

# Inhalt

<b>Vorwort .....</b>	<b>V</b>
<b>Autoren .....</b>	<b>VII</b>
<b>1. Verbrennungslehre .....</b>	<b>1</b>
1.1 Stöchiometrie .....	1
1.1.1 Reaktionselemente technischer Brennstoffe .....	1
1.1.2 Charakteristische Größen für die Zusammensetzung von gasförmigen Brennstoffen .....	2
1.1.2.1 Charakteristische Atomsummen bei gasförmigen Brennstoffen .....	2
1.1.3 Verbrennungsrechnung .....	4
1.1.3.1 Berechnung des Luftbedarfs .....	5
1.1.3.2 Berechnung der Abgasmenge und der Abgaszusammensetzung .....	7
1.2 Energieströme im Ofenraum .....	11
1.2.1 Kennzeichnende Ofenflächen .....	11
1.2.2 Charakteristische Leistungen und Wärmeströme .....	11
1.2.3 Energiebilanz .....	14
1.2.4 Wirkungsgrade .....	14
1.2.4.1 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	14
1.2.4.2 Ofentechnischer Wirkungsgrad .....	18
1.2.4.3 Wärmetechnischer Wirkungsgrad .....	18
1.2.5 Brennstoffersparnis bei Luftvorwärmung .....	19
<b>2. Strömungstechnik .....</b>	<b>21</b>
2.1 Ideales Gas .....	21
2.2 Kontinuitätsgleichung .....	23
2.3 Bernoullische Gleichung .....	24
2.4 Turbulenter Freistrahle .....	27
2.5 Druckverluste in Rohrleitungen .....	28
<b>3. Wärmeübertragung .....</b>	<b>30</b>
3.1 Mechanismen des Wärmetransports .....	30
3.2 Wärmestrahlung .....	32
3.2.1 Elektromagnetisches Spektrum .....	32
3.2.2 Stefan-Boltzmannsches Gesetz .....	33
3.2.3 Plancksches Verteilungsgesetz .....	34
3.2.4 Reflexion, Absorption, Transmission .....	34
3.2.5 Kirchhoffsches Gesetz .....	35
3.2.6 Richtungsabhängige und diffuse Strahlung .....	36

3.2.7	Strahlungsaustausch .....	36
3.2.7.1	Strahlungsdichte .....	36
3.2.7.2	Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern .....	37
3.2.8	Gasstrahlung .....	41
3.3	Wärmeleitung .....	41
3.3.1	Differentialgleichung des Temperaturfeldes .....	41
3.3.2	Stationäre, eindimensionale Wärmeleitung .....	42
3.3.2.1	Ebene Wände mit vorgegebenen Oberflächentemperaturen .....	42
3.3.2.2	Ebene Wände mit konvektivem Wärmeübergang .....	43
3.3.3	Instationäre Wärmeleitung .....	43
3.3.3.1	Körper mit sehr großer Wärmeleitfähigkeit .....	43
3.4	Konvektion .....	45
3.4.1	Anwendung der Ähnlichkeitstheorie zur Darstellung von Wärmeübertragungsgesetzen .....	46
3.4.2	Längs und quer angeströmter Zylinder .....	47
<b>4.</b>	<b>Brennertechnik .....</b>	<b>49</b>
4.1	Verbrennungstechnik .....	49
4.1.1	Buschfeuer .....	50
4.1.2	Offenes Rostfeuer .....	50
4.1.3	Einfacher Ofen .....	51
4.1.4	Feuerung mit Brennern .....	51
4.1.5	Entstehung der Flamme .....	51
4.1.6	Flammengeschwindigkeit .....	53
4.1.7	Einteilung von Flammen .....	54
4.2	Klassifizierung von Brennern und Flammen .....	55
4.2.1	Luftzufuhr .....	55
4.2.2	Brennstoff/Aggregatzustand .....	55
4.2.3	Stabilisierungsart .....	56
4.2.4	Flammefarbe .....	57
4.2.5	Luft- oder Brennstoffstufung .....	57
4.2.6	Flammenform .....	57
4.2.7	Strömungsgeschwindigkeit .....	58
4.2.8	Direkte und indirekte Beheizung .....	58
4.2.9	Luftvorwärmung .....	59
4.2.10	Stoichiometrie .....	60
4.2.11	Leistungsanpassung .....	60
4.3	Flammlose Oxidation .....	60
4.3.1	Prinzip .....	61
4.3.2	Berechnungen und Versuchsergebnisse .....	65
4.3.3	Feldmessungen .....	66
4.3.4	Anwendungen .....	70
4.3.5	Wesentliche Merkmale .....	71

<b>5.</b>	<b>Computersimulation .....</b>	<b>72</b>
5.1	Aufbereiten der Aufgabenstellung .....	72
5.1.1	Berechnungsgitter .....	72
5.1.2	Stationäre oder instationäre Berechnung .....	74
5.1.3	Stoffeigenschaften .....	75
5.1.4	Randbedingungen .....	75
5.1.5	Rechen-Modelle .....	77
5.2	Lösen der Gleichungen .....	79
5.3	Ergebnisdarstellung .....	79
<b>6.</b>	<b>Schadstoffminderung .....</b>	<b>81</b>
6.1	NO <sub>x</sub> -Minderung durch Flammenkühlung .....	83
6.2	Magere Vormischverbrennung .....	84
6.3	Flammenstufung .....	85
6.4	Abgasrezirkulation .....	86
6.5	Sauerstoffverbrennung .....	86
6.6	Begrenzung der Luftvorwärmung .....	87
6.7	Brennstoff NO-Reduzierung .....	87
6.8	Abgasentstickung .....	87
6.9	NO <sub>x</sub> -Maßeinheiten .....	87
6.10	NO <sub>x</sub> -Messungen .....	89
<b>7.</b>	<b>Wärmetauscher .....</b>	<b>91</b>
7.1	Grundbauarten .....	92
7.2	Kenngrößen .....	95
7.3	Bestimmung von Wirkungsgraden .....	98
7.3.1	Bestimmung des Leerwertes .....	99
7.3.2	Messung der Luftvorwärmtemperatur .....	103
7.3.3	Messung der Abgastemperatur .....	103
<b>8.</b>	<b>Industriebrenner .....</b>	<b>105</b>
8.1	Kaltluftbrenner .....	105
8.1.1	Vorgemischbrenner .....	105
8.1.2	Mündungsmischbrenner .....	105
8.1.3	Gebläsebrenner .....	111
8.1.4	Oberflächenbrenner .....	111
8.1.5	Porenbrenner .....	112
8.1.6	Flachflammenbrenner .....	113
8.1.7	Schwach- und Sondergasbrenner .....	113
8.1.8	Mehrstoffbrenner .....	114
8.1.9	Brenner für sauerstoffangereicherte Luft .....	116

8.2	Warmluftbrenner .....	118
8.2.1	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator .....	121
8.2.2	Getaktete Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator .....	123
8.2.3	Warmluftbrenner mit Zentralregenerator .....	127
8.2.4	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zonenreku oder Drehbettregenerator .....	129
8.3	Rekuperatorbrenner .....	130
8.3.1	Rekuperatorbrenner mit Eduktor .....	134
8.3.2	Rekuperatorbrenner mit Abgasklappe .....	138
8.4	Regeneratorbrenner .....	139
8.4.1	Regenerator-Brenner-Paare .....	140
8.4.2	Regenerator-Brenner .....	142
8.5	Strahlheizrohre .....	145
8.5.1	Strahlrohrbauformen .....	145
8.5.2	Wärmerückgewinnung bei Strahlheizrohren .....	148
8.5.3	Temperaturgleichmäßigkeit .....	152
8.5.4	Regelung von Strahlheizrohren .....	152
8.5.5	Strahlrohranordnung und Auslegung .....	154
<b>9.</b>	<b>Normen und gesetzliche Vorschriften .....</b>	<b>157</b>
9.1	Einleitung und Grundsätzliches .....	157
9.2	Normungsorganisationen .....	157
9.3	Normen, Normungsbezeichnungen und deren Wirkungsbereich .....	158
9.3.1	DIN-Norm .....	160
9.3.2	EN-Norm und DIN EN-Norm .....	160
9.3.3	ISO-Norm, DIN ISO-Norm, EN ISO-Norm und DIN EN ISO-Norm .....	160
9.4	Grundsätzliches zur europäischen Normungsarbeit .....	160
9.4.1	EG-Binnenmarktrichtlinien .....	161
9.4.2	Neue Konzeption (New Approach) .....	161
9.4.3	Zusammenhang zwischen Richtlinie und Normung .....	162
9.4.4	Anwendung europäischer Harmonisierter Normen .....	163
9.5	Die EG-Maschinenrichtlinie.....	163
9.5.1	Allgemeine Anforderungen an Maschinen .....	164
9.5.2	Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen .....	165
9.5.3	Konformitätserklärung .....	167
9.5.4	Verfahren für unvollständige Maschinen .....	168
9.5.5	CE-Kennzeichen .....	169
9.5.6	Schutzklauselverfahren .....	170
9.6	Weitere EG-Richtlinien .....	170
9.6.1	Druckgeräterichtlinie (PED) .....	170
9.6.2	Gasgeräterichtlinie (GAD) .....	171
9.7	Normungsstruktur zur Maschinenrichtlinie.....	171
9.8	Wichtige Typ A- und Typ B-Normen für Industriebrenner .....	172
9.8.1	Wichtige Typ A-Normen für Thermoprozessanlagen und Industriebrenner .....	172
9.8.1.1	DIN EN ISO 12100 .....	172

---

9.8.2	Wichtige Typ B-Normen für Thermoprozessanlagen und Industriebrenner .....	173
9.8.2.1	DIN EN 614-1 Ergonomische Gestaltungsgrundsätze .....	173
9.8.2.2	DIN EN 953 .....	173
9.8.2.3	DIN EN 1037 Vermeidung von unerwartetem Anlauf .....	174
9.8.2.4	DIN EN ISO 13732-1 Kontakt mit heißen Oberflächen .....	174
9.8.2.5	DIN EN ISO 13849-1 sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen .....	175
9.8.2.6	DIN EN ISO 13850 NOT-HALT-Einrichtung .....	176
9.8.2.7	DIN EN 60204-1 .....	176
9.8.2.8	DIN EN 61496-1 .....	177
9.9	Wichtige Typ C-Normen für Industriebrenner .....	177
9.9.1	DIN EN 746-1 .....	177
9.9.2	DIN EN 746-2 .....	179
9.10	Normen für Komponenten von Industriebrennern .....	180
9.10.1	DIN EN 161 .....	180
9.10.2	DIN EN 225-1 .....	180
9.10.3	DIN EN 225-2 .....	181
9.10.4	DIN EN 230 .....	181
9.10.5	DIN EN ISO 23553-1 .....	181
9.10.6	DIN EN 298 .....	182

XVI	Inhalt
9.10.7	DIN EN 1643 ..... 183
9.10.8	DIN EN 1854 ..... 183
9.10.9	DIN EN 12067-1 ..... 184
9.10.10	DIN EN 12067-2 ..... 184
9.11	Normen für Kompaktbrenner ..... 185
9.11.1	DIN EN 267 ..... 185
9.11.2	DIN EN 676 ..... 186
9.12	Normen für Thermoprozessanlagen ..... 186
9.12.1	DIN EN 746-3 ..... 186
9.12.2	DIN EN 746-4 ..... 187
9.12.3	DIN EN 746-5 ..... 188
9.12.4	prEN 746-6 ..... 189
9.12.5	prEN 746-7 ..... 190
9.12.6	DIN EN 746-8 ..... 191
9.12.7	DIN EN 1547 ..... 192
9.12.8	DIN EN 1539 ..... 193
9.13	Wie liest man eine Norm ..... 194
<b>Anhang</b>	..... 195
	GWI-Arbeitsblätter ..... 195
	Wärmetechnische Begriffe ..... 257
	Weitere Informationen zum Fach ..... 260
	Gaswärme International - Veröffentlichungen (1998-2010) ..... 267
<b>Stichwortverzeichnis</b>	..... 281
<b>Inserentenverzeichnis</b>	..... 285