

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	v
Abkürzungsverzeichnis	vi
Begriffsverzeichnis	viii
Zusammenfassung	x
Abstract	xi
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation in der diskreten Produktion	1
1.2 Industrielle Problemstellung	3
1.3 Herausforderungen bei der Erstellung eines Digitalen Zwillings für Brownfield- Produktionssysteme	4
1.4 Zielsetzung dieser Forschung	6
1.5 Anforderungen an die Konzeption	7
1.6 Aufbau der Arbeit	9
2 Grundlagen	11
2.1 Ausgangssituation: Automatisierte Produktionssysteme	11
2.1.1 Produktionssysteme	13
2.1.2 Automatisierungssysteme	13
2.1.3 Digitaler Entwicklungsprozess automatisierter Produktionssysteme – MBSE	15
2.1.4 Bestehende Produktionssysteme – Brownfield-Entwicklung	16
2.2 Zielvorstellung: Digitaler Zwilling	17
2.2.1 Entstehung des Konzepts „Digitaler Zwilling“	17
2.2.2 Definition, Bestandteile und Architektur eines Digitalen Zwillings	18
2.2.3 Relationen des Digitalen Zwillings	22
2.2.4 Anwendungsfälle des Digitalen Zwillings und deren Mehrwerte sowie Herausforderungen	23
2.3 Zusammenfassung der Ausgangssituation und der Zielvorstellung	24
3 Stand der Wissenschaft und Technik	25
3.1 Ansätze zur Erfassung und Modellierung bestehender Produktionssysteme	26
3.1.1 Optische Verfahren	26
3.1.2 Dokumentenbasierte Verfahren	27
3.1.3 Netzwerkbasierte Verfahren	27
3.1.4 SPS-Codebasierte Verfahren	28
3.1.5 Sonstige Ansätze ohne eindeutige Informationsquelle	29

3.2	Ansätze zur Verknüpfung von Modellen verschiedener Domänen	30
3.2.1	Ansätze zur Erstellung der Relationen eines Digitalen Zwillings	30
3.2.2	Formate zur Abbildung der Relationen eines Digitalen Zwillings	30
3.3	Zusammenfassung und Bewertung der bestehenden Ansätze	32
3.4	Aufzeigen der wissenschaftlichen Forschungslücke	36
4	Methodik zur automatisierten Erstellung der Relationen eines Digitalen Zwillings....	37
4.1	Hinführung und grundlegende Entscheidungen zur Erstellung der Methodik	37
4.2	Überblick über die Methodenbausteine	41
4.3	Regelbasierte Analysemethode der SPS-Codestruktur zur Extraktion funktionaler Relationen	43
4.3.1	Import des nativen SPS-Codes als Informationsquelle in ein herstellerunabhängiges Informationsmodell	45
4.3.2	Anreicherungs- und Analyseregeln der Analysemethode	47
4.3.3	Zusammenfassung der Analyseergebnisse	52
4.4	Datenbasierte Analysemethode der Positionsdaten zur Identifikation räumlicher Relationen	53
4.4.1	Erfassung und Speicherung der Positionsdaten als Informationsquelle	53
4.4.2	Analyse der Positionen zur Wissensextraktion	56
4.4.3	Zusammenfassung der Analyseergebnisse	59
4.5	Korrelationsbasierte Analysemethode von Betriebs- und Positionsdaten zur Berechnung der Peripheriepositionen	59
4.5.1	Erfassung und Speicherung der Betriebsdaten als Informationsquelle	60
4.5.2	Analyseschritte	61
4.5.3	Zusammenfassung der Analyseergebnisse	64
4.6	Methodensynchronisation: Wissensmanagement	64
4.6.1	Wissenszusammenführung	65
4.6.2	Wissensspeicherung	66
4.6.3	Semantische Anreicherung mit Ontologien	68
4.6.4	Identifikation repetitiver Strukturen und Kennzeichnung als Template	70
4.7	Überführung in einen Digitalen Zwilling	73
5	Realisierung der entwickelten Methodik als prototypisches Software-Assistenzsystem	75
5.1	Gesamtüberblick über die Softwaremodule	75
5.2	Softwaremodul für die Analyse des SPS-Codes	78
5.2.1	Adapter zum Import des nativen SPS-Codes	78
5.2.2	Implementierung der regelbasierten Strukturanalyse	82
5.3	Analysemodul für Positions- und E/A-Daten	84
5.3.1	Zeitreihendatenbank zur Speicherung der Daten	84
5.3.2	Implementierung der datengetriebenen Analysen	86
5.4	Modul zur Wissensspeicherung und Extraktion in einem Graphen	87
5.4.1	Wissensspeicherung in einer Graphdatenbank	87
5.4.2	Generierung von Templates durch die Identifikation von repetitiven Strukturen	89

5.5	Exportmodul aus dem Wissensgraphen.....	92
6	Evaluierung.....	94
6.1	Evaluierungskonzept.....	94
6.2	Erfüllung der Anforderungen durch die Methodik.....	95
6.3	Evaluierung der Mehrwerte der Methodik	97
6.3.1	Brownfield-Produktionssystem zur Demonstration und Evaluierung der Methodik.....	97
6.3.2	Erstellung des Digitalen Zwillings für das intelligente Lager mithilfe der entwickelten Methodik	101
6.3.3	Erfassung des Ist-Zustands der manuellen Erstellung des Digitalen Zwillings durch eine Expertenbefragung.....	102
6.3.4	Diskussion und Bewertung der Evaluierungsergebnisse	105
6.4	Übertragbarkeit der Methodik auf andere Brownfield-Produktionssysteme.....	107
6.4.1	Beispielhafter Übertrag auf das intelligente Lager	107
6.4.2	Randbedingungen der Methodik.....	108
6.4.3	Abgleich mit den Eigenschaften von Brownfield-Produktionssystemen	110
6.4.4	Bewertung der Übertragbarkeit	112
7	Schlussbetrachtung	114
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	114
7.2	Ausblick.....	116
	Literaturverzeichnis.....	118
	Anhang	130