Beobachtungen und theoretische Belege dafür, dass die Wolkenrückkopplung die globale Erwärmung verringert

geschrieben von Chris Frey | 3. September 2023

Willis Eschenbach

Ich habe versucht, meine Ansichten über die Rückkopplung von Wolken auf eine zunehmende Oberflächenerwärmung zu veröffentlichen. Ich schickte sie zur Begutachtung an das Journal of Climate.

Die Gutachter meinten, es scheine so, als würde ich Veränderungen am Ort und nicht im Zeitverlauf betrachten. Also schrieb ich den Artikel um und schickte ihn zurück.

Sie schrieben zurück und sagten, OK, die Änderungen haben geholfen, und ach ja …

… es kostet Sie 1.546 Dollar, es zu veröffentlichen.

Nun ja, also veröffentliche ihn hier und lade die Leute ein, Änderungen vorzuschlagen, auf Ungereimtheiten hinzuweisen und generell eine Kombination aus Redakteuren und Rezensenten des Papiers zu sein. Bitte seien Sie in Ihren Kommentaren freundlich, ich bin nur ein Narr, der gute Absichten hat.

Dies als Prolog, hier ist der aktuelle Stand der Studie.

Beobachtungen und theoretische Belege dafür, dass Wolken-Rückkopplungen der globalen Erwärmung entgegen wirken

Willis Eschenbach, Independent Climate Researcher, Occidental, California

ABSTRACT

Die Reaktion der Wolken auf eine Änderung der Temperaturen ist eine Schlüsselkomponente für die genaue Abschätzung künftiger Temperaturänderungen. Änderungen der Temperatur führen zu unterschiedlichen Reaktionen der Wolken in verschiedenen Teilen des Planeten. Die Gesamtwirkung dieser Veränderungen ist jedoch nur sehr unzureichend erfasst worden (Boucher 2013). Unter Verwendung von Daten aus Satellitenbeobachtungen entwickle ich zwei unabhängige Verfahren zur Abschätzung, wie die Wolken in verschiedenen Gebieten auf einen Anstieg der Temperatur reagieren. Beide Verfahren zeigen eine globale Netto-

Strahlungskühlung der Wolken an der Oberfläche. Die auf diese Weise ermittelte Abkühlung ist ein Minimalwert der gesamten Wolkenabkühlung, da eine stärkere wolkenbedingte Abkühlung durch einen temperaturbedingten Anstieg der thermisch angetriebenen tropischen und außertropischen Gewitter auftritt, welche die Oberfläche auf verschiedene nicht-strahlungsbedingte Weise abkühlen. Darüber hinaus zeige ich anhand theoretischer Argumente, dass es unwahrscheinlich ist, dass die Reaktion der Wolken die globale Erwärmung verstärkt.

1. Einführung

Wolken spielen eine zentrale Rolle bei der Regulierung der globalen Energiebilanz. Sie sind seit langem als Hauptursache für Unsicherheiten bei Klimaprojektionen bekannt. Obwohl eine Vielzahl von Beweisen vorgelegt wurde, ist eine enge Begrenzung der Reaktion der Wolken auf die prognostizierte Erwärmung schwer zu fassen. Selbst über das Vorzeichen der Reaktion der Wolken auf die Erwärmung besteht noch keine weitgehende Einigkeit. Ein Teil der Herausforderung besteht darin, dass der Netto-Strahlungseffekt der Wolken sowohl die Auswirkungen der Wolken auf die solaren (kurzwelligen [SW]) als auch die terrestrischen (langwelligen [LW]) Strahlungsflüsse umfasst. (Ceppi et al. 2017, Gettleman und Sherwood 2016)

2. Theoretische Argumente

Ein sehr ungewöhnliches, aber im Allgemeinen nicht beachtetes Merkmal des Klimasystems ist seine thermische Stabilität. Hier ist die maximale Temperaturspanne über einen Zeitraum von 22 Jahren für jede Gitterzelle von 1° Breitengrad und 1° Längengrad dargestellt:

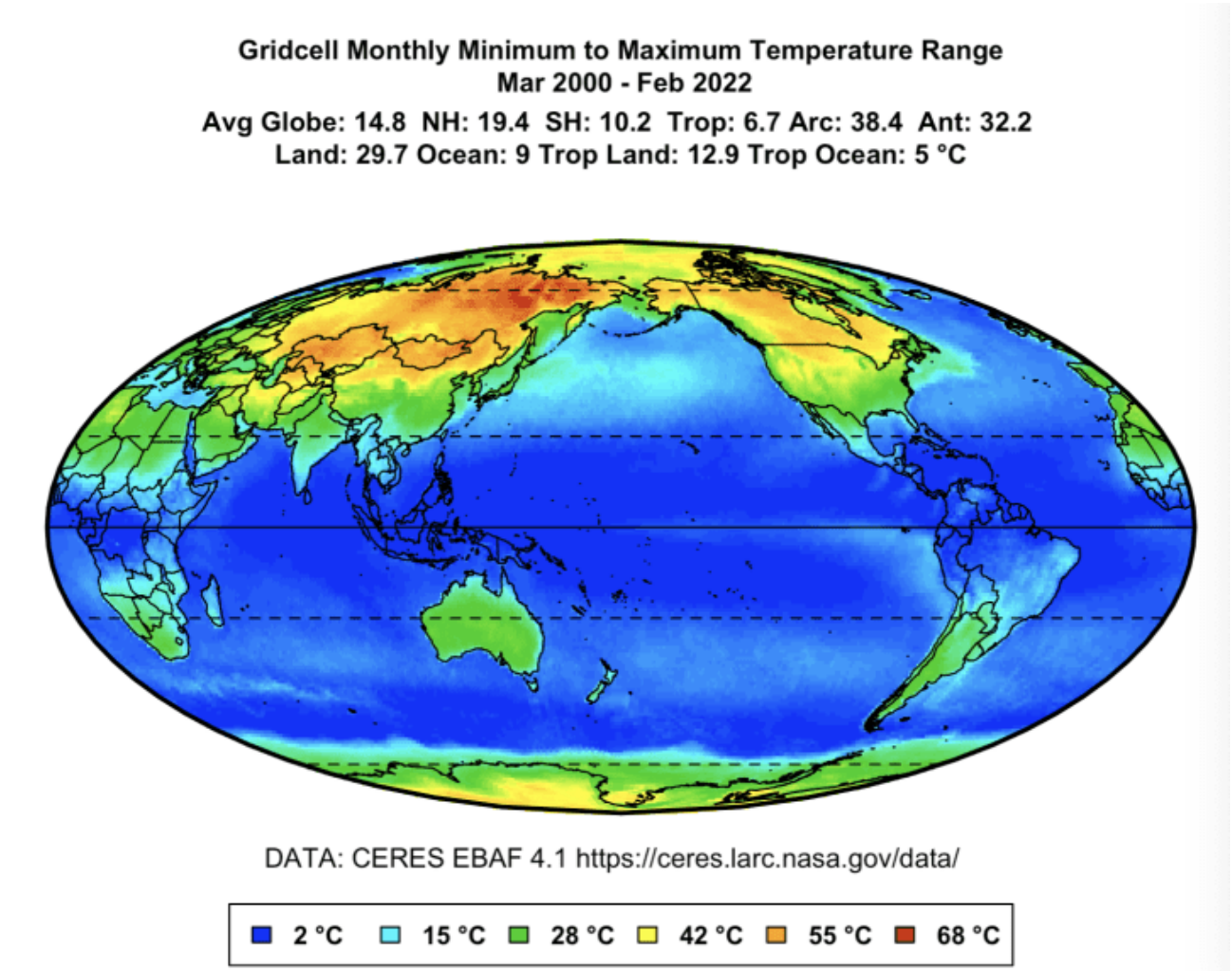


Abb. 1. Maximale Schwankungen der monatlichen Durchschnittstemperatur (Tiefstwert bis Höchstwert) im Zeitraum von März 2000 bis Februar 2022.

Hier sehen wir Temperaturschwankungen über 30 °C an den Polen, 29 °C über dem Land, 9 °C über den Ozeanen und 14,8 °C für den gesamten Globus. Doch trotz dieser großen innerjährlichen Schwankungen kehrt die Temperatur nach 12 Monaten immer auf nahezu denselben Wert zurück. Über den gleichen Zeitraum von März 2000 bis Februar 2022 zeigen die CERES-Daten jährliche durchschnittliche Änderungen der globalen Temperatur von nur etwa 0,5 °C, was nur drei Prozent der jährlichen Schwankungen entspricht.

Und ein weiteres Beispiel: Während des gesamten 20. Jahrhunderts stieg die Temperatur nur um 0,8 °C, was einem Temperaturanstieg von 0,3 % in 100 Jahren entspricht:

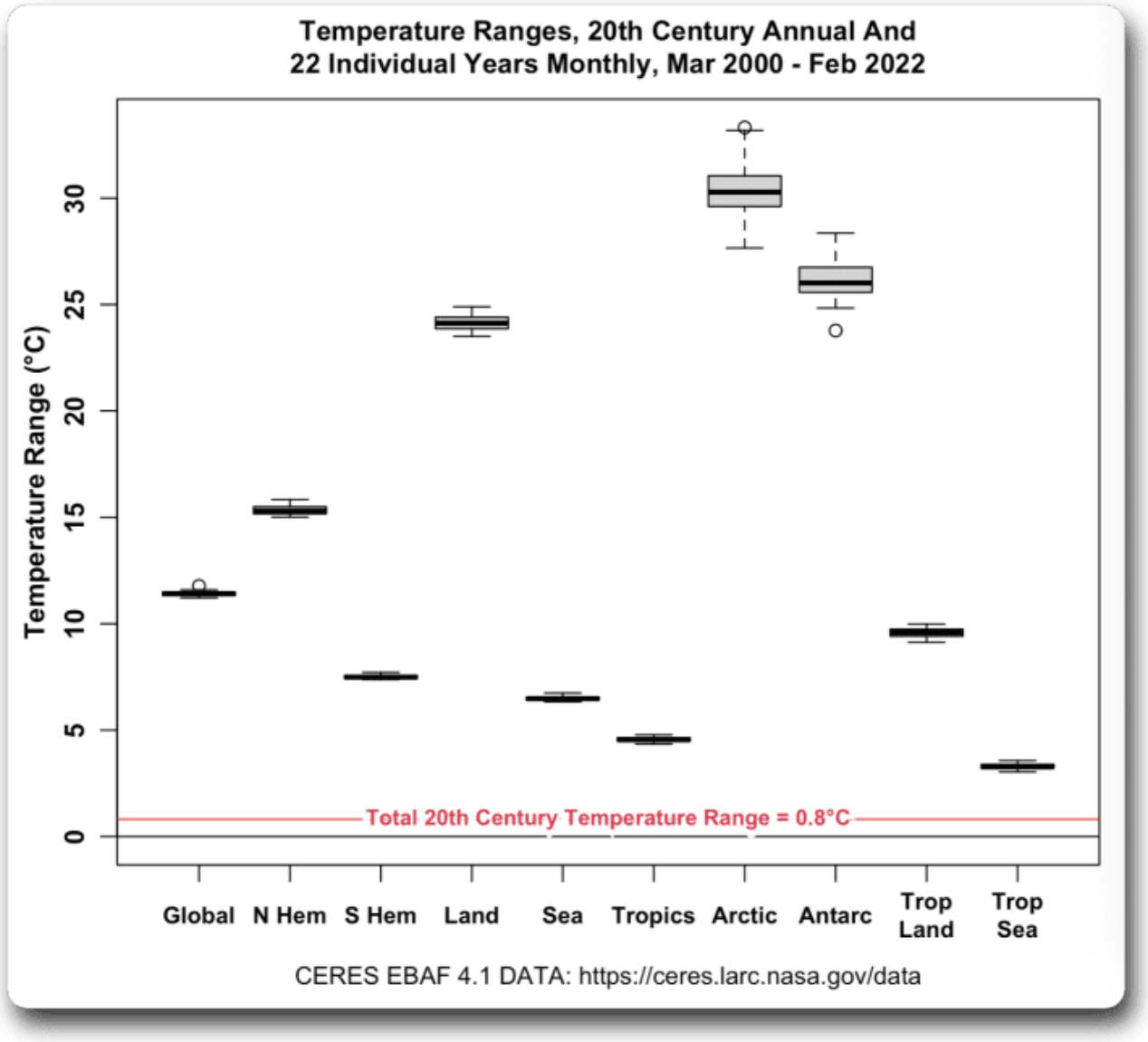


Abbildung 2. Jährliche Temperaturspannen für den Globus (rote Linie) und monatliche Temperaturspannen für Teile des Globus. Die rote Linie zeigt die Schwankungsbreite der globalen Jahresdurchschnittstemperaturen des 20. Jahrhunderts, etwa 0,3 %.

Wie Abbildung 2 zeigt, kann diese überraschende längerfristige Stabilität nicht auf thermische Trägheit zurückzuführen sein, da die monatlichen Schwankungen zwischen den Jahren viel größer sind. Dieser insgesamt gleichbleibende Zustand spricht stark für die Existenz natürlicher thermo-regulatorischer Phänomene, die einer Veränderung der gleichbleibenden Gesamttemperatur entgegenwirken.

Dies wird durch das Prinzip von Le Chatelier unterstützt. Le Chatelier formulierte ein einfaches Prinzip, das für Systeme gilt, die sich in einem stationären Zustand befinden. Das Prinzip von Le Chatelier besagt, dass eine Störung, die auf ein System in einem stationären Zustand einwirkt, das System zwar von seinem Gleichgewichtszustand abbringen kann, aber einen ausgleichenden Einfluss hervorruft, welcher der Wirkung

der Störung entgegenwirkt. (Gorshkov et al. 1990) Dieses Prinzip deutet stark darauf hin, dass bei einer Änderung der globalen Durchschnittstemperatur die Wolken und andere Phänomene der Temperaturänderung entgegenwirken und sie nicht verstärken.

3. Analyse von Beobachtungsdaten

Der Netto-Wolkenstrahlungseffekt (cloud radiative effect; CRE) an der Oberfläche setzt sich aus der Wirkung der Wolken auf zwei verschiedene Strahlungsarten zusammen. Die erste ist die solare (kurzwellige) Strahlung, die von den Wolken sowohl reflektiert als auch absorbiert wird. Die zweite ist die thermische (langwellige) Strahlung, die von den Wolken sowohl abgestrahlt als auch absorbiert wird. Die Netto-Oberflächen-CRE, die ich der Einfachheit halber CRE“ nenne, ist die Summe der beiden Effekte an der Oberfläche, wo wir leben. Mit anderen Worten: Die CRE ist die Differenz zwischen der abwärts gerichteten Strahlung bei klarem und bewölktem Himmel. Wenn die CRE negativ ist, bedeutet dies, dass die Wolken die Oberfläche abkühlen.

Im Allgemeinen kühlen die Wolken die Oberfläche ab. Abbildung 3 zeigt die globalen Schwankungen der CRE. In Abb. 3 sehen wir, dass die Wolken die Pole und die Wüsten erwärmen und überall sonst kühlen:

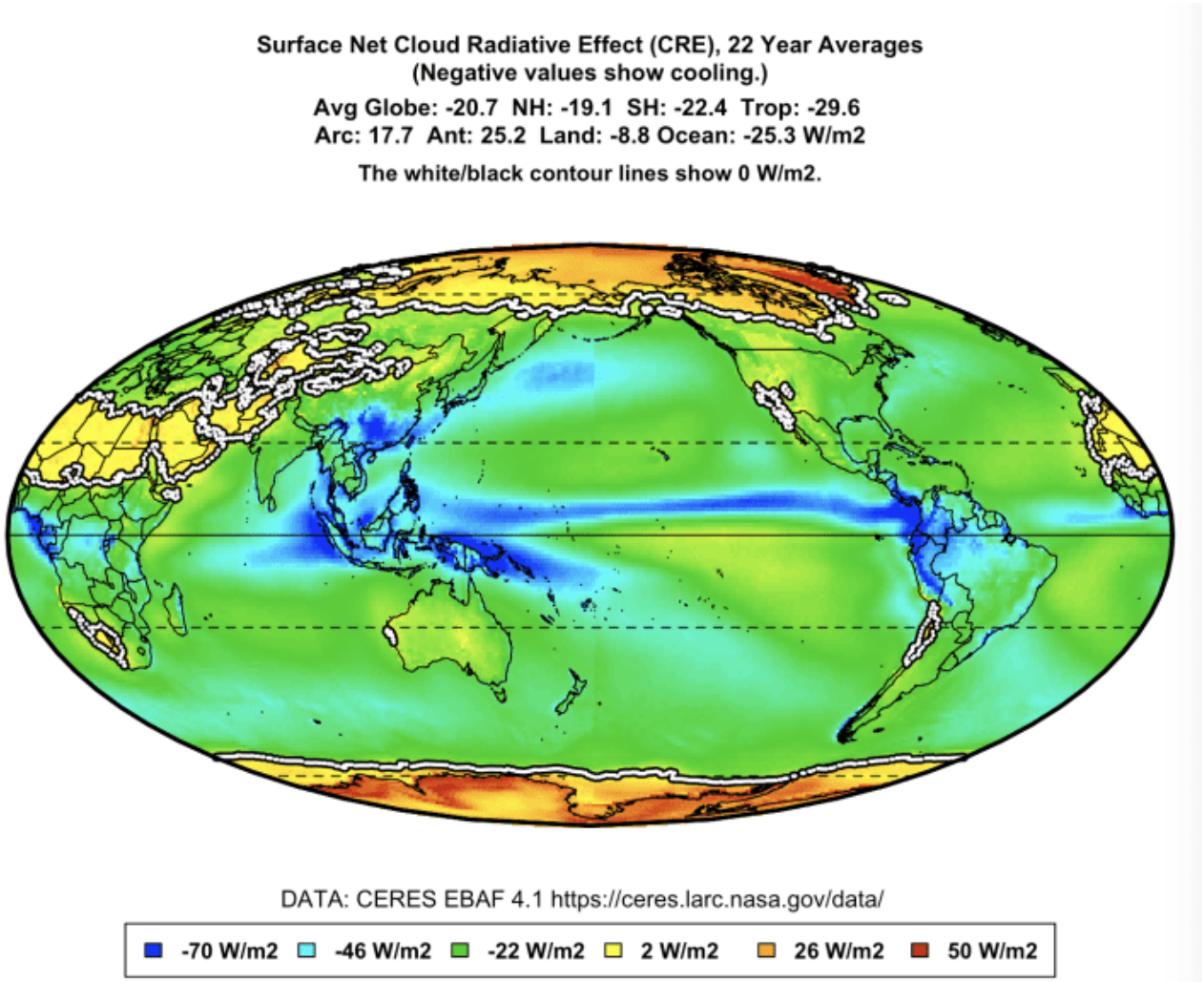


Abb. 3. Strahlungseffekt der Oberflächenwolken auf der Basis von 1° Breitengrad x 1° Längengrad.

Die kurzfristige Änderung der CRE-Oberfläche mit der Temperatur lässt sich anhand der CERES-Daten leicht berechnen. Abbildung 4 zeigt dieses Ergebnis:

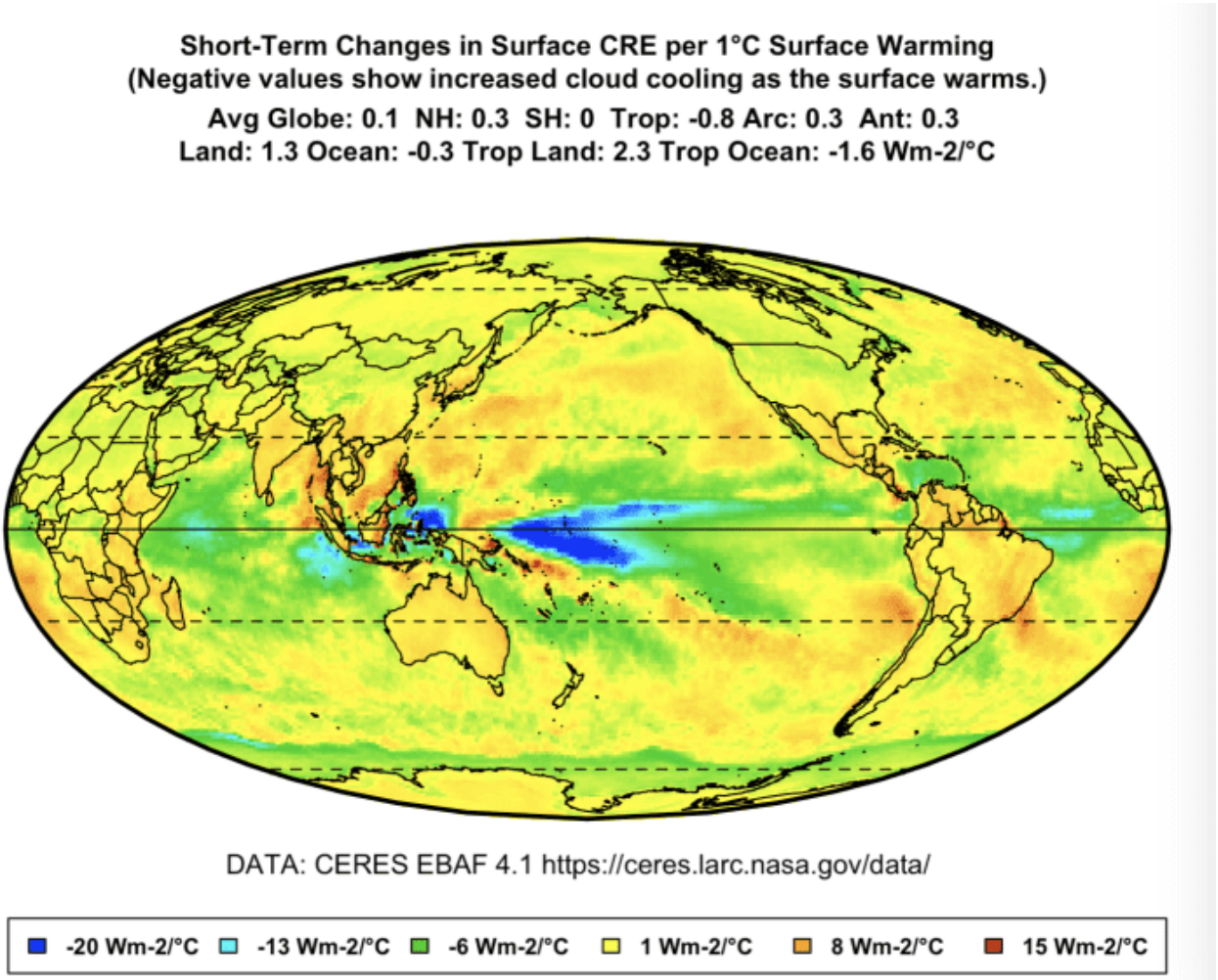


Abbildung 4. Kurzfristige Trends in der Strahlungswirkung von Oberflächenwolken als Funktion der Temperatur. Bei den Trends handelt es sich um lineare Regressionskurven nach der Methode der kleinsten Quadrate.

Das sagt uns jedoch nicht, was wir wissen müssen, nämlich wie die Wolken auf eine langfristige Veränderung der Temperatur reagieren. Trotzdem gibt es zwei Möglichkeiten, wie wir diese Reaktion anhand von Beobachtungsdaten messen können.

Beide beruhen auf einem einfachen Gedanken: Im langfristigen Durchschnitt jeder Gitterzelle haben die Temperatur und die entsprechende Wolkenstrahlungswirkung über Tausende von Jahren einen stationären Zustand erreicht. All die verschiedenen, die CRE beeinflussenden Phänomene wie die relative Luftfeuchtigkeit, die Stärke der Grenzschichtinversion, CAPE (Convective Available Potential Energy), ozeanisches Absinken und Auftrieb sowie weitere Faktoren oszillieren nun um die langfristigen Durchschnittswerte für jede einzelne Gitterzelle. Somit stellt die durchschnittliche Beziehung zwischen Temperatur und CRE für jede Gitterzelle die langfristige Gleichgewichtsbeziehung dar.

Die erste Möglichkeit, um zu sehen, was passiert, wenn die Temperatur

steigt, ist ein Streudiagramm von CRE und Temperatur auf der Grundlage von Gitterzellen:

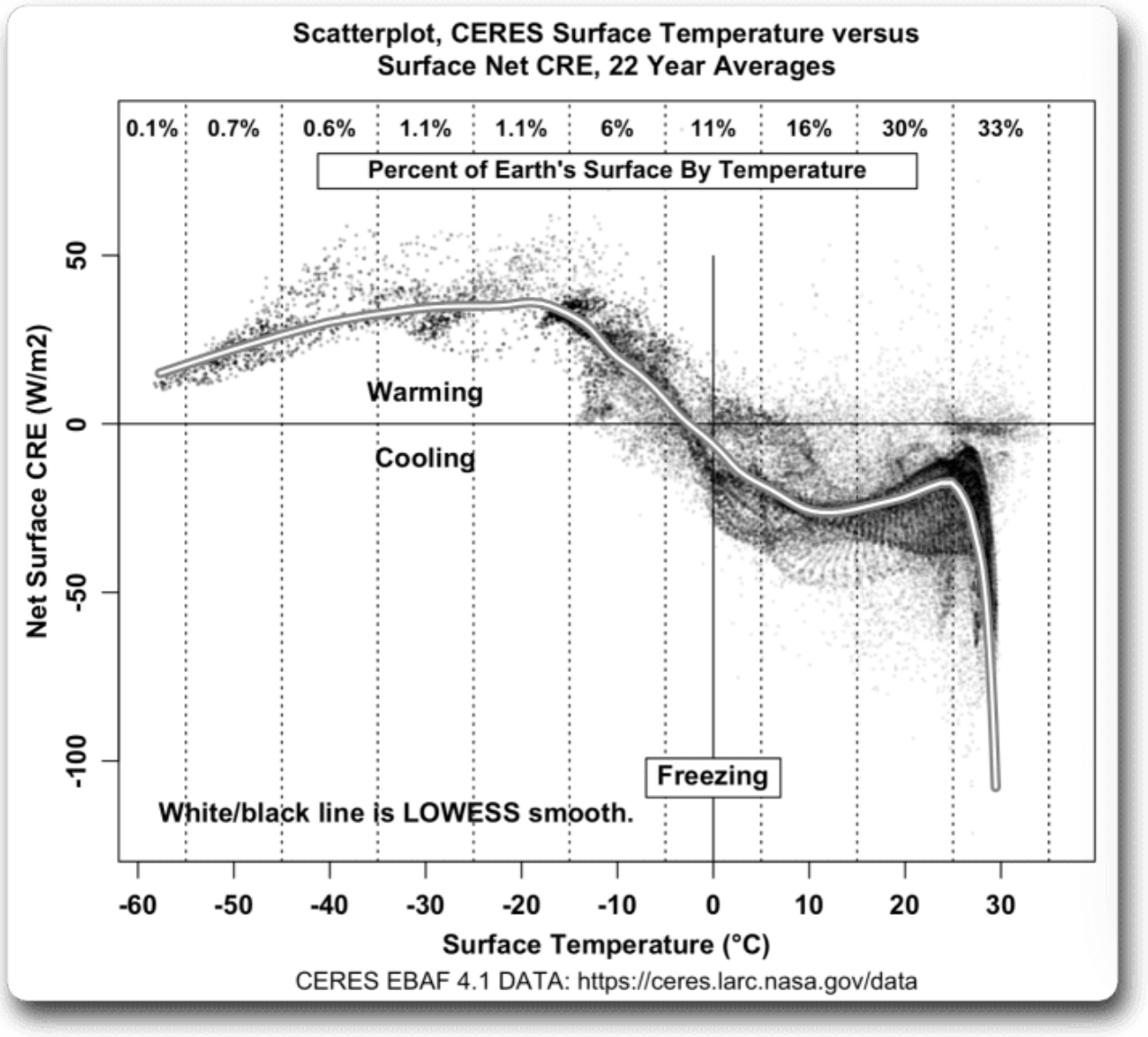


Abb. 5. Streudiagramm, 22-Jahres-Durchschnitte der CRE gegenüber der Temperatur. Jeder Punkt ist eine Gitterzelle mit 1° Breitengrad und 1° Längengrad.

Obwohl dieses Streudiagramm sowohl Land als auch Ozean umfasst und von den Tropen bis zu beiden Polen reicht, ist ein klares Muster zu erkennen. Betrachtet man das Streudiagramm von links nach rechts, so zeigt die Neigung der schwarz-weißen Linie die Richtung und das Ausmaß der Veränderung der CRE bei steigender Temperatur. Es gibt vier verschiedene Zonen.

Die kälteste Zone umfasst die Eiskappen der Antarktis und Grönlands. Wenn die durchschnittliche monatliche Gitterzellen-Temperatur unter -20°C liegt, befindet man sich in einem dieser beiden Gebiete. Dort führen steigende Temperaturen zu einer zunehmenden Wolkenerwärmung. Dies

entspricht weniger als 4 % der Planetenoberfläche.

Die nächste Zone reicht von -20°C bis 10-15°C. In dieser Zone führt eine zunehmende Erwärmung zu einer zunehmenden Abkühlung durch Wolken. Die dritte Zone reicht von 10-15°C bis etwa 25°C. In dieser Zone führt die zunehmende Temperatur zu einer zunehmenden Erwärmung durch Wolken.

In den wärmsten Gebieten schließlich führt eine zunehmende Oberflächenerwärmung zu einer stark zunehmenden Wolkenabkühlung. Im größten Fall führt ein Anstieg von 1°C zu einer verstärkten Wolkenabkühlung von bis zu 40 W/m² (Verringerung der abwärts gerichteten Oberflächenstrahlung).

Dies zeigt uns das allgemeine Muster der Beziehung zwischen Temperatur und CRE. Sie ist extrem nichtlinear. Aber es ist ein allgemeiner Hinweis, mit großer Streuung um die Trendlinie. Sie zeigt auch Gebiete aus der ganzen Welt zusammen.

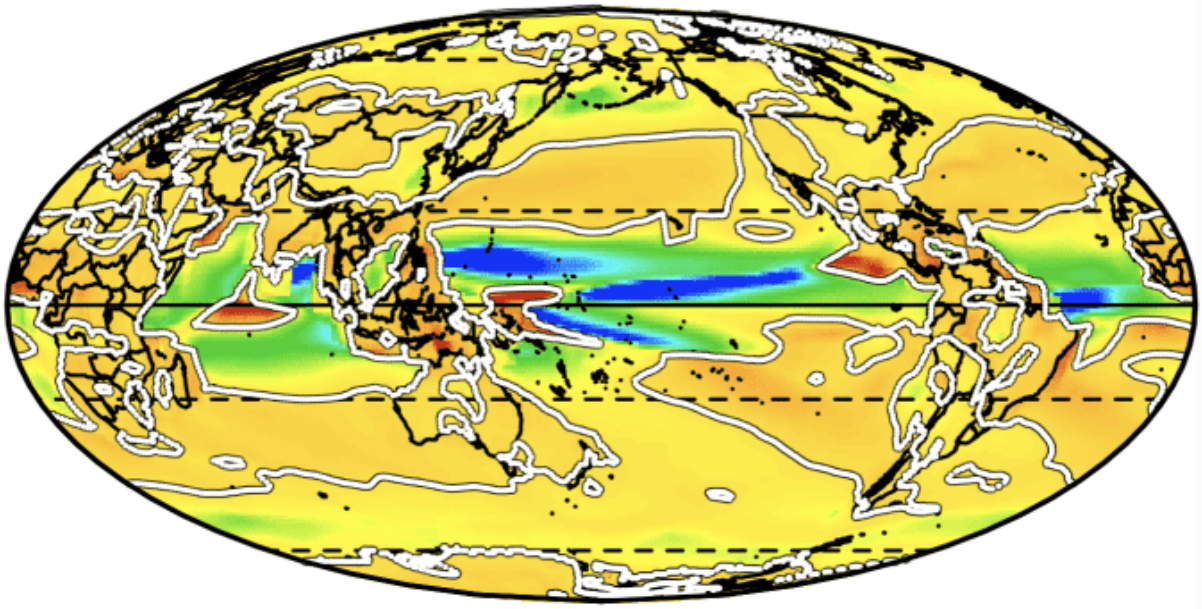
Was dieses Verfahren nicht zeigt, ist das detaillierte räumliche Muster oder die flächengewichtete durchschnittliche globale Reaktion der CRE auf steigende Temperaturen. Hierfür verwende ich ein zweites Verfahren.

Dieses zweite Verfahren betrachtet nur die Durchschnittswerte der Gitterzellen in der unmittelbaren Umgebung jeder Gitterzelle. Nehmen wir als Beispiel eine Gitterzelle im Ozean. Die benachbarten Gitterzellen nördlich, südlich, östlich und westlich von dieser ausgewählten Gitterzelle haben unterschiedliche Langzeit-Durchschnittswerte für Temperatur und CRE. Wir können also den langfristigen Effekt bestimmen, indem wir die lokale Beziehung zwischen der durchschnittlichen Temperatur und der durchschnittlichen CRE betrachten. Für jede Gitterzelle habe ich eine Box mit 9° Breitengrad und 9° Längengrad verwendet, die auf der gewählten Gitterzelle zentriert ist. So erhalte ich 81 Temperaturwerte und die entsprechenden 81 CRE-Werte. Ich führe eine lineare Regression der 81 CRE-Werte in Abhängigkeit von den 81 Temperaturwerten durch. Die sich daraus ergebende Steigung zeigt die Veränderung der CRE-Werte bei einer Temperaturänderung von 1°. Ich habe das Land und den Ozean getrennt analysiert, um eine Vermischung verschiedener Regime zu vermeiden. Dies scheint jedoch kaum einen Unterschied zu machen. Das Ergebnis ist in den folgenden, auf den Pazifik und den Atlantik bezogenen Grafiken dargestellt:

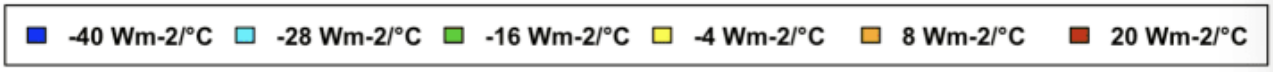
Long-Term Changes in Surface CRE per 1°C Surface Warming
(Negative values show increased cooling as the surface warms.)

Avg Globe: -2 NH: -2.8 SH: -1.2 Trop: -4.4 Arc: -1.3 Ant: -0.6
Land: 0.3 Ocean: -2.9 Trop Land: 1.4 Trop Ocean: -5.8 Wm-2/°C

The white/black contour lines show 0 W/m2 per 1°C.



DATA: CERES EBAF 4.1 https://ceres.larc.nasa.gov/data/



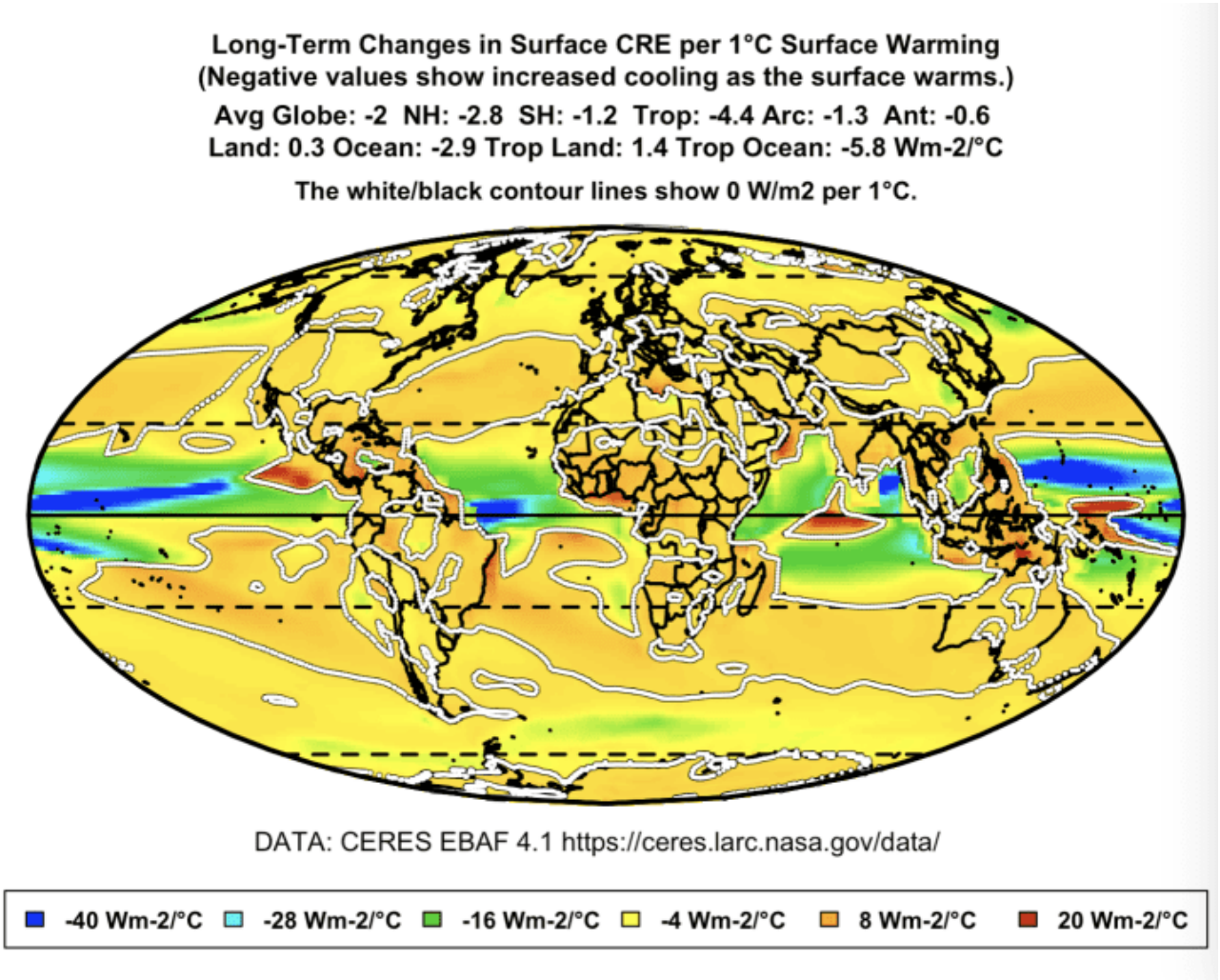


Abb. 6. Änderungen des Strahlungseffekts an der Oberfläche durch Wolken pro 1°C Änderung der Oberflächenerwärmung. Das untere Feld ist das gleiche wie das obere, jedoch mit atlantikzentrierter Ansicht. Alle in der Berechnung verwendeten Werte sind der Durchschnitt der gesamten 22 Jahre der CERES-Aufzeichnung.

Dies zeigt zwei Ansichten, eine pazifische und eine atlantische, der detaillierten Lage und des Ausmaßes der CRE-Veränderungen bei einer Oberflächenerwärmung von 1°C. Global gesehen ergibt sich eine flächengemittelte Nettoabkühlung von -1,7 W/m². Die stärkste Abkühlung findet über dem Ozean statt, mit einer flächengemittelten Abkühlung von -2,4 W/m². Das Land ist das einzige Gebiet, das sogar leicht positiv ist, mit einer flächengemittelten Erwärmung von +0,3 W/m².*

*[*Kann man -1,7 W/m² wirklich als „Abkühlung“ bezeichnen? Gilt dieser Relativ-Begriff nicht nur für Temperatur? Weiß ein Kommentator mehr? A. d. Übers.]*

Diese Ergebnisse stimmen gut mit denen von Ramanathan und Collins (Ramanathan, V., & Collins, W. (1991)) überein, obwohl die vorgeschlagenen Prozesse unterschiedlich sind und diese Ergebnisse für den gesamten Planeten gelten, während Ramanathan und Collins nur den

pazifischen Warmpool betrachteten.

4. Stabilität und Ungewissheit

Wenn es sich bei dieser Kennzahl tatsächlich um ein Maß für die langfristige Veränderung der CRE mit der Erwärmung handelt, sollte sie sich von Jahr zu Jahr nur sehr wenig verändern. Der nachstehende Boxplot zeigt 22 CRE-Feedback-Werte für jedes in Abbildung 6 aufgeführte geografische Gebiet, einen für jedes Jahr der CERES-Aufzeichnung:

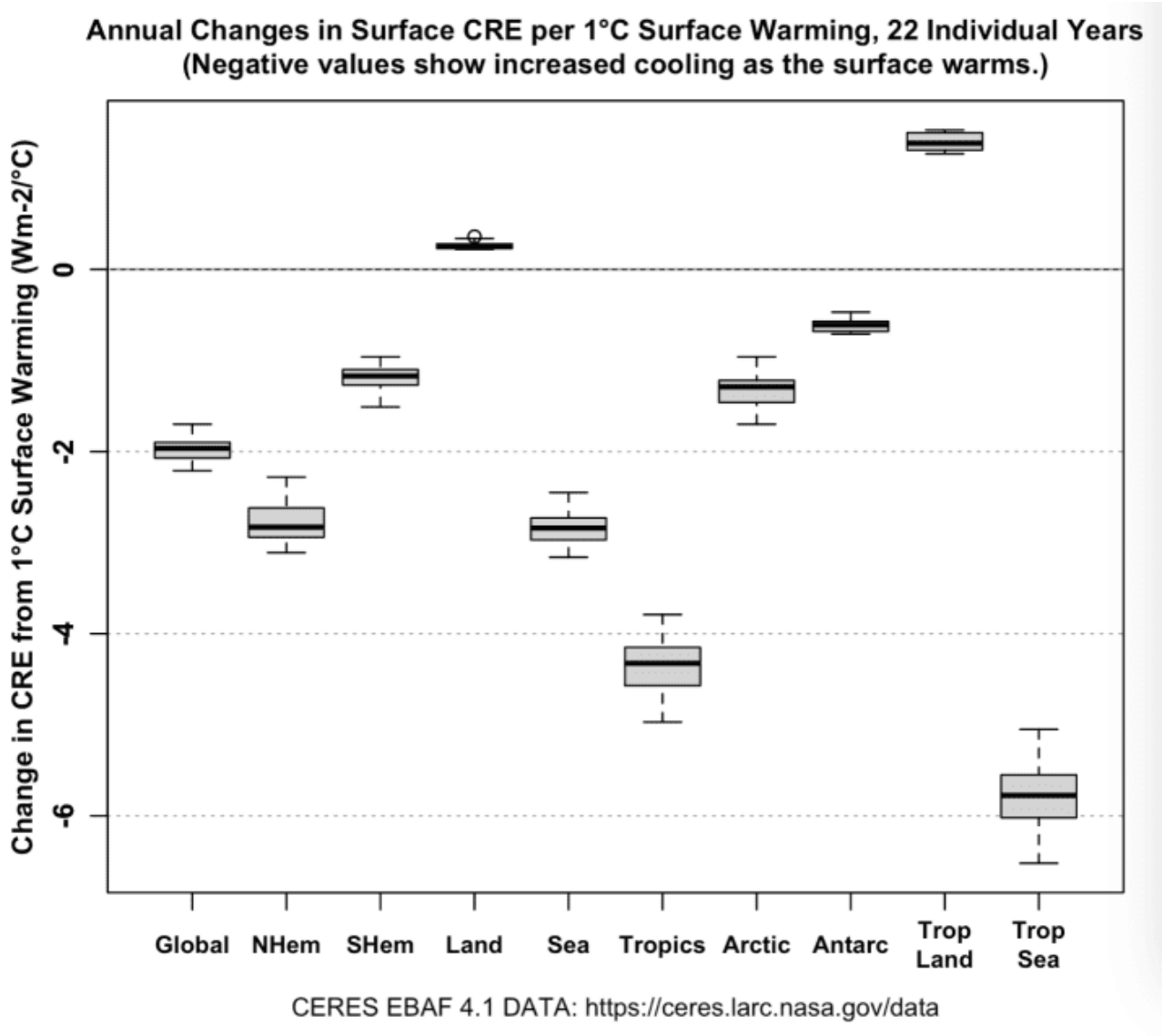


Abbildung 7. Boxplot, Veränderung der CRE durch 1°C Oberflächenerwärmung. Daten für jedes der 22 Jahre in der CERES-Aufzeichnung.

Wie erwartet, gibt es trotz der Kürze (ein Jahr) der einzelnen Datensätze nur sehr geringe Abweichungen bei den Ergebnissen. Dies deutet darauf hin, dass selbst ein 22-Jahres-Durchschnitt genaue Werte für die Veränderung der Oberflächen-CRE pro 1°C Erwärmung liefert. Wie

in Abbildung 6 ist das einzige große Gebiet, das eine positive Rückkopplung aufweist, das Land, und die Rückkopplung ist recht gering.

5. Daten-Details

Ich verwendete monatliche gerasterte Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled Edition 4.1 Daten (Loeb et al. 2018). Der CERES-Datensatz ist recht stabil (Loeb et al. 2016), was ihn zu einem hervorragenden Datensatz für diese Art von Analyse macht. Alle verwendeten CERES-Daten decken den 22-jährigen Zeitraum von März 2000 bis Februar 2022 ab.

Für die Temperatur habe ich den CERES-Datensatz der aufsteigenden Langwellen an der Oberfläche verwendet, der mit Hilfe der Stefan-Boltzmann-Gleichung in Temperatur umgerechnet wurde. Zur Überprüfung der berechneten CERES-Temperaturdaten habe ich sie mit den Ergebnissen des Berkeley-Earth-Gitterdatensatzes für Land/Ozean verglichen (Rohde und Hausfather 2020). Der flächengewichtete durchschnittliche Unterschied zwischen den beiden beträgt nur 0,43 °C. Dieser Unterschied ist nicht überraschend, da der Berkeley-Earth-Datensatz eine Kombination aus der Lufttemperatur über Land und der Temperatur der Meeresoberfläche ist. Bei den CERES-Daten hingegen handelt es sich überall um Temperaturen. Unten sehen Sie dieselbe Berechnung wie in Abbildung 5, allerdings unter Verwendung der Berkeley Earth-Daten von März 2000 bis Februar 2022 anstelle der CERES-Daten für denselben Zeitraum. Man beachte, dass es kaum einen Unterschied zwischen dieser und der obigen Abbildung 5 gibt, die CERES-Daten verwendet:

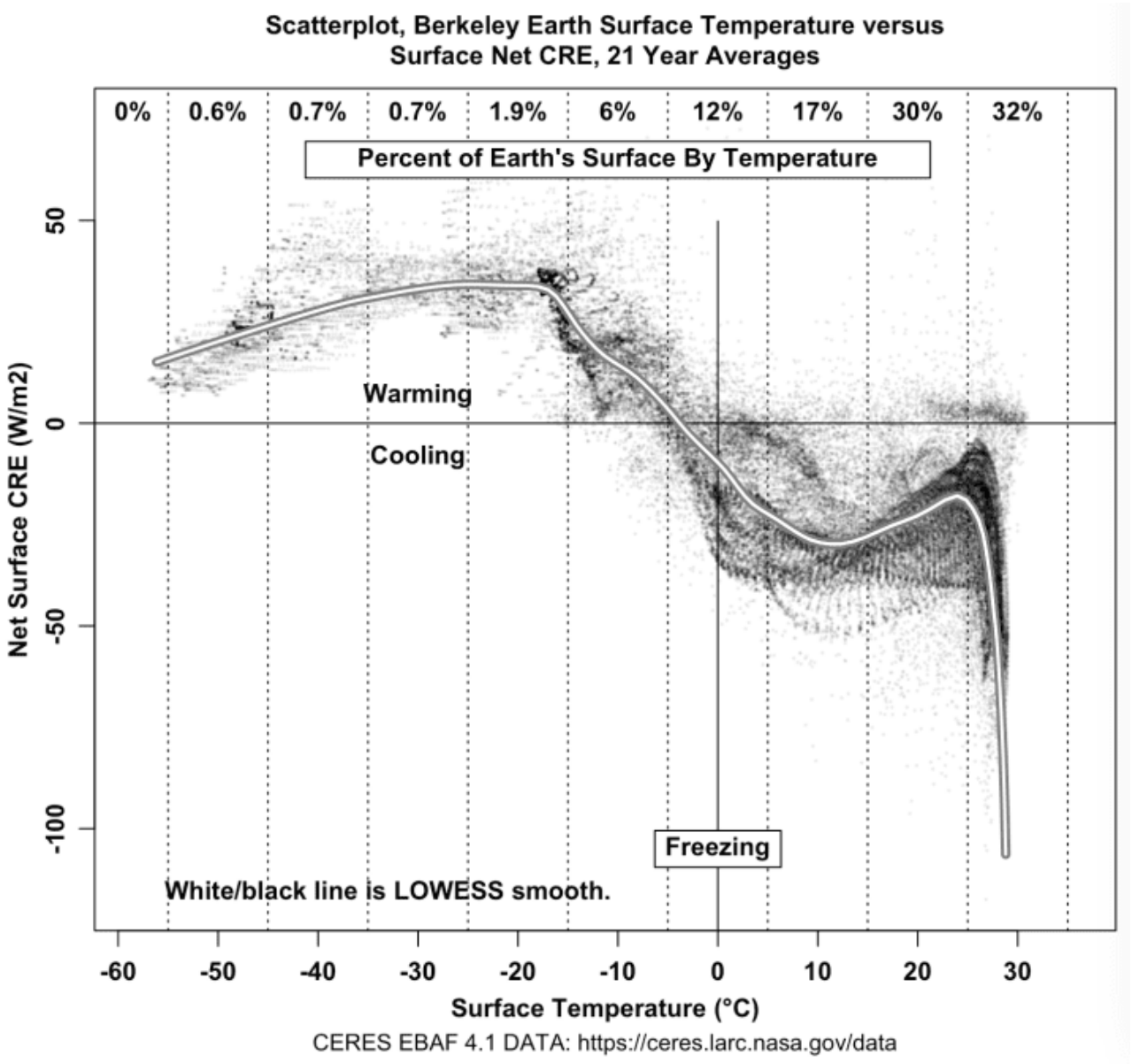


Abbildung 8. Wie in Abbildung 3, jedoch unter Verwendung von Berkeley-Erdtemperaturdaten anstelle von CERES-Daten.

6. Abschließende Überlegungen

Wie bereits erwähnt, ist der Strahlungseffekt der Wolken nur eine der Möglichkeiten, wie die Wolken die Temperatur beeinflussen. Darüber hinaus kühlen Gewitter die Oberfläche durch folgende Faktoren:

– Erhöhte Oberflächenalbedo über dem Ozean aufgrund des weißen Oberflächenschaums und der Gischt. Erhöhte Wolkenalbedo durch die vertikale Ausdehnung der Gewittertürme.

– Ein Gewitter funktioniert nach demselben Kühlkreislauf wie ein Haushaltskühlschrank oder eine Klimaanlage. Es verdampft ein Arbeitsmittel (in diesem Fall Wasser) in dem zu kühlenden Gebiet. Der entstehende Dampf wird an einen anderen Ort (die Basis der Gewitterwolke) transportiert, wo die Arbeitsflüssigkeit kondensiert und

dann in Form von kaltem Regen in das zu kühlende Gebiet zurückkehrt. Dieser natürliche Kühlkreislauf kühlt die Oberfläche unabhängig von der Strahlung stark ab.

– Die Verdunstungskühlung wird durch die gewitterbedingten Winde an der Basis sowie durch die Zufuhr trockener Luft an der Oberfläche verstärkt.

– Ein großes Gewitter erzeugt während seines Bestehens in der Regel etwa 20.000 Tonnen Niederschlag. Das bedeutet, dass etwa 40 Terajoule Energie von der Oberfläche in die hoch gelegene Troposphäre transportiert werden. Da sie sich dort oberhalb der meisten Treibhausgase befindet, kann sie viel freier in den Weltraum abstrahlen.

– Erhöhte Verdunstung durch die Vergrößerung der Oberfläche aufgrund der Entstehung von Millionen von Sprühtröpfchen.

– Erhöhte Abstrahlung in den Weltraum aufgrund des Mangels an Wasserdampf in der trockenen absteigenden Luft zwischen den Gewittern.

Tropische thermisch getriebene Gewitter nehmen mit steigenden Temperaturen zu. Infolgedessen wird die Wolkenstrahlungskühlung (CRE) durch die erhöhte Gewitterbildung verstärkt, und die Schätzungen der CRE-Kühlung stellen einen Mindestwert dar.

Danksagung

Die gesamte Arbeit ist meine eigene. Ich schulde jedoch all den hervorragenden Wissenschaftlern, die mir vorausgegangen sind, großen Dank. Ich habe keine Interessenkonflikte.

Datenquellen

The underlying CERES EBAF 4.1 data is NASA/LARC/SD/ASDC, 2022. CERES Energy Balanced and Filled (EBAF) TOA and Surface Monthly means data in netCDF Edition 4.1., accessed 11 December 2022, https://ceres.larc.nasa.gov/data/#energy-balanced-and-filled-ebaf .

The underlying Berkeley Earth data is Berkeley Earth, 2022, Monthly Land + Ocean Average Temperature with Air Temperatures at Sea Ice, accessed 17 December 2022, https://berkeley-earth-temperature.s3.us-west-1.amazonaws.com/Global/Gridded/Land_and_Ocean_LatLong1.nc

REFERENCES

Boucher, O. et al., 2013: Clouds and aerosols, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013), pp. 571–657.

Ceppi, P, F. Brient, M. D. Zelinka, D. L. Hartmann, 2017: Cloud feedback

mechanisms and their representation in global climate models. Wiley Interdisc. Rev. : Clim. Change ***8****, e465.*

Gettelman, A., Sherwood, S.C., 2016: Processes Responsible for Cloud Feedback. Curr Clim Change Rep ***2****, 179–189.* *https://doi.org/10.1007/s40641-016-0052-8*

Gorshkov, V.G., Sherman, S.G. & Kondratyev, K.Y., 1990: The global carbon cycle change: Le Chatelier principle in the response of biota to changing CO_2 *concentration in the atmosphere. Il Nuovo Cimento C* ***13****, 801–816 https://doi.org/10.1007/BF02511997*

Loeb, N. G. et al., 2018: Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Energy Balanced and Filled (EBAF) Top-of-Atmosphere (TOA) Edition-4.0 data product. J. Clim. ***31****, 895–918.*

Loeb, N., N. Manalo-Smith, W. Su, M. Shankar, S. Thomas, 2016: CERES top-of-atmosphere Earth radiation budget climate data record: Accounting for in-orbit changes in instrument calibration. Rem. Sens. ***8****, 182.*

Ramanathan, V., & Collins, W. (1991). Thermodynamic regulation of ocean warming by cirrus clouds deduced from observations of the 1987 El Niño. Nature, 351(6321), 27–32. doi:10.1038/351027a0 *https://sci-hub.se/10.1038/351027a0*

Rohde, R. A. and Hausfather, Z., 2020: The Berkeley Earth Land/Ocean Temperature Record, Earth Syst. Sci. Data, 12, 3469–3479, *https://doi.org/10.5194/essd-12-3469-2020.*

Link:
https://wattsupwiththat.com/2023/09/01/observational-and-theoretical-evidence-that-cloud-feedback-decreases-global-warming/

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE