

Experimentelle Charakterisierung der Wärmehülle der Erde

Matthias Rang

Zusammenfassung

Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Biosphäre, Erdkruste, Wasser- und Lufthülle mit ihren dynamischen Eigenschaften, die den Wärmehaushalt der Erde bestimmen, müssen sich letztlich in einer überschaubaren Anzahl weniger strahlungsphysikalischer Parameter niederschlagen, die zugleich auch auf die genannten Hüllen zurückwirken. Für die vorliegende Arbeit wurden strahlungsphysikalische Parameter als Funktion der Höhe in der Tropo- und Stratosphäre durch eine Messsonde an einem Wetterballon gemessen, die anhand des Netto-Strahlungsflusses eine Unterscheidung von drei strahlungsoptischen Domänen des Wärmeaustausches der Erde mit dem Kosmos erlauben. Diese drei Domänen charakterisieren die optische bzw. strahlungsphysikalische Wechselwirkung, in der die Wärmestrahlung mit den Atmosphärenschichten steht; insbesondere konnte damit dokumentiert werden, wie sehr trockene Atmosphärenschichten durch Streuprozesse dominiert werden, während Schichten mit hohem Dampfgehalt zunehmend Absorptions- und Emissionsphänomene zeigen. Der nichtlokale Charakter der Wärmestrahlung, die diese Schichten von der Erdoberfläche bis in den Kosmos durchsetzt, legt jedoch nahe, den Wärmeaustausch der Erde mit dem Kosmos nicht als Epiphänomen lokaler Prozesse und Parameter der Atmosphäre, sondern als Element einer eigenständigen Wärmeorganisation der Erde aufzufassen.

Summary

The complex interplay between the biosphere, lithosphere, hydrosphere, and atmosphere – with their dynamic properties governing the planet's warmth and energy balance – must ultimately be reflected in a manageable number of radiative-physical parameters, which in turn also influence these Earth spheres. In this study, the radiative-physical parameters were measured as a function of altitude in the troposphere and stratosphere using a balloon-borne sensor platform. Analysis of the net radiative flux enabled the distinction of three optical domains that characterize the interaction between terrestrial thermal radiation and different atmospheric layers. In particular, the data demonstrate that very dry atmospheric layers are dominated by scattering processes, whereas layers with high water vapor

content increasingly exhibit absorption and emission phenomena. Owing to the inherently non-local nature of thermal radiation – which traverses the atmosphere from the Earth's surface into space – the exchange of heat between Earth and the cosmos should not be viewed merely as an epiphenomenon of local atmospheric processes and parameters. Instead, it should be understood as an integral component of the Earth's autonomous thermal organization.

Das Wärmegleichgewicht der Erde im Kosmos

Vom Gesichtspunkt der physikalischen Optik ist der Blick auf den Wärmehaushalt der Erde überraschend überschaubar: Die Erde ist von Vakuum umgeben und der gesamte Wärmeaustausch mit dem Kosmos findet durch Wärmestrahlung statt. Auch befindet sich die Erde – näherungsweise – im thermodynamischen Gleichgewicht mit dem Kosmos: Was der Erde durch die Sonne an Licht und Wärmeenergie fortwährend zukommt, wird von ihr in Form von Licht und Wärmestrahlung fortwährend wieder abgegeben. Wie sich daraus letztlich die Oberflächentemperatur der Erde ergibt, ist indessen keineswegs leicht überschaubar, sondern hängt in vielfältiger Form von unserer Atmosphäre, der Vegetation der Erde, den Meeren, der Eisbedeckung und vielen weiteren Faktoren ab, die auch dem natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt zugrunde liegen.

Doch auch der Blick auf die Atmosphäre lohnt sich vom Gesichtspunkt der physikalischen Optik. Denn die vielfältigen Prozesse, die sich in dieser abspielen, müssen sich letztlich in Transparenz, Streuung und Absorption der Atmosphäre für die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung niederschlagen, da nur durch Wärmestrahlung ein Wärmeaustausch mit dem Kosmos möglich ist. Nehmen in der Atmosphäre Streuung und Absorption zu, so wird sie undurchsichtiger für Wärmestrahlung und die Erdoberfläche erwärmt sich bis auf eine Temperatur, die es der Erde gestattet, durch eine erhöhte Wärmeabstrahlung das thermodynamische Strahlungsgleichgewicht mit dem Kosmos aufrecht zu erhalten.

Während für die frühen, theoretischen Ansätze zur atmosphärischen Streuung von *Strutt* (1871), später verallgemeinert durch *Mie* (1908), die optischen Eigenschaften im sichtbaren Spektrum im Vordergrund standen, wurde die Erweiterung auf den Bereich des Wärmeaustausches und Energieflusses durch Atmosphären zunächst für Sternatmosphären (*Schuster* 1905, *Schwarzschild* 1906, *Chandrasekhar* 1960), später auch für Planetenatmosphären theoretisch erarbeitet (*Chandrasekhar* 1960). Diese Arbeiten bauen auf wenigen, prinzipiellen Symmetrieeigenschaften auf, dazu gehören Kirchhoffs Strahlungsgesetze, nach denen Absorptions- und Emissionsgrad jeder Oberfläche, unabhängig von ihren chemischen Eigenschaften, identisch sind (*Kirchhoff* 1860) und das Reziprozitätstheorem, das die Umkehrbarkeit der Lichtwege postuliert