

Validierung der Simulation eines querangeströmten Zylinders und eines runden Freistrahls mit dem SAS-Modell in ANSYS CFX

vorgelegt von

B.Sc. Gregor Neuber
aus Berlin

Von der Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science
- M.Sc. -

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Oliver Paschereit (TU Berlin)
Dipl.-Ing. Oliver Krüger (TU Berlin)
Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff (CFX Berlin)

Berlin 2013

Zusammenfassung

Die Scale-Adaptive Simulation (SAS) ist eine Methode, die bei der rechnergestützten Behandlung turbulenter Strömungen in Bezug auf Vorhersagegenauigkeit und numerischem Aufwand eine Brücke zwischen den Lösungsverfahren der Reynolds-gemittelten Navier-Stokes-Gleichungen (RANS) und den Grobstruktursimulationen (LES) bildet. Maßgeblich für die Entwicklung dieser Methode ist die Tatsache, dass mit ihr komplexe Problemstellungen mit den in naher Zukunft zur Verfügung stehenden Rechenressourcen in adäquater Zeit gelöst werden können. Ihre Anwendungsgebiete sind insbesondere Strömungen, bei deren Vorhersage der RANS-Ansatz unzuverlässig ist, wie zum Beispiel stark abgelöste Strömungen, oder aufgrund von aeroakustischen Untersuchungen die Auflösung instationärer kleinskaliger turbulenter Strömungsstrukturen notwendig wird.

In dieser Arbeit soll eine Studie der Scale-Adaptive Simulation (SAS) durchgeführt werden. Nach einem Einblick in den momentanen Stand der Forschung werden verschiedene Methoden zur Behandlung turbulenter Strömungen vorgestellt. Den Fokus bildet hierbei die detaillierte Herleitung des SAS-Modells nach Menter und Egorov [35]. Die Validierung der SAS wird anhand mehrerer Testfälle vorgenommen. Dazu sollen zunächst die relevanten strömungsphysikalischen Vorgänge beschrieben werden. Ferner wird aufgezeigt, wie der Einsatzbereich der Scale-Adaptive Simulation durch die Generierung synthetischer Turbulenz auch auf lokal instabile Strömungen erweitert werden kann. Eine genaue Vorstellung der untersuchten Testfälle und deren numerische Konfiguration leitet die Diskussion der Ergebnisse ein. Die Auswertung umfasst dabei mehrere Themenbereiche, die da wären: Sensibilität der SAS auf die gewählte Zeitschrittweite, Einfluss der gesetzten Fernfeldturbulenz, Abhängigkeit von der Gitterauflösung, Interaktion mit einem Transitionsmodell, Abhängigkeit von der lokalen Anordnung des RANS-LES-Interfaces in Hinsicht auf die Generierung synthetischer Turbulenz und die Wichtigkeit von langen Simulationszeiten zum Erlangen einer verlässlichen Statistik. Den Abschluss bildet eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Zielsetzung	1
1.3	Gliederung	2
2	Physikalische Modellbildung	3
2.1	Transition	3
2.2	Charakteristika turbulenter Strömungen	4
2.2.1	Energiekaskade	4
2.2.2	Skalen turbulenter Strömungen	5
2.2.3	Energiespektrum	6
2.2.4	Maße der Turbulenz	8
2.3	Grenzschichtströmung	9
3	Numerische Behandlung turbulenter Strömungen	13
3.1	Strömungsmechanische Grundgleichungen	13
3.2	Direkte Numerische Simulation	15
3.3	Reynolds-gemittelte Navier-Stokes-Gleichungen	16
3.3.1	Wirbelzähigkeitsprinzip und Boussinesq-Hypothese	17
3.3.2	Turbulenzmodelle	18
3.4	Large-Eddy Simulation	21
3.4.1	Das Smagorinsky-Modell	22
3.4.2	Das dynamische Feinstrukturmodell	22
3.5	Detached-Eddy Simulation	23
3.5.1	Längenmaßdefinition in der DES	23
3.5.2	Erweiterungen der DES	24
3.5.3	Das Grey-Area-Problem	25
3.6	Scale-Adaptive Simulation	26
3.6.1	Das Zweigleichungsmodell von Rotta	27
3.6.2	Das Zweigleichungsmodell von Menter und Egorov	30
3.6.3	Integration in das SST-Modell	34
3.6.4	Dämpfung hochfrequenter Strukturen	35
3.6.5	Anwendungsbereich und Einschränkungen	37
3.6.6	Künstliche Anfachung von Instabilitäten	38
3.7	Harmonic Flow Generator in ANSYS CFX	39
3.8	Das Transitionsmodell in ANSYS CFX	41
3.9	Diskretisierung	42
3.9.1	Zeitterm	42
3.9.2	Konvektiver Term	42
3.9.3	Diffusiver Term	44
4	Beschreibung der Testfälle	45
4.1	Querangeströmter Zylinder	45
4.2	Rückspringende Stufe	52
4.3	Runder Freistrahл	54
5	Auswertung	59
5.1	Querangeströmter Zylinder	59
5.1.1	Beschreibung des instantanen Strömungsbildes	59

5.1.2	Gemittelttes Strömungsfeld	62
5.1.3	Integrale Größen der Reynolds-Zahlvariation	68
5.1.4	Verhalten der Turbulenzgrößen	69
5.1.5	Einfluss der Zeitschrittvariation	73
5.1.6	Einfluss der Gittervariation	80
5.1.7	Ergebnisbewertung	83
5.2	Rückspringende Stufe	84
5.2.1	Beschreibung des instantanen Strömungsfeldes	84
5.2.2	Gemittelttes Strömungsfeld	86
5.2.3	Verhalten der Turbulenzgrößen	90
5.2.4	Ergebnisbewertung	92
5.3	Runder Freistrah	94
5.3.1	Beschreibung des instantanen Strömungsbildes	94
5.3.2	Gemittelttes Strömungsfeld	96
5.3.3	Verhalten der Turbulenzgrößen	98
5.3.4	Ergebnisbewertung	100
6	Zusammenfassung	102
	Literatur	103