

Abstract

The development and interaction of small-scale flow features embedded in larger-scale atmospheric phenomena and their numerical simulation are the focus of this work. Capturing small-scale flow features in a numerical simulation is ultimately a question of the resolution of the computational grid. The impact of grid resolution on simulation results is studied for the example of a land-sea breeze circulation using the mesoscale model METRAS. As expected, the dependency of simulation results on resolution is strongest in the vicinity of the sea breeze front.

To accurately capture small-scale features more efficiently in simulations, the new atmospheric model **a3m** is developed. One of **a3m**'s key features is local grid refinement with a high level of control of the spatial distribution of resolution. The model is based on the fully compressible, non-hydrostatic flow equations and employs only very few approximations. The equations are discretised using a Godunov-type finite volume (FV) method employing the approximate Riemann solver of Osher and Solomon as the numerical flux function. The scheme is extended to second order by using essentially non-oscillatory (ENO) variable interpolation. Local refinement of the computational grid is achieved by using block-structured grids: a grid consists of multiple blocks of different resolution and refining blocks may overlay parts of refined blocks.

In order to verify the numerical properties and to demonstrate the capability of **a3m** to simulate atmospheric flows, it is tested using computational grids of uniform and locally enhanced resolution. Overall, the model performs as expected and turns out to be quite robust towards abrupt changes in resolution. The model is applied to an atmospheric density current which is successfully simulated. The front of the density current is well captured with only a very small amount of artificial, non-physical oscillations. In comparison to published simulation results that used other numerical methods, **a3m**'s FV/ENO scheme seems to be more diffusive, but it generates significantly fewer artificial oscillations. Significant improvements of the results are gained by simulating the density current on locally refined grids.

Zusammenfassung

Die Entwicklung und Wechselwirkungen von kleinskaligen Strömungsmerkmalen, die in atmosphärische Phänomene größerer Skalen eingebettet sind, und deren numerische Simulation bilden den Schwerpunkt dieser Arbeit. Die kleinskaligen Strömungsmerkmale in einer Simulation richtig wiederzugeben, ist letztendlich eine Frage der Auflösung des verwendeten Rechengitters. Der Einfluß der Auflösung auf Simulationsergebnisse wird mit Hilfe des Mesoskalamodells METRAS am Beispiel der Land-Seewind-Zirkulation untersucht. Erwartungsgemäß ist dieser in der Nähe der Seewindfront am stärksten ausgeprägt.

Um die kleinskaligen Strömungsmerkmale in einer Simulation richtig und effektiv zu erfassen, wird das neue Atmosphärenmodell **a3m** entwickelt. Eine der wesentlichen Eigenschaften von **a3m** ist die Möglichkeit, lokal verfeinerte Rechengitter mit einem hohen Maß an Kontrolle über die Verteilung der Auflösung einzusetzen. Das Modell basiert auf den nichthydrostatischen, kompressiblen Strömungsgleichungen und verwendet nur sehr wenige Näherungen. Die Gleichungen werden mittels eines Finite-Volumen-Verfahrens (FV) vom Godunov-Typ diskretisiert. Als numerische Flußfunktion wird der approximative Riemann-Löser von Osher und Solomon benutzt. Die Approximationsgüte des Verfahrens wird durch die Verwendung der wesentlich nichtoszillatorischen (*essentially non-oscillatory*, ENO) Interpolation auf zweite Ordnung gesteigert. Lokale Gitterverfeinerung wird durch die Verwendung block-strukturierter Gitter erreicht: Ein Gitter besteht aus mehreren Blöcken unterschiedlicher Auflösungen, wobei Blöcke höherer Auflösung Blöcke geringerer Auflösung teilweise überdecken.

Mit Tests auf Gittern von gleichförmiger und lokal erhöhter Auflösung werden die numerischen Eigenschaften von **a3m** überprüft und die Durchführbarkeit von Simulationen atmosphärischer Strömungen demonstriert. Insgesamt erfüllt das Modell die gestellten Erwartungen und erweist sich als recht robust gegenüber abrupten Änderungen der räumlichen Auflösung. Das Modell wird auf eine atmosphärische Dichteströmung angewandt und diese erfolgreich simuliert. Die Front der Dichteströmung wird dabei gut und mit nur einem geringen Maß künstlicher unphysikalischer Schwingungen erfaßt. Im Vergleich zu anderen veröffentlichten Simulationsergebnissen, die mit anderen numerischen Methoden erzielt wurden, erscheint das Verfahren von **a3m** diffusiver, aber es erzeugt auch erheblich weniger künstliche Oszillationen. Durch Verwendung lokal verfeinerter Gitter konnten die Modellergebnisse noch deutlich verbessert werden.