Vergleich gemessener und berechneter Charakteristiken von internen Schwerewellen in der unteren Atmosphäre

Autor(en): [s.n.]

- Objekttyp: AssociationNews
- Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Band (Jahr): 156 (1976)

PDF erstellt am: 29.05.2024

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek* ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

5. H. Richner und W. Nater (ETH-Zürich): Vergleich gemessener und berechneter Charakteristiken von internen Schwerewellen in der unteren Atmosphäre

Das Laboratorium für Atmosphärenphysik der ETH Zürich (LAPETH) untersucht zur Zeit atmosphärische Wellen. Verschiedene Instrumente stehen dazu zur Verfügung: Ein Netz von Mikrobarographen zeichnet Druckschwankungen mit Periodendauern zwischen ungefähr 1 und 30 Minuten auf. Freiballone mit Radiosonden und ein Fesselballon mit einer Einsatzhöhe bis zu 1500 m erlauben in-situ Messungen von Temperatur, Feuchtigkeit und Wind. Das nützlichste Instrument ist ein mobiler akustischer Echo Sounder – auch bekannt unter den Namen Acdar, Sodar, Akustisches Radar oder Sonar –, welcher in der Lage ist, dynamische klein- bis kleinsträumige Phänomene in den untersten 1000 m der Atmosphäre aufzuzeigen.

Die Untersuchungen konzentrieren sich hauptsächlich auf Föhnlagen, wenn sich zwischen Kaltluftsee und Föhnluft eine ausgeprägte interne Grenzschicht gebildet hat.

Spektrum und Ausbreitungseigenschaften von Druckschwankungen

Bereits eine visuelle Untersuchung der Aufzeichnungen der Mikrobarographen zeigte, dass im Spektrum der atmosphärischen Druckschwankungen eine Lücke besteht: Fluktuationen mit Perioden zwischen 4 und 5 Minuten scheinen sehr selten zu sein. Dieses subjektive Resultat wurde bestätigt, indem das Spektrum für verschiedene Zeitintervalle mit Hilfe der Fast-Fourier Transformation berechnet wurde (siehe Figur 1).



Fig. 1 Spektrum der Druckschwankungen aufgenommen am 6. Dezember 1971 in Zürich.

108



Fig. 2 Wellenzahl-Frequenz-Diagramm für eine Atmosphäre mit einer Temperatur von 0°C und einer lapse rate von 8°/km. α ist die horizontale Wellenzahl in m⁻¹ und ω ist die Frequenz in rad/s.

Löst man die Wellengleichung für eine isotherme, geschichtete Atmosphäre im Schwerefeld so erhält man die in Figur 2 dargestellte Beziehung zwischen horizontaler Wellenzahl a und Frequenz ω . $\omega = \omega_0$ stellt die minimale Frequenz einer akustischen Welle dar, $\omega = N$ ist die Brunt-Vaisälä-Frequenz. Die ausgezogenen Linien zeigen die Beziehung zwischen horizontaler Wellenzahl und Frequenz für Wellen, die sich ausschliesslich horizontal ausbreiten, d.h. die vertikale Wellenzahl ist hier null. In der gesamten Region oberhalb des oberen Astes können jedoch akustische Wellen und in der gesamten Region unterhalb des unteren Astes können Schwerewellen auftreten. Dabei ist die vertikale Wellenzahl jedoch nicht mehr unbedingt gleich null. Die Gerade $\omega = ac$ stellt die Lamb Welle dar, also die nicht-dispersive, horizontale Welle, welche sich mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet. Im übrigen können im schraffierten Gebiet zwischen den Achsen nur vertikale, abklingende Wellen auftreten.

Die erwähnte, experimentell gefundene Lücke im Spektrum der Druckschwankungen lässt sich sehr gut mit der Lücke zwischen N und ω_0 in Uebereinstimmung bringen. Zudem ist ersichtlich, dass Druckschwankungen mit Periodendauern von weniger als 4 Minuten auf akustische Wellen zurückzuführen sind. Um Ausbreitungsgeschwindigkeit und -richtung der Druckschwankungen zu bestimmen, wurde ein Netz von 10 Mikrobarographen aufgestellt. Die Durchgangszeiten charakteristischer Wellenformen wurden an jeder Station festgehalten. Diese Zeiten wurden in ein Modell eingegeben, das die Richtung und die Phasengeschwindigkeit für eine

109



Fig. 3 AES-Aufzeichnung mit Zopfwellen (obere Hälfte) und sinusförmige Wellen (untere Hälfte).

sphärische, sich isotrop ausbreitende Welle berechnete. Als Ausbreitungsgeschwindigkeit erhielt man 20.47 ± 0.30 m/s. Dieser Wert – für fünfzig Fälle aus je rund hundert Kombinationen von 3 Stationen berechnet – zeigt eine für Messungen in der Atmosphäre äusserst geringe Standardabweichung. Der Wert selbst steht in guter Uebereinstimmung mit der Theorie: unter der Annahme rein horizontaler Ausbreitung erhält man rund 22 m/s. Es bleiben jedoch gewisse Zweifel über die Signifikanz der Standardabweichung. In der Literatur findet man experimentell bestimmte Ausbreitungsgeschwindigkeiten von 20 m/s, es wurden jedoch auch schon Werte von 10 und 40 m/s publiziert, die allerdings nur aufgrund von Messungen mittels zwei oder drei Stationen berechnet wurden.

Wellenstrukturen in Aufzeichnungen des Akustischen Echo Sounders

Ein zusätzliches Instrument, das für die Untersuchung atmosphärischer Wellen eingesetzt wird, ist der Akustische Echo Sounder (AES). Seine Wirkungsweise ist analog der eines Radars. Mit seiner Hilfe können atmosphärische Wellen aufgrund der mit ihnen verbundenen Temperaturfluktuationen sichtbar gemacht werden.



Fig. 4 Schematische Darstellung von Katzenaugen-Wellen (aus Gossard und Hooke).

110



Fig. 5 AES-Aufzeichnung mit Katzenaugenwellen auf einer Höhe von ca. 500 m.

Figur 3 zeigt sogenannte Zopfwellen (englisch: "braids"). Die Periode dieser wellenartigen Strukturen ist ungefähr 190 s, ihre Amplitude um 200 m. Es wird angenommen, dass Zopfwellen wegen dynamischer Instabilität auftreten, welche ihrerseits durch vertikale Scherungen hervorgerufen sind. Delisi und Corcos haben jedoch experimentell nachgewiesen, dass solche Wellen auch in horizontalen Scherungen auftreten können. Richter und Gossard schliessen aus FMCW-Radar-Beobachtungen, dass sich diese Wellen mit Schallgeschwindigkeit ausbreiten.

In Figur 4 sind Katzenaugen-Wellen schematisch dargestellt, die bereits 1880 von Lord Kelvin theoretisch behandelt wurden. Unter der Annahme eines Windfeldes

$$U = \beta z + i \Delta U_s e^{-\gamma z} e^{ikx}$$

d.h. eines linear mit der Höhe ändernden Windfeldes mit einer überlagerten sinusförmigen Störung, kann die Begrenzung zwischen den Rotoren und den wellenförmigen Stromlinien berechnet werden zu

$$z = \pm 2 \sqrt{\Psi_s/\beta} \sin \frac{kx}{2}$$

 $\Psi_{\rm S}$ ist dabei die Stromlinienstörung. Figur 5 zeigt Katzenaugenwellen, wie sie vom AES aufgezeichnet wurden. Wir hoffen, durch genaue Messung des Windfeldes die Gültigkeit der Theorie zu überprüfen, was – soweit wir wissen – für die reale Atmosphäre noch nicht geschehen ist.

Der untere Wellenzug in Figur 3 wurde eingehend analysiert, indem aus Temperatur- und Windprofilen die theoretische, kritische Wellenlänge berechnet und mit der experimentell bestimmten verglichen wurde. Aufgrund der einfachen Helmholtz Theorie ergibt sich für die minimale Wellen-



Fig. 6 Schwerewellen simultan aufgezeichnet durch den AES und durch einen Mikrobarographen. Frequenz und Phase stimmen sehr genau überein, während die Amplituden verschieden sind.

länge 25 m, aufgrund einer verfeinerten Theorie von Reiter 38 m. Die gemessene Wellenlänge von 110 m ist somit um einen Faktor 3 über der kritischen Wellenlänge. Es kann somit geschlossen werden, dass es sich bei den beobachteten Wellen mit Sicherheit um Schwerewellen handelte. Auch die Richardsonzahl, welche 4.7 betrug, lag eindeutig über den kritischen Werten von 0.25 (aus der einfachen Theorie) bzw. von 0.5 (aus einer verfeinerten Theorie von Sekioka), welche die untere Grenze für die Existenz von Schwerewellen darstellen.

Figur 6 zeigt die Aufzeichnung einer Welle durch den AES und die korrespondierenden Druckschwankungen. Phase und Frequenz der Druckschwankungen lassen sich eindeutig der atmosphärischen Welle zuordnen, während die Amplitude wahrscheinlich durch Druckschwankungen aus entfernteren Quellen gestört ist.

Literatur

Delisi, D.P. and Corcos, G.: A study of internal waves in a wind tunnel. Boundary Layer Meteorol. 5, 121-137, 1973.

Gossard, E. and Hooke, W.: Waves in the atmosphere. Amsterdam, Oxford, New York 1975.

Kallistratova, M.A.: Experimental investigation of sound wave scattering in the atmosphere. Trudy instituta fisiki atmosfery, Atmosfernaya turbulentnost', No. 4, pp. 203-256. (Translated by Foreign Technology Division, WB-AFB, Ohio, FTD-TT-63-441/1+2+4).