

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XV
Tabellenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Digitale Fabrik	5
2.1.1 Definition	5
2.1.2 Historische Entwicklung	5
2.1.3 Ziele und Nutzen	6
2.1.4 Anwendungsgebiete und Techniken	7
2.2 Simulation und Emulation in Produktion und Logistik	8
2.2.1 Einführung	8
2.2.2 Discrete Event Simulation	10
2.2.3 Anwendungsfelder	10
2.2.4 Emulation, Hardware-In-The-Loop und Software-In-The-Loop	11
2.2.5 Nutzen der Emulation	14
2.3 Virtuelle Inbetriebnahme	14
2.3.1 Definition	14
2.3.2 Ziele und Nutzen	15
2.3.3 Technologische Sichtweise	15
2.3.4 Prozessuale Sichtweise	16
2.4 Abgrenzung zwischen den Anwendungsgebieten der Emulation	17
2.4.1 Fabrikebenen	17
2.4.2 Emulation mittels Anlagensimulation	18
2.4.3 Emulation mittels Materialflusssimulation	19
2.4.4 Vergleichende Übersicht	20
2.5 Anlagenentwicklungsprozess	22
2.5.1 Einführung und Definition	22
2.5.2 Grundlegender Anlagenentwicklungsprozess	22
2.5.3 Inbetriebnahme	23

2.5.4	Entwicklungsprozess mit virtueller Inbetriebnahme	25
2.6	Produktions- und Logistikeitstände	26
2.6.1	Definition / Einleitung	26
2.6.2	Ausprägungen von Leitständen	27
2.6.3	Einbettung im Unternehmen	28
2.6.4	Materialflusssimulation	30
2.6.5	Softwareproduktionsprozess	31
2.7	Qualitätssicherung bei software-intensiven technischen Systemen	33
2.7.1	Qualitätssicherung bei Software	33
2.7.2	Vorgehensmodelle zum Softwaretest	34
2.7.3	Softwaretest von softwareintensiven technischen Systemen	36
2.8	Methoden der Materialflusssimulation	37
2.8.1	Vorgehensmodelle	37
2.8.2	Ansätze zur Objektorientierung in der Simulation	39
2.8.3	Spezialisierte Simulationsbausteinkästen und Objektbibliotheken	41
2.8.4	Emulation mit Materialflusssimulation	42
2.8.5	Schnittstellen(-unterstützung)	44
2.8.6	Betriebsparallele Simulation	47
2.8.7	(Teil-)automatisierte Simulationsmodellerstellung	48
2.8.8	Kopplung zwischen Anlagensimulation und Materialflusssimulation	49
3	Stand der Wissenschaft und Technik	51
3.1	Modellgenerierung	51
3.1.1	Bewertungskriterien	51
3.1.2	Quellen „Anlagensimulation“	52
3.1.3	Quellen „Materialflusssimulation“	55
3.2	Emulationen	57
3.2.1	Bewertungskriterien	57
3.2.2	Quellen	59
3.3	Zusammenfassung und Abgrenzung	60
4	Ziel der Arbeit	63
4.1	Anforderungen durch den Anlagenbetreiber	63
4.2	Anforderungen durch die Leitstandsentwicklung	65
4.3	Anforderungen durch den Simulationsexperten	67
4.4	Zusammenfassende Darstellung der Ziele	69
5	Methoden zur wirtschaftlichen Erstellung von Emulationsmodellen	71
5.1	Methodenübersicht	71
5.2	Rahmenwerk für die Erstellung von Emulationsmodellen	72
5.2.1	Aufbau und Module	73
5.2.2	Paradigmen	76
5.2.3	Übergang zwischen Simulation und Emulation	77
5.2.4	Nachhaltige Modellierungsrichtlinie für die Simulation mit Front-loading	78

5.2.5	Testumgebung zum Softwaretest mit Emulation	79
5.2.6	Zusammenarbeit zwischen Steuerungsentwicklung und Simulations- experte	82
5.2.7	Zusammenfassung	84
5.3	Methoden zur Modellgenerierung und phasenübergreifenden Nutzung . . .	84
5.3.1	Durchgängiges Simulationsmodell des technischen Systems	85
5.3.2	Transformation eines Simulations- in ein Emulationsmodell	89
5.3.3	Vollständige projektspezifische Modellierung	91
5.3.4	Datengetriebene Modellgenerierung mit Bibliotheksunterstützung .	91
5.3.5	Nachhaltige Entwicklung von Emulationsmodellen	94
5.3.6	Vergleichende Übersicht und Kombinationsmöglichkeiten	95
5.4	Methode zur Integration mehrerer Abstraktionsniveaus	96
5.4.1	Motivation für die integrierte virtuelle Inbetriebnahme	97
5.4.2	Technisches Lösungskonzept	99
5.4.3	Material- und Informationsaustausch von der Materialfluss- zur Anlagensimulation	101
5.4.4	Visualisierung	101
5.4.5	Material- und Informationsaustausch von der Anlagen- zur Mate- rialflusssimulation	102
5.4.6	Steuerungsinformationen	103
5.5	Zusammenfassende Betrachtung	103
6	Implementierung und experimentelle Untersuchungen	105
6.1	Implementierung des Emulationsrahmenwerks	105
6.1.1	Bereich Kommunikation	105
6.1.2	Bereich Interface	110
6.1.3	Bereich Simulationsanbindung	117
6.1.4	Trace-Analyse mit Protokollzustandsautomaten	121
6.1.5	Lebenszyklusphasenübergreifende Modellierung	130
6.1.6	Teilautomatische Emulationsmodellgenerierung	131
6.2	Typensteuerung	132
6.2.1	Problem- und Zielstellung	133
6.2.2	Versuchsaufbau zur Emulation	134
6.2.3	Klassen für die Emulation	135
6.2.4	Lebenszyklusphasenübergreifende Modellierung	137
6.2.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der VIBN	139
6.2.6	Zusammenfassung	142
6.3	Taxisteuerung	142
6.3.1	Problem- und Zielstellung	142
6.3.2	Versuchsaufbau zur Emulation	143
6.3.3	Modellerstellung	144
6.3.4	Testumgebung	144
6.3.5	Zusammenfassung	147

Inhaltsverzeichnis

6.4	Prototyp für die integrierte virtuelle Inbetriebnahme	148
6.4.1	Materialflusssimulation	149
6.4.2	Anlagensimulation	151
6.4.3	Ergebnisse	152
6.5	Zusammenfassung	154
7	Zusammenfassende Bewertung und Ausblick	157
7.1	Zusammenfassung	157
7.2	Bewertung	159
7.3	Ausblick	161
	Literaturverzeichnis	163