

# Fortschritt-Berichte VDI

VDI

Reihe 20

Rechnerunter-  
stützte Verfahren

Nr. 465

Dipl.-Ing. Thomas Holm,  
Hamburg

## Aufwandsbewertung im Engineering modularer Prozessanlagen



Professur für Automatisierungstechnik  
Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse  
Institut für Automatisierungstechnik der  
Helmut-Schmidt-Universität /  
Universität der Bundeswehr Hamburg





HELMUT SCHMIDT  
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

## Aufwandsbewertung im Engineering modularer Prozessanlagen

Von der Fakultät für Maschinenbau

der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigte

DISSERTATION  
vorgelegt von

Dipl.-Ing. Thomas Holm

aus Eberswalde

Hamburg, 2016.

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas

Tag der mündlichen Prüfung:

22. Juli 2016

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 20

Rechnerunterstützte  
Verfahren

Dipl.-Ing. Thomas Holm,  
Hamburg

Nr. 465

Aufwandsbewertung  
im Engineering  
modularer  
Prozessanlagen



Institut für Automatisierungstechnik der  
Helmut-Schmidt-Universität/  
Universität der Bundeswehr Hamburg

Professur für Automatisierungstechnik  
Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse

Holm, Thomas

## Aufwandsbewertung im Engineering modularer Prozessanlagen

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 465. Düsseldorf: VDI Verlag 2016.

166 Seiten, 45 Bilder, 30 Tabellen.

ISBN 978-3-18-346520-0, ISSN 0178-9473,

€ 62,00/VDI-Mitgliederpreis € 55,80.

**Für die Dokumentation:** Modularisierung – Wandlungsfähige Produktion – DIMA – MTP – Aufwandsbewertung – Effizientes Engineering – Industrie 4.0

Die vorliegende Arbeit untersucht die Vorteilhaftigkeit modularer verfahrenstechnischer Produktionsanlagen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Engineering-Aktivitäten im Gewerk Automatisierungstechnik. Insbesondere wird beleuchtet, wie groß der Anteil des zeitkritischen Anlagen-Engineerings ist, der durch die Verwendung von Modulen eingespart werden kann. Die Ergebnisse der Untersuchung beschreiben die Abhängigkeiten von den automatisierungstechnischen Auslegungsmöglichkeiten der Produktionsmodule und der Produktionsinfrastruktur. Letztendlich wird dargestellt, wie eine Verringerung des zeitkritischen Gesamtanlagen-Engineering auf 50% erreicht werden kann.

### 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

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2016

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 0178-9473

ISBN 978-3-18-346520-0

## Geleitwort der Herausgeber

Die Automatisierungstechnik ist ein komplexes und vielfältiges wissenschaftliches Gebiet. Am Institut für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg wird zum einen die Entwicklung neuer automatisierungstechnischer Methoden vorangetrieben, zum anderen wird die Automatisierung komplexer Produktionsprozesse bearbeitet. Die reale Umsetzung im Rahmen technischer Prozesse, insbesondere industrieller Produktionsprozesse, ist das Ziel des ingenieurwissenschaftlichen Wirkens und zugleich Gradmesser für seinen Erfolg.

Die Zeit zwischen der Entscheidung für den Neubau einer Anlage und dem Beginn der Produktion beträgt typischerweise mehrere Jahre. Auf dem „Tutting-Symposium“ wurde 2009 das Ziel einer Verkürzung dieser Zeit um 50% formuliert und die Modularisierung verfahrenstechnischer Anlagen vorgeschlagen, um Anlagen schneller planen und bauen zu können. Seitdem sind verschiedene verfahrenstechnische Modularisierungskonzepte verfolgt worden, und im Projekt DIMA wurde gemeinsam von der Firma WAGO mit der Technischen Universität Dresden und der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg ein Konzept zur automatisierungstechnischen Beschreibung und Integration von Modulen in eine modular aufgebaute Anlage entwickelt und prototypisch realisiert. Damit ist auch der Umbau einer verfahrenstechnischen Anlage durch Tausch von Modulen inkl. der Leit- und Steuerungstechnik innerhalb weniger Minuten möglich.

Herr Dr. Holm hat an dieser positiven Entwicklung durch seine Mitarbeit am Projekt DIMA großen Anteil. In seiner Dissertation hat er untersucht, in welchem Umfang sich durch das Konzept der modularen Anlage Aufwände für das Engineering der Automatisierungstechnik in den Zeitraum vor der Entscheidung für den Neubau einer Anlage verlagern lassen und sich so der Zeitraum bis zum Produktionsbeginn potentiell verkürzen lässt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vorverlagerung von 50% des Aufwands realistisch ist.

Die Herausgeber danken dem VDI-Verlag für die Möglichkeit einer breiten Veröffentlichung dieser Ergebnisse.

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay

Prof. Dr.-Ing. Klaus Krüger

## **Vorwort des Autors**

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Automatisierungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg von November 2011 bis August 2015.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Alexander Fay. Als Doktorvater hat er mich stets unterstützt, gefordert und gefördert. Mit zahlreichen fachlichen Gesprächen und Diskussionen hat er maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Professor Dr.-Ing. Leon Urbas danke ich zum einen für die Übernahmen des Zweitgutachtens und zum anderen für den zahlreichen fachlichen Austausch in den gemeinsamen Forschungsprojekten.

Herrn Prof. Dr. rer. nat. Markus Bause danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Des Weiteren möchte ich mich bei Michael Obst von der TU Dresden und Andreas Schadt von der Spiratec AG für die erfolgreiche Zusammenarbeit und fachlichen Austausch bedanken.

Selbstverständlich gilt meinen Mitarbeiterkolleginnen und Kollegen großer Dank für die gemeinsame Zeit am Institut. Besonderer Dank gilt Markus Göring, Frank Schumacher sowie Harald und Christiane Behrens, die mir beim Schreiben dieser Arbeit wertvolle Anmerkungen, Ratschläge und Korrekturhinweise gaben.

Besonderer Dank gilt meiner Familie und Freunden für die Zuversicht und die Unterstützung in den vergangenen Jahren.

Mein größter Dank gilt meiner Frau Martyna, die mich immer Unterstützt hat, die Höhen und Tiefen mit mir durchlebt hat und mir damit die nötige Kraft gab, alle Entbehrungen der letzten Jahre zu meistern.

Hamburg, im August 2016

Thomas Holm

## Inhalt

I.	Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1.	Einleitung .....	1
1.1.	Motivation .....	1
1.2.	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit.....	2
2.	Aufbau und Engineering automatisierter Produktionsanlagen.....	3
2.1.	Aufbau automatisierter Produktionsanlagen.....	3
2.2.	Grundlagen industrieller Automatisierungssysteme.....	4
2.3.	Engineering automatisierter Produktionsanlagen .....	7
2.3.1.	Was ist Engineering? .....	7
2.3.2.	Engineering verfahrenstechnischer Produktionsanlagen .....	9
2.3.3.	Abgrenzung des Anlagen-Engineerings von der Produktentwicklung .....	12
2.4.	Ansätze zur Verbesserung des Engineerings.....	14
2.4.1.	Entwicklung von Modellen .....	15
2.4.2.	Analyse von Prozessen .....	17
2.4.3.	Entwicklung von Methoden .....	18
2.4.4.	Entwurf von Systemstrukturen .....	19
2.5.	Zwischenfazit .....	22
3.	Modulare Produktionsanlagen .....	23
3.1.	Die Auffassung von Modularität.....	24
3.2.	Der Weg zur modularen Produktionsanlage .....	26
3.3.	Modulare wandlungsfähige Produktionsanlagen .....	28
3.4.	Modulare Produktionsanlagen im Kontext von Industrie 4.0 .....	33
3.5.	Anwendungsbereiche modularer verfahrenstechnischer Produktionsanlagen .....	36
3.6.	Zwischenfazit .....	39
4.	Stand der Forschung im Engineering modularer Produktionsanlagen.....	40
4.1.	Stand der Forschung modularer verfahrenstechnischer Produktionsanlagen .....	40
4.2.	Plug-and-Produce - Ansätze und Technologien zur Integration von Modulen.....	46
4.2.1.	Anforderungen der NE 148 .....	47
4.2.2.	Herausforderung des Plug-and-Produce.....	48
4.2.3.	Vereinheitlichte Kommunikationsprotokolle und -architekturen .....	49
4.2.4.	Beschreibungsmittelbasierte Middlewares und alternative Systemarchitekturen	49

---

4.2.5. Zusammenfassung und Auswirkungen auf das Engineering.....	53
4.2.6. Vertiefende Betrachtung des DIMA-Ansatzes .....	61
4.3. Der Aufwand und dessen Bestimmung .....	63
4.3.1. Die Auffassung von Aufwand .....	63
4.3.2. Bestimmung von Aufwand .....	65
4.3.3. Aufwand im Engineering modularer Produktionsanlagen.....	67
4.3.4. Fazit der Bestimmung von Aufwänden im Engineering .....	70
4.4. Handlungsbedarf und These.....	70
5. Systematische Aufwandsbewertung von Engineering-Aktivitäten.....	72
5.1. Einfluss des Modul-Automatisierungssystems.....	73
5.2. Einfluss des Standardisierungsgrades .....	74
5.3. Systematisches Vorgehen zur Bewertung von Einzelaktivitäten der NA35 .....	75
5.4. Bewertung der Einzelaktivitäten der NA 35 .....	79
5.4.1. Grundlagenermittlung.....	79
5.4.2. Vorplanung .....	81
5.4.3. Basisplanung.....	83
5.4.4. Ausführungsplanung .....	87
5.4.5. Errichtung .....	94
5.4.6. Inbetriebsetzung .....	101
5.4.7. Projektabschluss.....	104
5.5. Zwischenfazit .....	105
6. Entstehende Engineering-Prozesse .....	106
6.1. Vertiefende Betrachtung des Modul-Engineerings.....	107
6.2. Vertiefende Betrachtung des Anlagen-Engineerings .....	111
6.2.1. Anlagen-Engineering bei erstmaliger Erstellung der Gesamtanlage .....	111
6.2.2. Anlagen-Engineering bei Umbau der Gesamtanlage .....	114
6.3. Quantitative Bewertung des Modul- und Anlagen-Engineerings .....	115
6.4. Fazit und Überprüfung der Thesen.....	118
7. Exemplarische Aufwandsbetrachtung im Engineering einer modularen Demonstrationsanlage .....	120
7.1. Vorstellung des Produktionsprozesses und der modularen Anlage .....	120
7.2. Engineering-Aktivitäten bei erstmaliger Erstellung des Filtermoduls.....	122
7.3. Engineering-Aktivitäten bei Erstellung der Beispielanlage .....	126

7.3.1. Engineering-Aktivitäten bei erstmaliger Erstellung der Beispielanlage.....	126
7.3.2. Engineering-Aktivitäten beim Modulwechsel.....	131
7.4. Verlagerbarer Engineering-Aufwand.....	133
8. Zusammenfassung, kritische Betrachtung und Ausblick.....	133
8.1. Zusammenfassung .....	133
8.2. Kritische Betrachtung .....	136
8.3. Ausblick.....	137
Anhang A: Bewertung der NA35 Einzelaktivitäten .....	139
Literaturverzeichnis.....	141
Normen- und Richtlinienverzeichnis .....	153
Verzeichnis der Veröffentlichungen des Verfassers.....	154
Verzeichnis der betreuten studentischen Arbeiten des Verfassers.....	157

## I. Abkürzungsverzeichnis

AML	Automation Markup Language
AT	Automatisierungstechnik
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CPPS	Cyber Physical Production System
CPS	Cyber Physical System
EA	Einzelaktivität
EO	Engineering-Organisation
EPC	Engineering-Procurement-Constructor
ERP	Enterprise Ressource Planning
FAT	Factory Acceptance Test
HMI	Human Machine Interface
i.S.v.	im Sinne von
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IPC	Industrie PC
MES	Manufacturing Execution System
PLS	Prozessleitsystem
PNK	Prozessnahe Komponente
R I/O	Remote I/O
R&I-Fließbild	Rohrleitungs- und Instrumentierungsfließbild
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition-System
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
u.v.m	und vieles mehr
z.Zt.	zur Zeit