

Inhalt

Vorwort	V
Autoren	VII
1. Verbrennungslehre	1
1.1 Stöchiometrie	2
1.1.1 Reaktionselemente technischer Brennstoffe	2
1.1.2 Charakteristische Größen für die Zusammensetzung von gasförmigen Brennstoffen	3
1.1.2.1 Charakteristische Atomsummen bei gasförmigen Brennstoffen.....	3
1.1.3 Verbrennungsrechnung.....	5
1.1.3.1 Berechnung des Luftbedarfs.....	6
1.1.3.2 Berechnung der Abgasmenge und der Abgaszusammensetzung.....	8
1.2 Energieströme im Ofenraum	12
1.2.1 Kennzeichnende Ofenflächen.....	12
1.2.2 Charakteristische Leistungen und Wärmeströme.....	12
1.2.3 Energiebilanz	15
1.2.4 Wirkungsgrade.....	15
1.2.4.1 Feuerungstechnischer Wirkungsgrad.....	15
1.2.4.2 Ofentechnischer Wirkungsgrad.....	19
1.2.4.3 Wärmetechnischer Wirkungsgrad	19
1.2.5 Brennstoffersparnis bei Luftvorwärmung.....	20
2. Strömungstechnik	23
2.1 Ideales Gas	24
2.2 Kontinuitätsgleichung.....	26
2.3 Bernoullische Gleichung	27
2.4 Turbulenter Freistrah.....	30
2.5 Druckverluste in Rohrleitungen	31
2.5.1 Druckverluste bei unterschiedlichen Brenngasen.....	33
3. Wärmeübertragung	35
3.1 Mechanismen des Wärmetransports	36
3.2 Wärmestrahlung.....	38
3.2.1 Elektromagnetisches Spektrum.....	38
3.2.2 Stefan-Boltzmannsches Gesetz	39
3.2.3 Plancksches Verteilungsgesetz	40
3.2.4 Reflexion, Absorption, Transmission	40
3.2.5 Kirchhoffsches Gesetz	41
3.2.6 Richtungsabhängige und diffuse Strahlung.....	42

3.2.7	Strahlungsaustausch	42
3.2.7.1	Strahlungsdichte.....	42
3.2.7.2	Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern.....	43
3.2.8	Gasstrahlung.....	47
3.3	Wärmeleitung.....	47
3.3.1	Differentialgleichung des Temperaturfeldes	47
3.3.2	Stationäre, eindimensionale Wärmeleitung	48
3.3.2.1	Ebene Wände mit vorgegebenen Oberflächentemperaturen	48
3.3.2.2	Ebene Wände mit konvektivem Wärmeübergang.....	49
3.3.3	Instationäre Wärmeleitung.....	49
3.3.3.1	Körper mit sehr großer Wärmeleitfähigkeit.....	49
3.4	Konvektion	51
3.4.1	Anwendung der Ähnlichkeitstheorie zur Darstellung von Wärmeübertragungsgesetzen.....	52
3.4.2	Längs und quer angeströmter Zylinder	53
3.5	Erwärmung und Abkühlung bei kleiner Biot- oder Sparrow-Zahl.....	55
3.5.1	Erwärmung eines Gutes bei annähernd homogener Guttemperatur	55
3.5.1.1	Definition der Kennzahlen.....	55
3.5.2	Erwärmung durch konvektiven Wärmeübergang.....	56
3.5.3	Erwärmung durch Temperaturstrahlung.....	59
3.5.4	Erwärmung durch Konvektion und Strahlung	61
4.	Brennertechnik.....	69
4.1	Verbrennungstechnik	70
4.1.1	Buschfeuer.....	71
4.1.2	Offenes Rostfeuer	71
4.1.3	Einfacher Ofen.....	72
4.1.4	Feuerung mit Brennern.....	72
4.1.5	Entstehung der Flamme.....	72
4.1.6	Flammengeschwindigkeit	74
4.1.7	Einteilung von Flammen	75
4.2	Klassifizierung von Brennern und Flammen	76
4.2.1	Luftzufuhr	76
4.2.2	Brennstoff/Aggregatzustand	76
4.2.3	Stabilisierungsart.....	77
4.2.4	Flammenfarbe	78
4.2.5	Luft- oder Brennstoffstufung	78
4.2.6	Flammenform.....	78
4.2.7	Strömungsgeschwindigkeit	79
4.2.8	Direkte und indirekte Beheizung	79
4.2.9	Luftvorwärmung	80
4.2.10	Stöchiometrie	81
4.2.11	Leistungsanpassung.....	81
4.3	Flammlose Oxidation	81

4.3.1	Prinzip	82
4.3.2	Berechnungen und Versuchsergebnisse	86
4.3.3	Feldmessungen	87
4.3.4	Anwendungen.....	91
4.3.5	Wesentliche Merkmale	92
4.3.6	Gestufte flammlose Oxidation	92
5.	Computersimulation	93
5.1	Aufbereiten der Aufgabenstellung.....	94
5.1.1	Berechnungsgitter	95
5.1.2	Stationäre oder instationäre Berechnung	97
5.1.3	Stoffeigenschaften	97
5.1.4	Randbedingungen	97
5.1.5	Rechenmodelle	99
5.2	Lösen der Gleichungen	101
5.3	Ergebnisdarstellung	102
5.4	Die Zukunft von CFD	103
6.	Schadstoffminderung.....	105
6.1	NO _x -Minderung durch Flammenkühlung	109
6.2	Magere Vormischverbrennung	110
6.3	Flammenstufung	110
6.4	Abgasrezirkulation	111
6.5	Sauerstoffverbrennung.....	112
6.6	Begrenzung der Luftvorwärmung	112
6.7	Brennstoff-NO-Reduzierung.....	112
6.8	Abgaseinstickung.....	113
6.9	NO _x -Maßeinheiten	113
6.10	NO _x -Messungen.....	113
6.11	NO _x bei Wasserstoffverbrennung	115
7.	Wärmetauscher.....	117
7.1	Grundbauarten	119
7.1.1	Zentralrekuperatoren.....	122
7.1.2	Rekuperator- und Regeneratorbrenner	124
7.2	Kenngrößen	124
7.3	Bestimmung von Wirkungsgraden.....	127
7.3.1	Bestimmung des Leerwertes	128
7.3.2	Messung der Luftvorwärmtemperatur	132
7.3.3	Messung der Abgastemperatur	132

8.	Industriebrenner	133
8.1	Kaltluftbrenner	135
8.1.1	Vorgemischbrenner	135
8.1.2	Mündungsmischbrenner	135
8.1.3	Gebläsebrenner.....	141
8.1.4	Oberflächenbrenner.....	141
8.1.5	Porenbrenner.....	142
8.1.6	Flachflammenbrenner	143
8.1.7	Schwach- und Sondergasbrenner.....	143
8.1.8	Mehrstoffbrenner	144
8.1.9	Sauerstoffbrenner.....	146
8.2	Warmluftbrenner.....	148
8.2.1	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator.....	151
8.2.2	Getaktete Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator.....	153
8.2.3	Warmluftbrenner mit Zentralregenerator.....	157
8.2.4	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zonenreku oder Drehbettregenerator.....	157
8.3	Rekuperatorbrenner.....	160
8.3.1	Rekuperatorbrenner mit Eduktor	163
8.3.2	Rekuperatorbrenner mit Abgasklappe	167
8.4	Regeneratorbrenner	168
8.4.1	Regeneratorbrennerpaare	168
8.4.2	Regeneratorbrenner	171
8.5	Strahlheizrohre	173
8.5.1	Strahlrohrbauformen	173
8.5.2	Wärmerückgewinnung bei Strahlheizrohren	176
8.5.3	Temperaturgleichmäßigkeit.....	180
8.5.4	Regelung von Strahlheizrohren.....	180
8.5.5	Strahlrohranordnung und Auslegung	182
8.6	Brenner mit feuerungstechnischem Wirkungsgrad > 80 %.....	184
8.6.1	Rippenrohr-Rekuperatorbrenner mit Metallschaum.....	184
8.6.2	Rekuperatorbrenner mit Spaltstromwärmetauscher	185
8.7	Brenner für Wasserstoff	186
8.8	Hybride Gas-/Elektrobeheizungen.....	187
9.	Normen und gesetzliche Vorschriften.....	189
9.1	Einleitung und Grundsätzliches.....	190
9.2	Normungsorganisationen.....	190
9.3	Normen, Normungsbezeichnungen und deren Wirkungsbereich	194
9.3.1	DIN-Norm.....	195
9.3.2	EN-Norm und DIN EN-Norm	195
9.3.3	ISO-Norm, DIN ISO-Norm, EN ISO-Norm und DIN EN ISO-Norm	195
9.4	Grundsätzliches zur europäischen Normungsarbeit	195
9.4.1	EG-Binnenmarktrichtlinien und -Verordnungen	196

9.4.2	Neue Konzeption (New Approach).....	196
9.4.3	Zusammenhang zwischen Richtlinie/Verordnung und Normung.....	197
9.4.4	Anwendung europäischer Harmonisierter Normen	198
9.5	Die EG-Maschinenrichtlinie	198
9.5.1	Allgemeine Anforderungen an Maschinen.....	200
9.5.2	Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen.....	200
9.5.3	Konformitätserklärung	200
9.5.4	Verfahren für unvollständige Maschinen	202
9.5.5	CE-Kennzeichen	203
9.5.6	Schutzklauselverfahren.....	203
9.5.7	Betrieb von Anlagen unter der Betriebssicherheitsverordnung sowie dem Vorschriften- und Regelwerk der gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV)	204
9.5.8	Vermutungswirkung	204
9.6	Normungsstruktur zur Maschinenrichtlinie	204
9.7	Weitere EG-Richtlinien/Verordnungen.....	205
9.7.1	Druckgeräterichtlinie (PED).....	205
9.7.2	Gasgeräteverordnung (GAR).....	206
9.8	Übersicht von EN-Normen für Thermoprozessanlagen mit Bezug zur Maschinenrichtlinie	206

9.9	Übersicht von ISO-Normen für Thermoprozessanlagen und Industriebrenner	209
9.10	Übersicht von Normen für Thermoprozessanlagen mit Bezug zur Elektrotechnik	209
9.11	Wie liest man eine Norm.....	210
10.	Industrielle Brennertechnik und nachhaltige Wärmeerzeugung in Zeiten des Wandels.....	213
10.1	Einführung	214
10.2	Energiewende.....	215
10.3	Fluktuierende Erzeugung	215
10.4	Zukünftige Entwicklung der Energiepreise.....	216
10.5	Thermoprozesstechnik.....	217
10.6	Direkte Elektrifizierung	217
10.7	Hybride Systeme	217
10.8	Brennstoffflexible Brenner	217
10.9	Indirekte Elektrifizierung durch Nutzung von Elektrolysewasserstoff	218
10.10	Ausblick	219
Anhang	221
	Arbeitsblätter GWI.....	221
	Fachzeitschriften.....	286
	Konferenzen und Tagungen	286
	Forschungsinstitute, Forschungsvereinigungen und Verbände	287
	FOGI.....	288
	Universitäten	289
	Fachmessen.....	290
	Fachbücher zum Thema	291
Stichwortverzeichnis	317
Inserentenverzeichnis	322