

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Zusammenfassung	x
Abstract	xi
<b>1 Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1 Qualitätssicherungs- und Inbetriebnahmesysteme . . . . .	3
1.2 Fehlerdiagnose als Aufgabe in der Instandhaltung . . . . .	6
1.3 Testmanagement als Aufgabe in der Inbetriebnahmeplanung . . . . .	7
1.4 Schlussfolgerung und Zielstellung der Arbeit . . . . .	9
1.5 Aufbau der Arbeit nach der Design Science Research Methodology . . . . .	9
<b>2 Grundlagen und Stand der Technik: Assistenzsysteme zu Fehlerdiagnose und Testmanagement für Produktionssysteme der diskreten Fertigung</b>	<b>12</b>
2.1 Digitale Assistenzsysteme in der diskreten Fertigung . . . . .	12
2.2 Wissensbasierte Assistenzsysteme und Expertensysteme . . . . .	12
2.2.1 Wissensrepräsentation . . . . .	13
2.2.2 Ziehen von Schlussfolgerungen . . . . .	16
2.2.3 Maschinelle Lernfähigkeit . . . . .	18
2.2.4 Spezielle Ausprägungen von wissensbasierten Assistenzsystemen . . . . .	18
2.2.5 Aufbau von wissensbasierten Systemen . . . . .	19
2.3 Grundlagen der Fehlerdiagnose . . . . .	21
2.3.1 Der Begriff Fehler . . . . .	21
2.3.2 Ablauf einer Fehlerdiagnose . . . . .	22
2.3.3 Unterstützung der Fehlerdiagnose durch Symptomerfassung . . . . .	22
2.3.4 Phasen der Fehlerdiagnose . . . . .	23
2.4 Methoden zur softwarebasierten Unterstützung der Fehlerdiagnose . . . . .	24
2.4.1 Signalbasierte Fehlerdiagnose . . . . .	25
2.4.2 Modellbasierte Fehlerdiagnose . . . . .	26
2.4.3 Fehlerdiagnose mit Methoden der Klassifikation . . . . .	26

2.4.4	Fehlerdiagnose mit Methoden des Schlussfolgerns . . . . .	27
2.4.5	Fallbasierte Fehlerdiagnose durch Case-based Reasoning . . . . .	27
2.5	Stand der Technik: Aktuelle Trends zur industriellen Fehlerdiagnose und Instandhaltung in der diskreten Fertigung . . . . .	27
2.5.1	Industrie 4.0 . . . . .	28
2.5.2	Cyber-physische (Produktions-) Systeme (CPS/CPSP) . . . . .	28
2.5.3	Predictive Maintenance . . . . .	28
2.5.4	Predictive Quality . . . . .	29
2.5.5	Prognostics and Health Management (PHM) . . . . .	29
2.5.6	Digitaler Zwilling . . . . .	29
2.5.7	Big Data und Cloud-Technologien . . . . .	30
2.5.8	Edge Computing . . . . .	30
2.5.9	Prozessansätze zur Qualitätssteigerung . . . . .	31
2.5.10	Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz . . . . .	32
2.5.11	Data Loop zur kontinuierlichen Entwicklung . . . . .	32
2.5.12	Condition-based Monitoring (CBM) . . . . .	33
2.6	Grundlagen des Testmanagements . . . . .	33
2.6.1	Der Testprozess . . . . .	33
2.6.2	Testfallauswahl- und Priorisierung im Regressionstest . . . . .	34
2.7	Stand der Technik: Aktuelle Trends zum industriellen Testmanagement und zur Testfallpriorisierung in der diskreten Fertigung . . . . .	35
2.7.1	Agentenbasiertes Testmanagement . . . . .	36
2.7.2	Regressionstests bei Systemänderungen und Rekonfigurationen . . . . .	36
2.8	Zusammenfassende Bewertung und Ableitung der Forschungslücke und der Forschungsfragen . . . . .	37
<b>3</b>	<b>Synergien durch ein gemeinsames Assistenzsystem zur Fehlerdiagnose und zum Testmanagement</b>	<b>39</b>
3.1	Generisches Systemmodell . . . . .	40
3.2	Der Fehlerdiagnoseprozess . . . . .	41
3.2.1	Daten, Wissen und Erfahrung im Diagnoseprozess . . . . .	43
3.2.2	Unterstützung des Diagnoseprozesses durch das Assistenzsystem . . . . .	45
3.3	Der Testplanungs- und Testmanagementprozess . . . . .	47
3.3.1	Daten, Wissen und Erfahrung im Testmanagementprozess . . . . .	48
3.3.2	Unterstützung des Testmanagementprozesses durch das Assistenzsystem . . . . .	50
3.4	Synergien durch wechselseitig genutzte Assistenzfunktionen . . . . .	51
3.5	Synergien durch die Verwendung eines gemeinsamen Datenmodells . . . . .	53
3.5.1	Fehler und Fehlersymptome als zentrale Elemente für Fehlerdiagnose und Testmanagement . . . . .	53
3.5.2	Bereichsübergreifende Datenflüsse für die Assistenzfunktionen . . . . .	55

<b>4</b>	<b>Konzipierung des Teilsystems zur Fehlerdiagnose</b>	<b>59</b>
4.1	Funktionsweise, Randbedingungen und Entwurfsentscheidungen . . . . .	59
4.1.1	Nutzerrollen für die Assistenzfunktion zur Fehlerdiagnose . . . . .	61
4.1.2	Erkennen eines zu diagnostizierenden Fehlers . . . . .	61
4.1.3	Umfang eines Diagnosefalls . . . . .	62
4.1.4	Zentraler Aufbau des Assistenzsystems . . . . .	63
4.2	Ableiten von Symptomen aus der Systemüberwachung . . . . .	63
4.2.1	Ergebnis der Symptomidentifikation: Der formalisierte Diagnosefall . . . .	64
4.2.2	Datenquellen zur Identifikation von Symptomen . . . . .	64
4.2.3	Automatische Symptomidentifikation . . . . .	67
4.2.4	Symptomidentifikation anhand von Logfiles oder Traces . . . . .	67
4.2.5	Symptomidentifikation anhand der Ergebnisdatenbank . . . . .	68
4.2.6	Symptomidentifikation aus archivierten Messwerten . . . . .	68
4.2.7	Manuelle Symptomidentifikation durch den Systemexperten (GUI) . . . . .	69
4.2.8	Eingabe von Symptomen und Regeln durch die Systemexperten . . . . .	69
4.3	Datenmodell für Fehlerfallhistorie und zu diagnostizierenden Systemzustand . . . .	69
4.4	Automatisches Bestimmen der Fehlerursache . . . . .	70
4.4.1	Symptombasiertes Case-based Reasoning . . . . .	70
4.4.2	Retrieve: Finden der wahrscheinlichsten Fehlerursache . . . . .	73
4.4.3	Reuse: Sortierte Liste bereits aufgetretener Fehler nach Übereinstimmung	75
4.4.4	Revise: Korrekturen durch den Systemexperten . . . . .	76
4.4.5	Retain: Speicherung von Fällen mit ihrer Ursache . . . . .	77
4.5	Auftrag an Testmanagementfunktion: Finden von passenden Testfällen, um Symptome zu provozieren . . . . .	77
4.5.1	Unterscheidung von mehrdeutigem Diagnoseergebnis durch das Provozieren weiterer Symptome . . . . .	78
4.5.2	Absicherung der Fehlerkorrektur durch passende Testfälle . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Konzipierung des Teilsystems zum Testmanagement</b>	<b>81</b>
5.1	Funktionsweise, Randbedingungen und Entwurfsentscheidungen . . . . .	82
5.1.1	Nutzerrollen für die Assistenzfunktion zum Testmanagement . . . . .	83
5.1.2	Iterative Weiterentwicklung als Auslöser des Systemtests . . . . .	84
5.1.3	Umfang eines Systemtests . . . . .	84
5.1.4	Aufstellen eines Testplans . . . . .	84
5.1.5	Datenquellen . . . . .	85
5.2	Umgang mit unsicherem und unscharfem Wissen . . . . .	85
5.3	Metamodell zur Abbildung des Systemmodells . . . . .	86
5.4	Datenmodell mit Testfällen, Systemmodell und Fehlerfallhistorie . . . . .	86
5.5	Filtern von relevanten Testfällen für das Provozieren von Symptomen . . . . .	88
5.6	Finden von Abdeckungslücken . . . . .	89

5.7	Bestimmen des Testbedarfs von Subfunktionen und Symptomen . . . . .	90
5.7.1	Änderungen . . . . .	91
5.7.2	Metriken für Subfunktionen . . . . .	91
5.7.3	Metriken aus der Fehlerfallhistorie . . . . .	92
5.7.4	Berechnen des Testbedarfs mithilfe der Metriken . . . . .	92
5.8	Bestimmen der Testfallperformance . . . . .	96
5.8.1	Globale Metriken als Grundlage für die Testfallperformance . . . . .	97
5.8.2	Berechnung der Testfallperformance bezogen auf Subfunktionen . . . . .	97
5.8.3	Berechnung der Testfallperformance bezogen auf Symptome . . . . .	98
5.9	Berechnen der resultierenden Testfallprioritäten . . . . .	99
<b>6</b>	<b>Evaluation des Konzepts durch Realisierung für ein QS&amp;IBN-System der Automobilindustrie</b>	<b>101</b>
6.1	Evaluationskonzept . . . . .	101
6.2	Aufbau des Systems aus der Automobilindustrie . . . . .	102
6.3	Proof-of-Concept: Prototypische Realisierung . . . . .	104
6.3.1	Entwurfsentscheidungen und Randbedingungen . . . . .	104
6.3.2	Aufbau des Assistenzsystem-Prototyps . . . . .	105
6.3.3	Realisierung der Assistenzfunktion zur Fehlerdiagnose . . . . .	106
6.3.4	Realisierung der Assistenzfunktion zum Testmanagement . . . . .	112
6.3.5	Fazit zum Proof-of-Concept . . . . .	120
6.4	Proof-of-Value: Einsatz des Prototyps am QS&IBN-System der Automobilindustrie	122
6.4.1	Systemmodellierung und Ablauf der Evaluierung . . . . .	122
6.4.2	Herausforderung natürlichsprachliche Formulierung . . . . .	123
6.4.3	Durchgeführte Testfälle . . . . .	124
6.4.4	Ergebnis der Fehlerdiagnose . . . . .	124
6.4.5	Ergebnis der Testfallpriorisierung . . . . .	126
6.4.6	Fazit zum Proof-of-Value . . . . .	127
6.5	Generalisierbarkeit des Konzepts . . . . .	128
6.6	Betrachtung der Evaluierungsergebnisse anhand der Forschungsfragen . . . . .	128
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>132</b>
7.1	Fazit der Ergebnisse . . . . .	132
7.2	Ausblick auf weiterführende Forschung . . . . .	134
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>136</b>