ETH zürich

ETH Library

Quasi-Lagrange'sche Turbulenzmessung mit Schwebeballonen in der planetaren Grenzschicht

Optimierung der Methode für die robuste Bestimmung von Impulsfluss und Dispersion über komplexem Gelände

Doctoral Thesis

Author(s):
Neininger, Bruno

Publication date:
1987

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000475482

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

BRUNO NEININGER

QUASI-LAGRANGE'SCHE TURBULENZMESSUNG MIT SCHWEBEBALLONEN IN DER PLANETAREN GRENZSCHICHT

Optimierung der Methode für die robuste Bestimmung von Impulsfluss und Dispersion über komplexem Gelände

Verlag: LENTICULARIS AG, CH-8152 Opfikon
1988

Zusammenfassung

Das Verhalten der Grenzschicht zwischen der Erdoberfläche und der freien Atmosphäre gewinnt in der meteorologischen Forschung zunehmend an Bedeutung. Dabei spielt die Untersuchung turbulenter Prozesse mit ihren Eigenschaften, Energie, Impuls und Stoffe zu transportieren, eine zentrale Rolle. Diese Transporte beeinflussen sowohl die Dynamik der Atmosphäre wie auch die Wechselwirkungen von Atmosphäre und Biosphäre. Wichtige Fragen zur Dynamik entstammen z.B. der numerischen Modellierung der Strömung (Wetterprognose): Die bodennah dominierende Reibungskraft ist durch den turbulenten Impulsfluss gegeben, welcher wie alle Prozesse, die auf kleineren Skalen als derjenigen der Modellauflösung ablaufen, durch Modellparameter ausgedrückt werden muss (Parametrisierung). Typische Fragen zur Wechselwirkung Biosphäre - Atmosphäre beziehen sich auf die Ausbreitung von Luftfremdstoffen (Dispersion, Diffusion).

Die Möglichkeit, diese turbulenten Prozesse geschlossen theoretisch zu behandeln, sind sehr beschränkt; d.h. auch dort, wo theoretische Formulierungen existieren, enthalten sie Grössen, welche experimentell bestimmt werden müssen. Die Tatsache, dass diese Theorien meist Homogenität und Stationarität oder sogar Isotropie voraussetzen, beschränkt sie zudem in ihrer Anwendbarkeit fast ausschliesslich auf die bodennächste Schicht von höchstens einigen 10 Metern Mächtigkeit. Eine weitere Einschränkung der Allgemeinheit bisheriger Erkenntnisse über turbulente Strömungen ist durch die Topografie der Erdoberfläche gegeben, welche in der Theorie meist als nicht existent (eben) vorausgesetzt wird bzw. sich in verschiedenen Experimenten stark unterscheidet.

Der obere Teil der planetaren Grenzschicht (über ca. 100 mGND) ist auch experimentellen Arbeiten schwer zugänglich. Türme sind in ihrer Höhe beschränkt und sind unfähig, stationäre homogene Strukturen wie z.B. Wellenströmungen erkennen zu lassen. Höherreichende flugzeuggetragene Messysteme sind i.a. sehr aufwendig und teuer. Auftriebsarme Ballone (Schwebeballone: SB), welche der Strömung möglichst exakt folgen und als sog. quasi-Lagrange'sche Tracer wirken, stellen eine interessante dritte Alternative dar, um in der reellen Atmosphäre turbulente Vorgänge zu studieren. Ein solches Messystem, welches Ballone konstanter Dichte mit Radar verfolgt, wurde entwickelt. Die von Angell (1960) eingeführte Methode konnte mit technischen und theoretischen Verbesserungen wesentlich weiterentwickelt werden und damit Fragen zur Turbulenz über komplexer Topografie in Höhen zwischen 200 und 2000 mGND im Periodizitätsbereich von 0.5 bis 20 Minuten studiert werden. Das internationale Feldexperiment ALPEX (März und April 1982), einige ergänzende Messungen während Föhnfällen danach und das kombinierte SF_6-Tracer/SB Dispersionsexperiment SIESTA (1985) bildeten Anlass und Rahmen dieser Messungen.

Wie bei allen Turbulenzmessungen mischen sich die effektiven Fluktuationen einer Grösse und das Rauschen der Messung untrennbar. Dazu kommen Unsicherheiten, welche bei gewissen Resultaten durch nicht überprüfbare Voraussetzungen der Auswertung entstehen. Der Abschätzung dieser Unsicherheiten wurde viel Aufmerksamkeit geschenkt und die Resultate lassen sich danach in folgende Genauigkeits-Hierarchie gliedern: 1. gesamte turbulente kinetische Energie (TKE); 2. Diffusion/Dispersion; 3. Impulsflüsse; 4. Form der Spektren. Der Vergleich von Dispersionsdaten aus SF_6-Tracermessungen mit simultan aus Ballontrajektorien gewonnenen zeigen sehr gute Übereinstimmung. Versuche zur Parametrisierung der TKE und von Impulsflüssen zeigen, dass beide primär von der mittleren kinetischen Energie der Strömung beeinflusst sind. Abhängigkeiten von Gradienten oder Stabilitätsparametern konnten nur vereinzelt gefunden werden, so z.B. ein Zusammenhang zwischen der Isotropie der TKE und der Froude-Zahl. Die gefundenen Impulsflusswerte streuen stärker, als infolge von Messfehlern zu erwarten ist und zeigen z.T. auch kontragradiente Vorzeichen, ihre mittleren Beträge von 0.1 bis 0.4 Pa (methodenabhängig) liegen im erwarteten Bereich. Die Resultate deuten darauf hin, dass die Turbulenz im untersuchten Höhenbereich über komplexer Topografie wenig determiniert ist und die Auslösemechanismen von der Windgeschwindigkeit dominiert sind.

Summary

The processes in the boundary layer between the earth's surface and the free atmosphere have gained importance in modern meteorology. Turbulence with its ability to transport energy, momentum and material is of prime concern. These transports influence the dynamics of the atmosphere as well as the interactions of the atmosphere with the biosphere. Important questions arise e.g. from the numerical modelling of the airflow (weather prediction): The friction force that is dominating at lower heights is a function of the turbulent momentum flux. As all other sub-grid scale processes it has to be expressed by model parameters (parametrization). Typical questions concerning atmosphere - biosphere interactions are dealing with the dispersion of pollutants.

There are only very limited theoretical approaches to these questions available. At least some variables remain to be measured. In addition, most of these theories are based on homogeneity, stationarity or even isotropy and their validity is, therefore, mainly constricted to the lowest tens of meters above ground. Another limitation of the universality of knowledge about turbulent flow is due to the topography which is mostly inexistent (flat) in theory or very different from experiment to experiment.

The upper part of the planetary boundary layer (above ≈ 100 mGND) is hardly accessible for experiments using towers due to their limited size and inability to detect stationary inhomogeneous structures such as waves. Higher reaching mesurements by aircraft are in general highly sophisticated and expensive. Constant level balloons (CLBs) are a third alternative to study turbulent processes in the real atmosphere. Such a measuring system which tracks CLBs with radar was developped. The method introduced by Angell (1960) has been improved considerably both technically and theoretically and allowes now the study of turbulence in heights between 200 and 2000 mGND in the periodicity range between 0.5 and 20 minutes. Field phases took place during the international ALPEX project (March and April 1982), during foehn events afterwards and during a combined SF_6-tracer/CLB dispersion experiment (SIESTA, 1985).

As in any turbulence measurement, the true fluctuations of a parameter and the noise of the measurement are unseparably merged. Uncertainties are also increased by unprooved assumptions that are necessary to derive certain results. Efforts were made to estimate these errors. As a consequence, the results can be ordered according to their accuracies: 1. total turbulent kinetic energy (TKE); 2. diffusion/dispersion; 3. momentum fluxes; 4. shape of spectra. The comparison of SF_6 tracer data with diffusion estimates from simultaneously sampled CLB trajectories show excellent agreement. Both parametrization trials with TKE and momentum fluxes show dependance primarily on the mean kinetic energy of the flow. Gradients or stability parameters seem to have no importance in most cases. An exception is the relation between the isotropy of the TKE and the Froude number. Computed momentum fluxes show more spread than expected due to measuring noise; they include some cases of counter-gradient fluxes but, their averages of 0.1 to 0.4 Pa (depending on computational method) are comparable to published values. The results suggest that the turbulence in heights of some hundreds of meters above complex terrain is only slightly deterministic and that trigger mechanisms are dominated by the mean wind speed.