

**Forschungsbericht  
Institut für Automatisierungstechnik  
und Softwaresysteme**

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich

Philipp Marks

**Softwaregestütztes  
Assistenzkonzept zur  
Modernisierung von  
Automatisierungssystemen**

Band 2/2020

Universität Stuttgart

# **Softwaregestütztes Assistenzkonzept zur Modernisierung von Automatisierungssystemen**

Von der Fakultät Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik  
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von  
Philipp Marks  
aus Göppingen

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay

Tag der mündlichen Prüfung: 14.07.2020

Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme  
der Universität Stuttgart

2020



IAS-Forschungsberichte

Band 2/2020

**Philipp Marks**

**Softwaregestütztes Assistenzkonzept zur  
Modernisierung von Automatisierungssystemen**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag  
Düren 2020

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2020

Copyright Shaker Verlag 2020

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7575-5

ISSN 1610-4781

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme (IAS) der Universität Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Michael Weyrich für die Betreuung dieser wissenschaftlichen Arbeit, die zahlreichen konstruktiven und wertvollen Anregungen und Diskussionen in den letzten Jahren sowie für die Übernahme des Hauptberichts.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay danke ich für die lehrreiche und angenehme Zusammenarbeit im DFG-Projekt FlexA, das entgegengebrachte Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Meinem Projektpartner im DFG-Projekt, Herrn Xuan Luu Hoang, danke ich herzlich für die gute Zusammenarbeit, die exklusive Stadtführung in Hamburg sowie nette Treffen in Stuttgart.

Bei meinen Kolleginnen und Kollegen bedanke ich mich für die gegenseitige Unterstützung und die freundschaftliche Atmosphäre am und auch außerhalb des IAS. Besonders danken möchte ich Herrn Dr.-Ing. Nasser Jazdi, der jederzeit ein offenes Ohr hatte und die Arbeit mit zahlreichen hilfreichen Anmerkungen unterstützt hat. Timo Müller danke ich für zahlreiche Diskussionen über meine Arbeit sowie die gründliche und kritische Durchsicht des Manuskripts.

Weiterhin möchte ich mich auch bei den zahlreichen Studierenden bedanken, die im Rahmen Ihrer Abschlussarbeit einen wesentlichen Beitrag zur technischen Umsetzung des Konzepts geleistet haben.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Frau Janina, meiner Familie, meinen Schwiegereltern und meinen Freunden für die Unterstützung, den Rückhalt und die Motivation.

Stuttgart, im Juli 2020

Philipp Marks



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	vii
Begriffsverzeichnis .....	viii
Zusammenfassung.....	x
Abstract.....	xi
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation und Problemstellung .....	1
1.2 Modernisierung von Automatisierungssystemen .....	2
1.3 Zielsetzung.....	3
1.4 Aufbau der Arbeit.....	4
<b>2 Modernisierungsprozess von Automatisierungssystemen: Grundlagen und Stand der Technik.....</b>	<b>6</b>
2.1 Ablauf des Modernisierungsprozesses .....	7
2.1.1 Spezifische Eigenschaften von Automatisierungssystemen in der diskreten Fertigung.....	8
2.1.2 Referenzprozess .....	10
2.1.3 Schwachstellen des Modernisierungsprozesses.....	12
2.2 Bestehende Ansätze zur Unterstützung des Modernisierungsprozesses .....	14
2.2.1 Ansätze zur Erkennung von Abweichungen zwischen Ist- und Sollzustand (Phase „Identification“) .....	14
2.2.2 Ansätze zur Generierung von Handlungsoptionen und zur Auswirkungsanalyse (Phase „Preparation“) .....	15
2.2.3 Ansätze zum Vergleich von Handlungsoptionen und zur Entscheidungsunterstützung (Phase „Decision“).....	19
2.3 Forschungslücke und Ableitung von Anforderungen.....	23
<b>3 Assistenzsysteme im Engineering: Grundlagen und Stand der Technik.....</b>	<b>26</b>
3.1 Allgemeine Aspekte von Assistenzsystemen .....	26
3.1.1 Definition von Assistenzsystemen.....	26
3.1.2 Automatisierungsgrad von Assistenzsystemen.....	27
3.1.3 Ablauf des Assistenzprozesses .....	28
3.1.4 Aufbau von wissensbasierten Systemen .....	29
3.2 Stand der Technik: Assistenzsysteme im Engineering.....	31
3.3 Grundlagen agentenbasierter Assistenzsysteme .....	34
3.3.1 Software-Agenten und Agentensysteme.....	35
3.3.2 Eigenschaften von Software-Agenten .....	35
3.3.3 Eignung von Agenten zur Realisierung von Assistenzsystemen.....	36



3.4	Stand der Technik: Agentenbasierte Assistenzsysteme.....	38
<b>4</b>	<b>Grobkonzept zur Strukturierung eines assistierten Modernisierungsprozesses .....</b>	<b>41</b>
4.1	Phasen des assistierten Modernisierungsprozesses .....	41
4.2	Unterstützbarkeit der Phasen durch ein Assistenzsystem.....	47
<b>5</b>	<b>Konzept des agentenbasierten Assistenzsystems.....</b>	<b>54</b>
5.1	Informationsquellen des Assistenzsystems.....	54
5.1.1	Modell des Automatisierungssystems .....	54
5.1.2	Produktionsanfrage .....	59
5.1.3	Domänenspezifisches Wissen.....	60
5.1.4	Erfahrungswissen.....	60
5.2	Methodischer Ablauf der Phasen des Modernisierungsplanungsprozesses.....	62
5.2.1	Phase 0: Erfassung des Ist-Zustands und Modellierung des Automatisierungssystems .....	62
5.2.2	Phase 1: Überprüfung des Modernisierungsbedarfs .....	63
5.2.3	Phase 2: Generierung von Modernisierungsmöglichkeiten .....	65
5.2.4	Phase 3: Bewertung von Modernisierungsmöglichkeiten .....	66
5.2.5	Phase 4: Entscheidung .....	71
5.2.6	Phase 6: Bewertung der Entscheidung.....	72
5.3	Architektur des Agentensystems .....	73
5.3.1	Architekturentscheidungen .....	73
5.3.2	Agentenrollen und Agententypen .....	75
5.3.3	Funktionales Verhalten des Agentensystems .....	78
5.3.4	Erweiterbarkeit und Übertragbarkeit der Architektur.....	82
<b>6</b>	<b>Realisierung des Assistenzkonzepts.....</b>	<b>83</b>
6.1	Realisierung des agentenbasierten Assistenzsystems .....	83
6.1.1	Übersicht.....	83
6.1.2	Realisierung des Informationsmodells.....	85
6.1.3	Eingabe der Produktionsanfrage.....	89
6.1.4	Generierung und Bewertung von Modernisierungsmöglichkeiten .....	90
6.1.5	Darstellung von Modernisierungsmöglichkeiten.....	92
6.1.6	Vorschlagsfunktion des Assistenzsystems.....	94
6.2	Realisierung der Simulation eines SPS-gesteuerten modularen Produktionssystems.....	95
6.2.1	Übersicht.....	95
6.2.2	Simulation in Unity.....	96
6.2.3	Simulation der SPS-Steuerung.....	97
<b>7</b>	<b>Evaluierung mithilfe von Modernisierungsszenarien.....</b>	<b>98</b>
7.1	Methodik der Evaluierung .....	98
7.2	Fallstudie 1: Handhabungs- und Bohrautomat .....	99
7.2.1	Beschreibung des Automaten .....	99
7.2.2	Modernisierungsszenarien .....	100
7.2.3	Modellierung des Automaten.....	101
7.2.4	Ergebnisse.....	103
7.2.5	Diskussion.....	106
7.3	Fallstudie 2: Simulation eines modularen Produktionssystems.....	108

7.3.1	Beschreibung des modularen Produktionssystems .....	109
7.3.2	Modernisierungsszenarien .....	109
7.3.3	Modellierung des modularen Produktionssystems .....	111
7.3.4	Ergebnisse .....	111
7.3.5	Diskussion .....	113
7.4	Evaluierung anhand der Anforderungen .....	114
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>117</b>
8.1	Zusammenfassung .....	117
8.2	Ausblick .....	119
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>123</b>
	<b>Anhang A: XML-Schema des Modells des Automatisierungssystems .....</b>	<b>136</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Aufbau der Arbeit .....	4
Abbildung 2.1:	Darstellung des PPR-Konzepts nach [ScDr09] .....	9
Abbildung 2.2:	Engineering Change Referenzprozess nach [WCBL15] .....	11
Abbildung 2.3:	Qualitative Darstellung von Parameterabhängigkeiten als MDM (links) und als Baumdiagramm (rechts) nach [HMWF17] und [HFMW17].....	18
Abbildung 2.4:	Visualisierung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit nach [VDI5201].....	23
Abbildung 3.1:	Automatisierungsgrade in Anlehnung an [ShVe78].....	27
Abbildung 3.2:	Vergleich der Klassifikationen zum Ablauf der Entscheidungsfindung. ....	28
Abbildung 3.3:	Aufbau von wissensbasierten Systemen.....	30
Abbildung 3.4:	Eigenschaften von Software-Agenten [Wagn08] .....	36
Abbildung 4.1:	Phasen des assistierten Modernisierungsprozesses.....	41
Abbildung 4.2:	Grobablauf der Phase 0 des Modernisierungsprozesses .....	42
Abbildung 4.3:	Grobablauf der Phase 1 des Modernisierungsprozesses .....	43
Abbildung 4.4:	Grobablauf der Phase 2 des Modernisierungsprozesses.....	44
Abbildung 4.5:	Grobablauf der Phase 3 des Modernisierungsprozesses .....	45
Abbildung 4.6:	Grobablauf der Phase 4 des Modernisierungsprozesses .....	46
Abbildung 4.7:	Grobablauf der Phase 5 des Modernisierungsprozesses .....	46
Abbildung 4.8:	Grobablauf der Phase 6 des Modernisierungsprozesses .....	47
Abbildung 5.1:	Bestandteile des Modells des Automatisierungssystems.....	55
Abbildung 5.2:	Formalisierte Prozessbeschreibung des Prozessschritts "Bohren" .....	59
Abbildung 5.3:	Beispielhafte Fälle der Wissensbasis für mechanische Änderungen sowie für Softwareänderungen .....	61
Abbildung 5.4:	Aktivitätsdiagramm für die Überprüfung des Modernisierungsbedarfs .....	63
Abbildung 5.5:	Modifizierte Produktionsanfrage mit Modernisierungsbedarf .....	65
Abbildung 5.6:	Aktivitätsdiagramm für die Generierung von Modernisierungsmöglichkeiten.....	66
Abbildung 5.7:	Aktivitätsdiagramm für die Bewertung von Modernisierungsmöglichkeiten ..	67
Abbildung 5.8:	Aktivitätsdiagramm für die Software-Aufwandsabschätzung .....	70
Abbildung 5.9:	Aktivitätsdiagramm für die Bereitstellung der Entscheidungsgrundlage.....	72
Abbildung 5.10:	Agententypen und die von ihnen vertretenen Rollen.....	76
Abbildung 5.11:	Agentenarchitektur des Assistenzsystems .....	78
Abbildung 5.12:	Sequenzdiagramm der Agentenkommunikation.....	80
Abbildung 5.13:	Zusammenfassung des Assistenzkonzepts zur Modernisierung automatisierter Systeme unter Einbeziehung der Informationsquellen, des methodischen Ablaufs und der Architektur des Agentensystems.....	81
Abbildung 6.1:	Aufbau des Assistenzsystems und verwendete Austauschformate der Bestandteile des Informationsmodells .....	84
Abbildung 6.2:	Flussdiagramm des Assistenzsystems .....	84
Abbildung 6.3:	Verwaltung einer Ressource im PPR Model Manager .....	86
Abbildung 6.4:	Verwaltung von Topologieinformationen im PPR Model Manager .....	86
Abbildung 6.5:	Auszug aus den Vorbedingungen für die Prozesse Drehen und Bohren .....	88
Abbildung 6.6:	Klassenstruktur des Modells des Automatisierungssystems .....	89
Abbildung 6.7:	Eingabe einer Produktionsanfrage in Form der Formalisierten Prozessbeschreibung.....	90
Abbildung 6.8:	Abfrage der Einschätzung von Hardwareänderungsaufwänden beim Benutzer .....	91
Abbildung 6.9:	Ergebnis der Anwendung von Softwaremetriken auf einen SPS-Funktionsbaustein .....	92
Abbildung 6.10:	Ergebnisdarstellung einer Modernisierungsmöglichkeit .....	93

Abbildung 6.11: Vergleichsdarstellung zweier Modernisierungsmöglichkeiten .....	93
Abbildung 6.12: Assistenzvorschläge bei Verwaltung des Anlagenmodells (links) und bei Eingabe der Produktionsanfrage (rechts).....	94
Abbildung 6.13: Simulation des modularen Produktionssystems .....	95
Abbildung 6.14: Aufbau der Simulation des modularen Produktionssystems .....	95
Abbildung 6.15: Veränderung von Parametern zur Laufzeit der Simulation .....	96
Abbildung 6.16: Debuggen des simulierten Steuerungsprogramms in TIA Portal .....	97
Abbildung 7.1: Vorgehen der Evaluierung .....	98
Abbildung 7.2: Handhabungs- und Bohrautomat am IAS (links) und dessen CAD-Modell (rechts) .....	99
Abbildung 7.3: Topologie des Handhabungs- und Bohrautomaten.....	100
Abbildung 7.4: Modernisierungsmöglichkeiten für die Station "Schwenkarm" .....	105
Abbildung 7.5: Kombinatorische Komplexität der generierten Modernisierungsmöglichkeiten für Szenario 13 .....	106
Abbildung 7.6: Qualitative und vereinfachte Darstellung des Aufwands für die Modernisierungsplanung nach verwendeter Werkzeugunterstützung .....	108
Abbildung 7.7: Modulares Produktionssystem (links) und Draufsicht des CAD-Modells (rechts) .....	109

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Identifizierte Schwachstellen der Prozessaktivitäten nach [WCBL15] des Modernisierungsprozesses .....	12
Tabelle 2.2:	Übersicht Software-Metriken .....	20
Tabelle 3.1:	Eigenschaften von Agenten und Herausforderungen von Engineering-Assistenzsystemen .....	37
Tabelle 4.1:	Schwachstellen aus Kap. 2.1.3 sowie Einschätzung der Abmilderung durch assistierten Modernisierungsplanungsprozess .....	52
Tabelle 5.1:	Entwicklungsdisziplinen eines mechatronischen Systems sowie Anknüpfungspunkte für die Erstellung eines vereinfachten Modells.....	55
Tabelle 5.2:	Ausgewählte PPR-Parameter für das Beispiel "Bohrstation" .....	56
Tabelle 5.3:	Multiple Domain Matrix mit Abhängigkeiten zwischen Prozess- und Ressourcenparametern .....	57
Tabelle 5.4:	Erweiterung der MDM um die Fähigkeitsbeschreibung des Prozesses.....	58
Tabelle 5.5:	(Vor-)Bedingungen für den Prozess Bohren .....	58
Tabelle 5.6:	Übersicht der Agentenrollen .....	75
Tabelle 5.7:	Anzahl der instanziierten Agenten je Agententyp .....	77
Tabelle 6.1:	Multiple Domain Matrix mit Abhängigkeiten zwischen PPR-Parametern der Bohrstation .....	88
Tabelle 7.1:	Modernisierungsszenarien des Handhabungs- und Bohrautomaten .....	101
Tabelle 7.2:	Aufwand zur Erstellung des Modells des Handhabungs- und Bohrautomaten .....	103
Tabelle 7.3:	Anzahl der Vorschläge pro Station für die untersuchten Modernisierungsszenarien des Handhabungs- und Bohrautomaten .....	104
Tabelle 7.4:	Modernisierungsszenarien des modularen Produktionssystems.....	110
Tabelle 7.5:	Aufwand zur Erstellung und Verfeinerung des Modells des modularen Produktionssystems .....	111
Tabelle 7.6:	Anzahl der Vorschläge für Modernisierungsszenarien des modularen Produktionssystems .....	112

# Abkürzungsverzeichnis

CAD	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>D</b> esign
CAE	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>E</b> ngineering
CAEX	<b>C</b> omputer <b>A</b> ided <b>E</b> ngineering <b>E</b> xchange
CI	<b>C</b> omputational <b>I</b> ntelligence
COCOMO	<b>C</b> onstructive <b>C</b> ost <b>M</b> odel
DFG	<b>D</b> eutsche <b>F</b> orschungsgemeinschaft
DIN	<b>D</b> eutsches <b>I</b> nstitut für <b>N</b> ormung
DSM	<b>D</b> esign <b>S</b> tructure <b>M</b> atrix
ECM	<b>E</b> ngineering <b>C</b> hange <b>M</b> anagement
FEM	<b>F</b> inite- <b>E</b> lemente- <b>M</b> ethode
FIPA	<b>F</b> oundation for <b>I</b> ntelligent <b>P</b> hysical <b>A</b> gents
IAS	<b>I</b> nstitut für <b>A</b> utomatisierungstechnik und <b>S</b> oftwaresysteme
IEC	<b>I</b> nternational <b>E</b> lectrotechnical <b>C</b> ommission
ISO	<b>I</b> nternational <b>O</b> rganization for <b>S</b> tandardization
JADE	<b>J</b> ava <b>A</b> gent <b>D</b> evelopment <b>F</b> ramework
JSON	<b>J</b> avaScript <b>O</b> bject <b>N</b> otation
MDM	<b>M</b> ultiple <b>D</b> omain <b>M</b> atrix
MPS	<b>M</b> odulares <b>P</b> roduktionssystem
OODA	<b>O</b> bserve <b>O</b> rient <b>D</b> ecide <b>A</b> ct
PLM	<b>P</b> roduct- <b>L</b> ifecycle- <b>M</b> anagement
POE	<b>P</b> rogrammorganisationseinheit
PPR	<b>P</b> rodukt- <b>P</b> rozess- <b>R</b> essource
SPS	<b>S</b> peicherprogrammierbare <b>S</b> teuerung
UML	<b>U</b> nified <b>M</b> odeling <b>L</b> anguage
VDI	<b>V</b> erein <b>D</b> eutscher <b>I</b> ngenieure
WS	<b>W</b> erkstück
XML	<b>E</b> xtensible <b>M</b> arkup <b>L</b> anguage

## Begriffsverzeichnis

**Agent:** „Ein Agent ist eine abgrenzbare (Hardware- oder/und Software-) Einheit mit definierten Zielen [...] Ein Agent ist darauf ausgelegt, diese Ziele durch selbstständiges Verhalten zu erreichen und interagiert dabei mit seiner Umgebung und anderen Agenten“ [VDI2653]

**Agentensystem:** „Ein System aus mehreren Agenten wird als Agentensystem bezeichnet. Im Englischen wird der Begriff „multi-agent system“ verwendet.“ [Raus15]

**Assistenzsystem:** Assistenzsysteme bezeichnen ein „technisches Hilfsmittel, das einen Nutzer direkt oder indirekt bei der Ausführung einer Handlung unterstützt“ [DIN91280]. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Assistenzsystem für ein Softwarewerkzeug verwendet, das den Planungingenieur bei der Modernisierung von Automatisierungssystemen unterstützt.

**Automatisierungssystem:** Technisches System, das einen technischen Prozess automatisiert, ggf. mit Hilfe von Bedienpersonal, durchführt. Im Rahmen dieser Arbeit werden Automatisierungssysteme in der diskreten Fertigung allgemein als Automatisierungssystem bezeichnet.

**Engineering:** Engineering bezeichnet die systematische Anwendung von Wissen zur Konzeption, Erschaffung und Verbesserung von Anlagenautomatisierungssystemen [VDI3695] und beinhaltet in der Literatur meist die Planungsphase neuer Automatisierungssysteme. Der Begriff kann jedoch auch für spätere Lebenszyklusphasen verwendet werden und schließt somit die Modernisierungsplanung ein.

**Fallbasiertes Schließen:** Fallbasiertes Schließen bezeichnet ein maschinelles Lernverfahren, das auf der Basis von Analogie funktioniert. Mithilfe einer Fallbasis mit bereits gelösten Fällen kann ein ähnlicher Fall ermittelt werden und dessen Lösung für einen neuen Fall wiederverwendet und adaptiert werden.

**Funktionale Einheit:** Funktional zusammengehörige, meist durch örtliche Nähe geprägte Elemente des Automatisierungssystems, die im Zusammenspiel mit einer örtlich beliebig angeordneten Steuerung, eine Funktion des technischen Prozesses des Automatisierungssystems realisieren.

**Modernisierung:** Die Modernisierung von Automatisierungssystemen kann Änderungen an der Mechanik, der Elektronik und der Steuerungssoftware umfassen [MHFW18]. Im Rahmen dieser Arbeit werden Teilmodernisierungen des Automatisierungssystems nach der Klassifikation von [Figa10] betrachtet, die sich durch Änderungen in abgegrenzten Teilen des Automatisierungssystems und der weitestgehenden Beibehaltung sonstiger Systemstrukturen auszeichnen. Als Auslöser einer Modernisierung im Rahmen dieser

Arbeit werden Änderungen am zu fertigenden Produkt betrachtet, welche eine Anforderungsänderung an den technischen Prozess des Automatisierungssystems bedeuten.

**Modernisierungsmöglichkeit:** Eine Modernisierungsmöglichkeit stellt im Rahmen dieser Arbeit eine Handlungsoption in Form einer Software- und/oder Hardwareänderung dar, die potenziell dazu geeignet ist, das Automatisierungssystem an geänderte Produktanforderungen anzupassen.

**PPR Model Manager:** Im Rahmen dieser Arbeit entwickeltes Softwarewerkzeug zur Erstellung und Bearbeitung des Modells des Automatisierungssystems, das vom Assistenzsystem zur Unterstützung der Modernisierung verwendet wird.

**Prinziplösung:** Eine Prinziplösung „ist eine durch Eigenschaften charakterisierte und semantisch eindeutig definierte, abstrakte Lösung(svariante). [...] Die Prinziplösung stellt keine konkrete technische Umsetzung dar, kann jedoch auch als Verkörperung einer Gruppe, als Sammelbegriff oder Klasse, mehrerer konkreter technischer Umsetzungen interpretiert werden.“ [Ried17]

**Produkt-Prozess-Ressource-Prinzip:** Das Produkt-Prozess-Ressource-Prinzip beschreibt die grundlegenden Wirkzusammenhänge der drei enthaltenen Elemente in einem Automatisierungssystem. Das Produkt wird von einem technischen Prozess verändert. Zur Durchführung des technischen Prozesses werden technischen Ressourcen verwendet, die mithilfe des technischen Prozesses eine Veränderung des Produkts vornehmen. [ScDr09]

**Speicherprogrammierbare Steuerung:** „Eine SPS ist ein digital arbeitendes, elektronisches System, entworfen für die Verwendung in einer industriellen Umgebung. Es verwendet einen programmierbaren Speicher zur internen Speicherung von anwenderorientierten Anweisungen, um besondere Funktionen wie Logik, Ablauf, Zeit, Zählen und Arithmetik auszuführen und durch digitale oder analoge Eingänge und Ausgänge verschiedene Typen von Maschinen oder Prozessen zu steuern.“ [EN61131-1]

**Teilflexibilität:** Aufgrund der Mannigfaltigkeit von Automatisierungssystemen sowie der vielen zu beachtenden Aspekte kann die Flexibilität dieser Systeme nicht mit einer einzigen Kennzahl erfasst beziehungsweise beschrieben werden. Daher wird Flexibilität in Teilflexibilitäten unterteilt, die jeweils einen Aspekt der Flexibilität betrachten, beispielsweise Materialflussflexibilität oder Produktmixflexibilität. [WWBF14]

**Wissensbasierte Systeme:** Bei wissensbasierten Systemen handelt es sich um intelligente Informationssysteme, in denen Wissen mit Verfahren der Wissensrepräsentation und Wissensmodellierung abgebildet und nutzbar gemacht wird [BeKe03]. Das Wissen des Systems ist dabei in Problemlösungswissen und spezifisches Fachwissen unterteilt. [RFSE11]



## Zusammenfassung

Die Modernisierung von Automatisierungssystemen in der diskreten Fertigung ist ein aufwendiger, individuell durchgeführter und damit fehleranfälliger Prozess, der vom Erfahrungswissen der beteiligten Planer abhängt. Dabei sind bei der Modernisierungsplanung verschiedene Herausforderungen zu berücksichtigen, insbesondere fehlende oder veraltete Dokumentation des Systems, interdisziplinäre Abhängigkeiten sowie die enge Verzahnung des Produkts mit dem fertigenden Automatisierungssystem.

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass der Modernisierungsplanungsprozess in der Praxis bislang nicht systematisch durchgeführt wird und dass hierfür kein durchgängiges Modellierungs- und Unterstützungskonzept existiert. Weiterhin sind bestehende Unterstützungskonzepte einzelner Teilaspekte meist nur aufwendig anwendbar, da keine Werkzeugunterstützung für die jeweilige Methodik existiert.

Die vorliegende Arbeit präsentiert daher zunächst ein Konzept zur Strukturierung des Modernisierungsprozesses in sieben Phasen. Für jede der Phasen wird beschrieben, ob und inwieweit ein Assistenzsystem den Planungsingenieur in seiner Tätigkeit unterstützen kann. Anschließend beschreibt die Arbeit das Konzept eines agentenbasierten Assistenzsystems, das den zuvor präsentierten systematischen Ablauf in Form eines Softwarewerkzeugs implementiert. Die Architektur des Assistenzsystems besteht aus unterschiedlichen Typen von Software-Agenten, die als Stellvertreter realer Komponenten und als Domänenexperten den Modernisierungsprozess durchführen. Das Informationsmodell des Assistenzsystems beruht auf dem Produkt-Prozess-Ressource-Prinzip und wird von den Software-Agenten verwendet, um den Modernisierungsbedarf einer Produktionsanfrage zu überprüfen sowie um Modernisierungsmöglichkeiten zu generieren und zu bewerten.

Mithilfe des realisierten Assistenzsystems, das neben der Modernisierungsplanung auch die Modellierung des Automatisierungssystems unterstützt, konnte das softwaregestützte Assistenzkonzept in zwei Fallstudien erfolgreich evaluiert und die Übertragbarkeit des Konzepts gezeigt werden. Sowohl für den untersuchten Handhabungs- und Bohrautomaten als auch für das modulare Produktionssystem generiert das Assistenzsystem korrekte und nachvollziehbare Modernisierungsmöglichkeiten, wobei der Zeitaufwand für die Modellierung des Systems vergleichsweise gering gehalten werden konnte.

## Abstract

The modernization of industrial automation systems in the discrete manufacturing domain is a complex, individually executed and thus error-prone process, which depends on the experience of the planners involved. In modernization planning, various challenges have to be taken into account, in particular missing or obsolete documentation of the system, interdisciplinary dependencies as well as close interdependencies of the product and the industrial automation system.

In this work it is shown that the modernization planning process is not carried out systematically in industrial practice and that no consistent modeling and support concepts for this process exist. Furthermore, existing support concepts of sub-aspects are usually only applicable in a time-consuming way, since no tool support for the respective methodology exists.

This work therefore presents a concept for structuring the modernization process in seven phases. For each of the phases it is described whether and to what extent an assistance system can support the planning engineer in his work. Subsequently, this thesis describes the concept of an agent-based assistance system that implements the previously presented systematic process in the form of a software tool. The architecture of the assistance system consists of different types of software agents who perform the modernization process in their role as representatives of real components and as domain experts. The information model of the assistance system is based on the product-process-resource principle and is used to check the need for modernization of a given production request as well as to generate and evaluate modernization options.

With the help of the implemented assistance system, which supports not only the modernization planning but also the modeling of the industrial automation system, the software-assisted assistance concept was successfully evaluated in two case studies. Through the case studies, the transferability of the concept was demonstrated. The assistance system generates correct and comprehensible modernization options for the examined handling and drilling machine as well as for the examined modular production system, whereby the time required for modeling the system could be kept comparatively low.