

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 | | |
| 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 | | |
| 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 zugrundeliegenden 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 Deckungsbeitrags- maximierung 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- Schwarms | 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 |

Kapitel 7 Szenarioanalysen zur Entscheidungsunterstützung bei der operativen Produktionsplanung 161

| | | |
|-------|--|-----|
| 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 |

Kapitel 8 Schlussfolgerungen und mögliche Weiterentwicklungen 197

| | | |
|-------|--|-----|
| 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 l | 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 |