

Inhalt

1. Allgemeine Grundlagen

1.1. Einleitung	13
1.2. Mathematische Hilfsmittel zur Darstellung turbulenter Strömungen	15
1.2.1. Erwartungswerte, Wahrscheinlichkeitsdichte	15
1.2.2. Mittelwerte	18
1.2.3. Weitere Einzelheiten über die Wahrscheinlichkeitsdichteverteilungen	21
1.2.4. Statistische Beschreibung von Geschwindigkeitsfeldern kontinuierlicher Medien	24
1.2.5. Fourier-Analyse der Turbulenzfelder	29
1.2.6. Konstruktion symmetrischer Tensorfelder	36
1.3. Strömungsgleichungen	42
1.3.1. Allgemeine Strömungsgleichungen für Gase	42
1.3.2. Strömungsgleichungen für inkompressible Flüssigkeiten	47
1.3.3. Randbedingungen und mathematische Formulierung des Turbulenzproblems	49
1.3.4. Druckschwankungen und Wirbelgleichung	52
1.3.5. Strömungsgleichungen in Mittelwerten; Reynoldssche Gleichungen	55
1.3.6. Bewegungsgleichungen der statistischen Momente und der Spektralfunktionen	57

2. Homogene Turbulenzfelder

2.1. Einführung	63
2.1.1. Generelle Eigenschaften	63
2.1.2. Wirbelgleichung	66
2.1.3. Windkanalturbulenz	67
2.2. Kinematik und Dynamik der homogenen Turbulenz	67
2.2.1. Kinematische Beziehungen	67
2.2.2. Korrelations- und Spektralfunktionen im gleichförmigen Flüssigkeitsstrom	69
2.2.3. Dynamische Gleichungen	72
2.3. Isotrope Turbulenzfelder	74
2.3.1. Kinematik isotroper Turbulenz	74
2.3.2. Dynamik der isotropen Turbulenzfelder	83
2.3.3. Energietransport im Wellenzahlenraum	85
2.4. Struktur und Energiedissipation isotroper Turbulenz	90
2.4.1. Örtliche Struktur bei großen Reynolds-Zahlen	90
2.4.2. Grobstruktur	101
2.4.3. Endstadium	104

8 Inhalt

2.4.4. Ähnlichkeit der Struktur und das Abklinggesetz	107
2.4.5. Energiedissipation bei großen Reynolds-Zahlen	112
2.4.6. Lösungen der Spektralgleichung nach dem Ähnlichkeitsansatz	116
2.5. Achsensymmetrische Turbulenzfelder	120
2.5.1. Kinematik und Dynamik der achsensymmetrischen Turbulenz	120
2.5.2. Energieaustausch zwischen Geschwindigkeitskomponenten verschiedener Richtungen	122

3. Turbulente Scherströmungen

3.1. Grundzüge der Scherströmungen	127
3.1.1. Einleitung	127
3.1.2. Reynoldssche Gleichungen für turbulente Strömungsschichten	128
3.1.3. Gleichungen für die Reynolds-Spannungen und kinetische Schwankungsenergie	132
3.1.4. Über den Energiehaushalt	135
3.1.5. Scherströmungen großer Reynolds-Zahlen	138
3.1.6. Gleichgewichtsbedingungen einfacher Scherströmungen	140
3.1.7. Räumlich-zeitlicher Bewegungsablauf	145
3.2. Strömung nahe fester Wände	150
3.2.1. Ähnlichkeitsbetrachtungen	151
3.2.2. Experimentelle Befunde	153
3.2.3. Energiehaushalt	156
3.2.4. Bewegungen in der viskosen Unterschicht	157
3.2.5. Strömung an rauen Oberflächen	158
3.3. Freie Grenzen der Turbulenzfelder	162
3.3.1. Vorbemerkungen	162
3.3.2. Gemischt laminar-turbulente Strömungen	163
3.3.3. Statistische Beschreibung	164
3.3.4. Dynamik der Turbulenzausbreitung	166
3.3.5. Die Strömung außerhalb der Turbulenzgebiete	170
3.4. Halbempirische Berechnungsmethoden	171
3.4.1. Austauschansatz und Mischungswegformel	171
3.4.2. Berechnungsmethoden auf der Grundlage der Turbulenz-Energiegleichung	175
3.4.3. Bewegungsgleichung für ein Integral-Längenmaß	178
3.4.4. Weitere Entwicklungen	184

4. Erscheinungsformen turbulenter Scherströmungen

4.1. Einführung	186
4.2. Strömung durch Leitungen und Rohre gleichbleibender Querschnitte	187
4.2.1. Druckabfall und Schubspannungen	188
4.2.2. Ähnlichkeitsbetrachtungen	189
4.2.3. Widerstandsgesetz	191
4.2.4. Weitere Einzelheiten der Strömung	192
4.2.5. Anwendung halbempirischer Ansätze	195
4.2.6. Sekundärströmungen	196
4.3. Freie Turbulenz	198

4.3.1. Ähnlichkeitsbetrachtungen	200
4.3.2. Versuchsergebnisse	207
4.3.3. Turbulenzstruktur	213
4.3.4. Anwendung halbempirischer Ansätze	217
4.3.5. Freie Strahlgrenzen	219
4.4. Grenzschichten	222
4.4.1. Grenzschichtgleichungen	222
4.4.2. Grenzschicht an einer flachen Platte	224
4.4.3. Reibungswiderstand der flachen Platte	228
4.4.4. Gleichgewichtsgrenzschichten	233
4.4.5. Turbulenzstruktur	240
4.4.6. Berechnungsverfahren	241
5. Weitere Probleme	
5.1. Wärmetransport und Vermischung	252
5.2. Erzeugung und Ausbreitung von Schall	254
5.3. Strömungen mit erheblichen Dichteänderungen	255
5.4. Analytische Theorien der Turbulenz	257
5.5. Statistische Strömungsmechanik	259
Weiterführende Bücher	260
Sachverzeichnis	262