansätze für modulare Produktionsumgebungen.....	8
2.1.3 Informationstechnische Beschreibung von Produktionsressourcen	12
2.1.4 Informationsmodelle und -modellierung	16
2.1.5 Kommunikationsprotokolle für die Industrie 4.0 Produktion	20
2.1.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen	23
2.2 Rolle und Integration des Menschen in die modulare Produktion	23
2.2.1 Das Mensch-Maschine-System.....	24
2.2.2 Mensch-Maschine Interaktionsmöglichkeiten	26
2.2.3 Veränderungen der Mitarbeiterrolle durch die Digitalisierung.....	28
2.2.4 Rollenmodelle und Aufgabenfelder.....	31
2.2.5 Anforderungen an die Informationsbereitstellung auf dem Shopfloor	34
2.2.6 Zusammenfassung und auftretende Herausforderungen	39
3 Forschungsziele, Vorgehensweise und Modellierungstechniken	41
3.1 Forschungsziele.....	41
3.2 Vorgehensweise.....	44
3.3 Modellierungstechniken	45
4 Erforschung einer Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor	48
4.1 Systemabgrenzung und Anforderungsanalyse	48

4.1.1	Formale Systemgrenze der Systemstruktur.....	49
4.1.2	Nicht-funktionale Anforderungen	51
4.2	Prozessbeschreibung und funktionales Verhaltensmodell	55
4.3	Entwicklung der übergeordneten Systemstruktur	57
4.3.1	Anforderungen an die CPPM zur Interaktion mit dem Mitarbeiter	58
4.3.2	Spezifizierung für die Bereitstellung von Informationsservices	61
4.4	Modellierung der Teilsystemkomponenten	65
4.4.1	Benutzungsschnittstelle	66
4.4.2	CPPM Informationen	69
4.4.3	Interaktionsdatenbank.....	75
4.4.4	Informationsservicedatenbank.....	82
4.4.5	Nutzermanagement	85
4.4.6	Middleware	91
4.5	Zusammenführen der Systemkomponenten und Wechselwirkungen	94
4.6	Zusammenfassung	99
5	Implementierung und Systemtests	100
5.1	Implementierung der Teilsystemkomponenten.....	103
5.1.1	Benutzungsschnittstelle	104
5.1.2	CPPM Informationen	107
5.1.3	Interaktionsdatenbank.....	110
5.1.4	Informationsservicedatenbank.....	113
5.1.5	Nutzermanagement	115
5.1.6	Middleware	117
5.2	Integration der Komponentenschnittstellen	118
5.3	Gesamtsystemtest der Systemstruktur	120
5.4	Validierung und Erweiterungspotenziale	123
5.4.1	Bewertung der nicht-funktionalen Anforderungen	123
5.4.2	Erweiterungspotenziale	125
6	Fazit und Ausblick	127
6.1	Fazit.....	127
6.2	Ausblick.....	128

7	Zusammenfassung	131
8	Literaturverzeichnis.....	133

Kurzfassung

Neue Produktionskonzepte erlauben es produzierenden Unternehmen flexibler auf Kundenanforderungen zu reagieren. Mithilfe der Digitalisierung und Modularisierung können Produktionslinien mit dezentrale Produktionsmodule realisiert werden, die jeweils unterschiedliche Fertigungsfunktionen aufweisen. Um den Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor zu unterstützen, muss ein selbstbestimmter Zugriff auf Informationen gewährleistet werden. Jeder Mitarbeiter verfügt über eine eigene Mitarbeiterrolle mit spezifischen Aufgaben, für die Informationen der Produktionsmodule oder der Produktionsprozesse notwendig sind. Die vorliegende Arbeit entwickelt eine Systemstruktur zur Bereitstellung von Informationsservices auf dem modularen Shopfloor. Ein Informationsservice wird als Kombination von Mitarbeiter, Information und Interaktion definiert. Eine Interaktion beschreibt, wie und in welcher Art und Weise die Information für den Mitarbeiter aktualisiert und bereitgestellt wird. Die Ergebnisse der Modellierung werden im Anschluss prototypisch implementiert und validiert. Hierfür wird eine existierende, modulare Produktionsumgebung verwendet. In einem Testszenario wird die Prozessbeschreibung des Anlegens und Löschsens eines Informationsservice erfolgreich durchgeführt. Für die Umsetzung wurde OPC UA als Kommunikationsprotokoll der Produktionsmodule und NoSQL-Datenbanken für die interne Bereitstellung der Daten der Systemstruktur verwendet. Für die menschen-zentrierte Darstellung wird JavaScript benutzt. Die Ergebnisse ermöglichen ein neues Paradigma der Selbstbestimmung von Mitarbeitern auf dem modularen Shopfloor zur selbstbestimmten Informationsbereitstellung.

Abstract

New production concepts enable producing companies to cope with customer demands in a more flexible way. With the modularization within the production environment, production lines can be broken up into decentralized production modules with individual functionalities. To integrate human workers on the shopfloor in this new sort of production environment, they need self-determined access to information. Each production worker has his own tasks and a specific role within the company. For these tasks, they need information about the production modules and the production process. This dissertation presents a system structure, which allows workers to choose an information and combine it with an interaction of their choice. An interaction defines, in what way and how often the information is shown to the worker. Further, an information service as a combination of an individual worker, a selected information and the combined interaction is defined. The implementation in a (brownfield) modular production environment is shown and validated by showing the process of adding and deleting information services. We use OPC UA as communication protocol for the information of the production modules, NoSQL databases to sort the information within the software architecture and JavaScript for the development of the human-centred, web-based frontend. The results deliver a new paradigm of self-determination for shopfloor workers in a modular production.

Abkürzungsverzeichnis

AA	Abstrakte Anforderungen
AIA	Asset Integration Architecture
CPPM	Cyber-Physisches Produktionsmodul
CPPS	Cyber-Physisches Produktionssystem
CPS	Cyber-Physische Systeme
FAE	Funktionale Anforderungen und Evaluationskriterien
HCPS	Human-Cyber-Physical-System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HMI	Human-Machine-Interface
IoT	Internet of Things
KPI	Key Performance Indicator
M2M	Machine-to-Machine
M+O	Monitoring- und Optimierungsebene
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
MTP	Modular Type Package
NFA	Nicht-funktionale Anforderungen
NOA	Namur Open Architecture
OMM	Object Memory Model
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
SA	Spezifizierte Anforderungen
UML	Unified Modeling Language
VWS	Verwaltungsschale

Symbolverzeichnis

Abkürzung	Variable
\vec{x}_n	Informationsservice auf dem modularen Shopfloor
M	Menge aller Informationsservices auf dem modularen Shopfloor
a	Ein Mitarbeiter auf dem modularen Shopfloor
b	Ein semantisch beschriebenes Informationselement
c	Ein Interaktionselement zur Verknüpfung von a und b
A	Menge aller Mitarbeiter a
B	Menge aller Informationselemente b
C	Menge aller Interaktionselemente c
R_n	Menge aller Informationsservices mit identischem a