

Korrigierte meridionale Energieflüsse aus Reanalysen

M. Mayer and L. Haimberger

Institut für Meteorologie, Universität Wien, Österreich

Die globalen Reanalysen des ECMWF sind ein wertvolles Hilfsmittel zur Klimadiagnostik. In dieser Arbeit wird hauptsächlich ERA Interim und ERA 40 zum Vergleich verwendet. Unter Verwendung der Zeittendenzgleichung für die vertikal integrierte totale atmosphärische Energie,

$$\frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{g} \int_0^{p_s} (c_p T + k + Lq + \Phi_s) dp + \frac{1}{g} \int_0^{p_s} \nabla_2 \cdot (h + k) v_2 dp + F_s - \text{Rad}_{TOA} = 0$$

mit der Temperatur T , der kinetischen Energie k , der spezifischen Feuchte q , dem Geopotential Φ_s am Boden, dem Bodenfluss F_s und der Strahlung am Oberrand der Atmosphäre Rad_{TOA} kann die vertikal integrierte horizontale Energieflussdivergenz $\langle \nabla_2 \cdot F_A \rangle$ auf zwei Arten berechnet werden.

Die direkte Methode berechnet $\langle \nabla_2 \cdot F_A \rangle$ aus den Feldern von u , v , T , q und Φ_s , welche im MARS-Archiv des ECMWF mit einer sechsständigen Auflösung vorliegen. Der Nachteil dieser Methode ist die geringe zeitliche Auflösung, die zu systematischen Fehlern von 20% führt (Haimberger et al. 2001). Ein weiteres Problem der Reanalysen sind Inkonsistenzen im Massenhaushalt des Vorhersagemodells, was sich dadurch zeigt, dass die Boden-druckanalyseinkremente im zeitlichen Mittel nicht verschwinden (Chiodo und Haimberger 2010). Diese müssen korrigiert werden, bevor sinnvolle Energieflussdivergenzen berechnet werden können.

Die indirekte Methode berechnet

$\langle \nabla_2 \cdot F_A \rangle$ als Residuum der Vorhersagen für die restlichen Terme Rad_{TOA} , F_s und die lokale Energietendenz. Das Problem der zeitlichen Auflösung tritt hier nicht auf, da die Vorhersagen für die Strahlungsflüsse über den Vorhersagezeitraum gemittelte Felder sind (in unserem Fall 12 Stunden). Die indirekte Methode führt zu wesentlich glatteren und realistischer anmutenden Resultaten. Allerdings müssen auch hier fehlerhafte Drucktendenzen korrigiert werden.

Der Berechnung der meridionalen Energieflüsse geht nun die theoretische Überlegung voraus, dass bei zonaler Mittelung der gesamten atmosphärischen Energieflüsse (rotationeller und divergenter Anteil) der vertikal integrierte Nettoenergiefluss rein divergent ist. Dieser kann aus der indirekt bestimmten Energieflussdivergenz durch Invertierung des Laplaceoperators auf der Kugel berechnet werden. Alle Berechnungen erfolgen auf dem Gauß'schen Gitter oder im Spektralraum, um Interpolationsfehler zu vermeiden.

Wir erhalten nun für alle vier Methoden (indirekt, indirekt korrigiert, direkt, direkt korrigiert) Felder von Energieflussdivergenzen und die dazugehörigen divergenten Flüsse. Die Qualität der einzelnen Berechnungsmethoden kann anhand der Konsistenz zwischen ERA-40 und ERA-Interim geprüft werden. Noch wichtiger sind Konsistenztests mit klimatologischen Zwangsbedingungen, wie beispielsweise dem Verschwinden des Bodenflusses über Land im Jahresmittel.

Durch Auswertung der Daten der gesamten verfügbaren ERA-Interim Periode (1989-2009) kann eine Klimatologie von diesem Zeitraum gebildet werden. Plots der jährlichen Anomalien des divergenten Energietransportes zeigen Phänomene wie das El Niño-Ereignis von 1998 mit bisher nicht gekannter Deutlichkeit, insbesondere bei Berechnung mit der indirekten Methode.

Zeitreihen der zonal gemittelten massenkonsistenten Energieflüsse in mittleren Breiten geben Aufschluss über interannuelle Schwankungen des meridionalen Energietransportes der Atmosphäre. Held und Soden (2006) haben

nahegelegt, dass dieser Energietransport in den nächsten Jahrzehnten zunehmen sollte. Die Nachweisbarkeit dieser Zunahme mit derzeitigen Daten wird diskutiert.

Chiodo, G., and L. Haimberger, 2010: Interannual changes in mass consistent energy budgets from ERA-Interim and satellite data, *J. Geophys. Res.*, 115, D02112, doi:10.1029/2009JD012049.

L. Haimberger, B. Ahrens, F. Hamelbeck, M. Hantel, 2001: Impact of time sampling on atmospheric energy budget residuals, *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 77, pp.167-184.

Held, I. M. and Soden, B., 2006: Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming. *J. Climate*, Vol. 19, pp.5586-5699.