

# Wolken und Wasserdampf

## Wasserdampf als Treibhausgasverstärker?

[latexpage]

Seit Beginn der Diskussion über Treibhausgase war den beteiligten Wissenschaftlern klar, dass Wasserdampf ein sehr viel stärkeres „Treibhausgas“ als  $\text{CO}_2$  ist, zum einen, weil sein Anteil in der Luft im Schnitt sehr viel höher ist (0.25% statt 0.04%), zum anderen weil Wasserdampf in einem größeren Bereich des Infrarot-Spektrums aktiv ist.

Weil aber klar ist, dass es politisch aussichtslos ist, den überaus komplexen, das ganze Wettergeschehen maßgeblich bestimmenden Kreislauf des Wassers kontrollieren zu wollen, hat man sich wohl darauf verständigt, das nächst-wirksame Treibhausgas  $\text{CO}_2$  unter Kontrolle zu bekommen. Dazu kommt, dass die unzähligen Phänomene, bei denen Wasser oder Wasserdampf involviert sind, in ihrem komplexen Zusammenwirken noch keineswegs verstanden sind.

Daher hat man sich beim IPCC im wesentlichen auf das [Grundmodell](#) verständigt, dass der  $\text{CO}_2$ -Treibhauseffekt der primäre „Antrieb“ des Klimageschehens ist, und dass Wasserdampf infolge von „Feedback-Effekten“ diesen Antrieb verstärkt oder abschwächt.

Der zentrale Streitpunkt zwischen „Klimalarmisten“ und „Klimaskeptikern“ ist nicht mehr die Frage der  $\text{CO}_2$ -Sensitivität (3.7 W/qm oder 1.1 Grad C bei Verdoppelung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts), sondern die Frage des Feedbacks: „Steigt die Temperatur um ein Vielfaches der reinen  $\text{CO}_2$ -Sensitivität an?“ bei positivem Feedback oder „Bleibt die Gesamtsensitivität geringer als die reine  $\text{CO}_2$ -Sensitivität?“ bei mehr oder weniger starkem negativen Feedback.

Diese Abhandlung hat **nicht den Anspruch, die komplexen Zusammenhänge zwischen Temperatur, Wasserdampf und Wolken im Detail zu modellieren**, wie es in den IPCC-Szenarien geschieht,

sondern beschränkt sich darauf, aufgrund von gemessenen und (einfach) nachvollziehbaren Abhängigkeiten **ein Kriterium zu finden, mit dem sich im globalen Gleichgewicht feststellen läßt, ob die Gesamtwirkung aller Wolken und des gesamten Wasserdampfes ein positives oder negatives Feedback bewirkt.**

## **Die bekannten Feedback-Faktoren**

Ein naheliegender Feedback-Faktor ist die Aufnahme von mehr Wasserdampf in der durch CO<sub>2</sub> leicht erwärmten Luft aufgrund der [Clausius-Clapeyron-Beziehung](#). Dadurch, dass Wasserdampf ebenfalls als Treibhausgas wirkt, wird dies als positive Feedback-Beziehung betrachtet, ja, sogar als die wichtigste Feedback-Beziehung überhaupt.

Wenn der Wasserdampf-Gehalt und damit die Kondensation ansteigt, dann verringert sich der [adiabatische Temperaturgradient](#) (MALR bzw. SALR), die Temperaturabnahme pro Höhenkilometer, mit der Folge, dass die Abstrahltemperatur bei einer gegebenen Höhe anwächst und damit auch die Abstrahlungsleistung. Dieser Effekt wird als „Lapse-Rate-Feedback“ bezeichnet und stellt ein negatives Feedback dar. [Seine Größenordnung ist nach den verwendeten Modellen etwa die Hälfte des positiven Wasserdampf-Feedbacks.](#) (S. 3355 im Link)

Das Dilemma dieser Feedback-Berechnungen ist, dass sich die eigentlichen Kalkulationen im Innern komplexer Klimamodelle befinden, die sich für Außenstehende nicht inhaltlich nachvollziehen lassen.

Prof. Richard Lindzen hat [die aktuellen Klima-Modelle hinsichtlich des Feedbacks verglichen mit gemessenen Satelliten-Temperaturdaten](#). Das Ergebnis der nicht ganz einfachen Berechnungen führte ihn zu der **Schlußfolgerung, dass das Gesamt-Feedback negativ sein muss**, um mit den Messdaten kompatibel zu sein. **Demnach gehen die existierenden Klimamodelle** von der falschen Voraussetzung eines in der Summe positiven Wasserdampf Feedbacks aus. In Wirklichkeit muß die Wirkung von Wasserdampf und Wolkenbildung ein

stabilisierendes, negatives Feedback bewirken, damit die Klimamodelle die bereits gemessenen Temperaturen korrekt reproduzieren. Die Publikation liefert aber keinen expliziten physikalisch/meteorologischer Wirkmechanismus, der die negative Rückkopplung erklärt.

## **Unsicherheit von Temperaturvorhersagen aufgrund von Fehlern des Wolken-Feedbacks**

Seit kurzem wurde eine wertvolle Analyse der globalen Temperaturvorhersagen der aktuellen CMIP5-Klimamodelle mit dem Titel [Fehlerausbreitung und die Zuverlässigkeit globaler Lufttemperaturprojektionen](#) durchgeführt. Die wichtigsten Ergebnisse dieser Analyse sind:

- Eine wesentliche Schwäche aller CMIP5-Klimamodelle ist der jährliche durchschnittliche Fehler von  $\pm 12,1\%$  im globalen jährlichen durchschnittlichen Wolken-Anteil, der innerhalb von CMIP5-Klimamodellen erzeugt wird
- Die Fehler sind keine zufälligen Fehler, sondern systematische, was einen starken Hinweis darauf gibt, dass in den CMIP5-Modellen eine strukturelle Verzerrung eingebaut ist.
- Dieser Fehler ist stark paarweise korreliert zwischen den Modellen, was auf eine Quelle in der der offenbar fehlerbehafteten Theorie hindeutet.
- Der resultierende langwellige Wolkenzwangsfehler (LWCF) führt zu einem Jahresdurchschnitt von  $\pm 4 \text{ Wm}^{-2}$  Unsicherheit in den simulierten troposphärischen thermischen Energiefluss. Diese jährliche  $\pm 4 \text{ Wm}^{-2}$  Simulation Unsicherheit ist  $\pm 114 \times$  größer als der Jahresdurchschnitt  $\sim 0.035 \text{ Wm}^{-2}$  Veränderung des troposphärischen thermischen Energieflusses, der durch Erhöhung des Treibhausgasantriebs seit 1979 erzeugt wird.
- Unsicherheit im simulierten troposphärischen thermischen

Energiefluss führt zu Unsicherheit bei der projizierten Lufttemperatur. Die Ausbreitung des LWCF-Wärmeenergieflussfehlers durch die historisch relevanten Prognosen von 1988 der GISS Modell II Szenarien A, B und C, die IPCC SRES Szenarien CCC, B1, A1B und A2 und die RCP-Szenarien des Fünften Bewertungsberichts 2013 des IPCC decken eine Unsicherheit der Lufttemperatur von  $\pm 15$  C am Ende einer hundertjährigen Projektion auf. Der Unsicherheitsbereich ist fast zehnmal größer als der erwartete durchschnittliche Temperaturanstieg von 3,2 C und auch viel größer als im schlimmsten Fall.

Die unvermeidliche Schlussfolgerung ist, dass ein anthropogene Änderung der Lufttemperatur nicht mit aktuellen Klima-Meßdaten nachgewiesen werden kann.

Die folgenden Überlegungen erheben nicht den Anspruch, das Cloud-Feedback genau zu modellieren – eine Art von verbessertem „Plugin“ für Klimamodelle –, aber der Zweck der Untersuchung beschränkt sich auf die vereinfachte Frage, ob global Wasserdampf und Wolken zusammen mit positivem oder negativem Feedback an die CO<sub>2</sub>-Wirkung ankoppeln. Dass die **Zusammenhänge zwischen Wasserdampf und Wolken sehr kompliziert und in den bekannten Klimamodellen unzureichend berücksichtigt** werden, wird in diesem **Vortrag von Dr. Roy Spencer** deutlich:

## **Feedback der Wolken innerhalb der Troposphäre**

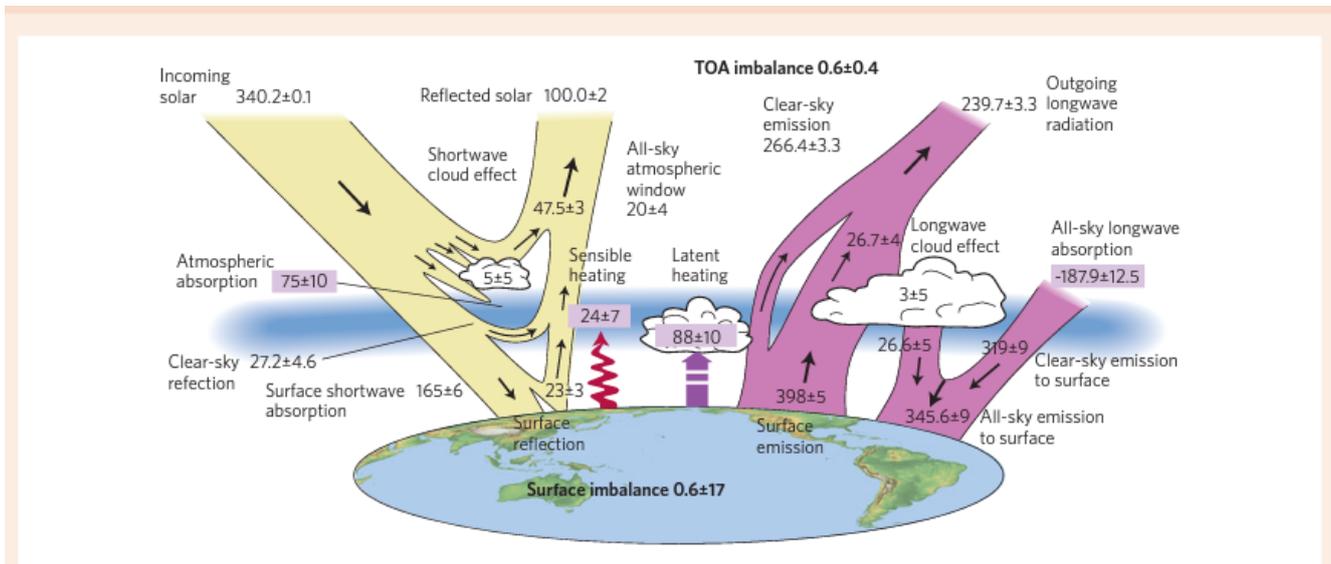
Aufgrund der vielfältigen Erscheinungsformen und der nicht vorhersagbaren Konstellationen von Wolken lassen sich diese in Klimamodellen nur schwierig simulieren. Zudem sind die „Elementarzellen“ der Klimamodelle mit 100 km Seitenlänge zu grob, um das dynamische Geschehen der Wolkenbildung korrekt zu modellieren. Das hat dazu geführt, dass die Wolken unvollständig und daher einseitig in den Klimamodellen erscheinen.

**Ein für die Abschätzung von klimarelevanten Effekten ist eine**

**außerordentlich wichtige Eigenschaft der Wolken, dass sie sowohl die einfallende kurzwellige Strahlung über die Albedo als auch die abgehende Wärmestrahlung über die Infrarotabsorption beeinflussen.** Wie stark diese beiden Einflüsse sind, wird daran deutlich, dass wir beides unmittelbar fühlen können:

- Wenn wir in der Sonne stehen, und es schiebt sich eine Wolke dazwischen, dann spüren wir unmittelbar eine deutliche Abkühlung, also eine Dämpfung der kurzwelligen Strahlung.
- In einer sternklaren Nacht ist es deutlich kälter als in einer Nacht mit wolkenbedecktem Himmel, das heißt, dass die Wärme schneller in den Weltraum entweicht. Dieser Effekt wird hauptsächlich dadurch bewirkt, dass es durch die Wolken die direkte Abstrahlung von der Erdoberfläche aus durch das „atmosphärische Fenster“ unterbunden wird.

Diese an sich einfachen Phänomene angemessen zu erfassen und statistisch richtig zu wichten ist nicht trivial. Die Albedo der Atmosphäre für einstrahlendes Licht lässt sich mit Satelliten erfassen. Die beiden Erdbeobachtungssatelliten der NASA [CloudSat](#) und [CALIPSO](#) haben über den Zeitraum 2000 bis 2010 den globalen **Albedoeffekt der Wolken** genauer bestimmt.



**Figure B1** | The global annual mean energy budget of Earth for the approximate period 2000–2010. All fluxes are in  $\text{Wm}^{-2}$ . Solar fluxes are in yellow and infrared fluxes in pink. The four flux quantities in purple-shaded boxes represent the principal components of the atmospheric energy balance.

Er betrug in diesem Zeitraum gemittelt  $47.5 \text{ W/m}^2$  und kommt hauptsächlich durch die Reflexion von Sonnenlicht durch Wolken in den mittleren Breiten der jeweiligen Sommerhemisphäre zustande.

Der geschätzte wärmende „Treibhauseffekt“ infolge von Wolken und Wasserdampf beträgt etwa  $24\text{-}31 \text{ W/m}^2$ , im IPCC-Bericht AR5 wird ein mittlerer Wert von  $30 \text{ W/m}^2$  angegeben.

In der Bilanz ergibt sich daraus eine stärkere Abstrahlung, als wenn kein Wasserdampf und Wolken vorhanden wären, also insgesamt negatives Forcing von  $16.5\text{-}23.5 \text{ W/m}^2$ . Diese Werte beinhalten sämtliche Wolkentypen, sowohl die Cumulus-Wolken mit großer Albedo als auch die Cirrus-Wolken mit fast verschwindender Albedo.

Damit ist im weltweiten Durchschnitt und über alle Wolkentypen gerechnet in der Summe die Gesamtwirkung von Wasserdampf und Wolken negativ, also kühlend.

Dass in der globalen Energiefluss-Bilanz die negative Albedo-Abschwächung des kurzwelligigen Sonnenlichts durch Wolken um etwa  $20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$  die positive Treibhauswirkung übersteigt, ist in der Klimaforschung mittlerweile Konsens. Trotzdem kommen die üblichen Klimamodelle zu positivem Wasserdampf-Feedback und zu einer Gesamtsensitivität von 2-5

Grad C. Ein positives Wasserdampf-Feedback kann aber aufgrund folgender einfachen Überlegung nicht sein:

- Bei einer Temperaturerhöhung von 1 Grad C, wie sie bei der Verdoppelung des CO<sub>2</sub> erwartet wird, kann die Atmosphäre 7% mehr Wasserdampf aufnehmen. Dies geschieht v.a. über den Meeren. Dort, wo kein zusätzlicher Wasserdampf aufgenommen wird, kann es auch keine zusätzliche Treibhauswirkung geben. Das ist eine streng positive Korrelation.
- Es ist nachgewiesen, dass die [großräumige Wolkenbildung positiv mit dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre korreliert](#). Genauer gesagt, die feuchtesten – äquatornahen – Gebiete sind auch die Gebiete mit der größten Wolkenbildung, aber es gibt auch, z.B. im südlichen Pazifik, Gebiete extrem großer Wolkenbildung, obwohl die Luftfeuchtigkeit geringer ist.
- Zusammengenommen ist also bei globaler Temperaturerhöhung global auch eine entsprechende Erhöhung der Wolkenbildung zu erwarten.
- Wenn es gar keinen Wasserdampf und keine Wolken gäbe, wäre das Forcing exakt 0, und der Treibhauseffekt wäre allein vom  $\text{CO}_2$  bestimmt. Aufgrund der **positiven Korrelation zwischen Temperatur und Wolkenbildung** ist und der **Dominanz der Albedo-Dämpfung gegenüber dem positiven Wasserdampf-Feedback** ergibt sich stets ein negatives Gesamtfeedback.
- **Es gibt keinen Grund zu der IPCC-Annahme, dass sich – global gesehen – bei zunehmendem Wasserdampfanteil das Verhältnis des größerem negativen Albedo-Feedbacks zu positivem Wasserdampf/Wolken-Feedback umkehren würde.** Daher ist auch die Funktion zwischen Wasserdampf-Gehalt und Wasserdampf/Wolken-Feedback global monoton fallend, mit dem Ergebnis eines insgesamt negativen Feedbacks bei zusätzlichem Wasserdampf

Die Wolken haben also eine stark stabilisierende Wirkung: Jede Erwärmung führt durch größeren Wasserdampfanteil zu zusätzlicher Wolkenbildung, und damit zu der beschriebenen negativen Rückkopplung, die im Endeffekt kühlend wirkt. Umgekehrt behindert eine globale Abkühlung über den verringerten Wasserdampf die Wolkenbildung, der wärmenden Einfluss des Sonnenlichts kann sich stärker auswirken.

Die Auswirkungen dieser Erkenntnis auf die Klimadiskussion können nicht hoch genug eingeschätzt werden. Aus dem negativen Feedback von Wasserdampf und Wolken folgt, daß es keine Temperaturerhöhung über dem reinen  $\text{CO}_2$  Wert von 1.1 Grad C bei Verdoppelung des  $\text{CO}_2$ -Gehalts kommen kann.