

Inhalt

Teil I Grundlagen und Grundgleichungen der Strömungsmechanik

1 Einführung	3
2 Hydromechanische Grundlagen	7
2.1 Transportbilanz am Raumelement	7
2.1.1 Allgemeine Transportbilanz	7
2.1.2 Spezifische Transportbilanzen	9
2.2 Dynamische und kinematische Wirkungen im Strömungsraum	12
2.2.1 Normal- und Schubspannungen	12
2.2.2 Verträglichkeitsbedingungen	14
2.2.3 Zusammenhang zwischen Spannungs- und Verformungszustand	16
2.2.4 Bewegungsgleichungen	20
2.2.5 Wirbelbewegung	21
2.3 Interpretation und Anwendung der Bewegungsgleichungen	23
2.4 Zweidimensionale, reibungsfreie Strömung	25
2.5 Zweidimensionale, viskose Strömung	28
2.6 Nichtstationäre Strömungen – Oberflächenwellen	30
2.6.1 Entwicklung der Grundgleichungen der Flachwassertheorie	33
2.6.2 Eindimensionale Flachwassertheorie	35
2.6.3 Einfache Welle	40
2.6.4 Wellengeschwindigkeit in einem beliebig geformten Gerinnequerschnitt	43
2.6.5 Ableitung der Saint-Venant-Gleichungen	44
3 Grundlagen der Turbulenz	49
3.1 Einführung in die Turbulenz	49
3.1.1 Kennzeichnung der Problematik	49
3.1.2 Die Entwicklung der Ansätze zur Beschreibung der turbulenten Bewegung	51
3.1.3 Diskretisierung des Strömungsgebietes	52

3.2	Mittelwerte und Schwankungsgrößen	53
3.3	Mittelung der Grundgleichungen	54
3.3.1	Ableitung der Reynoldsgleichung	54
3.3.2	Gemittelte Gleichung für den Fremdstoff- und Energietransport	55
3.3.3	Gemittelte Grundgleichungen in Tensorschreibweise	55
3.4	Tiefen-gemittelte Grundgleichungen für Strömungen mit freier Oberfläche	58
4	Turbulenzmodelle	61
4.1	Einordnung der Berechnungsmodelle – Übersicht	61
4.2	Turbulenzparameter	62
4.2.1	Wirbelviskosität	62
4.2.2	Wirbeldiffusivität	63
4.2.3	Prandtlscher Mischungsweg	63
4.2.4	Turbulente kinetische Energie	64
4.3	Das k - ϵ -Modell	64
4.3.1	Definition der Modellparameter	64
4.3.2	Modellgleichungen	65
4.3.3	Randbedingungen	66
4.3.4	Anwendungen	67
 Teil II Methoden der numerischen Strömungssimulation		
5	Einführung in den Teil II	71
6	Finite-Differenzen-Methode	73
6.1	Gewöhnliche Differentialgleichungen erster Ordnung	73
6.2	Gewöhnliche Differentialgleichungen zweiter Ordnung	75
6.3	Ungleichförmige Netze	76
6.4	Partielle Differentialgleichungen	77
6.5	Beispiel 1: Couette-Strömung mit veränderlicher Viskosität	79
6.5.1	Finite-Differenzen-Gleichung	81
6.5.2	Lösung linearer Gleichungssysteme	82
6.5.3	Vergleich der exakten Lösung mit den numerischen Ergebnissen	92
6.6	Beispiel 2: Numerische Lösung der Laplace-Gleichung	93
6.6.1	Finite-Differenzen-Formulierung	93
6.6.2	Diskretisierung	95
6.6.3	Numerische Lösung	97
6.7	Zweidimensionale viskose Strömungen	102
6.7.1	Finite-Differenzen-Formulierungen für den Vektor der Wirbelintensität	102
6.7.2	Druck-Geschwindigkeits-Formulierungen für die viskose Strömung	105

6.7.3	Eindimensionale viskose Strömung in einem Strömungskanal mit veränderlichem Querschnitt	105
6.7.4	Beispiel 3: Viskose Strömung in einer konischen Rohrleitung	108
6.8	Instationäre eindimensionale Strömungen	115
6.8.1	Grundgleichungen für eine beliebige Querschnittsform	115
6.8.2	Numerische Lösung mit der Charakteristikentheorie	117
6.8.3	Explizite Finite-Differenzen-Methode	119
6.8.4	Implizite Finite-Differenzen-Methode	121
6.8.5	Lösung durch parametrische Gruppierung	124
6.8.6	Beispiel 4: Instationäre Wasserbewegung in einem Kanalabschnitt	128
7	Galerkin-Methode	133
7.1	Kennzeichnung der Methode	133
7.2	Beispiel 5: Geschwindigkeitsprofil der zähen Spaltströmung mit der Galerkin-Methode	134
8	Finite-Volumen-Methode	141
8.1	Beschreibung der Finite-Volumen-Methode	141
8.2	Beispiel 5: Diffusion	142
8.3	Diskrete Gebietszerlegung zur Bildung der Kontrollvolumina	145
8.4	Dualität der Voronoi- und der Delaunay-Zerlegung	146
8.5	Voronoi-Region als Kontrollvolumen	148
8.6	Approximation der Integration der Grundgleichungen	149
8.6.1	Diffusionsterm	149
8.6.2	Advektionsterm	150
8.7	Numerische Stabilität	151
9	Finite-Element-Methode	153
9.1	Diskretisierung	153
9.2	Ansatz- und Gewichtsfunktionen	155
9.3	Beispiel 5: Ermittlung des Geschwindigkeitsprofils der zähen Spaltströmung mit der Finite-Element-Methode	156
10	Hinweise zu den Visual C#-Programmen	163
Anhang		165
Anhang 1:	Störungsverfahren zur Entwicklung der Flachwassergleichungen	165
Anhang 2:	Thomas-Algorithmus	170
Anhang 3/1:	Tabelle der Werte der Stromlinien-Funktion im Beispiel 2	171
Anhang 3/2:	Tabelle der Werte der Stromlinien-Funktion im Beispiel 2	172
Anhang 4:	Verlauf der Stromlinien im Beispiel 2	173
Anhang 5:	Druckkoeffizienten C_p im Beispiel 2	174

Anhang 6/1: Variablen nach dem 1. Iterationsschritt im Beispiel 3	175
Anhang 6/2: Variablen nach dem 15. Iterationsschritt im Beispiel 3	176
Anhang 7/1: Anfangswerte der Variablen im Beispiel 4	177
Anhang 7/2: Ergebnisse und Wasserspiegellage im Kanal nach 15,7 s im Beispiel 4	178
Literatur	179
Sachverzeichnis	181

Numerische Strömungssimulation in der Hydrodynamik
Grundlagen und Methoden

Martin, H.

2011, XII, 183 S. Mit Online-Extras., Softcover

ISBN: 978-3-642-17207-6