

Reihe 20

Rechnerunter-
stützte Verfahren

Nr. 463

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

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



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

Professur für Automatisierungstechnik

Professur für Prozessdatenverarbeitung
und Systemanalyse



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 kleiner
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 führt 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

Verzeichnis der Abkürzungen	VII
1. Einleitung	1
1.1. Motivation und Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung	2
1.3. Aufbau der Arbeit	2
2. Grundlagen zur Automatisierung von Prozessen in der Instandhaltung	4
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
3. Automatisierung von Instandhaltungsprozessen	58
3.1. Analyse des Automatisierungspotentials von Instandhaltungsprozessen	58
3.2. Konzept zur Automatisierung eines Instandhaltungsprozesses	64
3.3. Zusammenfassung	66
4. Prozessoptimierung durch Wiederverwendung	68
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
5. Entwurf eines Systems zur Verifikation der Bauteilpositionierung	90
5.1. Rahmenbedingungen und Anforderungen	90
5.2. Stand der Technik der Objekterkennung	91
5.3. Systementwurf	98
5.4. Zusammenfassung	105
6. Informatisierung des Instandhaltungsprozesses	107
6.1. Grundlagen einer Informatisierung	107
6.2. Informations- und Kommunikationssysteme	109
6.3. Entwurf eines IuK-Systems	113

6.4. Zusammenfassung	116
7. Automatisierung im Fallbeispiel	118
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
8. Zusammenfassung und Ausblick	141
A. Bauteilspezifikation der Validierung	143
Literaturverzeichnis	144
Referenzierte Normen und Richtlinien	158
Referenzierte Patente	160
Referenzierte Internetquellen und Software	161
Veröffentlichungen des Verfassers	163

Verzeichnis der Abkürzungen

ARIS	Architekturentworfene Informationssysteme
AW	Absicherungswerzeuge
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	Informations- und Kommunikationssystem
JAA	Joint Aviation Authorities
LHT	Lufthansa Technik AG
LuftBO	Betriebsordnung für Luftfahrtgerät
LuftGerPV	Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät
LuftVG	Luftverkehrsgegesetz
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