

Inhaltsverzeichnis

I. Thermodynamische Grundlagen	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Allgemeine Begriffe und Definitionen; Zustandsgleichung idealer Gase	2
1.3 Zustandsgleichungen für reale Gase	3
1.4 Erster Hauptsatz der Wärmelehre	5
1.5 Spezifische Wärmen	6
1.6 Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmen	9
1.7 Innere Energie und Enthalpie	11
1.8 Reaktionswärmen	13
1.9 Bildungswärmen und Standardenthalpien	15
1.10 Temperaturabhängigkeit der Reaktionswärmen	17
1.11 Der Heizwert von Brennstoffen	18
1.12 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre	20
1.13 Entropiefunktion	22
1.14 Thermodynamisches Gleichgewicht	25
1.15 Gemische einfacher Substanzen; Zweisubstanzenmodell	25
1.16 Innere Energie und Enthalpie im Zweisubstanzenmodell	29
1.17 Entropie im Zweisubstanzenmodell; freie Enthalpie	30
1.18 Massenwirkungsgesetz von Guldberg und Waage	32
1.19 Schallgeschwindigkeit in einem reagierenden Gasgemisch	33
1.20 Literatur	35
 II. Allgemeine Grundlagen der Verbrennung	 37
2.1 Einleitung	37
2.2 Einige Grundbegriffe aus der Reaktionskinetik und der Physik der Verbrennung	38
2.3 Kettenreaktionen	40
2.4 Temperatur- und Konzentrationsabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit .	41
2.5 Ordnung von Reaktionen	42
2.6 Druckabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit	43
2.7 Stationäre Flammenausbreitung in vorgemischten Gasen	45
2.8 Grundlagen der Theorie thermischer Flammenausbreitung	47
2.9 Ähnlichkeit zwischen Temperatur- und Konzentrationsfeld in der laminaren Flamme	50
2.10 Die Theorie der thermischen Flammenausbreitung von ZELDOVICH und FRANK- KAMENETZKI	52
2.11 Verfeinerte Theorie der laminaren Flammenausbreitung	56
2.12 Einige allgemeine Bemerkungen zur laminaren Flammenausbreitung	59
2.13 Turbulente Flammenausbreitung in vorgemischten Gasen	61
2.14 Allgemeine Eigenschaften turbulenter Strömungen	64
2.15 Oberflächenmodell	68
2.16 Gestrecktes laminares Flammenmodell	72
2.17 Statistische Beziehungen bei turbulenter Verbrennung	73
2.18 Berechnung der turbulenten Flammengeschwindigkeit auf statistischer Basis	74
2.19 Abschließende Bemerkung zur turbulenten Verbrennung	77
2.20 Literatur	77

III. Stationäre, eindimensionale Strömung mit Energiezufuhr	80
3.1 Vorbemerkung	80
3.2 Grundgleichungen für stationäre Rohrströmung mit Wärmezufuhr	81
3.3 Der senkrechte Verdichtungsstoß als Sonderfall $q = 0$	85
3.4 Kritische Wärmezufuhr	86
3.5 Rankine-Hugoniot-Kurve für den Verdichtungsstoß	88
3.6 Rankine-Hugoniot-Kurven für die Reaktionsfront	91
3.7 Verschiedene Arten von Reaktionsfronten	92
3.8 Klassische Detonationstheorie für das ideale Gas	97
3.9 Das Zeldovich-Döring-von-Neumann-Modell	101
3.10 Verdichtungsstoß mit Relaxation	104
3.11 Detonationswelle mit endlicher Reaktionsgeschwindigkeit	106
3.12 Berechnung der Detonationsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung veränderlicher spezifischer Wärmen	110
3.13 Detonationsgeschwindigkeit; Vergleich zwischen Theorie und Experiment	111
3.14 Detonationsgrenzen	113
3.15 Nachteile und Mängel des ZDN-Modells	114
3.16 Detonation in rauhen Rohren	116
3.17 Wärmezufuhr im Kanal veränderlichen Querschnitts	118
3.18 Spezialfälle der Strömung im Kanal veränderlichen Querschnitts.	120
3.19 Berücksichtigung der Wandreibung	127
3.20 Das beheizte Rohr als Schubkörper	129
3.21 Staustrahltriebwerke	131
3.22 Literatur	134
IV. Stationäre, räumliche Strömung mit Energiezufuhr	137
4.1 Grundgleichungen für stationäre, ebene oder achsensymmetrische Strömung mit chemischer Reaktion	137
4.2 Der verallgemeinerte Croccosche Wirbelsatz	139
4.3 Übergang zur Strömung mit Wärmequellen	140
4.4 Gleichungen für schiefe, stationäre Reaktionsfronten	142
4.5 Ablenkungswinkel der Strömung	145
4.6 Schiefe Unter- und Überschallreaktionsfront	146
4.7 Der schiefe Verdichtungsstoß als Sonderfall $q = 0$	147
4.8 Kritische Wärmezufuhr bei schiefen Reaktionsfronten	148
4.9 Kritischer Reaktionsfrontneigungswinkel	149
4.10 Allgemeines über Reaktionsfrontpolaren	151
4.11 Überschallreaktionsfrontpolaren	153
4.12 Unterschallreaktionsfrontpolaren	155
4.13 Zusammenhang zwischen Frontneigungswinkel und Ablenkungswinkel	156
4.14 Die laminare Bunsenflamme als Beispiel einer schiefen Verbrennungsfront	157
4.15 Überschallreaktionsfront an einem Keil.	159
4.16 Unterschallreaktionsfront an einem konvexen Wandknick	161
4.17 Randbedingungen an einer festen Wand bei schiefen Detonationsfronten	163
4.18 Randbedingungen an einer festen Wand bei schiefen Verbrennungsfronten in Überschallströmung	166
4.19 Dreifrontkonfigurationen mit und ohne Energiezufuhr	169
4.20 Stehende Detonationswellen	172
4.21 Verträglichkeitsbedingungen für stationäre, ebene und achsensymmetrische Überschallströmung mit chemischer Reaktion	173
4.22 Die inverse Methode von Broadbent	180
4.23 Außenverbrennung	182
4.24 Außenverbrennung in Unterschallströmung	183
4.25 Außenverbrennung in Überschallströmung	185
4.26 Heckheizung	188

4.27 Schub und Widerstand bei Wärmezufuhr im Bereich hoher Machzahlen, insbesondere in Hyperschallströmung	190
4.28 Tragende Schubkörper in hoher Überschallströmung	192
4.29 Literatur	194
V. Instationäre Strömung mit Energiezufuhr	198
5.1 Vorbemerkung	198
5.2 Grundgleichungen für instationäre, eindimensionale Strömung mit chemischen Reaktionen	198
5.3 Charakteristikenmethode für instationäre, eindimensionale Strömung mit und ohne chemischen Reaktionen	201
5.4 Reaktionsfronten in instationärer Strömung.	203
5.5 Die linearisierten Reaktionsfrontgleichungen	205
5.6 Der instationäre Verdichtungsstoß als Sonderfall $q = 0$	207
5.7 Instationäre Reaktionsfrontpolaren	208
5.8 Entstehung von Druckwellen an ebenen Flammenfronten	211
5.9 Zündung am geschlossenen Rohrende	217
5.10 Zündung am offenen Rohrende	220
5.11 Wechselwirkung zwischen Druckwellen und Flammenfront	222
5.12 Wechselwirkung zwischen Flammenfront und Temperaturdiskontinuität	227
5.13 Verallgemeinerte Hugoniot-Kurven	229
5.14 Beschleunigung einer Flamme in einem Rohr konstanten Querschnitts	230
5.15 Instationäre Strömungsvorgänge beim Überschreiten der kritischen Wärmezufuhr	231
5.16 Übergang von der langsamen Verbrennung zur Detonation	233
5.17 Struktur von Detonationsfronten; pulsierende Detonation	236
5.18 Die Spindetonation	238
5.19 Literatur	239
Namenverzeichnis	242
Sachverzeichnis	245