

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemdarstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Gliederung der Arbeit	3
2	Grundlagen der Turbulenzmodellierung	5
2.1	Die turbulente Strömung	6
2.1.1	Charakterisierung der Turbulenz	8
2.1.2	Das Energiespektrum	11
2.2	Bilanzgleichungen	15
2.2.1	Bilanz der Gesamtmasse	16
2.2.2	Bilanz des Impulses	16
2.2.3	Bilanz einer erhaltenen passiven skalaren Größe	18
2.2.4	Bilanz der Wirbelstärke	19
2.3	Statistische Behandlung turbulenter Strömungsvorgänge	19
2.3.1	Die Reynoldsmittelung	20
2.3.2	Die Reynoldsgleichungen	22
2.3.3	Die mittlere Skalargleichung	24
2.4	Wirbelviskositäts- und Gradienten- Diffusions- Hypothese	25
2.5	Ein-Gleichungs-Wirbelviskositätsmodell	26
2.6	Zwei-Gleichungs-Wirbelviskositätsmodelle	29
2.6.1	Das $k - \epsilon$ Modell	29
2.6.2	$k - \omega$ Modell	30
2.6.3	Das $k - \omega - SST$ Modell	32
2.7	Grobstruktursimulation	34
2.7.1	Die gefilterte Navier-Stokes Gleichung	34
2.7.2	Schließungsproblem der LES	36
2.7.3	Das Smagorinsky Modell	37
2.8	Detached Eddy Simulation	38
2.8.1	DES Modell basierend auf dem Spalart-Allmaras Modell	39
2.8.2	DES Modell basierend auf dem Menter $k - \omega$ SST Modell	41
2.9	Modellierung der Strömung in Wandnähe	42

2.9.1	Skalierbare Wandfunktion	44
3	Die Querstrahleinmischung	47
3.1	Das Impulsverhältnis	49
3.2	Strömungsvorgänge des Jet-in-Crossflow	50
3.2.1	Ringförmige Wirbel	51
3.2.2	Gegensinnig rotierendes Wirbelpaar	55
3.2.3	Hufeisen-Wirbelsystem	57
3.2.4	Nachlaufbereich	59
3.3	Modellierung des Strahls in Querströmung	62
3.3.1	Empirische Modelle	63
3.3.2	Integrale Modelle	65
3.3.3	Numerische Modelle	66
4	Testfälle	69
4.1	Literaturfall nach Andreopoulos et al.	70
4.2	Strömungskanal des eigenen Instituts	74
4.3	Direkter Vergleich der experimentellen Testfälle	80
5	Problemidentifikation am Fall R=2	83
5.1	Einfluß des numerischen Fehlers	84
5.1.1	Einfluß der Gitterauflösung	84
5.2	Vergleich bereits existierender RANS-Modelle	85
5.3	Variation des Anisotropieparameters C_μ	87
5.4	Die Detached-Eddy Simulation	92
6	Modellentwicklung und Implementierung	95
6.1	Das $(k - \epsilon)_{1E}$ Modell nach Menter	95
6.1.1	Herleitung des Modells	95
6.1.2	Betrachtung der Wandgrenzschicht	99
6.1.3	Allgemeine Form des Modells	99
6.2	Entwicklung und Implementierung des $k - \epsilon - vt$ Modells	100
7	Ergebnisse und Diskussion	105
7.1	Ergebnisse für den Anwendungsfall R=2	105
7.2	Ergebnisse für den Anwendungsfall R=1	137
7.3	Ergebnisse für die Anwendungsfälle R=4 und R=6	139

INHALTSVERZEICHNIS

8 Zusammenfassung und Ausblick	143
8.1 Zusammenfassung	143
8.2 Ausblick	146
Literaturverzeichnis	149
Abbildungsverzeichnis	162
Tabellenverzeichnis	167
Index	169