

Inhalt

Vorwort	III
Autoren	V
1. Verbrennungslehre	1
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	15
1.2.4.3 Wärmetechnischer Wirkungsgrad	17
1.2.5 Brennstoffersparnis bei Luftvorwärmung	17
2. Strömungstechnik	19
2.1 Ideales Gas	19
2.2 Kontinuitätsgleichung	21
2.3 Bernoullische Gleichung	22
2.4 Turbulenter Freistrah	25
2.5 Druckverluste in Rohrleitungen	26
3. Wärmeübertragung	28
3.1 Mechanismen des Wärmetransports	28
3.2 Wärmestrahlung	30
3.2.1 Elektromagnetisches Spektrum	30
3.2.2 Stefan-Boltzmannsches Gesetz	31
3.2.3 Plancksches Verteilungsgesetz	32
3.2.4 Reflexion, Absorption, Transmission	32

X		Inhalt
3.2.5	Kirchhoffsches Gesetz	33
3.2.6	Richtungsabhängige und diffuse Strahlung	34
3.2.7	Strahlungsaustausch	34
3.2.7.1	Strahlungsdichte	34
3.2.7.2	Strahlungsaustausch zwischen zwei Körpern	35
3.2.8	Gasstrahlung	39
3.3	Wärmeleitung	39
3.3.1	Differentialgleichung des Temperaturfeldes	39
3.3.2	Stationäre, eindimensionale Wärmeleitung	40
3.3.2.1	Ebene Wände mit vorgegebenen Oberflächentemperaturen	40
3.3.2.2	Ebene Wände mit konvektivem Wärmeübergang	41
3.3.3	Instationäre Wärmeleitung	41
3.3.3.1	Körper mit sehr großer Wärmeleitfähigkeit	41
3.4	Konvektion	43
3.4.1	Anwendung der Ähnlichkeitstheorie zur Darstellung von Wärmeübertragungsgesetzen	44
3.4.2	Längs und quer angeströmter Zylinder	45
4.	Brennertechnik	47
4.1	Verbrennungstechnik	47
4.1.1	Buschfeuer	48
4.1.2	Offenes Rostfeuer	48
4.1.3	Einfacher Ofen	49
4.1.4	Feuerung mit Brennern	49
4.1.5	Entstehung der Flamme	49
4.1.6	Flammengeschwindigkeit	51
4.1.7	Einteilung von Flammen	52
4.2	Klassifizierung von Brennern und Flammen	53
4.2.1	Luftzufuhr	53
4.2.2	Brennstoff/Aggregatzustand	53
4.2.3	Stabilisierungsart	54
4.2.4	Flammefarbe	55
4.2.5	Luft- oder Brennstoffstufung	55
4.2.6	Flammenform	55
4.2.7	Strömungsgeschwindigkeit	56
4.2.8	Direkte und indirekte Beheizung	56
4.2.9	Luftvorwärmung	57
4.2.10	Stoichiometrie	58
4.2.11	Leistungsanpassung	58
4.3	Flammlose Oxidation	58
4.3.1	Prinzip	59

Inhalt	XI
4.3.2 Berechnungen und Versuchsergebnisse	63
4.3.3 Feldmessungen	64
4.3.4 Anwendungen	68
4.3.5 Wesentliche Merkmale	69
5. Computersimulation	70
5.1 Aufbereiten der Aufgabenstellung	70
5.1.1 Berechnungsgitter	70
5.1.2 Stationäre oder instationäre Berechnung	72
5.1.3 Stoffeigenschaften	73
5.1.4 Randbedingungen	73
5.1.5 Rechen-Modelle	75
5.2 Lösen der Gleichungen	77
5.3 Ergebnisdarstellung	77
6. Schadstoffminderung	79
6.1 NO _x -Minderung durch Flammenkühlung	81
6.2 Magere Vormischverbrennung	82
6.3 Flammenstufung	83



Mit Technik am Ball für ein besseres Klima.

Wer die Zukunft gewinnen will, muss mit Energie wirtschaftlich und intelligent umgehen. Wir von E.ON Ruhrgas bringen deshalb eine starke Mannschaft ins Spiel. Mit **Leistung und Engagement** entwickeln unsere Mitarbeiter Ideen und Technik für weniger Energieverbrauch und mehr Umweltverträglichkeit.

www.eon-ruhrgas.com

Olympia Partner Deutschland



e-on | Ruhrgas

XII		Inhalt
6.4	Abgasrezirkulation	84
6.5	Sauerstoffverbrennung	84
6.6	Begrenzung der Luftvorwärmung	85
6.7	Brennstoff NO Reduzierung	85
6.8	Abgasentstickung	85
6.9	NO _x -Maßeinheiten	85
6.10	NO _x -Messungen	88
7.	Wärmetauscher	89
7.1	Grundbauarten	90
7.2	Kenngrößen	93
7.3	Bestimmung von Wirkungsgraden	96
7.3.1	Bestimmung des Leerwertes	97
7.3.2	Messung der Luftvorwärmtemperatur	100
7.3.3	Messung der Abgastemperatur	101
8.	Industriebrenner	103
8.1	Kaltluftbrenner	103
8.1.1	Vorgemischbrenner	103
8.1.2	Mündungsmischbrenner	103
8.1.3	Gebälsebrenner	109
8.1.4	Oberflächenbrenner	109
8.1.5	Porenbrenner	110
8.1.6	Flachflammenbrenner	111
8.1.7	Schwach- und Sondergasbrenner	111
8.1.8	Mehrstoffbrenner	112
8.1.9	Brenner für sauerstoffangereicherte Luft	115
8.2	Warmluftbrenner	117
8.2.1	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator	120
8.2.2	Getaktete Warmluftbrenner mit Zentralrekuperator	122
8.2.3	Warmluftbrenner mit Zentralregenerator	127
8.2.4	Stetig geregelte Warmluftbrenner mit Zonenreku oder Drehbettregenerator	127
8.3	Rekuperatorbrenner	128
8.3.1	Rekuperatorbrenner mit Eduktor	132
8.3.2	Rekuperatorbrenner mit Abgasklappe	135
8.4	Regeneratorbrenner	137
8.4.1	Regenerator-Brenner-Paare	137
8.4.2	Regenerator-Brenner	140
8.5	Strahlheizrohre	142
8.5.1	Strahlrohrbauformen	142

8.5.2	Wärmerückgewinnung bei Strahlheizrohren	146
8.5.3	Temperaturgleichmäßigkeit	148
8.5.4	Regelung von Strahlheizrohren	150
8.5.5	Strahlrohranordnung und Auslegung	151
9.	Normen und gesetzliche Vorschriften	155
9.1	Einleitung und Grundsätzliches	155
9.2	Normungsorganisationen	155
9.3	Normen und deren Wirkungsbereich	157
9.4	Grundsätzliches zur europäischen Normungsarbeit	158
9.4.1	EG-Binnenmarktrichtlinien	158
9.4.2	Neue Konzeption (New Approach)	158
9.4.3	Zusammenhang zwischen Richtlinie und Normung	159
9.4.4	Anwendung europäischer Harmonisierter Normen	160
9.5	Die EG-Maschinenrichtlinie (MD)	160
9.5.1	Konformitätserklärung	161
9.5.2	Herstellererklärung	162



– Und was kostet es?

– Kostet?
Bei einer möglichen Kapazitätssteigerung bis zu 100%!

Das ECOTHAL® – Brenner System reduziert Ihre Energiekosten mit 35% und dass bei deutlich geringeren NO_x-Werten im Vergleich zu Wettbewerbsprodukten.

Besuchen Sie uns auf der Thermprocess, Stand 5/C36.

9.5.3	CE-Kennzeichen	162
9.5.4	Neue Maschinenrichtlinie ab 29.12.2009	163
9.6	Weitere EG-Richtlinien	165
9.6.1	Druckgeräterichtlinie (PED)	165
9.6.2	Gasgeräterichtlinie (GAD)	165
9.7	Betrieb von Anlagen	166
9.8	Normungsstruktur zur Maschinenrichtlinie	167
9.9	Wichtige Typ-A- und Typ-B-Normen für Industriebrenner	168
9.9.1	Wichtige Typ A-Normen für Thermoprozessanlagen und Industriebrenner	168
9.9.1.1	DIN EN 1050	168
9.9.1.2	DIN EN 60204-1	169
9.9.1.3	DIN EN ISO 12100-1	169
9.9.1.4	DIN EN ISO 12100-2	170
9.9.2	Wichtige Typ B-Normen für Thermoprozessanlagen und Industriebrenner	170
9.9.2.1	DIN EN ISO 13850	170
9.9.2.2	DIN EN ISO 13732-1	170
9.9.2.3	DIN EN 953	171
9.9.2.4	DIN EN 61496-1	172
9.10	Wichtige Typ-C-Normen für Industriebrenner	172
9.10.1	DIN EN 746-1	172
9.10.2	DIN EN 746-2	173
9.11	Normen für Komponenten von Industriebrennern	174
9.11.1	DIN EN 161	174
9.11.2	DIN EN 225-1	175
9.11.3	DIN EN 225-2	175
9.11.4	DIN EN 230	175
9.11.5	DIN EN 264	176
9.11.6	DIN EN 298	176
9.11.7	DIN EN 1643	177
9.11.8	DIN EN 1854	177
9.11.9	DIN EN 12067-1	177
9.11.10	DIN EN 12067-2	178
9.12	Normen für Kompaktbrenner	178
9.12.1	DIN EN 267	179
9.12.2	DIN EN 676	179
9.13	Normen für Thermoprozessanlagen	179
9.13.1	DIN EN 746-3	180
9.13.2	DIN EN 746-4	180
9.13.3	DIN EN 746-5	181
9.13.4	Entwurf prEN 746-6	182
9.13.5	Entwurf prEN 746-7	183
9.13.6	DIN EN 746-8	184
9.13.7	DIN EN 1547	185

Inhalt	XV
9.13.8 DIN EN 1539	186
9.13.9 DIN 24201	187
9.14 Grundsätzliches zum Normenaufbau	187
9.14.1 Wie liest man eine Norm?	187
9.14.2 Aufbau einer Typ-C-Norm nach der Maschinenrichtlinie	188
Anhang	191
Wärmetechnische Tabellen	191
Wärmetechnische Begriffe	206
Weitere Informationen zum Fach	209
Gaswärme International - Veröffentlichungen (1998–2006)	215
Stichwortverzeichnis	225
Inserentenverzeichnis	231

combutec
combustion technologies

Combutec GmbH & Co. KG
Tel.: +49 (0)23 36/47 05-0
Fax: +49 (0)23 36/47 05-11
Email: info@combutec.de
www.combutec.de

Verbrauchs- und Kostensenkung bei Erdgas und Heizöl !

Machen Sie sich unabhängiger mit dem Ausschöpfen Ihrer Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Prozessoptimierung zum Beispiel durch

- eine optimierte Abgaswärmerückgewinnung bzw. -verwertung
- eine optimierte Prozessführung
- eine sinnvolle Anlagensanierung
- den Einsatz alternativer bzw. biogener Brennstoffe

Unser Leistungsspektrum:
Beratung – Planung – Lieferung – Service – Begutachtungen

Industriefeuerungen –
Wärmetechnische Apparate