

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Geschichtliche Entwicklung und aktuelle Bedeutung der Elektrostahlerzeugung	1
1.1.1 Neue Ofenkonzepte und Entwicklungen der Lichtbogenofentechnik	5
1.1.2 Energieeffizienz bei der Elektrostahlerzeugung	11
1.1.3 Emissionen der Elektrostahlerzeugung	15
1.2 Zielsetzung dieser Arbeit	19
<b>2 Effiziente Energieverwendung im Lichtbogenofen</b>	<b>21</b>
2.1 Intern konsistente Massenbilanzen	21
2.2 Intern konsistente Energiebilanzen	22
2.3 Abgasmessungen am Lichtbogenofen	28
2.3.1 Extraktive Abgasanalyzesysteme	30
2.3.2 In-situ Abgasanalyzesysteme	32
2.3.3 Durchführung der Abgasmessungen	33
2.3.4 Abgaszusammensetzung	40
2.3.5 Abgastemperatur	44
2.3.6 Abgasvolumenstrom	45
2.3.7 Abgasenthalpie	48
2.4 Einfluss des Frischens auf die Abgasenthalpie	49
2.5 Einfluss der Entstaubung auf die Energiebilanz, Airtight EAF	50
2.6 Einfluss der Nachverbrennung im Ofen auf den elektrischen Energiebedarf	53
2.7 Zusammenfassung	54
<b>3 Optimierung von Entstaubungsanlagen</b>	<b>55</b>
3.1 CFD Simulation der Nachverbrennung	55
3.1.1 Anwendung der CFD Simulation am Lichtbogenofen	55
3.1.2 CFD Simulation der Gasströmung in einem Grobabscheider	58
3.1.3 CFD Simulation der Gasströmung in einer Nachverbrennungskammer	65
3.2 Simulation der instationären Gasströmung in Entstaubungsanlagen	69
3.2.1 Strategie der Simulation der Entstaubungsanlage	70
3.2.2 Angewandte mathematische Modelle	71
3.2.3 Validierung der Simulationen	75
3.2.4 Simulation des Wärmetransports in das Kühlsystem der Entstaubungsanlage	81
3.2.5 Vergleich mit dem Wärmetransport in Wandkühlelemente	84
3.2.6 Schlussfolgerungen für den Elektrostahlbetrieb	85
3.2.7 Zusammenfassung	86

<b>4</b>	<b>Abgasemissionen der Lichtbogenöfen</b>	<b>87</b>
4.1	Maßnahmen zur Reduktion von gasförmigen Emissionen . . . . .	87
4.2	CO <sub>2</sub> -Emissionshandel und Kohlenstoffbilanz des Lichtbogenofens . . . . .	89
4.2.1	Berechnung des prozessbedingten Emissionswertes . . . . .	91
4.2.2	Berechnung des energiebedingten Emissionswertes . . . . .	95
4.2.3	Kohlenstoffemission und elektrischer Energiebedarf . . . . .	97
4.2.4	Zusammenfassung . . . . .	101
4.3	NO <sub>x</sub> -Emissionen des Lichtbogenofens . . . . .	103
4.3.1	Messung der NO <sub>x</sub> -Emission am Lichtbogenofen . . . . .	106
4.3.2	Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emission durch geregelte Abgasabsaugung . . . . .	113
4.3.3	Bildung von NO in einer reduzierenden Atmosphäre . . . . .	116
4.3.4	Thermochemische Simulation der NO-Emission . . . . .	116
4.4	CFD Simulation der NO-Bildung . . . . .	119
4.4.1	Reaktionskinetik in Gasen und Plasmen . . . . .	119
4.4.2	Landau-Teller-Formulierung der Reaktionsratenkonstanten . . . . .	121
4.4.3	Reaktionsraten an einer Oberfläche . . . . .	122
4.4.4	Reaktionsraten in turbulenten Strömungen . . . . .	122
4.4.5	Reaktionskinetik der Stickoxidbildung . . . . .	123
4.4.6	CFD Simulation der NO-Bildung bei CO-Nachverbrennung . . . . .	125
<b>5</b>	<b>Einflussgrößen auf den elektrischen Energiebedarf</b>	<b>129</b>
5.1	Modelle zur Berechnung des Energiebedarfs . . . . .	130
5.1.1	Modell zur Berechnung des elektrischen Energiebedarfs . . . . .	130
5.1.2	Modelle zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs . . . . .	133
5.1.3	Vergleich der prognostizierten mit den tatsächlichen Energieeinträgen	134
5.2	Wirkungsgrade der Energieübertragung auf Schrott und Schmelze . . . . .	135
5.3	Einfluss verschiedener Prozessgrößen auf den elektrischen Energiebedarf .	139
5.3.1	Ausbringen . . . . .	140
5.3.2	Schlackebildner . . . . .	142
5.3.3	Abstichtemperatur . . . . .	143
5.3.4	Chargenzeit . . . . .	144
5.3.5	Erdgasbrenner . . . . .	147
5.3.6	Einsatz von Sauerstoff zum Frischen der Schmelze . . . . .	149
5.3.7	Sauerstoff zur Abgasnachverbrennung im Lichtbogenofen . . . . .	153
5.3.8	Einsatz von Eisenschwamm . . . . .	155
5.3.9	Einsatz von flüssigem Roheisen . . . . .	158
5.3.10	Einsatz von Schredderschrott . . . . .	160
5.4	Kühlung des Lichtbogenofens . . . . .	161
5.5	Zusammenfassung . . . . .	161
<b>6</b>	<b>Kontrolle der Entkohlung hoch legierter Stahlschmelzen mittels Abgasmes-</b>	<b>163</b>
6.1	Chromverluste und Sauerstoffeffizienz in Lichtbogenofen und Konverter . . .	164
6.2	Einfluss von Kohlenstoff auf die Aktivität von Chrom in Fe-Schmelzen . . . .	167
6.3	Einfluss des CO-Partialdrucks auf die Oxidation von Chrom . . . . .	168
6.4	Schlackenführung bei hoch legierten Stahlschmelzen im Lichtbogenofen . .	170

6.5	Schaumslaggen bei hoch legierten Stahlschmelzen . . . . .	172
6.5.1	Schaumslaggen im Lichtbogenofen . . . . .	172
6.5.2	Schaumslaggen bei hoch legierten Schmelzen . . . . .	173
6.5.3	Schaumslaggen im Konverter . . . . .	174
6.6	Reaktionskinetik der Entkohlung . . . . .	174
6.7	Visualisierung der Entkohlung in Konvertern durch on-line Abgasmessung .	176
6.8	Abgasanalysegestütztes Modell zur Minimierung der Cr-Verschlackung im Lichtbogenofen . . . . .	179
<b>Zusammenfassung - Summary</b>		<b>183</b>
<b>Bezeichnungen</b>		<b>187</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>193</b>