

Inhaltsverzeichnis

1	Stahl	1
1.1	Geschichte des Stahls	2
1.2	Verhüttungsöfen für Eisenerze	3
1.2.1	Rennofen	4
1.2.2	Stückofen	4
1.2.3	Floßofen/Holzkohle-Hochofen	5
1.2.4	Koks-Hochofen	7
2	Schmiede und Puddel-Öfen	9
2.1	Schmied – ein magischer Beruf	9
2.2	Hammerschmiede mit Wasserkraft	12
2.3	Hammerschmiede mit Dampfkraft	12
2.4	Hammerschmiede mit Pressluft	13
2.5	Gesenkschmiede	15
2.6	Puddel-Herdofen-Verfahren	16
3	Primär-Metallurgie – Beginn der Massenstahl-Erzeugung	19
3.1	Bessemer-Blasstahl-Verfahren	19
3.2	Thomas-Blasstahl-Verfahren	20
3.2.1	Emissionen und Entstaubung des Thomas-Blasstahl-Verfahrens	23
3.3	Siemens-Martin-Ofen, Herdstahl-Verfahren	25
3.4	Elektro-Lichtbogen-Ofen, Herdstahl-Verfahren	28
3.4.1	Arbeitsablauf	29
3.4.2	Emissionsquellen und Entstaubung der Elektroofen-Stahlwerke	34
3.4.3	Entstaubung der Elektroofen-Stahlwerke	35
4	Schrott-Verfahren im Elektro-Lichtbogen-Ofen – aktuelles Herdofen-Verfahren	41
4.1	Metallurgischer Stoffumsatz des Schrott-Verfahrens (bezogen auf 1 t flüssigen Rohstahl)	42
4.2	Metallurgischer Wärmeumsatz des Schrott-Verfahrens (bezogen auf 1 t flüssigen Rohstahl)	45

5 Linde-Fränkli-Verfahren der Sauerstoff-Gewinnung	47
6 Weiterentwicklung der Sauerstoff-Blasstahl-Verfahrens	51
6.1 LD-LBE-Verfahren	52
6.2 LD-AC-Verfahren	52
6.3 OBM-Verfahren	52
6.4 TBM-Verfahren	54
7 Linz-Donawitz-(LD-)Verfahren – aktuelles Sauerstoff-Aufblas-Verfahren	55
7.1 LD-LBE-Konverter	55
7.2 Arbeitsablauf	56
7.3 Daten des LD-LEB-Verfahrens	57
7.4 Frischprozess des LD-LBE-Verfahrens	58
7.5 Sauerstoff-Affinitäten der Eisenbegleiter	59
7.6 Entkohlungsverlauf beim Frischen	61
7.7 Stellung der Sauerstoff-Lanze über dem Bad	63
7.8 Abbrand der Legierungselemente beim Frischen	64
7.9 Schlackenbildung	67
7.10 Schlackenmengen	68
7.11 Reaktionen im Brennfleck-Bereich	69
8 Metallurgischer Stoffumsatz	73
8.1 Berechnungsgrundlagen	73
8.1.1 Frischen (Oxidation) mit gasförmigem Sauerstoff	74
8.1.2 Frischen (Oxidation) mit gebundenem (Erz-)Sauerstoff	75
8.2 Berechnungsbeispiel 1	76
8.3 Berechnungsbeispiel 2	81
9 Metallurgischer Wärmeumsatz	85
9.1 Berechnungsgrundlagen	85
9.1.1 Bildungsenthalpie	85
9.1.2 Reaktions- und Bildungsenthalpie	85
9.1.3 Wärmeverbrauchende (exotherme) Vorgänge	87
9.2 Berechnungsbeispiel 3	87
9.3 Berechnungsbeispiel 4	90
10 Sonder-Verfahren	93
10.1 Graef-Rotor-Verfahren	93
10.2 Kaldo-Verfahren	95
11 Stahl-Recycling	97
11.1 Stahl-Recycling-Produkte	97
11.2 Ressourcen-Schonung	98
11.3 Verringerung der CO ₂ -Emissionen	98
11.4 Schrott-Sortenliste und Handling	98

11.5	Zink im Schrott	101
11.6	Zinkfreisetzung im Konverter	104
11.7	Zink-Gewinnung aus dem Schrott	105
11.8	Entzinkung des Schrotts.	106
12	Metallurgische Erkenntnisse beim LD-Verfahren für die Konvertergas-Behandlung	107
13	Verfahrenstechnische Berechnungsgrundlagen	111
13.1	Gleichung der Entkohlungsgeschwindigkeit	112
13.2	Gleichungen der CO-Gas-Verbrennung	114
13.3	Luftverhältnis $0 \leq \lambda_{\text{CO}} \leq 1$ (unvollständige Verbrennung)	116
13.3.1	Abgas-Volumenstrom im Normzustand: bei unvollständiger Verbrennung	116
13.3.2	Abgas-Zusammensetzung	116
13.4	Luftverhältnis $1 \leq \lambda_{\text{CO}} \leq \infty$ (vollständige Verbrennung)	118
13.4.1	Abgas-Volumenstrom im Normzustand: bei vollständiger Verbrennung	118
13.4.2	Abgas-Zusammensetzung	118
13.5	Luftverhältnis aus Gasanalysenwerten.	119
13.6	Luftverhältnis, korrigiert, bei Anwesenheit von Wasserstoff im Abgas. .	122
13.6.1	Wassergas-Reaktion	122
13.6.2	Chemisches Gleichgewicht	123
13.7	Computer-Programm	124
14	Erfassung des Konverter-Gasstrahls	127
14.1	Freistrahle	127
14.2	Konverter-Gasstrahl	128
14.2.1	Konverter-Gasstrahl als Injektor	128
14.2.2	Gaserfassung mit Pulsationen	131
14.2.3	Gaserfassung ohne Pulsationen	132
15	Konverterabgas-Kühlkamine.	135
16	Wärmetechnische Berechnungsgrundlagen – Kühlkamin	141
16.1	Wärmeübergang	141
16.2	Strahlungsaustausch	144
16.3	Wärmeübergang durch Konvektion	148
16.4	Dampf-Erzeugung	152
16.5	Dimensionierung Kühlkamin	154
17	Berechnungsbeispiel – Kühlkamin	155
17.1	Wärmestrom des Verbrennungsgases	158
17.2	CO ₂ -Strahlung im Kühlkamin	159
17.3	Konverter-Staub-Strahlung	160

17.4	Wärmeübertragung durch Konvektion	161
17.5	Wärmestrom-Übertragung durch Gas- und Staub-Strahlung mit Konvektion	164
18	Konvertergas-Entstaubung	165
18.1	Nass-Entstaubung	166
18.1.1	Veralteter klassischer Venturi-Wäscher	171
18.1.2	Neuer Venturi-Wäscher	174
18.1.3	Berechnungsgrundlagen für den Venturi-Wäscher mit 45°-Eindüsung	177
18.1.4	Ringspalt-Wäscher	179
18.1.5	Wasser- und Tropfen-Abscheidung	183
18.2	Wasserchemie der Nass-Entstaubung, mit kalkhaltigem Waschwasser ...	186
18.2.1	Löschen von Kalk im Waschwasser, ohne Kohlensäure	187
18.2.2	pH-Wert des Wassers in gesättigter $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lösung	188
18.2.3	Kalkhaltiges Waschwasser mit Kohlensäure	190
18.3	Vermeidung von Calciumcarbonat CaCO_3 -(s-)Ausfällungen	193
18.3.1	Härtestabilisatoren	193
18.3.2	Ausschleusung des kalk- und zinkhaltigen Wassers während der Kalk-Chargierung	194
18.3.3	CO_2 -Verfahren	199
18.3.4	Kalk-Entcarbonisierung	203
18.3.5	NaOH -(Soda-)Verfahren	206
18.4	Schlamm-Behandlung	209
18.5	Speicherprogrammierbare Steuerung, Regelungskonzept der Konvertergas-Nass-Entstaubung	212
18.6	Trocken-Entstaubung	217
18.6.1	Drei-Zonen Platten-Elektrofilter	217
18.6.2	Abscheidevorgang	221
18.6.3	Berechnungsgrundlagen, Staub-Abscheidung im elektrischen Feld	226
18.6.4	Berechnungsbeispiel, Platten-Elektrofilter-Auslegung	230
18.6.5	Vier-Zonen-Platten-Elektrofilter	234
18.6.6	Verdampfungskühler (VK)	234
18.6.7	Tropfen-Verdampfungszeiten	238
18.6.8	Verdampfungskühler-Auslegung	243
18.6.9	Staub-Heißbrikkettierung	245
18.6.10	Gas-Speicherung, Gas-Kühler	249
18.7	Nass-Elektrofilter	257
18.7.1	Vertikale Bauweise mit Waben	257
18.7.2	Auslegungsbeispiel Nass-Elektrofilter	260

19	Sekundär-Entstaubung in Stahlwerken	263
19.1	Konverter-Bereich	264
19.2	Vorbehandlung des Roheisens	265
20	Sekundär-Metallurgie	269
20.1	Pfannenofen	271
20.2	Vakuum-Metallurgie	271
20.3	Sonderverfahren zur Herstellung hochlegierter Stähle	273
21	Vergießen des Stahls	275
21.1	Blockguss-Verfahren	275
21.2	Strangguss-Verfahren	276
21.3	Gießwalzen	279
22	Wege zum Stahl	281
22.1	Formgebung	281
22.1.1	Längswalzen	281
22.1.2	Querwalzen	283
22.1.3	Schrägwalzen	284
22.1.4	Gerüstbauarten	285
22.1.5	Freiformen (Druck-Umform-Verfahren)	287
22.1.6	Gesenkform-Verfahren	288
23	Warm- und Kaltwalzwerke	291
23.1	Warmwalzwerk	291
23.2	Kaltwalzwerk	291
24	Massiv-Umformung	295
25	Tabellen	299
	Literatur	307
	Stichwortverzeichnis	311