

Kármánsche Wirbelstraßen in der Atmosphäre - Untersuchungen mittels Large Eddy Simulation

R. Heinze and S. Raasch

Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Germany (heinze@muk.uni-hannover.de)

Kármánsche Wirbelstraßen bestehen aus einer Doppelreihe von gegenläufig rotierenden Wirbeln, die sich im Lee von steilen Inseln oder isolierten Topographien in der atmosphärischen Grenzschicht ausbilden können. Zahlreiche Beobachtungen zeigen, dass die marine Grenzschicht dabei gut durchmischt ist, von einer Inversion, die unterhalb des Gipfels liegt, abgeschlossen wird und dass kräftige Winde aus ungefähr konstanter Richtung wehen. Das Auftreten von Kármánschen Wirbelstraßen bei genau dieser meteorologischen Situation wurde numerisch erstmals mit Hilfe von Large Eddy Simulation (LES) untersucht, wobei das parallelisierte LES Modell PALM zum Einsatz kam. Im Gegensatz zu mesoskaligen Modellen, mit denen Wirbelstraßen bisher hauptsächlich numerisch untersucht wurden, lösen LES Modelle den größten Teil des Turbulenzspektrums auf, sodass der Einfluss der Turbulenz auf das Phänomen direkt bestimmt werden konnte. Die Topographie besteht aus einer idealisierten Insel, die die Form einer zweidimensionalen Gaußverteilung aufweist.

Die Bestimmung von charakteristischen Eigenschaften, wie das Aspektverhältnis, die Ausbreitungsgeschwindigkeit oder die Ablöseperiode der Wirbel, erfordert eine automatische und eindeutige Identifikation der Wirbelzentren sowie ihre Verfolgung, um Zugbahnen aufstellen zu können. Daher mussten geeignete Analyseverfahren entwickelt werden. Diese nehmen Horizontalschnitte als Datengrundlage, die zunächst vergröbert und geglättet werden, weil die Wirbel vom kleinskaligeren, turbulenten Signal überlagert werden. Da die Bildung und Ablösung von Wirbeln im Lee einer Insel von der Froude-Zahl der Strömung abhängt, wurde diese mit Hilfe des Konzeptes der teilenden Stromlinie aus Profildaten ermittelt. Aus Satellitenbeobachtungen ist bekannt, dass die Wirbel die gesamte Grenzschicht umfassen. Die hohe räumliche Auflösung der Simulationen erlaubt es nun, weiter zu gehen und insbesondere die vertikalen Strukturen einzelner, voll ausgebildeter Wirbel zu untersuchen. Räumlich gemittelte Wirbelstrukturen einzelner Wirbel werden erstmals präsentiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Eigenschaften der Wirbelstraße keine Abhängigkeit von der Höhe aufweisen und dass sich die Wirbel über die gesamte Grenzschicht erstrecken. Sie zeichnen sich ferner durch vertikale Achsen, warme Kerne und Druckminima unabhängig vom Drehsinn aus. Im Wirbelkern herrscht ein konstanter Aufwind in der Größenordnung von 10 cm/s, der ein divergentes Ausströmen am oberen Rand des Wirbels bewirkt. In diesem Bereich befindet sich ein Maximum der potentiellen Temperatur, das sich wegen des Absinkens der Inversion aufgrund der Divergenz ausbildet. Dies könnte ein Grund für die häufig im Satellitenbild beobachteten, wolkenfreien Zentren sein. Der Einfluss der Turbulenz auf das Phänomen erweist sich als gering. Lediglich der mittlere Wirbelradius nimmt bei stärkerer Turbulenz ab. Dies ist auf die mit stärkerer Turbulenz verbundene höhere Vermischung zurückzuführen. Die Variation der Windgeschwindigkeit hat Einfluss auf die Froude-Zahl der Strömung und damit auch auf ihren Charakter. Zusätzlich zu Wirbelstraßen konnte eine wellenförmige Nachlaufströmung simuliert werden, die mit einem Anstieg der Froude-Zahl verbunden ist.