

Inhaltsverzeichnis

1. Flammen und Teilvorgänge der Verbrennung	1
2. Brennstoffe und Verbrennung	8
2.1 Brennstoffe, feuerungstechnisch wichtige Eigenschaften	8
2.1.1 Feste Brennstoffe	9
2.1.2 Flüssige Brennstoffe	12
2.1.3 Gasförmige Brennstoffe	14
2.2 Physik und Chemie der Verbrennung	18
2.2.1 Verbrennungsrechnung, Luftbedarf und Abgasmenge	18
2.2.2 Taupunkt	28
2.2.3 Verbrennungstemperaturen	30
2.2.4 Homogene Reaktionen	33
2.2.5 Heterogene Reaktionen	40
2.2.6 Gleichgewichte, Dissoziation	43
2.2.7 Rußbildung und -verbrennung	47
2.2.8 Inhibitoren, Katalysatoren, Additive	52
Literatur zu Kapitel 2	57
3. Vormischflammen	58
3.1 Brenneigenschaften von Gemischen	58
3.1.1 Zündgrenzen	58
3.1.2 Zündtemperatur	64
3.1.3 Mindestzündenergie	65
3.1.4 Löschabstand	66
3.1.5 Flammengeschwindigkeit, Begriff und Deutung	67
3.1.6 Meßverfahren	73
3.1.7 Meßwerte der Flammengeschwindigkeit	76
3.1.8 Turbulente Flammengeschwindigkeit (Mit Dipl.-Ing. R. Kleine)	82
3.2 Laminare Vormischflammen	90
3.2.1 Form und Störeinflüsse	90
3.2.2 Berechnung der Länge des Innenkegels	95
3.3 Doppelflammen (Innen- und Außenkegel)	97
3.4 Stabilität von Vormischflammen (unter Mitarb. v. Dipl.-Ing. G. Janisch)	98
3.5 Brenner für Vormischflammen	110

3.5.1	Injektoren	110
3.5.2	Einfach- und Mehrfachbrenner	113
3.5.3	Halteflammen und Flammenhalter	115
3.5.4	Rückschlagsicherungen	117
3.5.5	Sonderformen: Strahlungsplatten, Tunnelbrenner	117
3.5.6	Betriebseigenschaften von Vormischbrennern	120
	Literatur zu Kapitel 3	123
4.	Freistrahlen. Diffusionsflammen gasförmiger Brennstoffe	125
4.1	Freistrahlen	125
4.1.1	Geometrie und Eigenschaften von Freistrahlen	125
4.1.2	Laminare Freistrahlen	127
4.1.3	Turbulente Freistrahlen	127
4.2	Turbulenz von Strahlen	139
4.2.1	Definitionen und Grundgesetze	139
4.2.2	Turbulenzeigenschaften von Strahlen	145
4.3	Flammen drallfreier Einzelstrahlen	147
4.3.1	Laminare Diffusionsflammen	147
4.3.2	Turbulente Flammen, Strömungsfeld	150
4.3.3	Turbulente Flammen, Reaktionsfeld, Kontur, Länge	152
4.3.4	Mischung, Ausbrand, Ungemischtheit	161
4.3.5	Turbulenzeigenschaften, Austauschgrößen	165
4.3.6	Stabilisierung, Flammenhalter	173
4.3.7	Strahlen und Flammen in umgrenzten Räumen, Rückströmung	182
4.4	Doppelstrahlen und deren Flammen	188
4.4.1	Strömungsfeld	188
4.4.2	Flammen konzentrischer Doppelstrahlen	192
4.5	Drallstrahlen und Drallflammen	195
4.5.1	Strömungsfeld	195
4.5.2	Drallflammen	205
4.6	Gegeneinander geneigte Strahlen und Ströme und deren Flammen ...	210
4.7	Mehrfachstrahlen	214
4.8	Diffusionsbrenner	215
4.8.1	Konstruktive Merkmale	219
4.8.2	Beispiele technischer Brenner	222
4.8.3	Zündung, Hilfseinrichtungen, Betriebssicherheit	228
	Literatur zu Kapitel 4	228
5.	Flamme und Feuerraum	232
5.1	Geometrische Anordnungen	232
5.1.1	Wärmgut und Geometrie	232
5.1.2	Flammengeometrie	233
5.2	Temperaturverteilung, Verbrennungsdichte	236
5.3	Gegenseitige Beeinflussung von Flammen	241
5.4	Beispiele für die Anordnung von Flammen in Feuerräumen	243
5.4.1	Durchlauföfen	243
5.4.2	Glasschmelzöfen	244

5.4.3 Zementdrehofen	245
5.4.4 Röhrenofen zur Spaltgasherstellung	246
5.4.5 Dampfkessel	247
5.4.6 Zyklon- oder Drallbrennkammern, „Impulsbrenner“	247
5.4.7 Umwälzfeuerung	249
5.4.8 Strahlrohre	250
5.5 Aufenthaltszeit	250
5.6 Strömung der Feuergase; Antrieb, Widerstände	255
5.6.1 Antrieb der Strömung	255
5.6.2 Druckverluste	255
5.7 Verzweigungen	256
Literatur zu Kapitel 5	258
6. Ölverbrennung	260
6.1 Teilvorgänge der Tropfenverbrennung	260
6.2 Zerstäubung	261
6.2.1 Zerstäubungsverfahren	262
6.2.2 Tropfenverteilung	270
6.2.3 Bewegung von Tröpfchen im Luftstrom	272
6.3 Teilvorgänge der Verbrennung	275
6.3.1 Verbrennung von Einzeltropfen	275
6.3.2 Verbrennung im Tropfennebel	280
6.3.3 Verlauf von Mischung und Reaktion	280
6.3.4 Kohlenstoffskelette	283
6.4 Ölbrenner und Ölflammen	283
6.4.1 Flammenform und -länge	283
6.4.2 Stabilisierung	284
6.4.3 Konstruktion der Brenner	286
6.4.4 Betriebseigenschaften	288
6.4.5 Zerstäuberbrenner, Zusammenfassung	290
6.5 Vergasungsbrenner, Brennkammern	291
6.6 Verdampfungsbrenner	292
Literatur zu Kapitel 6	293
7. Verbrennung fester Brennstoffe	295
7.1 Besonderheiten gegenüber der Gas- und Ölverbrennung	295
7.1.1 Umwandlung der Kohle bei der Erwärmung, Entgasung	295
7.1.2 Trocknung, Rolle des Wasserdampfes	296
7.1.3 Homogene und heterogene Verbrennung	297
7.1.4 Bedeutung der Asche	298
7.2 Kohlenstaubverbrennung	299
7.2.1 Mahlung der Kohle	299
7.2.2 Einzelvorgänge der Kornverbrennung	300
7.2.3 Bewegung der Teilchen im Luftstrom	301
7.2.4 Zündung und Primärverbrennung	301
7.2.5 Ablauf der Kornverbrennung	303
7.2.6 Kohlenstaubbrenner	306

7.2.7 Schmelzfeuerungen	308
7.3 Rostfeuerung	311
Literatur zu Kapitel 7	314
8. Sonderformen von Feuerungen	315
8.1 Verbrennung mit reinem Sauerstoff	315
Literatur zu Abschnitt 8.1	316
8.2 Verbrennung unter erhöhtem Druck	317
Literatur zu Abschnitt 8.2	319
8.3 Verbrennung im Überschall (Prof. Dr.-Ing. H. Wilhelmi)	319
8.3.1 Einleitung	319
8.3.2 Stoßinduzierte Überschallverbrennung vorgemischter Gase	320
8.3.3 Überschallverbrennung nicht vorgemischter Gase	322
8.3.4 Überschallverbrennung flüssiger Brennstoffe	325
Literatur zu Abschnitt 8.3	325
8.4 Auftreffende Flammen und Abgasstrahlen	327
8.4.1 Vorgänge, technische Bedeutung	327
8.4.2 Größe des Wärmeaustauschs	328
Literatur zu Abschnitt 8.4	331
8.5 Verbrennung in der Wirbelschicht	332
Literatur zu Abschnitt 8.5	334
8.6 Verbrennung in Füllkörpersäulen	334
Literatur zu Abschnitt 8.6	337
8.7 Tauchbrenner	338
Literatur zu Abschnitt 8.7	339
8.8 Elektrische Verstärkung von Flammen	340
Literatur zu Abschnitt 8.8	341
8.9 Pulsierende Verbrennung	341
Literatur zu Abschnitt 8.9	343
9. Wärmeübertragung in Feuerungen (unter Mitarb. v. Dipl.-Ing. H. Tietze) .	344
9.1 Gasstrahlung	344
9.2 Leuchtende Strahlung	352
9.3 Strahlungswärmeabgabe von Flammen und ihre Beeinflussung	358
9.3.1 Einflüsse auf die Rußstrahlung	359
9.3.2 Maßnahmen zur Steigerung der Strahlung (Karburierung)	364
9.4 Wärmeaustausch zwischen Flammen und Feuerraumwänden	368
9.4.1 Wärmeaustausch bei konstanten Temperaturen von Feuergasen und Wänden	368
9.4.2 Wärmeaustausch bei Temperaturunterschieden der Feuergase ..	373
9.5 Wärmerohre	376
Literatur zu Kapitel 9	377
10. Wärmewirtschaft der Feuerungen	379
10.1 Energiebilanz; Einzelposten, Definitionen	379

10.2 Wirkungsgrade	381
10.3 Wärmerückgewinnung	382
10.4 Bewertung von Brennstoffen	383
Literatur zu Kapitel 10	383
11. Schäden an Umwelt und Anlagen, Abfallverbrennung	385
11.1 Vom Verbrennungsvorgang ausgehende Wirkungen	385
11.1.1 Schädliche und lästige Bestandteile von Abgasen	385
11.1.2 Arten von Emittenden und deren Emissionen	387
11.1.3 Eigenschaften und Wirkung der Schadstoffe	390
11.1.4 Vorschriften zur Bemessung von Emission und Immission ...	391
11.1.5 Erfassung des Ist-Standes, Statistik	392
11.2 Mittel zur Vermeidung der Schadwirkung	393
11.2.1 Steuerung des Verbrennungsablaufs	393
11.2.2 Abgasverdünnung und deren meteorologische Voraussetzungen	394
11.2.3 Abgasreinigung	397
11.2.4 Planungsmaßnahmen	402
11.3 Schäden an Feuerungsanlagen durch Rauchgasbestandteile	402
11.4 Abfallverbrennung	403
11.4.1 Arten und Eigenschaften brennbarer Abfälle	403
11.4.2 Verbrennungsanlagen für feste und flüssige Stoffe	404
11.4.3 Verbrennung flüssiger Abfälle	406
11.4.4 Verbrennung gasförmiger Abfälle	406
Literatur zu Kapitel 11	408
12. Physikalische und mathematische Modelle von Feuerungen	410
12.1 Physikalische Modelle	410
12.2 Ähnlichkeitsgesetze	412
12.3 Formen physikalischer Modelle	416
12.4 Mathematische Modelle	419
12.4.1 Grundlagen und Bestandteile	419
12.4.2 Anwendung mathematischer Modelle	422
Literatur zu Kapitel 12	424
Verzeichnis der wichtigsten Bücher	426
Sachverzeichnis	428