

Katharina Meraner

Increased Climate Sensitivity under Global Warming

Master thesis

HAMBURG, OCTOBER 25, 2012

METEOROLOGICAL INSTITUTE
UNIVERSITY OF HAMBURG

1st Supervisor: Prof. Dr. Bjorn Stevens
2nd Supervisor: Dr. Thorsten Mauritsen

Zusammenfassung

Unter Klimasensitivität versteht man die Änderung der globalen Oberflächentemperatur nach einer Verdoppelung der CO_2 -Konzentration. Sie stellt ein einfaches, aber fundamentales Maß für den Klimawandel dar und wird oft als konstant angesehen. Neue Erkenntnisse legen den Schluss nahe, dass die Oberflächenerwärmung bei höheren Temperaturen jedoch stärker als angenommen zunimmt. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass die Klimasensitivität in dem globalen Zirkulationsmodell ECHAM6 von 2.7 K für die erste CO_2 Verdoppelung auf 10.4 K für die vierte CO_2 Verdoppelung ansteigt. Dies stimmt mit fünf von sechs CMIP5 Modellen überein, die einen Anstieg des totalen Rückkopplungsfaktors vom abrupt4 $\times\text{CO}_2$ - zum RCP8.5-Experiment nachweisen.

Mithilfe der Gregory-Methode wird gezeigt, dass der Anstieg in der Klimasensitivität nicht auf ein verstärktes Abschmelzen der Eiskappen und damit auf einen Anstieg der kurzweiligen Rückkopplung zurückzuführen ist. Stattdessen wird der Anstieg der Klimasensitivität durch eine Verringerung der langweiligen Ausstrahlung unter wolkenfreiem Himmel herbeigeführt. Dies wird durch eine schnellere Verstärkung der Wasserdampf-Rückkopplung in der oberen Troposphäre im Vergleich mit der Temperatur-Rückkopplung verursacht. Dieses Verhalten konnte mit einem Strahlungs- und Konvektionsmodell reproduziert werden.

Abstract

Climate sensitivity, defined as the increase in global mean surface temperature for a doubling of atmospheric CO₂ concentrations, is a basic measure of climate change. Usually, climate sensitivity is considered a constant number that does not depend on the reference climate. Recently, coupled climate model simulations exhibit an increase in the climate sensitivity with an increasing global mean surface temperature (Senior and Mitchell, 2000; Andrews et al., 2012). Here, we show that the general circulation model ECHAM6 coupled to a mixed-layer ocean exhibits an increase in the climate sensitivity from 2.7 K for the first CO₂-doubling to 10.4 K for the fourth CO₂-doubling. Furthermore, five of six CMIP5 models show an increase in the total feedback factor from an abruptly 4×CO₂ experiment to a higher emission scenario (RCP8.5).

Moreover, applying the Gregory method we show that the increase in climate sensitivity can not be attributed to an accelerated decrease in planetary albedo and thereby to an increase in the shortwave feedback. Rather, the increase in climate sensitivity is caused by a weakening of the clear-sky outgoing longwave radiation at higher temperatures, yielding a less negative clear-sky longwave feedback. The less negative clear-sky longwave feedback likely results from a non-perfect cancellation between opposite changes in the temperature and the water vapour feedback, with the positive water vapour feedback strengthening faster than the negative temperature feedback in the upper troposphere. Such a behaviour is shown to be consistent with a radiative-convective equilibrium model with fixed relative humidity and fixed temperature at the tropopause.