



Doctoral Thesis

On the parametrisation of the turbulent fluxes in GCMs

Author(s):

Sheppard, Raelene

Publication Date:

2004

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004834775> →

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](#).

Doctoral Thesis ETH No. 15677

On the Parameterisations of the Turbulent Fluxes in GCMs

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of

Doctor of Natural Sciences

presented by

Raelene Sheppard

Masters Degree in Science (MacQuarie University, Sydney, Australia)

born 02.04.1974

citizen of Australia

accepted on the recommendation of

Prof. Atsumu Ohmura, examiner

Dr. Martin Wild, Dr. Mathias Rotach, Dr. Fred Bosveld, co-examiners

2004

Abstract

The present work aims at examining the parameterisations of the turbulent fluxes in GCMs with the prospect of proposing improvements in these models. Intercomparisons over global, zonal and regional areas show large differences between the models, indicating the difficulty in parameterising the turbulent fluxes. On a local scale, observations at sites from the GEBA database, Cabauw, The Netherlands, and two newly analysed sites, at Swampy Summit near Dunedin in New Zealand and in Tsukuba near Tokyo in Japan, are compared to modelled fluxes.

The models used in this study included the GCM simulations of ECHAM4, HadAM2b and ARPEGE, as well as the Reanalyses of ERA15, NCEP and GEOS. Based on climatologies, ECHAM4 and ERA15 showed the most accurate turbulent fluxes when compared to observations, with ERA15 showing a slight improvement over ECHAM4. Since both ECHAM4 and ERA15 are based on a similar model, this indicates that the Reanalyses are superior in the determination of the turbulent fluxes. The reason for accurate turbulent fluxes in ECHAM4 and ERA15 is due to an accurate parameterisation of the solar radiation. Results for the other models typically show an overestimation of latent and sensible heat fluxes, which is largely caused by an overestimation of the solar radiation although, depending on the model, underestimated soil moisture availability and overly intense warm air advection also contribute. For example, in HadAM2b, an overestimated solar radiation combined with an underestimated soil moisture leads to an overestimation of latent heat flux in early summer, and a severe underestimation in late summer. ARPEGE, however, exhibits a too intense zonal flow throughout the year, which produces an excessive moist advection, leading to increased precipitation and evaporation. Lastly, GEOS suffers from an overestimated soil moisture and a surface that is too warm leading to an overestimation in the latent heat flux.

Different data were available for the two newly analysed sites used for this comparison study. The Swampy Summit site consisted of 8 precipitation gauges and a weighing lysimeter enabling the accurate determination of the latent heat flux. The site at MRI has a 200 m tower, one of the few such towers existing.

Measurements from the 200 m tower at MRI included 1 minute mean values of temperature (Pt-100), windspeed (propeller anemometer) and humidity (capacitance hygrometer), as well as 3 dimensional 0.1 second sonic anemo-thermometer data of temperature and windspeed. The wealth of measurements available made it possible to compare methods to determine the turbulent fluxes. Results show that standard methods to determine the turbulent fluxes are not necessarily accurate when considering inhomogeneity. New equations for ϕ_h are proposed from the MRI data to account for the heterogeneity of the site.

The measurements from MRI were then used in conjunction with the parameterisations of ECHAM4. While monthly mean turbulent fluxes from ECHAM4 show good agreement compared to observations, at a half hour timescale, major differences occur. For instance, the momentum flux in ECHAM4 is underestimated for small values and overestimated for large values, while the sensible heat flux in ECHAM4 is continually larger than sonic observations, which are considered to most closely

represent reality. This appears to be due to the use of surface data, such as roughness length of momentum, surface temperature and surface humidity, for the bulk parameterisations. A number of possible solutions exist including the addition of a layer that is close to the surface to determine the atmospheric temperature and windspeed close to the surface rather than the surface data, or the addition of a layer at, say, 2 m or 10 m. The former possibility has the advantage that small gradients of temperature or windspeed are less likely.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Analyse von Parametrisierungen von turbulenten Flüssen in GCMs und den entsprechenden Vorschlägen zu deren Verbesserung für diese Modelle. Zwischenvergleiche unter den globalen, zonalen und regionalen Gebieten zeigen grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen auf und lassen auf Schwierigkeiten bei der Parametrisierung von turbulenten Flüssen schliessen. Auf lokaler Ebene werden Beobachtungen von Standorten aus der GEBA-Datenbank, Cabauw, Holland und zwei neulich untersuchte Standorte in Swampy Summit bei Dunedin, Neuseeland, und Tsukuba bei Tokyo, Japan mit Modell-Flüssen verglichen.

Die in dieser Studie verwendeten Modelle schliessen die GCM-Simulationen von ECHAMA4, HadAM2b und ARPEGE, sowie auch die Reanalysen von ERA15, NCEP und GEOS mit ein. Auf der Basis von Klimatologien weisen ECHAM4 und ERA15 gegenüber der beobachteten Wirklichkeit die genauesten turbulenten Flüsse auf, wobei ERA15 gegenüber ECHAM4 ein wenig besser ausfällt. Die Tatsache, dass ECHAM4 und ERA15 auf einem ähnlichen Modell basieren, deutet darauf hin, dass Reanalysen genauer zur Bestimmung von turbulenten Flüssen sind. Der Grund für genaue turbulente Flüsse in ECHAM4 und ERA15 liegt in einer präzisen Parametrisierung der Sonneneinstrahlung. Resultate anderer Modelle weisen bezeichnenderweise eine Überbewertung latenter und sensibler Wärmeflüsse auf, was weitgehend durch eine Überbewertung der Sonneneinstrahlung hervorgerufen wird, obwohl, je nach Modell, auch eine zu geringe Bewertung der verfügbaren Bodenfeuchtigkeit und eine übermässig starke Warmluftadvektion dazu beitragen. In HadAM2b führt beispielsweise eine Überbewertung der Solarstrahlung, kombiniert mit einer unterbewerteten Bodenfeuchtigkeit, zur Überbewertung des frühlommerlichen latenten Wärmeflusses und einer starken Unterbewertung im Spätsommer. Demgegenüber zeigt ARPEGE während des ganzen Jahres eine zu starke zonale Strömung auf, was eine exzessive Feuchtigkeitsadvektion hervorruft und dabei zu einer erhöhten Schauertätigkeit und Verdunstung führt. Schliesslich zeigt GEOS eine Überbewertung der Bodenfeuchtigkeit und eine zu warme Oberfläche, was wiederum eine Überbewertung des latenten Wärmeflusses bewirkt.

Für diese Vergleichsstudie standen diverse Daten der zwei in dieser Studie analysierten Standorte zur Verfügung. Der Swampy Summit Standort bestand aus 8 Niederschlagsmessgeräten und einem wiegenden Lysimeter, wodurch der latente Wärmefluss genau bestimmt werden konnte. Das Standort von MRI zeichnet sich durch einen der wenigen heute bestehenden 200 Meter hohen Türme aus.

Messungen auf dem 200 Meter-MRI-Turm schliessen 1-Minuten-Mittel Temperatur (Pt-100), Windgeschwindigkeit (Propeller-Anemometer) und Feuchtigkeit (Kapazitanz-Hygrometer) mit ein, sowie von einem Anemothermometer in 0.1 Sekunden-Intervallen gemessene 3-dimensionale Temperatur- und Windgeschwindigkeitsdaten. Die ganze Menge von verfügbaren Messungen erlaubte es, die verschiedenen Methoden zur Bestimmung von turbulenten Flüssen zu vergleichen. Dabei beweisen die Resultate, dass Standardmethoden zur Bestimmung von turbulenten Flüssen nicht unbedingt präzise ausfallen, wenn man die fehlende Homogenität berücksichtigt. MRI-Daten schlagen für ϕ_h neue Gleichungen vor, um

der Heterogenität des Standortes Rechnung zu tragen.

Die MRI-Messungen wurden dann in Kombination mit den ECHAM4-Parametrisierungen verwendet. Während die monatlichen turbulenten Flüsse von ECHAM4 gut mit den Beobachtungen übereinstimmen, treten bei halbstündlichen Mitteln grössere Unterschiede auf. Der Impulsfluss in ECHAM4 wird beispielsweise für kleine Werte unter- und bei grösseren Werten überbewertet, während der sensible Wärmefluss in ECHAM4 stets höher ist als bei Sonic-Messungen, welche der Realität angeblich am nächsten kommen. Es scheint, dass dies auf den Einbezug von Oberflächenwerten, wie beispielsweise Rauigkeitslänge von Impuls, Oberflächentemperatur und -feuchtigkeit in die groben Parametrisierungen zurückzuführen ist. Heute verfügt man über mehrere Lösungsansätze. Dazu gehört die Verwendung einer zusätzlichen Schicht zur Bestimmung der atmosphärischen Temperatur und Windgeschwindigkeit nahe der Oberfläche anstelle der Oberflächenmessungen oder das Hinzufügen einer Schicht in 2 oder 10 Metern Höhe. Erstere Lösungsmöglichkeit bietet den Vorteil, dass kleinere Gradienten in Temperatur oder Windgeschwindigkeit weniger wahrscheinlich sind.