

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	iii
Abkürzungsverzeichnis .....	ix
Bildverzeichnis .....	xiii
Tabellenverzeichnis .....	xix
<b>1 Simulationsbasierte Regelung von Fertigungsabläufen .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Identifikation von Handlungsbedarfen in der betriebsbegleitenden simulationsgestützten Optimierung.....</b>	<b>7</b>
2.1 Herstellung von Kalksandsteinen.....	7
2.1.1 Fertigungsprozesse und Materialflüsse bei der Kalksandsteinherstellung.....	8
2.1.2 Informationsflüsse zur Steuerung der Materialströme .....	17
2.1.3 Klassifizierung des Prozesses .....	21
2.1.4 Zukunftsfähigkeit und Handlungsbedarf .....	26
2.2 Optimierungsverfahren für die Steuerung von Produktionsabläufen.....	27
2.2.1 Evolution der Produktionsplanung und -steuerung .....	28
2.2.2 Verfahren zur Absatzplanung als Basis für die Planung des Produktionsprogramms .....	34
2.2.3 Scheduling-Probleme zur simultanen Mengen-, Termin-, Kapazitäts- und Reihenfolgeplanung.....	37
2.2.4 Exakte Algorithmen und heuristische Optimierungsmethoden.....	41
2.2.5 Simulationsgestützte Optimierung.....	43
2.3 Simulation zur effizienten Steuerung von Produktionsabläufen .....	44
2.3.1 Simulationsmethoden in der Wertstromoptimierung.....	45
2.3.2 Modellerstellung für ereignisdiskrete Materialflusssimulationen.....	47
2.3.3 Einsatzvarianten für Materialflusssimulationen.....	49
2.3.4 Betriebsbegleitende Simulation.....	50
2.3.5 Ansätze zum Einbezug von Energieverbräuchen in Materialflusssimulationen.....	53
2.4 Unternehmensweite Datenintegration .....	55
2.4.1 Wandel der Automatisierung im Kontext von Industrie 4.0....	55
2.4.2 Standards und Hürden der Betriebs- und Maschinendatenerfassung .....	58
2.4.3 OPC UA als Kommunikationsstandard in der Produktion .....	60

2.4.4	Überwachung von Fertigungsprozessen durch Data Analytics .....	62
2.5	Ableitung des Forschungsbedarfs unter Abgrenzung bestehender Forschungsansätze.....	66
<b>3</b>	<b>Effiziente Simulationsmodelle als operatives Werkzeug zur Identifikation und Bewertung von Verbesserungspotenzialen .....</b>	<b>75</b>
3.1	Modellierung der Materialflüsse in Kalksandsteinwerken zur ereignisdiskreten Simulation .....	75
3.1.1	Einsatzmöglichkeiten der Materialflusssimulation im Kalksandsteinwerk .....	76
3.1.2	Abbildung des Produktionsprozesses in einem generischen Baukasten-Modell .....	79
3.1.3	Integrierte Modellierung von Schüttgut und Stückgut in einer ereignisdiskreten Simulation .....	84
3.1.4	Anforderungsdefinition für die Härteprozessmodellierung ....	88
3.2	Energieflüsse im Herstellungsprozess für Kalksandsteine .....	91
3.2.1	Integration elektrischer Energieverbräuche anhand von Lastprofilen .....	91
3.2.2	Modellierung des thermischen Verhaltens der Werkstoffe vor dem Härteprozess .....	97
3.3	Physikalische Modellierung der thermodynamischen Wechselwirkungen beim Härteprozess .....	101
3.3.1	Grundlegende thermodynamische Zusammenhänge im Härteprozess .....	102
3.3.2	Temperatur- und Druckanstieg während der Aufheizphase ..	105
3.3.3	Druckregelung während der Halte- und Restdampfphase ..	109
3.3.4	Dampfabgabe während der Abkühlungsphase .....	113
<b>4</b>	<b>Verfahren zur automatisierten Generierung optimierter Fertigungsabläufe mittels Kopplung von Algorithmen und Simulationsmodellen .....</b>	<b>119</b>
4.1	Ganzheitliche simulationsgestützte Optimierung der Auftragssteuerung in der Kalksandsteinherstellung .....	119
4.1.1	Ziele und Komplexitätstreiber im Zusammenwirken der Prozessschritte .....	120
4.1.2	Dekompositionsverfahren zur Lösung des ganzheitlichen Problems .....	121
4.1.3	Ganzheitliches Lösungskonzept auf Basis der Dekomposition .....	125

4.2	Verfahren zur Ermittlung optimaler Losgrößen und zur Reihenfolgeplanung .....	128
4.2.1	Methodik zur Absatzplanung in KS-Werken .....	129
4.2.2	Optimierungsmodell zur Losgrößenoptimierung und Reihenfolgeplanung .....	133
4.2.3	Zugeschnittene Lösungsheuristik .....	137
4.3	Simulationsgestützte Optimierung der Autoklavenbeladung.....	138
4.3.1	Optimierungsansätze und Ziele .....	139
4.3.2	Lösungsverfahren.....	141
4.4	Zielgerechte Anpassung der initialen und abschließenden Produktionsstufen an die optimierten Hauptprozesse .....	145
4.4.1	Kapazitätsprüfung für den Verpackungsbereich .....	145
4.4.2	Rückwärtsterminierung der Mischaufträge .....	146
5	<b>Methodik zur ressourceneffizienten Regelung der Produktionsprozesse durch betriebsbegleitende simulationsgestützte Optimierung.....</b>	<b>149</b>
5.1	Regelungsmethodik zur vorausschauenden Reaktion auf Planabweichungen .....	150
5.1.1	Ablauf der Fertigungsregelung auf Basis betriebsbegleitender simulationsgestützter Optimierung .....	150
5.1.2	Identifizierung kritischer Planabweichungen.....	153
5.1.3	Voraussimulation zur Initialisierung des Optimierungsmodells mit künftig vorliegenden Produktionszuständen .....	154
5.1.4	Optimierung, Bewertung und regelnder Eingriff auf die Fertigungsabläufe.....	156
5.2	Echtzeitnahe digitale Abbildung der Produktion durch Integration relevanter Betriebs- und Maschinendaten .....	158
5.2.1	Konzipierung der Erfassung und Bereitstellung relevanter Daten .....	159
5.2.2	Technische Anbindung des KS-Cockpit an Automatisierungssysteme .....	161
5.2.3	Implementierung des betriebsbegleitenden Simulationsmodells .....	163
5.3	Implementierung der Methodik zur simulationsgestützten Fertigungsregelung .....	169
5.3.1	Aufbaustruktur des KS-Cockpit aus einzelnen Komponenten.....	169
5.3.2	Kommunikation zwischen den Komponenten des KS-Cockpit .....	171

*Inhaltsverzeichnis*

<b>6</b>	<b>Validierung und Umsetzung des Gesamtsystems .....</b>	<b>175</b>
6.1	Evaluierung der Simulationsmodellierung.....	175
6.2	Bewertung der Eignung der Optimierungsverfahren.....	179
6.3	Validierung der Methodik zur simulationsbasierten Fertigungsregelung .....	180
6.4	Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere Anwendungen .....	184
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>187</b>
<b>8</b>	<b>Summary and Outlook .....</b>	<b>191</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>195</b>