

Wissenschaftliche Mitteilungen

aus dem
Institut für Meteorologie der Universität Leipzig



ISBN 3-9807315-9-6

On Rossby wave propagation in atmosphere and ocean

Uwe Harlander

Leipzig 2003

Band 29

Summary

The most important wave type of large-scale rotating geophysical fluids is the *Rossby wave* which exists due to a subtle interplay between the effects of potential vorticity conservation and inertia on fluid parcels. There are many fascinating and beautiful phenomena in rotating fluids which are related to Rossby waves and, moreover, these waves are responsible for our changeable weather.

The study investigates the mechanisms and properties of Rossby waveguides in the atmosphere and the oceans. Such waveguides are preferred paths of propagating Rossby waves. They may be formed with the help of reflecting boundaries or solely by the shear structure of the flow and they may be purely zonal or showing more complicated geometries.

The first part of the paper investigates the possible existence of a Rossby waveguide in a zonal, bounded large-scale shear flow at the high-latitudes. It is argued that this situation represents a simple model of the Antarctic Circumpolar Current. Using analytical and asymptotical techniques, we show that such a waveguide is indeed possible for a wide range of parameters. The maximum wavelength of the trapped waves is about 1500 km. It is known that sea ice and oceanic boundaries have a dominant effect in structuring the Antarctic marine ecosystem. The trapped Rossby waves found are able to modify the sea ice distribution and may therefore effect biological productivity. We go further and study numerically the spatial structure of locally forced Rossby waves in a slightly dissipative bounded shear flow. The numerical experiments confirm the findings obtained by asymptotical methods. The two-dimensional model solutions show clearly an important property of the waveguide: long waves are able to cross the jet-core, whereas shorter waves are refracted at their turning points south of the jet's center. Therefore, the energy of these waves is trapped in a rather narrow band along the coast.

Critical levels are defined as regions where the wave phase speed equals the basic flow velocity. From linear theory it follows that no trapped waves can exist if a critical level is comprised between the turning points. However, using two different examples, we demonstrate that global solutions of trapped waves do occur if the gradient of the ambient potential vorticity vanishes at the critical levels. Surprisingly, no "classical" waveguides for local wave packets are possible. Nevertheless, the critical levels by themselves can work as waveguides, without any reflection-refraction mechanism.

Finally, we focus on the propagation of local wave packets from the viewpoint of nonlinear dynamical system theory. The ray paths of Rossby wave propagation can be sensitive to small variations of the initial conditions due to inhomogeneities in the coefficients of the potential vorticity equation. This is called "ray chaos" in wave theory. We study a system of zonal waveguides which is perturbed by a periodic topography. In that case, wave packets can oscillate aperiodically between the turning points and may even leave the waveguide in a non-predictable way.

Bibliographical description:

Uwe Harlander

"On Rossby wave propagation in atmosphere and ocean"

University of Leipzig, Habil., December 2, 2002, 81 pages, 104 references, 24 figures, 7 tables.

Zusammenfassung

Der wichtigste Wellentyp großskaliger geophysikalischer Fluide ist die *Rosbywelle*, welche die Folge eines subtilen Wechselspiels zwischen Vorticityerhaltung und Trägheit einzelner Fluidelemente ist. Es gibt viele faszinierende Phänomene in rotierenden Fluiden, die mit Rossbywellen zusammenhängen, und nicht zuletzt sind diese Wellen für unser wechselhaftes Wetter verantwortlich.

Die vorliegende Studie untersucht Mechanismen und Eigenschaften von Rossbywellenleitern in der Atmosphäre und den Ozeanen. Solche Wellenleiter sind bevorzugte Ausbreitungspfade von Rossbywellen. Sie bilden sich entweder entlang von Küstenlinien oder einfach aufgrund von Scherungsstrukturen freier Strömungen. Rossbywellenleiter können rein zonal sein oder eine kompliziertere räumliche Struktur aufweisen.

Der erste Teil der Arbeit untersucht, ob in einer zonalen, einfach berandeten großskaligen Scherströmung hoher Breiten, die als Modell des Antarktischen Zirkumpolarstroms dient, die Möglichkeit zur Ausbildung eines Rossbywellenleiters besteht. Mittels analytischer und asymptotischer Verfahren können wir zeigen, dass gefangene Rossbywellen über einen weiten Parameterbereich möglich sind. Die maximal mögliche Wellenlänge beträgt dabei ca. 1500 km. Solche Wellen können die Eisverteilung, aber auch das empfindliche Ökosystem der Antarktischen Region beeinflussen. Mit einem einfachen numerischen Modell berechnen wir anschließend die räumlichen Strukturen lokal angeregter gefangener Rossbywellen unter Einbeziehung schwacher Dissipation. Modellexperimente mit reflektierenden und durchlässigen Rändern bestätigen die Ergebnisse der asymptotischen Verfahren. Die zweidimensionalen Modelllösungen zeigen die Eigenschaften des untersuchten Wellenleiters in anschaulicher Weise: Lange Wellen können sich vom Rand lösen, kürzere Wellen sind dagegen zwischen der reflektierenden Küste und einer durch die Scherströmung erzeugten Umkehrbreite gefangen und formen so den Rossbywellenleiter.

Kritische Linien sind als Gebiete definiert, an denen die Phasengeschwindigkeit einer betrachteten Welle gleich der Grundstromgeschwindigkeit des Fluids ist. Gemäß der linearen Theorie gibt es keine gefangenen Wellen, falls kritische Linien vor den Umkehrbreiten liegen. Wir zeigen an zwei Beispielen (größtenteils anhand analytischer Lösungen), dass es unter der Annahme eines verschwindenden Gradienten der Grundstromvorticity an den kritischen Linien globale Lösungen gefangener Rossbywellen gibt, aber keine "klassischen" Rossbywellenleiter. Andererseits können unter obigen Umständen die kritischen Linien selbst als Wellenleiter fungieren, ohne die Strahlen der Wellenausbreitung zu beugen oder zu reflektieren.

Abschließend betrachten wir die Ausbreitung lokaler Rossbywellen vom Standpunkt der Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme. Aufgrund von Inhomogenitäten in den Koeffizienten der Gleichung der potentiellen Vorticity können die Strahlen der Wellenausbreitung sensitiv von den Anfangsbedingungen abhängen, man spricht dann von "ray chaos". Ein System zonaler Rossbywellenleiter wird betrachtet, seine einfache Struktur jedoch durch eine periodische Topographie gestört. Wellenpakete bewegen sich dann aperiodisch in dem Wellenleiter oder können diesen in nichtvorhersagbarer Weise verlassen.

Bibliographische Beschreibung:

Uwe Harlander

"On Rossby wave propagation in atmosphere and ocean"

Universität Leipzig, Habil., 2. Dezember 2002, 81 S., 104 Lit., 24 Abb., 7 Tab.