

# **Agentenbasiertes Selbstmanagement von Automatisierungsanlagen**

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

Vorgelegt von  
Hisham K. Mubarak  
aus Kairo, Ägypten

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner  
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple

Tag der Einreichung: 22.02.2013  
Tag der mündlichen Prüfung: 15.07.2013

Institut für Automatisierungs- und Softwaretechnik  
der Universität Stuttgart

2013



IAS-Forschungsberichte

Band 3/2013

**Hisham K. Mubarak**

**Agentenbasiertes Selbstmanagement  
von Automatisierungsanlagen**

D 93 (Diss. Universität Stuttgart)

Shaker Verlag  
Aachen 2013

**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., 2013

Copyright Shaker Verlag 2013

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2140-0

ISSN 1610-4781

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 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 Automatisierungs- und Softwaretechnik (IAS) der Universität Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Peter Göhner, für die kritischen Diskussionen, die wertvollen Anregungen und die Unterstützung während der Entstehung der Arbeit sowie für die Übernahme des Hauptberichts.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple danke ich für das entgegengebrachte Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Allen ehemaligen Kolleginnen und Kollegen am IAS gilt mein herzlicher Dank für die gute Zusammenarbeit.

Ebenso gilt mein Dank den Studierenden, die im Rahmen ihrer Diplom-, Master-, Studien- und Bachelorarbeiten einen Beitrag zum Gelingen dieser Arbeit geleistet haben.

Schließlich danke ich meinen Eltern für die langjährige und fortwährende Unterstützung während meiner Ausbildungszeit sowie meiner Frau Tasniem für ihr Verständnis, ihre Geduld und ihren Zuspruch.

Stuttgart, im Juli 2013

Hisham K. Mubarak



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	vii
Begriffsverzeichnis.....	ix
Zusammenfassung.....	xiii
Abstract.....	xiv
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Hintergrund und Motivation.....	1
1.2 Herausforderungen bei der technischen Betriebsbetreuung.....	2
1.3 Ziel der Forschungsarbeit.....	3
1.4 Gliederung der Arbeit.....	4
<b>2 Grundlagen der Automatisierungstechnik.....</b>	<b>6</b>
2.1 Aufbau automatisierter Systeme.....	6
2.2 Technische Betriebsbetreuung von Automatisierungsanlagen.....	13
2.2.1 Ziele der technischen Betriebsbetreuung.....	13
2.2.2 Instandhaltungsstrategien im Kontext der technischen Betriebsbetreuung.....	14
2.2.3 Heterogenität der Aufgaben und Technologien bei der technischen Betriebsbetreuung.....	16
2.2.4 Klassifikation von Aufgaben der technischen Betriebsbetreuung.....	19
2.2.5 Vorgehen bei der technischen Betriebsbetreuung.....	20
<b>3 Grundlagen der Selbstorganisation von Softwaresystemen.....</b>	<b>25</b>
3.1 Einführung in die Selbstorganisation von Softwaresystemen.....	25
3.2 Grundlegende Eigenschaften selbstorganisierender Systeme.....	27
3.3 Definition und Abgrenzung grundlegender Begriffe.....	29
3.3.1 System, Systemeigenschaft.....	29
3.3.2 Adaptivität, adaptive Systeme.....	30
3.3.3 Autonomie, Selbstmanagement, selbstmanagere Systeme, Selbstmanagementsystem, selbstmanagende Systeme.....	30
3.3.4 Systemkomponente, Struktur, strukturadaptive Systeme.....	32
3.3.5 Selbstorganisierende Systeme.....	33
3.3.6 Hierarchie der Systemklassen.....	34
3.3.7 Self-X und Selbstmanagementfunktionalität.....	34
3.3.8 Emergenz.....	35
<b>4 Ansätze zur Unterstützung der technischen Betriebsbetreuung in Automatisierungsanlagen.....</b>	<b>37</b>
4.1 Anforderungen an die Unterstützung der technischen Betriebsbetreuung.....	37

4.1.1	Aktive Unterstützung der Durchführung technischer Betriebsbetreuungsaufgaben.....	38
4.1.2	Flexible Anpassbarkeit an heterogene Technologien der Automatisierungstechnik.....	38
4.1.3	Flexible Anpassbarkeit an evolutionäre Veränderungen des Unterstützungsbedarfs.....	38
4.1.4	Gewährleistung der Akzeptanz durch das Prozesspersonal.....	39
4.1.5	Effiziente Erstellung von Unterstützungssystemen.....	39
4.2	Plant Asset Management Systeme.....	40
4.3	Wissensbasierte Beratungssysteme.....	42
4.4	Autonomic Computing.....	45
4.5	Self-X-Ansätze.....	48
4.6	Zusammenfassung und Folgerung.....	51
<b>5</b>	<b>Grundlegende Entscheidungen für die Konzeption.....</b>	<b>54</b>
5.1	Agentenorientierter Lösungsansatz.....	54
5.1.1	Grundlagen des agentenorientierten Paradigmas.....	55
5.1.2	Eignung von Softwareagenten für das Selbstmanagement von Automatisierungssystemen.....	56
5.2	Exogenes Selbstmanagement.....	58
5.2.1	Dezentrale Selbstmanagementfunktionen.....	60
5.2.2	Kategoriespezifische Selbstmanagementsysteme.....	60
5.2.3	Kategorieübergreifendes modulares Selbstmanagementsystem.....	61
5.3	Regelbasierte Wissensrepräsentation.....	62
5.3.1	Grundlagen der regelbasierten Wissensrepräsentation.....	63
5.3.2	Eignung regelbasierter Wissensrepräsentation für das Selbstmanagement von Automatisierungssystemen.....	65
<b>6</b>	<b>Konzept des agentenorientierten Selbstmanagementsystems für Automatisierungsanlagen.....</b>	<b>67</b>
6.1	Automatisierung kognitiver Prozesse.....	67
6.2	Konzept des Selbstmanagementprozesses.....	69
6.2.1	Automatisierung kognitiver Prozesse.....	69
6.2.2	Modell des Selbstmanagementprozesses.....	73
6.3	Struktur des Selbstmanagementsystems.....	74
6.3.1	Ebene Automatisierungssystemanbindung.....	75
6.3.2	Ebene Selbstmanagementfunktionalität.....	76
6.3.3	Ebene Kontrolle und Überwachung.....	77
6.4	Agentenorientiertes Modell des Selbstmanagementsystems.....	79
6.4.1	Ziele des agentenbasierten Selbstmanagementsystems.....	80
6.4.2	Rollen des agentenbasierten Selbstmanagementsystems.....	84
<b>7</b>	<b>Konzept zur flexiblen Anpassbarkeit der Selbstmanagementfunktionalität.....</b>	<b>87</b>
7.1	Veränderlichkeit des Unterstützungsbedarfs.....	87
7.1.1	Horizontale Erweiterung der Unterstützung.....	88
7.1.2	Vertikale Erweiterung der Unterstützung.....	88
7.2	Modularisierung der Selbstmanagementfunktionalität.....	89

7.3	Agententypen des agentenbasierten Selbstmanagementsystems.....	91
7.3.1	Softwareagenten der Automatisierungssystemanbindungs-ebene.....	92
7.3.2	Softwareagenten der Selbstmanagementfunktionalitätsebene.....	92
7.3.3	Softwareagenten der Kontroll- und Überwachungsebene .....	94
7.4	Systemarchitektur des agentenbasierten Selbstmanagementsystems .....	96
<b>8</b>	<b>Realisierung des Konzepts.....</b>	<b>98</b>
8.1	Generisches Framework für agentenbasierte Selbstmanagementsysteme.....	98
8.1.1	Struktur des generischen Frameworks für agentenbasierte Selbstmanagementsysteme .....	98
8.1.2	Framework-basierte Instanziierung und Konfiguration agentenbasierter Selbstmanagementsysteme .....	99
8.1.3	Generische Agententypen des Frameworks.....	101
8.1.4	Generische Interaktionsprotokolle des Frameworks.....	102
8.2	SEMASEN - Systematische Vorgehensweise und Werkzeugunterstützung für die Entwicklung agentenbasierter Selbstmanagementsysteme .....	105
8.2.1	Analysephase .....	106
8.2.2	Entwurfsphase.....	114
8.2.3	Implementierungsphase .....	114
<b>9</b>	<b>Evaluation am Beispiel einer Personenaufzugssteuerung.....</b>	<b>117</b>
9.1	Operatives Automatisierungssystem: Der IAS-Aufzug .....	117
9.1.1	Systemaufbau.....	117
9.1.2	Systemsteuerung.....	119
9.2	Selbstmanagementsystem des IAS-Aufzugs .....	121
9.2.1	Selbstmanagementfunktionen.....	121
9.2.2	Agentenbasiertes Selbstmanagementsystem.....	123
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>126</b>
10.1	Ergebnisse.....	126
10.2	Bewertung des Konzepts .....	127
10.3	Voraussetzungen und Grenzen des Konzepts.....	128
10.4	Ausblick.....	129
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>130</b>