

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>iii</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>v</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>vi</b>
<b>Begriffsverzeichnis .....</b>	<b>viii</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>x</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Mehrwerte des Digitalen Zwillings während des gesamten Lebenszyklus .....	1
1.2 Herausforderungen bei der Breitstellung des Digitalen Zwillings .....	3
1.3 Forschungsanforderungen .....	4
1.4 Zielsetzung der Arbeit .....	5
1.5 Abgrenzung zu ähnlichen Themenstellungen .....	6
1.6 Aufbau der Arbeit .....	7
<b>2 Grundlagen automatisierter Systeme .....</b>	<b>10</b>
2.1 Grundstruktur automatisierter Systeme .....	10
2.1.1 SPS-gesteuerte automatisierte Systeme .....	12
2.1.2 Entwicklungsvorgehen bei automatisierter Systeme .....	12
2.2 Domänenübergreifende Zusammenarbeit während des Engineering-Prozesses automatisierter Systeme .....	15
2.3 Ansätze zur Modelldurchgängigkeit und Verknüpfung von Tools .....	18
2.3.1 Proprietäre Punkt-zu-Punkt-Schnittstellen zwischen Tools .....	18
2.3.2 Standardisierte neutrale Austauschformate .....	19
2.3.3 Strukturierte Daten .....	21
2.3.4 Semantic Technologies zur Modellierung der Daten .....	21
2.4 Zusammenfassung .....	22
<b>3 Stand der Wissenschaft und Technik .....</b>	<b>23</b>
3.1 Digitaler Zwilling .....	23
3.1.1 Digitaler Zwilling im cyber-physicalen Produktionssystem .....	25
3.1.2 Architektur des Digitalen Zwillings .....	26
3.2 Ansätze zur Integration der domänenübergreifenden Modelle .....	30
3.2.1 AutomationML-basierte Ansätze .....	31
3.2.2 SysML-basierte Ansätze .....	33
3.2.3 Ontologie-basierte Ansätze .....	35
3.2.4 Toolset-basierte Ansätze .....	36
3.3 Ansätze zur Synchronisierung der Modelle eines automatisierten Systems .....	37
3.3.1 3D-Laserscan-basierte Ansätze .....	37

3.3.2	Netzwerkscan-basierte Ansätze .....	39
3.3.3	Kommunikationsnetzwerkscan-basierte Ansätze .....	40
3.3.4	Änderungsdokumentationsanalyse-basierte Ansätze.....	41
3.4	Ansätze zur Modellgenerierung aus einem bestehenden automatisierten System .....	42
3.4.1	Generierung eines 3D-CAD-Modells .....	42
3.4.2	Generierung von Systemtopologien.....	45
3.4.3	Generierung eines Simulationsmodells .....	45
3.5	Zusammenfassende Bewertung und Schlussfolgerungen für die Konzeption .....	46
<b>4</b>	<b>Lösungsansatz zur domänenübergreifenden Synchronisierung der Modelle des Digitalen Zwillinges .....</b>	<b>51</b>
4.1	Grundlegende Konzeptentscheidungen und Ansatz .....	51
4.1.1	Ankerpunkte innerhalb des Digitalen Zwillinges .....	53
4.1.2	Voraussetzungen zur Synchronisierung der Ankerpunkte.....	57
4.2	Ankerpunktmethode zur Synchronisierung der Modelle des Digitalen Zwillinge .....	61
4.2.1	Gesamtprozessablauf der Ankerpunktmethode .....	62
4.2.2	Phase 1: Änderungsdetektion.....	65
4.2.3	Phase 2: Domänenübergreifenden Abhängigkeitsdetektion .....	70
4.2.4	Phase 3: Modellanpassung.....	77
<b>5</b>	<b>Realisierung der Ankerpunktmethode mithilfe eines Assistenzsystems .....</b>	<b>87</b>
5.1	Gesamtüberblick über Softwarekomponenten des Assistenzsystems .....	87
5.2	Komponente „Grafische Benutzeroberfläche“ .....	89
5.3	Komponente „Wrapper“ .....	90
5.4	Komponente „Metamodell der SPS-Steuerungssoftware“ .....	92
5.5	Komponente „Ankerpunktmodellierung und Analyse“ .....	94
5.6	Komponente „Change-Request-Modell-Generierung“ .....	97
<b>6</b>	<b>Evaluierung.....</b>	<b>101</b>
6.1	Szenario 1: Modulares Produktionssystems .....	101
6.1.1	Digitaler Zwilling des modularen Produktionssystems .....	104
6.1.2	Bewertung der Evaluierungsergebnisse.....	106
6.2	Szenario 2: Intelligentes Lager in der flexiblen Produktionsanlage .....	108
6.2.1	Digitaler Zwilling des intelligenten Lagers .....	110
6.2.2	Bewertung der Evaluierungsergebnisse.....	112
6.3	Erfüllung der Forschungsanforderungen und Zielsetzung der Arbeit .....	115
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>117</b>
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse und Bewertung .....	117
7.2	Ausblick.....	118
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>120</b>