

Reihe 20

Rechnerunter-  
stützte Verfahren

Dipl.-Math.techn. Jan Philipp Steinbach,  
Braunschweig

Nr. 463

## Konzept zur flexiblen Automatisierung von Instandhaltungs- prozessen kleinster Losgrößen in der Luftfahrtbranche

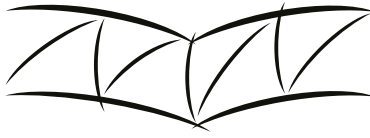


*Professur für Automatisierungstechnik*

*Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse*

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





HELMUT SCHMIDT  
UNIVERSITÄT

Universität der Bundeswehr Hamburg

# Konzept zur flexiblen Automatisierung von Instandhaltungsprozessen kleinster Losgrößen in der Luftfahrtbranche

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

Jan Philipp Steinbach  
aus Iserlohn

Hamburg 2015

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay  
Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Dezember 2015

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 20

Rechnerunterstützte  
Verfahren

Dipl.-Math.techn. Jan Philipp Steinbach,  
Braunschweig

Nr. 463

## Konzept zur flexiblen Automatisierung von Instandhaltungs- prozessen kleinster Losgrößen in der Luftfahrtbranche



*Professur für Automatisierungstechnik*

*Professur für Prozessdatenverarbeitung  
und Systemanalyse*

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

Steinbach, Jan Philipp

## **Konzept zur flexiblen Automatisierung von Instandhaltungsprozessen kleinster Losgrößen in der Luftfahrtbranche**

Fortschr.-Ber. VDI Reihe 20 Nr. 463. Düsseldorf: VDI Verlag 2016.

172 Seiten, 93 Bilder, 9 Tabellen.

ISBN 978-3-18-346320-6, ISSN 0178-9473,

€ 62,00/VDI-Mitgliederpreis € 55,80.

**Für die Dokumentation:** Automatisierungstechnik – MRO – Instandhaltung – Losgröße-1 – Luftfahrtbranche – Instandhaltungsprozess – flexible Automatisierung

Kleinste Losgrößen, viele Bauteilvarianten und ein hoher Anteil manueller Tätigkeiten sind charakteristisch für die Instandhaltungsprozesse in der Luftfahrtbranche. In der vorliegenden Arbeit wird ein Gesamtkonzept zur Automatisierung derartiger Prozesse vorgestellt. Das Konzept greift den Trend in der Automatisierungstechnik nach mehr Flexibilität auf und sieht den Einsatz einer prozessangepassten Automatisierungslösung in Form eines Informations- und Kommunikationssystems auf Prozessebene vor. Ein solches ermöglicht die gezielte Unterstützung des Facharbeiters durch die systematische Wiederverwendung von Prozesswissen und die Integration eines Systems zur Fehlervermeidung. Die Anwendung des Konzeptes und seiner einzelnen Lösungskomponenten wird anhand von Teilprozessen der Instandhaltung aufgezeigt.

### **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 978-3-18-346320-6

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay  
Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg

Tag der mündlichen Prüfung: 18. Dezember 2015

---

## 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.

Während die Automatisierung von Produktionsprozessen bereits umfangreich wissenschaftlich erforscht wurde, gibt es bisher nur wenige wissenschaftliche Arbeiten zur Automatisierung von Instandhaltungsprozessen, obwohl die Instandhaltung technischer Geräte und Anlagen einen bedeutenden Wirtschaftszweig darstellt. Diese Vernachlässigung von Seiten der automatisierungstechnischen Wissenschaft rührt u.a. daher, dass

- Instandhaltungsaufgaben meist sehr individuell sind,
- für Instandhaltungsaufgaben oft nicht auf eine EDV-gestützte Beschreibung des Gegenstands zurückgegriffen werden kann,
- die Folge instandzuhaltender Gegenstände durch den Instandhaltungsbedarf der Kunden determiniert ist und dadurch die Aufträge nicht nach gleichen Gegenständen geordnet sind, mithin die Gegenstände in „Losgröße 1“ zu bearbeiten sind.

Diese drei Besonderheiten des Instandhaltungsgeschäfts erschweren praktisch eine Automatisierung von Instandhaltungsprozessen und auch die systematische wissenschaftliche Erarbeitung von Automatisierungslösungen für die Instandhaltung.

Herr Dr. Steinbach hat in seiner hier veröffentlichten Arbeit einen methodischen Ansatz entwickelt, der trotz dieser Erschwernisse eine systematische Erschließung von Automatisierungspotential in Instandhaltungsprozessen ermöglicht. Er betrachtete dazu exemplarisch die Instandhaltung in der Luftfahrtindustrie, die gekennzeichnet ist durch besonders teure Objekte der Instandhaltung und besonders akribisch zu befolgende Instandhaltungsvorschriften.

Herr Dr. Steinbach hat sein Konzept exemplarisch bei einem Instandhaltungsunternehmen angewandt. Dabei konnten Prozessdurchführungszeiten systematisch und signifikant reduziert werden, und zwar unabhängig von der Qualifikation desjenigen, der mit diesem Verfahren arbeitet.

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

Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay



---

## 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. In diesem Vorwort möchte ich die Gelegenheit ergreifen, mich bei allen Personen zu bedanken, die zum Gelingen meines Promotionsvorhabens beigetragen haben.

Zuallererst möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay bedanken, der mir nicht nur die Mitarbeit an seiner Professur sondern auch an spannenden Forschungsprojekten ermöglicht hat. Durch seine Förderung, fachliche Forderung und Motivation hat er maßgeblich zum Gelingen meines Promotionsvorhabens beigetragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg danke ich für die Übernahme des Zweitgutachtens und das damit ausgedrückte Interesse an meiner Arbeit. Mein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Meywerk für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Weiterhin möchte ich mich bei Florian Hartung und Mehmet Soylu von der Lufthansa Technik AG für die erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken. Insbesondere Herrn Soylu gilt besonderer Dank für die unermüdliche Unterstützung und vor allem dafür, sein fundiertes Wissen und seine umfangreiche Erfahrung im Bereich der Instandhaltung von Luftfahrzeugen mit mir zu teilen.

Selbstverständlich möchte ich mich auch bei den ehemaligen Kollegen an der Professur für den fachlichen Austausch, die Diskussionen, die Kollegialität und die Zeit außerhalb der Arbeit bedanken. Weiterhin danke ich Anh Thu Do, Tobias Ernst, Arash Ramezani und Tobias Wolfanger für das Lektorat meiner Arbeit, vielzählige Diskussionen und die wertvolle Kritik.

Besonderen Dank möchte ich meiner Freundin Shima Ramezani aussprechen, die nicht zuletzt wegen ihrer Rücksichtnahme, ihrem Verständnis und ihrer Motivation sondern auch durch zahlreiche Diskussionen und Korrekturen maßgeblich zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen hat.

Mein letzter Dank geht an meine Familie und meine Freunde, die mich während der Erstellung dieser Arbeit stets unterstützten und mir den notwendigen Rückhalt gaben.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>VII</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Motivation und Problemstellung . . . . .	1
1.2. Zielsetzung . . . . .	2
1.3. Aufbau der Arbeit . . . . .	2
<b>2. Grundlagen zur Automatisierung von Prozessen in der Instandhaltung</b>	<b>4</b>
2.1. Informationstechnische Systeme im klassischen Produktionsumfeld . . . . .	5
2.2. Charakterisierung von Produktionsprozessen . . . . .	7
2.3. Modellierung von Prozessen . . . . .	15
2.4. Stand der Technik zur Instandhaltung von Luftfahrzeugen . . . . .	20
2.5. Analyse des Fallbeispiels eines MRO-Dienstleisters . . . . .	27
2.6. Ausgangssituation und Anforderungen der MRO-Branche . . . . .	41
2.7. Stand der Forschung zur Automatisierung von Prozessen im MRO . . . . .	46
2.8. Einordnung der Arbeit . . . . .	52
2.9. Schlussfolgerungen und Anforderungen . . . . .	56
<b>3. Automatisierung von Instandhaltungsprozessen</b>	<b>58</b>
3.1. Analyse des Automatisierungspotentials von Instandhaltungsprozessen . . . . .	58
3.2. Konzept zur Automatisierung eines Instandhaltungsprozesses . . . . .	64
3.3. Zusammenfassung . . . . .	66
<b>4. Prozessoptimierung durch Wiederverwendung</b>	<b>68</b>
4.1. Grundlagen der Komplexitätsbeherrschung . . . . .	68
4.2. Ansätze zur Prozessoptimierung durch Wiederverwendung . . . . .	73
4.3. Konzept zur Rüstzeitminimierung bei kleinen Losgrößen . . . . .	76
4.4. Konzept zur Optimierung der Roboterprogrammierung . . . . .	82
4.5. Zusammenfassung . . . . .	88
<b>5. Entwurf eines Systems zur Verifikation der Bauteilpositionierung</b>	<b>90</b>
5.1. Rahmenbedingungen und Anforderungen . . . . .	90
5.2. Stand der Technik der Objekterkennung . . . . .	91
5.3. Systementwurf . . . . .	98
5.4. Zusammenfassung . . . . .	105
<b>6. Informatisierung des Instandhaltungsprozesses</b>	<b>107</b>
6.1. Grundlagen einer Informatisierung . . . . .	107
6.2. Informations- und Kommunikationssysteme . . . . .	109
6.3. Entwurf eines IuK-Systems . . . . .	113

6.4. Zusammenfassung . . . . .	116
<b>7. Automatisierung im Fallbeispiel</b>	<b>118</b>
7.1. Automatisierung des Strahlprozesses in der Instandhaltung . . . . .	118
7.2. Experimentelle Validierung . . . . .	127
7.3. Übertragung des Ansatzes auf einen zerspanenden Instandhaltungsprozess	136
7.4. Zusammenfassung . . . . .	139
<b>8. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>141</b>
<b>A. Bauteilspezifikation der Validierung</b>	<b>143</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>144</b>
<b>Referenzierte Normen und Richtlinien</b>	<b>158</b>
<b>Referenzierte Patente</b>	<b>160</b>
<b>Referenzierte Internetquellen und Software</b>	<b>161</b>
<b>Veröffentlichungen des Verfassers</b>	<b>163</b>

---

# Verzeichnis der Abkürzungen

ARIS	Architekturintegrierte Informationssysteme
AW	Absicherungswerkzeuge
a. u.	Arbitrary units
CCD	Charge coupled device
CFRP	Carbon-fiber-reinforced plastic
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage
CIM	Computer-Integrated-Manufacturing
CMM	Component Maintenance Manual
CMOS	Complementary metal oxide semiconductor
CNC	Computerized Numerical Control
COSL	Component Operation Storage Limits
CPPS	Cyber-physisches Produktionssystem
CPS	Cyber-physisches System (siehe CPPS)
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EASA	European Aviation Safety Agency
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
eEPK	Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette
FFS	Flexibles Fertigungssystem
FIFO	First in first out
FPB	Formalisierte Prozessbeschreibung
HHR	Human Hybrid Robot
HMI	Human Machine Interface
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
ILA	Institut für Luftfahrtantriebe der Universität Stuttgart
IPK	Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik
ISA	Instrumentations, Systems, and Automation Society
IT	Informationstechnologie
IT-System	Informationstechnisches System
IuK-System	Informatons- und Kommunikationssystem
JAA	Joint Aviation Authorities
LHT	Lufthansa Technik AG
LuftBO	Betriebsordnung für Luftfahrtgerät
LuftGerPV	Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
MES	Machine Execution System
MRB	Maintenance Review Board
MRO	Maintenance Repair and Overhaul
MS	Maintenance Schedule

MSG	Maintenance Steering Group
MSG-3	Maintenance Steering Group 3 Analyse
NC-Maschine	Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine
NDT	Non-Destructive Testing
OCR	Optical character recognition
OEM	Original Equipment Manufacturer
OTED	One Touch Exchange of Die
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerungssystem
SMED	Single Minute Exchange of Die
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SVM	Sequential vector maschine
TPS	Toyota Produktions-System