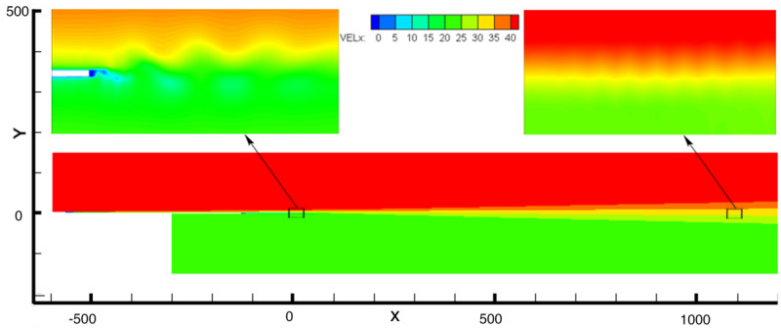
Hybride Modellierung turbulenter Strömungen



Project Manager
Dr.-Ing. Anastasia Kondratyuk

Principal Investigator
Prof. Dr. Michael Schäfer

Project Term
2014 - 2017

Clusters
Lichtenberg Cluster Darmstadt

Institute
Fachgebiet Numerische Berechnungsverfahren im Maschinenbau

University
Technische Universität Darmstadt

Introduction

In vielen technischen Bereichen, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt oder Automobilindustrie, treten turbulente Strömungen auf. Um diese Strömungen zu untersuchen, können Experimente oder numerische Simulationen durchgeführt werden. Aus Kostengründen werden verstärkt Computer-Simulationen eingesetzt. Wissenschaftler der TU Darmstadt versuchen optimale Verfahren zu finden, die korrekte Ergebnisse bei gleichzeitig geringem Rechenaufwand liefern.

Methods

Die mathematische Beschreibung einer turbulenten Strömung liefern die Navier-Stokes-Gleichungen, die wegen ihrer Nichtlinearität nicht analytisch gelöst werden können. Durch die schnelle Entwicklung der Computertechnik ist es heute möglich, diese Gleichungen numerisch zu lösen. Mit der direkten numerischen Simulation (DNS) können sämtliche auftretenden Wirbel aufgelöst werden. Dies erfordert jedoch einen sehr hohen Rechenaufwand, weshalb die Anwendung einer DNS auf absehbare Zeit auf einfache Geometrien und niedrige Reynoldszahlen beschränkt ist.[1] Die Grobstruktursimulation (engl. Large Eddy Simulation, LES) stellt eine Reduzierung der Rechenanforderung im Vergleich zur DNS dar. Dabei wird nicht das gesamte Spektrum der turbulenten Strukturen simuliert, sondern lediglich die großen energietragenden Skalen. Die kleinen Turbulenzstrukturen werden gefiltert und modelliert.[2] Dies führt zu einer wesentlichen Reduzierung des Rechenaufwands und erlaubt es, turbulente Strömungen mit höheren Reynoldszahlen und komplizierteren Geometrien zu untersuchen. Für technische Anwendungen reicht es oft aus, eine statistische Beschreibung turbulenter Strömungen zu verwenden, die die mittlere Wirkung der Turbulenz berücksichtigt.

Die entsprechenden Modelle werden als statistische Turbulenzmodelle (RANS) bezeichnet. Da in den RANS-Gleichungen alle turbulenten Strukturen modelliert werden,

liefern die statischen Turbulenzmodelle teilweise erhebliche Abweichung von der Realität. In letzter Zeit werden auch verstärkt sogenannte Hybrid-Modelle benutzt. Sie nutzen die Vorteile der oben erläuterten Methoden. Die Very Large Eddy Simulation kombiniert beispielsweise die RANS und die DNS Methode.[1] Das Modell schaltet zwischen diesen beiden Modi um, abhängig von einer so genannten „Numerical -Resolution“-Funktion. Um zu prüfen, ob ein neu implementiertes VLES-Modell korrekte Ergebnisse liefert und um die benötigte Rechenzeit dieser Methode mit anderen hybriden Methoden zu vergleichen, werden unterschiedliche Simulationen durchgeführt.

Als erster Validierungstestfall wird eine Strömung betrachtet, bei der durch die Mischung zweier paralleler Strömungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten eine Scherschicht entsteht. Freie Scherschichten treten in vielen technischen Anwendungen auf, wie beispielsweise bei der Ablösung an einem Profil oder bei Strahltriebwerken zwischen dem Abgasstrahl und der Umgebungsluft (Abb. 1). Als zweiter Testfall wird eine Strömung um eine geneigte Platte betrachtet (Abb. 2). Beide Simulationen benötigen ein Rechengebiet mit etwa zwei Millionen Zellen. Bei turbulenten Strömungen lassen sich die Strömungsgrößen nicht anhand einer Momentaufnahme beurteilen. Vielmehr muss die Strömung dafür über einen großen Zeitraum gemittelt werden, um auskonvergierte Mittelwerte der Strömungsgrößen zu erhalten. Zusammen mit der großen Anzahl der Zellen führt dies zu sehr langen Rechenzeiten. Die Benutzung des Lichtenberg-Clusters erlaubt es, diese Simulationen parallelisiert durchzuführen, was die Rechenzeit deutlich reduziert.

Figures

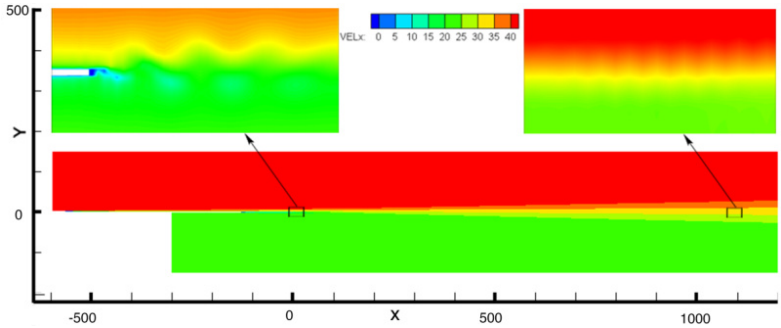


Abb. 1: Scherschichten.

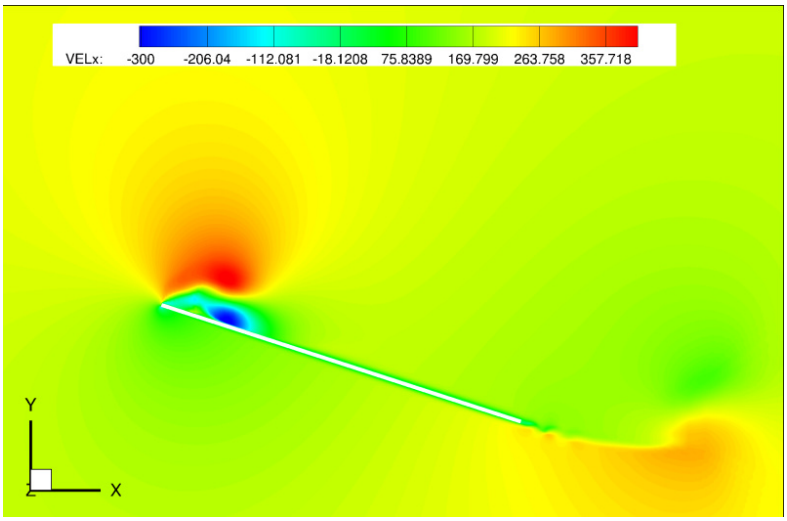


Abb.2: Strömung um eine geneigte Platte.

Reference

[1] C.Y. Chang, S. Jakirlić, K. Dietrich, B. Basara, and C. Tropea (2014), Swirling flow in a tube with variably-shaped outlet orifices: An LES and VLES study, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 49, Oct. 2014: 28-42. http://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2014.05.008

[2] J. Fröhlich (2006), Large eddy simulation turbulenter Strömungen. Vol. 1. Wiesbaden: Teubner. https://doi.org/10.1007/978-3-8351-9051-1

Last Update: 2022-07-08 11:40