

Kleinskalige Turbulenzen in der atmosphärischen Grenzschicht

Eine Reihe von kürzlich erschienenen Veröffentlichungen der Max-Planck-Forschungsgruppe „Turbulente Mischungsprozesse im Erdsystem“ am Max-Planck-Institut für Meteorologie zeigt zum ersten Mal, wie kleinskalige Turbulenz die Eigenschaften und die Entwicklung der atmosphärischen Grenzschicht beeinflusst. Dieser Durchbruch bietet neue Möglichkeiten, alte Theorien über das Wachstum der Grenzschicht, oder ihrer Wechselwirkung mit der Erdoberfläche, zu bestätigen - oder zu entkräften und Neue anzuregen.

Oft verläuft die Reise mit einem Flugzeug während des Sinkflugs plötzlich ein wenig holprig. Dieses Phänomen verursacht nicht nur Aufregung oder Unbehagen bei den Passagieren, sondern auch Kopfschmerzen bei Klimaforschern, deren Klimamodelle entscheidend von diesen Effekten abhängen. Diese plötzliche Bewegung des Flugzeugs wird durch das Eintreten aus der relativ ruhigen, oberen Troposphäre in die turbulente atmosphärische Grenzschicht (Abb. 1) erzeugt. In diesem Übergangsbereich - nennen wir ihn EZ, als Akronym für "Ereignisszone" (*entrainment zone*) – findet im Grunde eine Art „Kampf“ zwischen den Turbulenzen unten und der ruhigen Troposphäre darüber statt, in der die Turbulenzen versuchen, das Territorium der Troposphäre zu erobern. Wissenschaftler bemühen sich, ein besseres Verständnis zu erlangen wie genau dieser „Kampf“ wirklich verläuft, da Klimamodelle teilweise große Unsicherheiten in Bezug auf die Geschwindigkeit dieser Vorgänge aufweisen.

Fortschritte im Hochleistungsrechnen haben es ermöglicht, dieses Problem anzugehen und einige verborgene Details der Natur zu enthüllen. Es ist nun möglich, die Details der turbulenten Bewegungen innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht direkt zu simulieren, wobei eine Reihe von Größenordnungen abgedeckt werden können; von den großen, organisierten Fahnen bis hin zu den kleinen, zufälligen Wirbeln, woraus Forscher wiederum Informationen über die EZ erhalten. Auf diese Weise wurde entdeckt, dass die EZ, selbst unter einfachsten Umständen in etwa 100m Höhe, in Wirklichkeit aus zwei unterschiedlichen Schichten besteht. Die obere Schicht wird durch die Merkmale der Wellenkämme, oder „Gipfel“, dominiert, die darunterliegende Schicht wird durch die Eigenschaften der Tröge zwischen diesen Wellenkämmen beherrscht (Abb. 1). In der oberen Schicht widersetzt sich die Troposphäre am stärksten dem Vordringen der Turbulenzen. Diese neu entdeckte Struktur zieht wiederum ein neues Verständnis der Gleichungen nach sich, die die Eigenschaften der EZ beschreiben. Ein Beispiel ist hier die Geschwindigkeit, mit der die Turbulenzen in die obere Troposphäre eindringen.

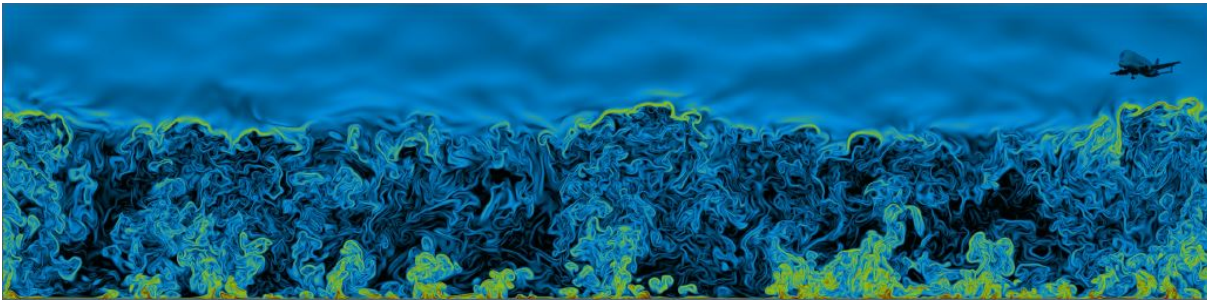


Abb. 1: Dieser vertikale Querschnitt zeigt die Besonderheit der turbulenten Grenzschicht, die von chaotischen Bewegungen über viele verschiedene Größenordnungen hinweg charakterisiert ist, sowie die obere Troposphäre, die sich durch sanfte Wellenbewegungen auszeichnet. Die Farbe zeigt die Größenordnung der Variabilität des lokalen Dichtefelds, ansteigend von schwarz bis gelb. Die Simulation wurde von JR Garcia mit 5120_5120_840 Gitterpunkten durchgeführt. (Das Flugzeug in der oberen rechten Ecke dient der Veranschaulichung und ist nicht Teil der Simulation.)

Beim Auftreten von Wolken wird die Geschwindigkeit der Vorgänge und der kleinräumigen Strukturen der EZ noch wichtiger. Wolkenprozesse, wie etwa die Abkühlung durch die Verdunstung von Wassertropfen oder Abkühlung durch Strahlungsprozesse, beeinflussen den „Kampf“ zwischen den Turbulenzen und der Troposphäre. Computer ermöglichen es den Forschern idealisierte Probleme zu lösen, indem sie diese Prozesse *selektiv* aktivieren und deaktivieren können. Hierdurch zeigt sich, wie wichtig diese Prozesse wirklich sind (Abb. 2). Diese Informationen sind von entscheidender Bedeutung, da sich die Eigenschaften beider Schichten drastisch verändern können, während die Turbulenzen in die Troposphäre vordringen, wie zum Beispiel beim Verschwinden einer Wolke. Klimamodelle haben große Schwierigkeiten diese Veränderungen darzustellen.

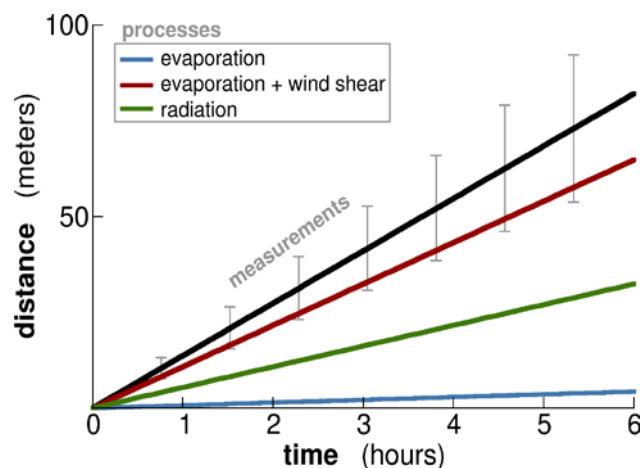


Abb. 2: Wachstum der Turbulenz in die obere Troposphäre aufgrund unterschiedlicher Prozesse an der Wolkenoberseite innerhalb des Übergangsbereichs zwischen der turbulenten Grenzschicht und der Troposphäre (Abb. 1). Verdunstung allein (blaue Linie) kann die Messdaten (schwarze Linie) nicht erklären. Strahlung und insbesondere Windscherung können es hingegen, was darauf hinweist, dass diese beiden Prozesse für das Turbulenzwachstum wichtiger sind.

Diese Fähigkeit die kleinräumigen Bewegungen innerhalb der EZ zu simulieren – welches die Voraussetzung für die Ergebnisse der Forschungsgruppe „Turbulente Mischungsprozesse im Erdsystem“ ist – war vor 10 Jahren noch unmöglich. Die Möglichkeiten, die sich in den kommenden Jahrzehnten entwickeln werden, lassen bisherige Grenzen der Klimaforschung überschreiten.

Veröffentlichungen:

1. A. de Lozar and J. P. Mellado. Direct numerical simulations of a smoke cloud-top mixing layer as a model for stratocumuli. *J. Atmos. Sci.*, 70, 2013.
2. J. R. Garcia and J. P. Mellado. Analysis of the entrainment zone in the convective boundary layer using direct numerical simulation. *J. Atmos. Sci.*, 2013, submitted.
3. J. P. Mellado, B. Stevens, and H. Schmidt. Wind shear and buoyancy reversal at the stratocumulus top. *J. Atmos. Sci.*, 2013, submitted.

Mehr Information:

Max-Planck-Forschungsgruppe „Turbulente Mischungsprozesse im Erdsystem“:

<http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/atmosphaere-im-erdsystem/arbeitsgruppen/turbulente-mischungsprozesse-im-erdsystem.html>

Kontakt:

Dr. Juan Pedro Mellado

Max-Planck-Institut für Meteorologie

Tel.: 040 41173 354

E-Mail: juan-pedro.mellado@mpimet.mpg.de