

Ein Beitrag zur operativen Produktionsplanung metallurgischer Prozesse

von

Hauke Bartusch



Inhalt

Kapitel 1 Einleitung.....	1
1.1 Bedeutung von Sekundärrohstoffen und Recyclingprozessen in der Stahl- und Zinkindustrie.....	1
1.2 Ein Ansatz zur operativen Produktionsplanung von Recyclingprozessen in der Metallindustrie	3
Kapitel 2 Rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen bei der Verwertung zinkhaltiger Reststoffe.....	5
2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen bei der Verwertung zinkhaltiger Reststoffe	5
2.1.1 Abfallrechtliche Rahmenbedingungen	5
2.1.2 Handel von Emissionszertifikaten	7
2.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen im Netzwerk der Stahl- und Zinkindustrie in Deutschland	9
2.3 Bewertung der wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen.....	15
Kapitel 3 Herleitung einer geeigneten Methodik zur Entscheidungsunterstützung bei der operativen Produktionsplanung	17
3.1 Abgrenzung der Planungshorizonte der Produktionsplanung und Identifikation eines geeigneten Ansatzes zur operativen Produktionsplanung	18
3.2 Prozessbeschreibung des Wälzprozesses und Herleitung eines Ansatzes zur Berechnung des Deckungsbeitrages.....	23
3.3 Identifikation einer geeigneten Methodik zur Verbesserung des Deckungsbeitrags des Wälzprozesses im Rahmen der operativen Produktionsplanung	30
3.3.1 Einfluss der Eigenschaften der Zielfunktion auf die Wahl geeigneter Methoden zur Verbesserung des Deckungsbeitrags	30

3.3.2	Einfluss der chemischen und thermodynamischen Abläufe im Prozess auf die Wahl geeigneter Methoden zur Prozessabbildung	33
3.3.3	Bisherige Ansätze der Verwendung von Fließschemasimulation in der Produktionsplanung	36
3.3.4	Ansätze zur direkten Kopplung von Fließschemasimulation mit einer Methode zur Verbesserung des Deckungsbeitrages in der operativen Produktionsplanung	38
3.4	Einsatz von Meta-Heuristiken in der Produktionsplanung und Auswahl eines geeigneten Algorithmus.....	41

Kapitel 4 Grundlagen der Partikel-Schwarm Optimierung und der Fließschemasimulation	53	
4.1	Funktionsweise und Ablauf der Partikel-Schwarm Optimierung	53
4.1.1	Basisvariante der Partikel-Schwarm Optimierung	53
4.1.2	Einsatz der Partikel-Schwarm Optimierung in der Praxis und Weiterentwicklungen.....	64
4.2	Stationäre, sequentiell modulare Fließschemasimulation zur detaillierten Beschreibung komplexer Verfahren der Prozessindustrie	71
4.2.1	Aufbau und Funktionsweise der stationären Fließschemasimulation	73
4.2.2	Funktionsweise und Einsatzbereich genutzter Grundoperationen der Fließschemasimulation	76
4.3	Verknüpfung von Partikel-Schwarm Algorithmus und Fließschemasimulation	85

Kapitel 5 Thermodynamische Modellierung des Wälzrohrprozesses mittels Fließschemasimulation	89	
5.1	Identifikation wesentlicher Verfahrensstufen und Reaktionszonen des Prozesses.....	89
5.2	Repräsentation der wesentlichen Verfahrensschritte und Reaktionszonen durch Grundoperationen	93
5.2.1	Mischung und Pelletierung	96
5.2.2	Wälzrohraufgabe und Aufwärm- sowie Trocknungszone	98
5.2.3	Reduktionszone.....	100

5.2.4	Oxidationszone.....	105
5.2.5	SDHL-Zone und Erdgasbrenner.....	106
5.2.6	Abgasreinigung und Produktabtrennung	107
5.2.7	Darstellung des dem Simulationsmodell zugrundliegenden Fließschemas.....	108
5.3	Integration wesentlicher Prozesscharakteristika durch Definition von Auslegungsvorschriften für die Simulation und interner Rechenanweisungen.....	110
5.3.1	Auslegungsvorschrift zur Bestimmung der Kalkzugabe.....	110
5.3.2	Auslegungsvorschrift zur Bestimmung der benötigten Luftzufuhr des Brenners	110
5.3.3	Bestimmung der Prozesstemperatur mittels einer Auslegungsvorschrift.....	111
5.3.4	Rechenblock zur Abschätzung der Durchströmung der Pelletschüttung mit Prozessluft	117
5.4	Simulationsablauf.....	118
5.5	Modellkalibrierung	120

Kapitel 6 Anpassung des Algorithmus zur Deckungsbeitragsmaximierung durch gekoppelte Partikel-Schwarm Optimierung und Fließschemasimulation.....127

6.1	Allgemeiner Funktionstest der PSO mit gekoppelter Fließschemasimulation	128
6.1.1	Belegung der PSO Parameter im Ausgangsfall	128
6.1.2	Ergebnisse des mit Fließschemasimulation gekoppelten PSO Algorithmus mit Standardbewegungsgleichung und Parametrisierung basierend auf Literaturempfehlungen.....	130
6.2	Anpassungen des PSO Algorithmus auf die Kopplung mit Fließschemasimulation	136
6.2.1	Variation der Initialisierungsart der Startpositionen des Partikel-Schwärms	136
6.2.2	Variation der Partikelanzahl im Schwarm.....	138

6.2.3	Modifikation der Partikel-Schwarmgröße und der Informationsverfügbarkeit im Schwarm.....	140
6.2.4	Überprüfung der Parametrisierung der Konstanten der Bewegungsgleichung	146
6.2.5	Identifikation falscher Simulationsergebnisse zur Laufzeit zur Verbesserung des Konvergenzverhaltens	153
6.2.6	Wahl des pseudo-Zufallszahlengenerators	155
6.2.7	Schritte des Programmablaufs.....	156
6.3	Vergleich des Ausgangsalgorithmus mit dem modifizierten Algorithmus	158
7.1	Ermittlung von guten Prozesseingangsgrößen zur Entscheidungsunterstützung bei Variation der chemischen Zusammensetzung der Reststoffe	161
7.2	Ermittlung von guten Prozesseingangsgrößen zur Entscheidungsunterstützung bei Variation von wichtigen Preisen	171
7.2.1	Berechnung von guten Prozesseingangsgrößen als Entscheidungsunterstützung bei Variation des Zinkpreises.....	172
7.2.2	Berechnung von guten Prozesseingangsgrößen als Entscheidungsunterstützung bei Variation der Behandlungsgebühr für das Wälzoxid.....	181
7.2.3	Berechnung von guten Prozesseingangsgrößen als Entscheidungsunterstützung bei Variation des Preises von CO ₂ -Emissionszertifikaten.....	188
8.1	Einschätzung der Eignung der vorgestellten Methodik und kritische Erwägungen	197
8.2	Mögliche Weiterentwicklungen und weitere Anwendungsfelder	201
8.2.1	Erweiterung der behandelten Fragestellung.....	201
8.2.2	Erweiterung des Partikel-Schwarm Algorithmus.....	202

Kapitel 9 Zusammenfassung	205
A Anhänge.....	213
A.1 Stoffströme im Fließschemamodell nach Kalibrierung	213
A.2 Klassendiagramm der .Net Implementierung des Partikel-Schwarm Algorithmus.....	225
A.3 Ergebnisse zur Algorithmusanpassung berechneter Szenarios.....	226
A.3.1 Variation der Startposition und der Partikelanzahl I	226
A.3.2 Variation der Anzahl der Nachbarn	228
A.3.3 Variation des inertia weight w	229
A.3.4 Variation der Beschleunigungskonstanten c_1 und c_2	233
A.4 Ergebnisse zur Entscheidungsunterstützung berechneter Szenarios	243
A.4.1 Variation der Reststoffzusammensetzung.....	243
A.4.2 Variation des Zinkpreises	244
A.4.3 Variation der Behandlungsgebühr für das Wälzoxid	245
A.4.4 Variation des Preises von CO ₂ -Emissionszertifikaten	246
B Verzeichnis benutzter Abkürzungen und Formelzeichen	247
C Abbildungsverzeichnis.....	252
D Tabellenverzeichnis.....	257
E Literaturverzeichnis.....	259