



Doctoral Thesis

Surface radiation, cloud forcing and greenhouse effect in the Alps

Author(s):

Marty, Christoph

Publication Date:

2000

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003897100> →

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](#).

Diss. ETH No. 13609

Surface Radiation, Cloud Forcing and Greenhouse Effect in the Alps

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institut of Technology Zurich

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
Christoph A. Marty
Dipl. Natw. ETH
born 17 May 1968
citizen of Lachen (SZ)

accepted on the recommendation of
Professor Dr. Atsumu Ohmura, examiner
Dr. Rolf Philipona, co-examiner
Dr. Claus Fröhlich, co-examiner
Dr. Alain Heimo, co-examiner

Zurich, March 2000

Abstract

The surface radiation budget is one of the most important components of our climate system. Every change in the radiation budget - even small in appearance - may have large consequences on the evolution of the earth-atmosphere system. These changes can either have natural causes (e.g. solar irradiance variability) or anthropogenic causes (e.g. increased greenhouse effect by emission of gases).

Surface radiation budget strongly depends on coverage of the surface (albedo) and on altitude - a fact which influences the dynamics of the atmosphere in regions with mountain chains like the Alps. The strong altitude dependence stems from the contribution of the water vapor to the overall greenhouse effect of the atmosphere. The water vapor content decreases with decreasing air temperature and thus with increasing height. The alpine region is therefore an ideal test bed for the investigation of the water vapor feedback and its impact in a changing greenhouse.

To investigate the surface radiation budget and in particular the longwave downward radiation in the Alps, the Alpine Surface Radiation Budget (ASRB) network was initiated in 1994. Meanwhile, a total of eleven stations, located between 400 and 3600 m a.s.l. in the Swiss Alps, measure short- and longwave downward radiation, air temperature and humidity with high temporal resolution and reliability. Reflected shortwave and emitted longwave radiation are measured at four expanded stations. These measurements were used to estimate the upward fluxes at the other stations, where they could not be performed for technical reasons.

A new correction method for the direct sun influence on pyrgeometers allows to measure longwave downward radiation without permanent shading. This method and a specially designed ventilation and heating system guarantee accurate measurements of short- and longwave radiation fluxes despite the harsh alpine conditions.

Four years of data of the ASRB-network allowed to quantify yearly and seasonal means of the different surface fluxes. Regional differences and altitude gradients of the surface fluxes could also be revealed with the help of the ASRB database. Yearly means of net radiation yielded positive values at all stations. The absolute values vary from about 50 W m^{-2} at the lowest stations to almost zero at the highest mountain stations. This corresponds to a gradient of $-1.4 \text{ W m}^{-2} / 100 \text{ m}$.

A new algorithm was developed to automatically detect clear-sky conditions with the help of longwave downward radiation, temperature and humidity. This distinction between clear- and cloudy-sky conditions allowed for the first time to investigate and determine cloud forcing for the alpine region. The data yielded a slightly negative net cloud forcing below 2000 m a.s.l., but a positive net cloud forcing above 2000 m a.s.l. This analysis of the cloud forcing allowed to quantify the negative (domination of shortwave reflection back to space) and positive (domination of longwave re-emission to the earth) impact of the cloud coverage for different altitudes under present climate conditions.

The greenhouse effect can not be directly measured from the earth surface, but longwave downward radiation is in linear relation ($R^2 = 0.98$) to the greenhouse flux. The relation between the greenhouse flux and the longwave flux has been investigated with the radiative transfer model Modtran. Accurate measurement of longwave downward radiation and cloud forcing allowed for the first time to determine yearly and seasonal means of the greenhouse flux at all ASRB-stations. Lower greenhouse fluxes were found at higher stations following an altitude gradient of $-1.1 \text{ W m}^{-2}/100 \text{ m}$. A detailed analysis of clear-sky measurements and model calculations demonstrates that the decrease of longwave downward radiation and greenhouse effect with altitude is mainly driven by the decreasing water vapor content. The correlation between greenhouse flux and measured longwave downward radiation showed that a change in the greenhouse effect amplifies longwave downward radiation by a factor of 2.5.

Zusammenfassung

Die Oberflächenstrahlungsbilanz ist eine der wichtigsten Komponenten unseres Klima-Systems. Jede Änderung im Strahlungshaushalt - auch wenn zu Beginn nur klein - kann grosse Auswirkungen auf die weitere Entwicklung des Erde-Atmosphäre-Systems haben. Solchen Änderungen können entweder natürliche Ursachen (z.B. die Veränderlichkeit der Sonnenstrahlung) oder anthropogene Ursachen (Zunahme des Treibhauseffektes durch die Emission von Gasen) zu Grunde liegen.

Der Oberflächenstrahlungshaushalt hängt stark von der Bodenbedeckung, d.h. der Albedo und der Höhe über Meer ab - eine Tatsache, welche die Dynamik der Atmosphäre in Gebirgsregionen wie die Alpen beeinflusst. Die starke Höhenabhängigkeit ist durch die Verteilung des Wasserdampfes und den damit verknüpften Treibhauseffekt bedingt. Der absolute Wasserdampfgehalt nimmt mit abnehmender Temperatur und darum mit zunehmender Höhe ab. Der Alpenraum ist darum ein ideales Testgebiet, um die Wasserdampfückkopplung und ihren Einfluss in dem sich verändernden Treibhaussystem Erde-Atmosphäre zu untersuchen.

Um den Oberflächenstrahlungshaushalt und im speziellen die langwellige Strahlung zu untersuchen, wurde 1994 das "Alpine Surface Radiation Budget" (ASRB) Netzwerk initiiert. Unterdessen werden in der Schweizer Alpenregion an 11 Stationen zwischen 400 und 3600 m ü. M. die einfallenden kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse, die Lufttemperatur und die Feuchte mit hoher zeitlicher Auflösung (2 min) und grosser Zuverlässigkeit gemessen. Die vom Boden reflektierte kurzwellige und emittierte langwellige Strahlung wird an vier erweiterten Stationen gemessen. Diese Messungen werden benützt, um die ausgehenden Strahlungsflüsse an den übrigen Stationen, wo diese aus technischen Gründen nicht gemessen werden können, abzuschätzen.

Eine neue Methode, um den Einfluss der direkten Sonne auf Pyrgometer zu korrigieren, ermöglicht die zuverlässige Messung der langwelligen Strahlung auch ohne permanente Abschattung. Diese Methode und ein neu entwickeltes Ventilations- und Heizsystem garantieren genaue Messungen der kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse trotz den extremen alpinen Wetterbedingungen.

Vier Jahre Daten aus dem ASRB-Netzwerk ermöglichten es, jährliche und saisonale Mittelwerte der verschiedenen Strahlungsflüsse für jede Station zu quantifizieren. Die regionalen Unterschiede und die Höhengradienten der Strahlungsflüsse konnten mit Hilfe dieser Datenbasis ebenfalls zuverlässig bestimmt werden. Es zeigte sich, dass alle Stationen bis hinauf auf knapp 3600 m ü.M. positive Jahresmittelwerte der Nettostrahlung aufweisen. Die gefundenen absoluten Werte bewegen sich in einem Bereich von 50 W m^{-2} an den niedrigen Stationen bis zu fast Null an den höchsten Stationen. Dies entspricht einem Gradienten von $-1.4 \text{ W m}^{-2}/100 \text{ m}$.

Es wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, um automatisch die klaren (wolkenlosen) Zeitabschnitte mit Hilfe der langwelligen Einstrahlung, Temperatur und Feuchte zu detektieren. Diese Unterscheidung zwischen klaren und bewölkten Verhältnissen ermöglichte es zum ersten Mal, den Einfluss der Wolken für den Alpenraum zu bestimmen und zu untersuchen. Die Resultate ergaben einen schwach negativen Wolkeneffekt unter 2000 m ü.M., aber einen positiven Wolkeneffekt über 2000 m ü.M.. Diese Analyse ermöglichte es somit erstmals den negativen (Dominanz der Reflektion der kurzwelligen Einstrahlung zurück zum Weltraum) und positiven (Dominanz der Absorption der langwelligen Ausstrahlung der Oberfläche) Einfluss der Wolken für verschiedene Höhenstufen unter den momentanen Klima-Bedingungen zu quantifizieren.

Der Treibhauseffekt kann nicht direkt von der Erdoberfläche aus gemessen werden. Aber es besteht eine eindeutige lineare Beziehung zur langwelligen Einstrahlung mit $R^2=0.98$. Diese Beziehung zwischen dem Treibhauseffekt und der langwelligen Einstrahlung wurde mit dem Strahlungstransfermo-

dell Modtran untersucht. Die genaue Messung der langwelligen Einstrahlung und des Wolkeneffektes ermöglichten es damit erstmals, jährliche und saisonale Mittelwerte des Treibhauseffektes an allen ASRB-Stationen zu bestimmen. An den höheren Stationen wurden kleinere jährliche Treibhaus-Werte gefunden, was zu einem Höhengradient des Treibhauseffektes von $-1.1 \text{ W m}^{-2}/100 \text{ m}$ führt. Eine genaue Untersuchung der Messungen und der Modellberechnungen zeigte, dass diese Abnahme des Treibhauseffektes und der langwelligen Einstrahlung hauptsächlich durch die Abnahme des Wasserdampfgehaltes bedingt ist.