

# Neue wissenschaftlich begutachtete Studie: Wolken haben einen großen Abkühlungseffekt auf die Strahlungsbilanz der Erde

*...es hat sich herausgestellt, dass der strahlungsbedingte Abkühlungseffekt der Wolken infolge Reflektion kurzwelliger Strahlung den langwelligen Erwärmungseffekt überkompensiert, was zu einer Abkühlung des Klimasystems von  $-21 \text{ W/m}^2$  führt.*

Abbildung rechts: (a) kurzwellige Strahlung (SW), (b) langwellige Strahlung (LW) und (c) Strahlungseffekte im Vergleich mit wolkenlosem Himmel, berechnet aus den CERES-Satellitendaten während der Periode 2001 bis 2007. Fehlende Daten sind grau schattiert. Diese Abbildung findet sich bei Colour Online [hier](#).

Nach all dem Heulen und Zähneklappern ([hier](#)) über die Studie von [Spencer and Braswell](#) (auf Deutsch bei EIKE [hier](#)) in *Remote Sensing* und dem Purzelbaum durch dessen früheren Herausgeber, der mit der Begründung, der Begutachtungsprozess war ein Fehlschlag, zurückgetreten war ([hier](#)), wurde nun vorige Woche in dem Journal *Meteorological Applications* eine weitere Studie veröffentlicht, die mit *Spencer und Braswell* in guter Übereinstimmung steht.

Diese neue Studie von [Richard P. Allan an der University of Reading](#) zeigt mittels einer Kombination von Satellitenbeobachtungen und Modellen, dass der Abkühlungseffekt der Wolken den langwelligen Erwärmungs- oder „Treibhaus“-Effekt weit überkompensiert. Während [Dessler und Trenberth](#) (neben anderen) behaupten, dass Wolken alles in allem einen positiven Feedback-Erwärmungseffekt wegen des Zurückhaltens langwelliger Wärmestrahlung haben, zeigt diese neue Studie, dass Wolken einen großen Gesamtabkühlungseffekt haben, indem sie die einfallende Sonnenstrahlung blockieren und die radiative Abkühlung außerhalb der Tropen zunehmen lassen. Dies ist entscheidend, denn da Wolken ein negatives Feedback erzeugen, wie es in dieser Studie neben denen von Spencer und Braswell bzw. [Lindzen und Choi](#) gezeigt wird, macht dies einen dicken Strich durch die Klimamodell-Maschinerie, die da ein katastrophales Niveau positiven Feedbacks zeigt mit einer beschleunigten globalen Erwärmung infolge steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt.

***Über die Abschätzung der Strahlungseffekte von Wolken an der Erdoberfläche und in der freien Atmosphäre mittels einer Kombination von Modell- und Satellitendaten***

Richard P. Allan

**Abstract:** Mit Hilfe von Satellitenmessungen und einer Analyse numerischer Modellvorhersagen wird eine Neuabschätzung des globalen vieljährigen Mittels der Strahlungsbilanz vorgenommen, die sich aus den Auswirkungen der Bewölkung

am Boden und in der Atmosphäre ergibt. Der radiative Abkühlungseffekt durch Reflektion kurzwelliger Strahlung dominiert über den langwelligen Erwärmungseffekt, was insgesamt zu einer Abkühlung um  $-21 \text{ W/m}^2$  führt. Der abkühlende Effekt kurzwelliger Strahlung durch die Reflektion an den Wolken wird hauptsächlich als Reduktion der an der Erdoberfläche absorbierten Solarstrahlung in Höhe von  $-53 \text{ W/m}^2$  manifest. Die Wolken beeinflussen die langwellige Strahlung, die die feuchte tropische Atmosphäre erwärmt (bis zu  $40 \text{ W/m}^2$  im globalen Mittel), während sie die radiative Abkühlung der Atmosphäre in anderen Gebieten verstärken, besonders in höheren Breiten und im Bereich von Stratocumulus-Feldern über subtropischen Meeresgebieten. Während die Wolken tagsüber abkühlend wirken, wird es nachts durch den Treibhauseffekt der Wolken wärmer. Der Einfluss von Strahlungseffekten der Wolken und die Bestimmung von deren Feedbacks sowie Änderungen im Wasserkreislauf werden hier diskutiert.

### **Einführung**

Die Strahlungsbilanz der Erde (absorbierte solare Strahlungsenergie und terrestrische Ausstrahlung in den Weltraum) bestimmt den Ablauf von Wetter und Klima, dessen Komplexität durch die Beobachtung sich bildender und auflösender Wolkenstrukturen mittels Satelliten deutlich wird. Die Berechnung der physikalischen Prozesse, die zur Bildung bzw. Auflösung von Wolken führen, ist in der numerischen Wetter- und Klimavorhersage von vitaler Bedeutung. Dennoch muss man viele Annäherungen in diesen detaillierten Modellen unserer Atmosphäre machen (Bony et al. 2006, Allan et al. 2007). Beobachtungen von Charakteristika der Wolken durch Messinstrumente in Satelliten sowie durch Beobachtungen am Boden sind von grundlegender Bedeutung für das Verständnis der Wolkenprozesse und deren Bedeutung für die Strahlungsbilanz der Erde (Sohn, 1999; Jensen et al., 2008; Su et al., 2010). Der Energieaustausch, der mit der Wolken- und Niederschlagsbildung verbunden ist, ist ebenfalls eine Schlüsselkomponente des globalen Wasserkreislaufs, und er ist von Bedeutung für Klimaänderungen (Trenberth, 2011). In dieser Studie, die ursprünglich auf einem gemeinsamen Treffen der Royal Meteorological Society und dem Institute of Physics on Clouds and Earth's Radiation Balance (Barber 2011) präsentiert worden ist, wird die Brauchbarkeit der Kombination von numerischen Wettervorhersagen mit Satellitendaten zur Abschätzung der Strahlungseffekte von Wolken beleuchtet. Mit dieser Kombination soll eine einfache Frage beantwortet werden: Wie beeinflussen Wolken die Strahlungsbilanz von Atmosphäre und Erdoberfläche?

Als Beispiel für die Auswirkung von Wolken auf den Strahlungshaushalt zeigt Abbildung 1 Satellitenbilder im infraroten sowie im sichtbaren Spektralbereich über Europa, und zwar mit dem Infra-Red Imager (SEVIRI) an Bord des Satelliten Meteosat 9 (Schmetz et al. 2002).

Abbildung 1: Satellitenbilder von SEVIRI am geostationären Satellit (a) im Infrarotkanal  $10,8 \mu\text{m}$  und (b) im sichtbaren Kanal  $0,8 \mu\text{m}$  am 2. März 2011 um 12 UTC. (Copyright 2011, EUMETSAT/the Met Office).

In beiden Bildern erscheinen die Wolken hell: dies deutet auf eine relativ geringe infrarote Emission und eine relativ hohe Reflektion des sichtbaren

Sonnenlichts in das Weltall. Die heißen, allgemein wolkenfreien Gebiete Nordafrikas sind ebenfalls in beiden Bildern erkennbar, weil sie verbunden sind mit einer substantiellen thermischen Emission in das Weltall (dunkle Gebiete im Infrarotbild) und hoher Reflektion an der Erdoberfläche (hell im Bild mit dem sichtbaren Bereich). Die hellsten Wolken im thermischen Bild korrespondieren (1) mit einer Kaltfront, die sich von der norwegischen Küste über Schottland hinweg bis zum westlichen Irland erstreckt, (2) mit einem sich entwickelnden Tiefdruckgebiet westlich von Island und (3) mit einem Tiefdrucksystem mit Zentrum über Sardinien.

Dies sind Regionen mit aufsteigender Luft bis in relativ große Höhen und niedrigen Temperaturen an der Wolkenobergrenze, welche die thermische Emission in den Weltraum im Vergleich mit den umgebenden wolkenfreien Gebieten unterdrücken. Jedoch gibt es noch zahlreiche weitere Wolkenstrukturen. Es gibt eine Vorherrschaft tiefer Wolken über den Ozeanen: diese Wolken enthalten große Mengen an Wassertröpfchen, die hoch reflektiv sind (Stephens et al. 1978). Die Bilder zeigen die komplexe zellulare Struktur dieser Wolken (Jensen et al. 2008) im Gebiet um die Kanarischen Inseln. Man nimmt an, dass diese Typen von Bewölkung stark zu den Unsicherheiten in den Klimaprojektionen beitragen. Während auch diese Wolken die Infrarotstrahlung stark dämpfen, sind ihre Auswirkungen auf die thermische Ausstrahlung in das Weltall moderat, da die Temperatur an der Wolkenobergrenze nicht unähnlich den Nachttemperaturen am Boden sind. Also können sie nicht signifikant zu dem starken natürlichen Treibhauseffekt der wolkenfreien Atmosphäre beitragen.

Die Höhe und optische Dichte der Wolken bestimmt den Gesamtstrahlungseinfluss der Wolken, eine Kombination des wärmenden Treibhauseffektes und dem kühlenden Schatteneffekt an der Erdoberfläche. Und doch steht ein sogar noch stärkerer Einfluss möglicherweise gar nicht mit der Wolke selbst im Zusammenhang. Tages- und Jahreszeit diktieren die einfallende Solarstrahlung und modulieren damit die Stärke der kurzwelligen Reflektion: nachts fehlt eindeutig jeder solare Einfluss.

...

## **7. Schlussfolgerungen**

Die Auswertung von Satellitenmessungen und die Kombination der Ergebnisse mit NWP-Modellen durch die Assimilation der verfügbaren Beobachtungen ergibt die Auswirkung der Wolken auf die Strahlungsenergiebilanz an der Erdoberfläche und innerhalb der Atmosphäre, die für das gegenwärtige Klima quantifiziert werden können. In Konsistenz mit früheren Arbeiten (Ramanathan et al. 1989, Su et al. 2010) zeigt sich, dass der strahlungsbedingte Abkühlungseffekt der Wolken durch Reflektion kurzwelliger Strahlung den langwelligen Erwärmungseffekt überkompensiert, was zu einer Abkühlung insgesamt im Klimasystem von  $-21 \text{ W/m}^2$  führt.

Der kurzwellige Strahlungseffekt der Bewölkung macht sich hauptsächlich durch eine Reduktion der an der Erdoberfläche absorbierten Solarstrahlung um etwa  $-53 \text{ W/m}^2$  im globalen vieljährigen Mittel bemerkbar. Die Größenordnung dieses Effektes ist stark abhängig von der einfallenden Solarstrahlung und der Dominanz kurzwelliger Abkühlungseffekte über die langwelligen

Treibhauseffekte. Maximal wird dies am Mittag (Nowicki und Merchant, 2004), während nachts der langwellige Erwärmungseffekt dominiert.

Der langwellige Treibhauseffekt der Bewölkung, gemessen an der Obergrenze der Atmosphäre [= Troposphäre?] macht sich hauptsächlich durch das Aufheizen der Atmosphäre in den feuchten Tropen bemerkbar, was mit Berechnungen von Sohn 1999 konsistent ist.

Über den maritimen Gebieten mit Stratocumulus sowie in höheren Breiten wird die wolkenbasierte Rückstrahlung zur Erdoberfläche substantiell und dominiert über die reduzierte abgestrahlte langwellige Strahlung in das Weltall, was zu einer verstärkten Strahlungsabkühlung der Atmosphäre und Erwärmung der Oberfläche führt. Der Strahlungseinfluss der Bewölkung auf den Austausch von Strahlungsflüssen zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche ist eng verbunden mit dem Wasserkreislauf, und zwar über die strahlungskonvektive Balance. Während hohe Wolken über den Tropen stabilisierend auf die atmosphärischen Strahlungsprofile wirken, tendieren die Wolken über den Polargebieten dazu, die Atmosphäre zu kühlen und die Oberfläche durch erhöhte langwellige Strahlung zur Erde zu erwärmen. In zukünftigen Studien würde es informativ sein, diese Effekte in Abhängigkeit von der Wolkenart zu kategorisieren (Futyan et al. 2005) und mit Modellsimulationen zu vergleichen. Diese Analysen sind Voraussetzung, um Feedback-Prozesse der Wolken weiter zu stützen und sie mit zukünftigen Änderungen des Wasserkreislaufs zu kombinieren (Stephens, 2005; Bony et al., 2006; John et al., 2009).

Eine spezielle Herausforderung ist die genaue Quantifizierung von Strahlungsflüssen an der Oberfläche wegen des spärlichen Netzes von Beobachtungen (Rösch et al. 2011) und auch das Monitoring jüngster Änderungen der Strahlungseffekte durch Wolken in den Satellitendaten, Analysen und Modellen (Wielicki et al. 2002). Die Kombination meteorologischer Analysen mit Satellitendaten und Bodenbeobachtungen stellt eine grundlegende Methodik dar, diesen Herausforderungen zu begegnen.

Das Abstract ist [hier](#)!

Die ganze Studie findet man [hier](#)!

**Update** [von Anthony Watts]: Einige Leute einschließlich Dr. Roy Spencer (und auch Dr. Richard Allen, während ich dies schrieb) schlugen in Kommentaren vor, dass es in der Studie nicht um Feedback geht (zumindest in den Augen der IPCC-Interpretationen, aber Spencer fügt hinzu, „es könnte sein“). Also habe ich dieses Wort aus der Überschrift entfernt, um solchen Klagen Rechnung zu tragen. Meine Ansicht ist, dass Wolken sowohl ein Feedback als auch ein Antrieb darstellen. Andere stimmen dem nicht zu. Diese Angelegenheit wird uns alle eine Weile beschäftigen, da bin ich sicher.

Hinsichtlich der Feedbacks der Wolken folgt hier, was ich in der Studie im Abschnitt 6, fast am Ende, notiert habe. Allan bezieht sich auf Abbildung 7 (unten), die (a) die globale Strahlung und (b) den Strahlungsantrieb der Wolken zeigt:

Substantielle negative Anomalien des Strahlungsflusses von ERA Interim sind in den Jahren 1998 und 2010 offensichtlich. Beides waren El Niño-Jahre, was nahelegt, dass die substantielle Reorganisation der atmosphärischen und ozeanischen Zirkulation bewirken, dass Energie von der Erde während dieser Zeiträume abgestrahlt wird.

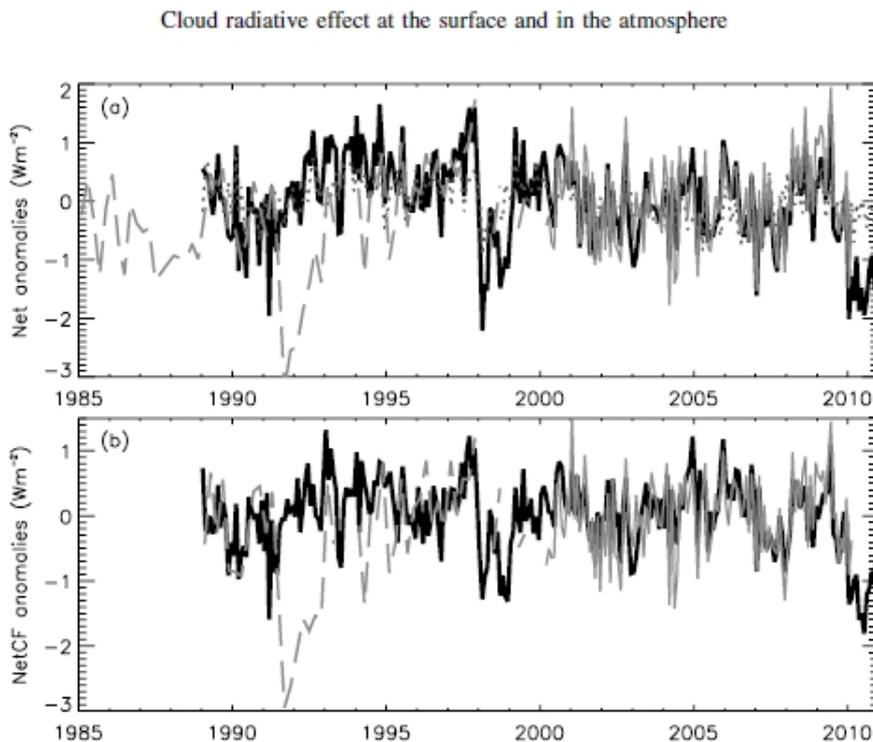


Abbildung 7: Jahreszeitbereinigte monatliche Anomalien (a) der Strahlung und (b) des Strahlungsantriebs der Bewölkung auf fast dem gesamten Globus ( $60^{\circ}\text{N}$  bis  $60^{\circ}\text{S}$ ) aus der ERA Interim-Analyse, dem ERBS- Übersichtsinstrument und dem CERES-Instrument an Bord von TERRA: ERBS WFOV; CERES Ed2.5Lite; ERA Interim; ERA Interim, clear-sky.

Man kann die berühmte Doppelspitze des 1998-El Niño klar erkennen, aber sie ist invers. Für mich sieht das aus wie die Wirkung eines Thermostats, und nicht nach einer Blockade elektrischer Kontakte, d. h. einem negativen Feedback.

Link: [hier](#)

Übersetzt von Chris Frey für EIKE