

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnisix

Bildverzeichnis..... xiii

Tabellenverzeichnisxvii

1 Einleitung und Zielsetzung 1

1.1 Motivation..... 2

1.2 Zielsetzung..... 3

2 Stand der Technik und Forschung..... 5

2.1 Automatisierte Produktionsanlagen 5

2.1.1 OPC UA als Kommunikationsstandard in der Industrie6

2.1.2 Referenzmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) 7

2.1.3 Produktionsarchitekturen..... 8

2.2 Simulation von Produktionssystemen 9

2.2.1 Begriffsdefinition „Simulation“9

2.2.2 Nutzen und Grenzen von Simulationen10

2.2.3 Simulationsmethoden12

2.2.4 Verteilte Simulation als Co-Simulation15

2.2.4.1 Definition15

2.2.4.2 Architektur der Co-Simulation16

2.2.4.3 Mechanismen zur Kopplung der Simulationsumgebungen...17

2.2.4.4 Synchronisationsstrategien18

2.2.4.5 Bestehende Co-Simulationsansätze zur Werkzeugkopplung19

3 Energieversorgung automatisierter Produktionsanlagen mit Gleichstrom21

3.1 Grundlagen 21

3.2 Gleichstrom in der Produktion..... 22

3.2.1 Bedeutung von Gleichstrom in der Industrie 22

3.2.2 Stand der Technik..... 23

3.2.3 Stromversorgung in der Industrie mit Gleichstrom..... 25

3.2.3.1 Grundlagen..... 25

3.2.3.2 Effizienz des Gleichstromnetzes 26

3.2.4 Herausforderungen für Gleichstromnetze in der Industrie 27

3.2.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 29

3.2.5.1 Grundlagen der Entgeltberechnung für Privathaushalte 29

3.2.5.2 Grundlagen für Betriebe und Unternehmen 29

3.3	Smart Grids als Energieversorger der Zukunft.....	32
3.3.1	Definition eines Smart Grids	32
3.3.2	Abgrenzung von Smart Market und Smart Grid	34
3.3.3	Photovoltaikanlage als Energieerzeuger	35
3.3.4	Elektrische Energiespeicher	38
3.3.5	Prosumer	39
3.3.6	Anforderungen an ein Smart Grid	40
3.3.7	Simulation des Gleichstromnetzes mittels ereignisdiskreter Materialflusssimulation	41
3.3.7.1	Grundlagen	41
3.3.7.2	Modellierung des Energieeinflusses	42
4	Plattform für die kombinierte Material- und Energieflusssimulation	47
4.1	Zielbeschreibung: Picture of the Future	47
4.2	Synchronisation von Werkzeugen für eine verteilte Simulation	50
4.2.1	Strategie	50
4.2.2	Schnittstellen	51
4.2.3	Synchronisationsmechanismus	53
4.3	Umsetzung	54
4.3.1	Definition der Simulationsarten	55
4.3.2	Definition des Gesamtsystems	56
4.4	Informationsweitergabe	58
4.4.1	Datenverarbeitung	58
4.4.2	Informationsmodell	60
4.5	Ausgestaltung des Smart Grids	62
4.5.1	Architektur des Smart Grids	62
4.5.2	Energiemanagement in einem Smart Grid	63
4.6	Definition der Steuerungsstrategien	65
4.6.1	Prozesssteuerung	65
4.6.2	Steuerungsstrategien im intelligenten Gleichstromnetz	66
4.7	Auswahl geeigneter Simulationswerkzeuge für die verteilte Simulation	68
4.8	Implementierung der verteilten Simulation	70
4.8.1	Erstellung des OPC UA-Servers	71
4.8.2	Signalkopplung mit NX	71
4.8.3	Einbindung von Simulink in die kombinierte Simulation	72
4.8.4	Implementierung der Synchronisierung im Co- Simulationsmaster	75
4.8.5	Modellierung und Kopplung der virtuellen Steuerung	77

5	Implementierung: Kombinierte Material- und Energieflusssimulation einer gleichstrombasierten, automatisierten Produktionsanlage	79
5.1	Erstellung des Modells einer gleichstrombasierten Produktionsanlage	79
5.1.1	Gestaltung der Produktion	79
5.1.2	Verbraucher in der automatisierten Produktionsanlage	81
5.1.3	Definition der Energieversorgung	85
5.1.4	Leistungsdaten der Komponenten im Gleichstromnetz	86
5.2	Umsetzung der Prozesssimulation	88
5.2.1	Multiphysikalische Simulation	88
5.2.1.1	Modellierung des funktionalen Modells der Komponenten ..	89
5.2.1.2	Simulation	93
5.2.2	Plant Simulation	94
5.2.2.1	Abbildung der Anlage	94
5.2.2.2	Energieverbrauch auf Anlagenebene	95
5.2.3	Programmierung	96
5.2.3.1	Ablaufsteuerung	96
5.2.3.2	Mensch-Maschinen-Schnittstelle	97
5.3	Modellierung des Gleichstromnetzes	98
5.3.1	Modellierung der PV-Anlage als volatile Energiequelle	99
5.3.2	Modellierung des Netzbausteins	100
5.3.3	Modellierung des Akkumulators als Energiespeicher	101
5.3.4	Modellierung und Simulation des Akkus mit MATLAB Simulink	104
5.4	Kombinierte Simulation	107
5.4.1	Starten der kombinierten Simulation	107
5.4.2	Gesamtmodell der verteilten Simulation	109
5.4.3	Anhalten der kombinierten Simulation	111
5.5	Diskussion	111
5.5.1	Arbeit in bekannten Simulationswerkzeugen	111
5.5.2	Entkopplung von Prozess und Infrastruktur	112
5.5.3	Vereinfachung in den Komponenten der Elektrotechnik	113
5.5.4	Integration von Betriebsdaten zur Erstellung einer betriebsbegleitenden Simulation	115
6	Validierung der kombinierten Simulation anhand verschiedener Testszenarien	117
6.1	Regelbetrieb der Anlage	117
6.1.1	Veränderung des Produktionsablaufs	117
6.1.2	Preismodell	121

6.2	Bewertung der Simulation anhand von Testfällen	123
6.2.1	Vorbemerkung zum Verhalten des Akkumulators	123
6.2.2	Anwendungsfall 1: Regelbetrieb der Anlage.....	123
6.2.2.1	Bezug der Energie aus dem Versorgungsnetz	123
6.2.2.2	Nutzung der aus der PV-Anlage eingebrachten Leistung.....	126
6.2.2.3	Nutzung des gesamten Gleichstromnetzes	129
6.2.2.4	Nutzung des Akkumulators	130
6.2.3	Anwendungsfall 2: Ausfall des versorgenden Netzwerks	131
6.2.4	Anwendungsfall 3: Reaktion der Anlage auf die Sicherheitsfunktion Nothalt	134
6.3	Bewertung der Plattform der verteilten Simulation.....	135
6.4	Einordnung in RAMI 4.0	137
7	Zusammenfassung und Ausblick	141
8	Summary and outlook	145
	Literaturverzeichnis	149