

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Strahlung in absorbierenden, emittierenden und streuenden Medien	1
1.1	Einführung	1
1.2	Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	3
1.3	Physikalische Mechanismen der Absorption, Emission und Streuung	4
1.3.1	Absorption und Emission	4
1.3.2	Streuung von Energie	8
1.3.3	Lumineszenz	9
1.4	Charakteristische Eigenschaften der Strahldichte	10
1.5	Schwächung der Strahlungsenergie durch Absorption und Streuung	13
1.5.1	Extinktionskoeffizient	15
1.5.2	Mittlere Eindringtiefe der Strahlung	15
1.5.3	Optische Dicke	16
1.5.4	Absorptionskoeffizient	17
1.5.5	Wahrer Absorptionskoeffizient	20
1.5.6	Streukoeffizient	22
1.6	Emission von Energie	25
1.7	Einfallende Streustrahlung	27
1.7.1	Phasenfunktion	27
1.7.2	Erhöhung der Strahldichte durch einfallende Streustrahlung	29
1.8	Eigenschaften technischer Gase	30
1.8.1	Absorptionsgrad eines Mediums gleichförmiger Temperatur	30
1.8.2	Emissionsgrad eines Mediums gleichförmiger Temperatur	32
1.8.3	Transmissionsgrad eines Mediums gleichförmiger Temperatur	35
1.9	Postulat vom lokalen thermodynamischen Gleichgewicht	37
	Aufgaben	39
2	Gleichungen für die Energieübertragung in absorbierenden, emittierenden und streuenden Medien	45
2.1	Einführung	45
2.2	Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	46
2.3	Transportgleichung	47

2.3.1	Ableitung	47
2.3.2	Integration mit Hilfe eines integrierenden Faktors	50
2.3.3	Strahlungsflußdichtevektor	52
2.4	Energieerhaltung innerhalb eines Mediums	53
2.4.1	Allgemeine Energieerhaltung unter Berücksichtigung von Wärmeleitung und Konvektion	53
2.4.2	Divergenz der Strahlungsflußdichte für Absorption (ohne Streuung)	54
2.4.3	Strahlungsgleichgewicht	56
2.4.4	Mittlere Absorptionskoeffizienten	56
2.4.5	Divergenz der Strahlungsflußdichte einschließlich Streuung	57
2.5	Wärmeübertragung und Wärmestromdichten an ebenen Schichten	59
2.5.1	Transportgleichung	59
2.5.2	Strahlungsflußdichte	61
2.5.3	Divergenz der Strahlungsflußdichte	62
2.5.4	Gleichung für die Quellenfunktion	63
2.5.5	Anisotrope Streuung, die unabhängig vom Einfallswinkel ist ...	64
2.5.6	Isotrope Streuung	65
2.5.7	Diffuse Grenzflächen	66
2.6	Graues Medium mit isotroper Streuung	68
2.7	Graues Medium im Strahlungsgleichgewicht	70
2.7.1	Absorbierendes Medium im Strahlungsgleichgewicht mit oder ohne Streuung	70
2.7.2	Streuendes Medium im Strahlungsgleichgewicht ohne Absorption	71
2.7.3	Graues Medium zwischen diffusen grauen Grenzflächen im Strahlungsgleichgewicht	72
2.7.4	Lösung für ein graues Medium zwischen schwarzen oder diffusen grauen Wänden für Strahlungsgleichgewicht und bei bekannten Temperaturen	73
Aufgaben		79
3	Näherungslösungen der Gleichungen für die Strahlungsübertragung	85
3.1	Einführung	85
3.2	Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	85
3.3	Näherungslösungen durch Vernachlässigung von Termen in der Transportgleichung	87
3.3.1	Näherung für transparentes Gas	88
3.3.2	Näherung unter der Annahme eines emittierenden Gases (Emissionsnäherung)	90
3.3.3	Näherung für ein kaltes Medium mit geringer Streuung	92
3.4	Strahlungsaustausch zwischen parallelen Platten im Grenzfall des optisch dünnen Mediums	93

Inhaltsverzeichnis	IX
3.5 Diffusionsnäherung	96
3.5.1 Vereinfachte Ableitung der Diffusionsgleichung	97
3.5.2 Allgemeine Strahlungsdiffusionsgleichung in einem absorbierenden und emittierenden Medium	101
3.5.3 Anwendung der Diffusionsgleichung	108
3.5.4 Abschließende Bemerkungen zur Diffusionsmethode	116
3.6 Weitere Näherungsmethoden	117
Aufgaben	119
4 Mikroskopische Grundlagen der Gaseigenschaften	129
4.1 Einführung	129
4.2 Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	129
4.3 Absorptionseigenschaften von Gasen	131
4.3.1 Spektrallinienverbreiterung	131
4.3.2 Absorption oder Emission durch eine Spektrallinie	136
4.3.3 Absorption durch Übergänge in das Kontinuum	138
4.3.4 Bandenabsorption	139
Aufgaben	156
5 Gasstrahlung in Umhüllungen für technische Anwendungen	163
5.1 Einführung	163
5.2 Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	164
5.3 Netto-Strahlungsmethode für Umhüllungen, in denen sich isothermes Gas befindet; Spektralbeziehungen	165
5.3.1 Definitionen der spektralen Transmissions- und Absorptionsfaktoren	169
5.3.2 Gleichungen der Theorie für Umhüllungen	170
5.3.3 Wärmebilanz im Gas	171
5.4 Berechnung spektraler geometrischer mittlerer Transmissions- und Absorptionsfaktoren	173
5.4.1 Halbkugel über einem Flächenelement in der Mitte der Grundfläche	173
5.4.2 Stirnfläche eines regulären Kreiszylinders zum Mittelpunkt seiner Grundfläche	174
5.4.3 Mantelfläche eines Zylinders zu einem Flächenelement in der Mitte der Grundfläche	176
5.4.4 Kugel zu beliebigem Flächenelement ihrer Oberfläche oder zur gesamten Oberfläche	177
5.4.5 Unendlich ausgedehnte Platte zu einer Teilfläche einer parallel angeordneten Platte	178
5.4.6 Rechteck zu einem direkt gegenüber parallel liegenden Rechteck	179
5.5 Mittlere Strahlenweglängen für Strahlung zwischen einem Gasvolumen und seiner vollständigen Begrenzung oder zu Teilen davon	179

5.5.1	Mittlere Strahlenweglänge für Gas zwischen parallelen Platten, das auf eine Fläche der Platte strahlt	181
5.5.2	Mittlere Strahlenweglänge für ein kugelförmiges Gasvolumen, das auf jede Fläche der Begrenzung strahlt	181
5.5.3	Strahlung aus dem gesamten Gasvolumen zu seiner gesamten Begrenzung unter der Voraussetzung eines optisch dünnen Gases	182
5.5.4	Korrektur für die mittlere Strahlenweglänge bei nicht optisch dünnem Gas	183
5.6	Gesamtstrahlungsaustausch in schwarzen Umhüllungen zwischen dem gesamten Gasvolumen und dessen Begrenzungen unter Anwendung der mittleren Strahlenweglänge	184
5.6.1	Strahlung vom Gas zu dessen gesamter Begrenzung oder zu Teilbereichen	187
5.6.2	Strahlungsaustausch zwischen dem gesamten Gasvolumen und seiner Begrenzung	194
5.7	Bestimmung des Gesamtstrahlungsaustausches in einer Umhüllung durch Integration der wellenlängenabhängigen Gleichungen	195
5.7.1	Bandengleichungen	195
5.7.2	Transmissions- und Absorptionsfaktoren	196
5.8	Strahlung durch nichtisotherme Gase	206
5.8.1	Curtis-Godson-Näherung	207
5.8.2	Zonenmethode	211
5.9	Strahlung nichtleuchtender und leuchtender Flammen sowie von Partikeln	216
5.9.1	Theoretische Flammentemperatur	217
5.9.2	Strahlung nichtleuchtender Flammen	220
5.9.3	Strahlung leuchtender Flammen, Strahlung durch leuchtende Flammen hindurch und durch Partikel enthaltende Gase	221
	Aufgaben	236
6	Wärmeübertragung durch Strahlung, Leitung und/oder Konvektion	247
6.1	Einführung	247
6.2	Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	247
6.3	Strahlung und Wärmeleitung	249
6.3.1	Parameter für die kombinierte Wärmeübertragung durch Leitung und Strahlung	250
6.3.2	Energiebilanz	251
6.3.3	Planparallele Schicht	252
6.3.4	Einfache Addition der durch Leitung und Strahlung übertragenen Anteile der Wärmeübertragung	254
6.3.5	Diffusionsmethode	257

6.4	Konvektion, Leitung und Strahlung	263
6.4.1	Grenzschichtprobleme	263
6.4.2	Kanalströmung	268
6.5	Ausgleichsprobleme	271
Aufgaben		276
7	Strahlungsverhalten von Fenstern, Beschichtungen und halbdurchlässigen Körpern	287
7.1	Einführung	287
7.2	Größen, Größensymbole, SI-Einheiten	289
7.3	Durchlässigkeit, Absorption und Reflexion von Fenstern	290
7.3.1	Aus einer einzelnen Schicht bestehendes Fenster oder eine durchlässige Schicht der Dicke $l > \lambda$ (ohne Interferenzeffekte) ..	292
7.3.2	Mehrfachfenster in paralleler Anordnung	295
7.3.3	Ergebnisse für die Durchlässigkeit paralleler Mehrfachverglasungen	297
7.3.4	Wechselwirkung zwischen strahlungsdurchlässigen Platten und einer absorbierenden Platte	298
7.4	Umhüllungen mit teildurchlässigen Fenstern	299
7.5	Einfluß von Beschichtungen und dünnen Filmen auf Oberflächen	301
7.5.1	Beschichtungen ohne Auftreten von Interferenzeffekten	301
7.5.2	Nichtabsorbierende, dielektrische dünne Schicht mit Auftreten von Welleninterferenzen	304
7.6	Auswirkungen auf das Strahlungsverhalten innerhalb des Mediums, wenn dessen Brechzahl von Eins abweicht	308
7.6.1	Einfluß der Brechzahl auf die Strahldichte	309
7.6.2	Einfluß des Winkels der Totalreflexion	310
7.6.3	Grenzflächenbedingungen für Strahlung innerhalb einer ebenen Schicht	314
Aufgaben		317
Anhang		328
Literaturverzeichnis		331
Sachverzeichnis		344