

# Inhaltsverzeichnis

<b>Geleitwort.....</b>	<b>V</b>
<b>Vorwort .....</b>	<b>VII</b>
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XV</b>
<b>Algorithmenverzeichnis.....</b>	<b>XVII</b>
<b>Symbolverzeichnis.....</b>	<b>XIX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>Einheitenverzeichnis .....</b>	<b>XXV</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangslage und Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....	4
<b>2 Das Warmwalzen – ein energieintensiver Produktionsprozess im integrierten Hüttenwerk .....</b>	<b>7</b>
2.1 Produktionsprozesse der Stahlherstellung in integrierten Hüttenwerken .....	7
2.2 Energiebetrachtung in integrierten Hüttenwerken .....	12
2.3 Prozesscharakteristika des Warmwalzens .....	17
2.3.1 Allgemeine Prozesscharakteristika des Warmwalzens.....	17
2.3.2 Prozesscharakteristika der Brammenerwärmung .....	19
2.3.3 Prozesscharakteristika des Walzens an der Fertigstraße .....	22
2.4 Anforderungen an die energieorientierte Walzprogrammplanung.....	24
<b>3 Planungsansätze zur Walzprogrammplanung.....</b>	<b>29</b>
3.1 Einführung in die modellbasierte Planung .....	29
3.2 Einstufige Planungsansätze – Das Hot strip mill scheduling problem.....	31
3.3 Produktionsstufenübergreifenden Planungsansätze .....	34
3.4 Kritische Analyse bestehender Planungsansätze .....	37
<b>4 Modellierung der energieorientierten Walzprogrammplanung .....</b>	<b>45</b>

4.1	Konzeption.....	45
4.2	Annahmen .....	48
4.3	Notation.....	51
4.4	Mathematische Modellierung.....	52
4.5	Strukturvalidierung des Formalmodells .....	57
4.6	Klassifikation.....	59
4.7	Anforderungen an Lösungsverfahren.....	62
<b>5</b>	<b>Entwicklung eines Lösungsverfahrens zur energieorientierten Walzprogrammplanung .....</b>	<b>65</b>
5.1	Auswahl eines Verfahrens zur Lösung der energieorientierten Walzprogrammplanung.....	65
5.2	Eine GRASP-Heuristik zur Lösung der energieorientierten Walzprogrammplanung .....	67
5.2.1	Konstruktionsverfahren .....	67
5.2.2	Verbesserungsverfahren.....	69
5.2.3	Vollständiges Lösungsverfahren .....	73
5.3	Ableiten von Referenzwerten zur Evaluation des Lösungsverfahrens.....	74
5.3.1	Bestimmung einer unteren Schranke .....	74
5.3.2	Formalisierung eines Industriereferenzwerts.....	79
5.4	Zwischenfazit zum entwickelten Lösungsverfahren.....	82
<b>6</b>	<b>Fallstudie zur Validierung des entwickelten Lösungsverfahrens .....</b>	<b>85</b>
6.1	Konzeption der Fallstudie und Datengrundlage.....	85
6.2	Evaluation der unteren Schranke .....	90
6.3	Evaluation der GRASP-Heuristik .....	92
6.3.1	Parametrierung.....	93
6.3.2	Lösungszeit.....	95
6.3.3	Vergleich zum Optimum .....	97
6.3.4	Vergleich zur unteren Schranke.....	98
6.3.5	Vergleich zum Industriereferenzwert.....	103
6.4	Evaluation des Energieeinsparpotenzials.....	110
6.5	Konzept zur Implementierung des Verfahrens in der betrieblichen Praxis .....	112
<b>7</b>	<b>Kritische Würdigung und Ausblick .....</b>	<b>117</b>

---

7.1	Kritische Würdigung .....	117
7.1.1	Würdigung der Konzeption des Planungsansatzes .....	117
7.1.2	Würdigung der mathematischen Modellierung .....	121
7.1.3	Würdigung des Lösungsverfahrens .....	123
7.2	Handlungsempfehlungen zur Implementierung des Planungsansatzes in der Praxis .....	125
7.3	Ausblick.....	127
8	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>131</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>135</b>
Anhang A	<b>Einordnung energieorientierter Planungsansätze .....</b>	<b>143</b>
Anhang B	<b>Linearisierung .....</b>	<b>145</b>
Anhang C	<b>Komplexitätsnachweis .....</b>	<b>149</b>
Anhang D	<b>Vorstudie zur Divergenz des Auftragsportfolios.....</b>	<b>155</b>
Anhang E	<b>Beweis zur Zerlegbarkeit des relativen Fehlers.....</b>	<b>159</b>