

Auf der Jagd nach der schwer fassbaren Klimasensitivität

geschrieben von Chris Frey | 23. März 2026

[Willis Eschenbach](#)

(@WEschenbach on X, my personal blog is [here](#))

Ich habe darüber nachgedacht, um wie viel sich die Erde langfristig erwärmen wird, wenn die von der Erdoberfläche absorbierte Strahlung zunimmt. Ich dachte mir, dass ich dies nutzen könnte, um die langfristige Klimasensitivität abzuschätzen, die üblicherweise als die Erwärmung der Erdoberfläche bei einer Verdopplung des CO_2 -Gehalts ($2\times\text{CO}_2$) ausgedrückt wird.

Zunächst habe ich mir die Gesamtmenge der von der Erdoberfläche absorbierten Energie in Watt pro Quadratmeter (W/m^2) angesehen. Dazu gehören die Sonnenstrahlung, die langwellige Strahlung aus der Atmosphäre und die advektierte Wärme, also die Energie, die ständig horizontal vom Äquator zu den Polen transportiert wird. Abb. 1 zeigt das Ergebnis, sowohl ohne (links) als auch mit (rechts) advektierter Wärme. Beachten Sie, wie die polwärts gerichtete Wärmeadvektion die Erwärmung des Planeten ausgleicht.

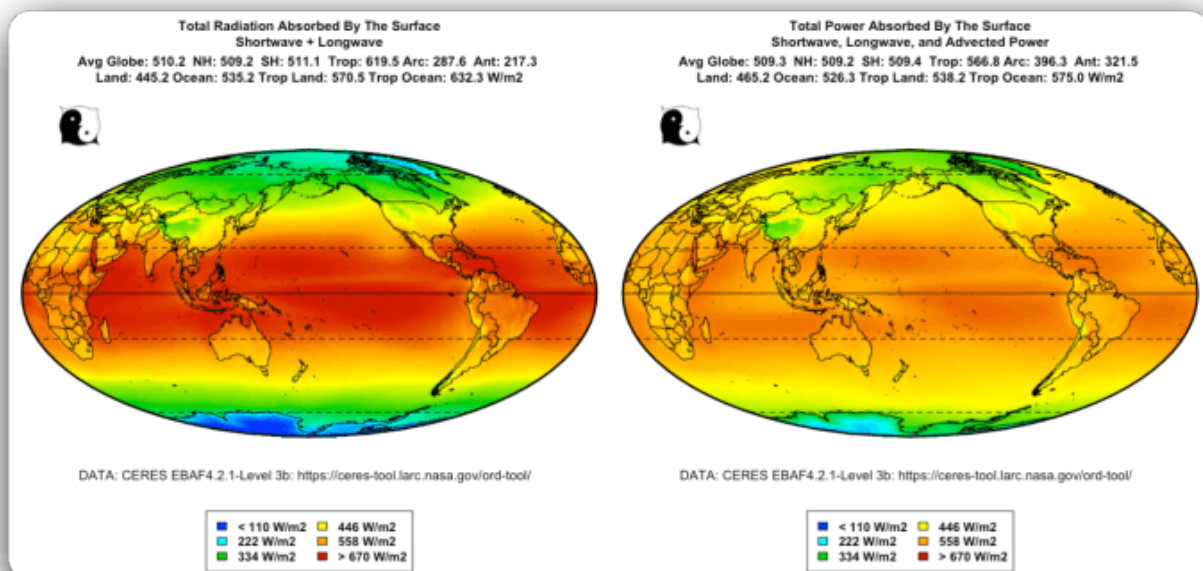


Abbildung 1. Oberflächenleistungsaufnahme sowohl ohne (links) als auch mit (rechts) advektiver Leistung.

Nun setzt die Stefan-Boltzmann-Gleichung die Strahlungsleistung in

Beziehung zur Temperatur. Die Formel besagt, dass die Strahlungsleistung einer Konstante mal dem Emissionsgrad der Oberfläche mal der vierten Potenz der Temperatur entspricht. Also ... unter Berücksichtigung dieser Gleichung und der Temperatur der Erde: Um wie viel sollte sich der Planet bei einem Anstieg von 1 Watt pro Quadratmeter (W/m^2) erwärmen? Abbildung 2 zeigt das berechnete Ergebnis:

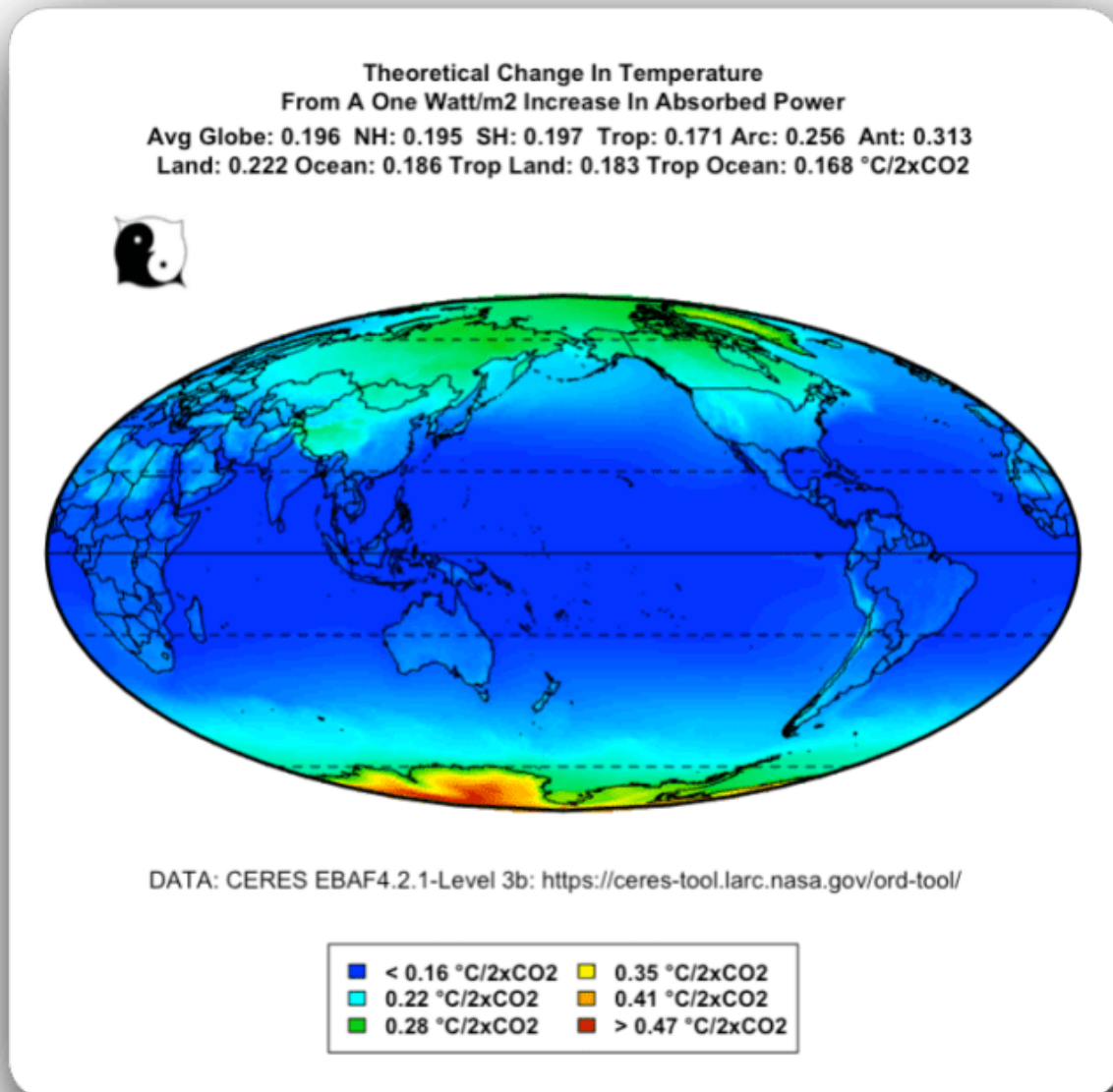


Abbildung 2. Berechnete theoretische Temperaturänderung unter Verwendung der Stefan-Boltzmann-Gleichung in der Größenordnung von 0,2 °C pro W/m^2 .

Man beachte die Schwankungen bei den berechneten Temperaturänderungen aufgrund von Temperatur und Emissionsgrad. Wie zu erwarten ist, hat eine Änderung um ein Watt pro Quadratmeter aufgrund der Beziehung zur vierten Potenz an den Polen größere Auswirkungen als in den Tropen.

Als Nächstes untersuchte ich den realen Zusammenhang zwischen der netto absorbierten Leistung (einschließlich Advektion) und der Temperatur. Abb. 3 zeigt das Ergebnis als Streudiagramm der Temperatur gegenüber der gesamten absorbierten Leistung:

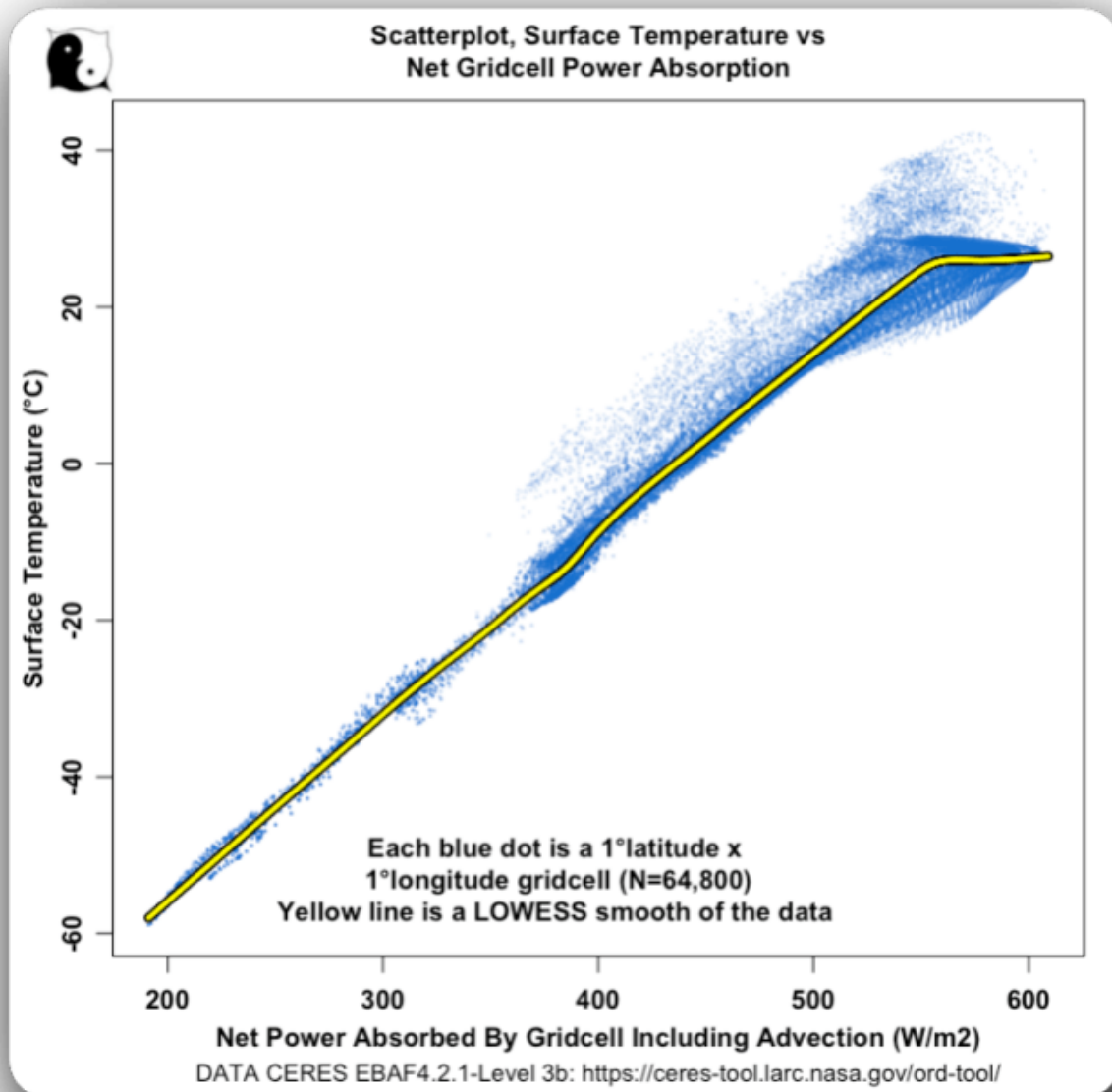


Abbildung 3. Streudiagramm: Temperatur im Vergleich zur Netto-Energieaufnahme der Gitterzelle (einschließlich Advektion)

Die Steigung (der Trend) der gelben Linie stellt die Empfindlichkeit der Temperatur in °C in Bezug auf die von der Gitterzelle aufgenommene Nettoenergie dar.

Dies ist eine äußerst interessante Grafik. Erstens ist die Steigung von der extremen Kälte am Südpol bis zu etwa 26 °C nahezu konstant. Dies ist überraschend, da die Stefan-Boltzmann-Gleichung vermuten lässt, dass die

Empfindlichkeit in den kalten Regionen größer sein müsste. Offensichtlich wird dies jedoch durch die Wärmeadvektion von den Tropen zu den Polen ausgeglichen.

Zweitens ist die Streuung sehr gering. Dies zeigt die enge Beziehung zwischen absorbierter Strahlung und Temperatur auf allen Strahlungsebenen.

Drittens flacht die Steigung bei den höchsten Temperaturen fast ab. Das bedeutet, dass sich die wärmsten Gitterzellen nicht weiter erwärmen, egal wie viel zusätzliche Energie ihnen zugeführt wird.

Um die Steigung besser zu verstehen, zeigt Abb. 4 die Steigung überlagert auf Abb. 3 zusammen mit dem Durchschnittswert:

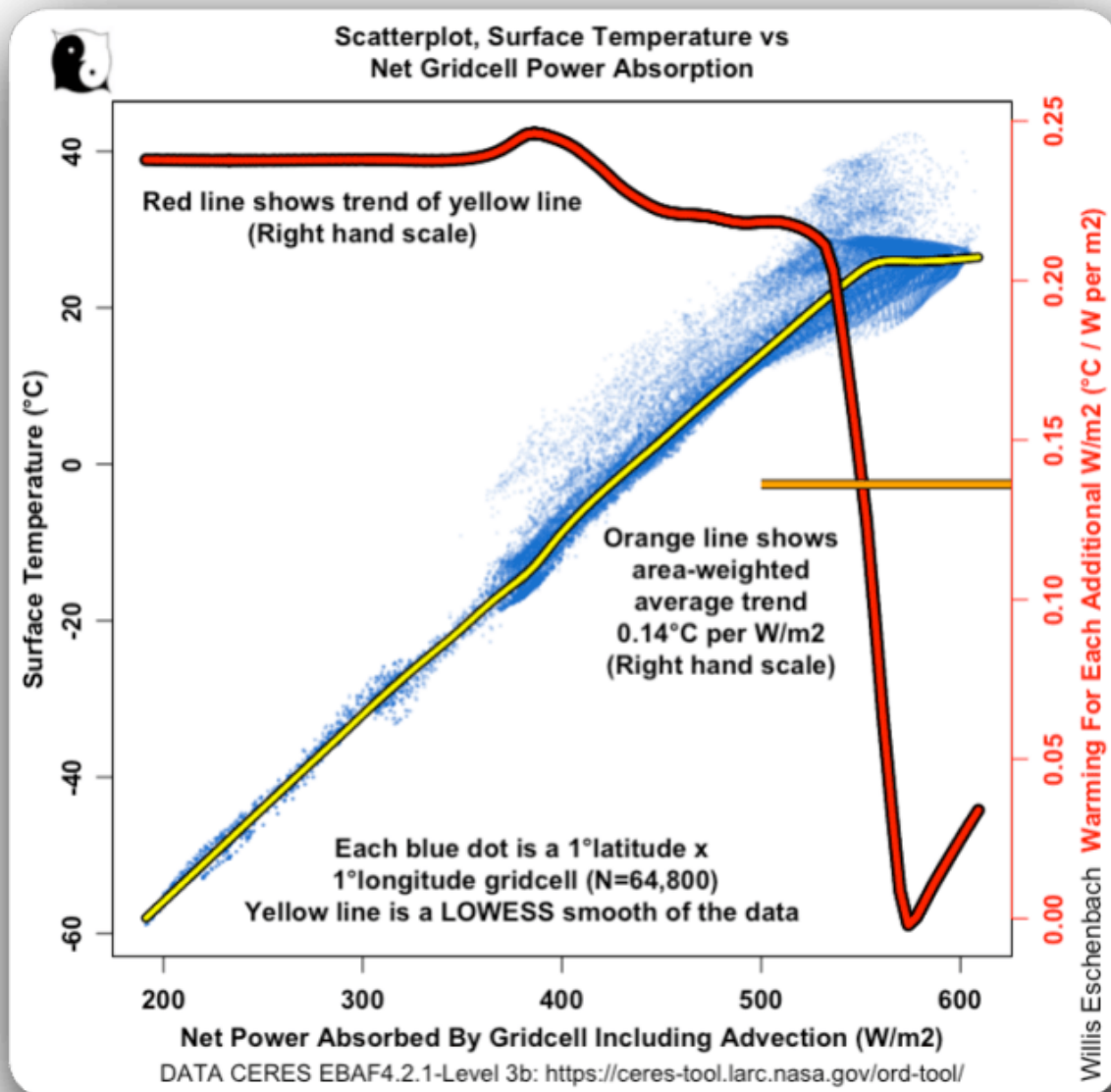


Abbildung 4. Wie in Abbildung 3, jedoch zeigt die rote Linie die

Steigung der gelben Trendlinie (rechte Skala) und den flächengewichteten durchschnittlichen Trend.

Es stellt sich eine Frage: Ist diese durchschnittliche Steigung von $\sim 0,14$ °C pro W/m^2 nur ein einmaliges Phänomen oder handelt es sich um ein dauerhafteres Merkmal des Erdklimas? Wird sie sich ändern, wenn die von jeder Gitterzelle absorbierte Gesamtleistung aus irgendeinem Grund zunimmt?

Um dies zu untersuchen, habe ich mir die CERES-Daten der einzelnen 25 Jahre angesehen. Zunächst einmal ist hier der Bereich der von den Gitterzellen absorbierten Leistung über die 25 Jahre dargestellt:

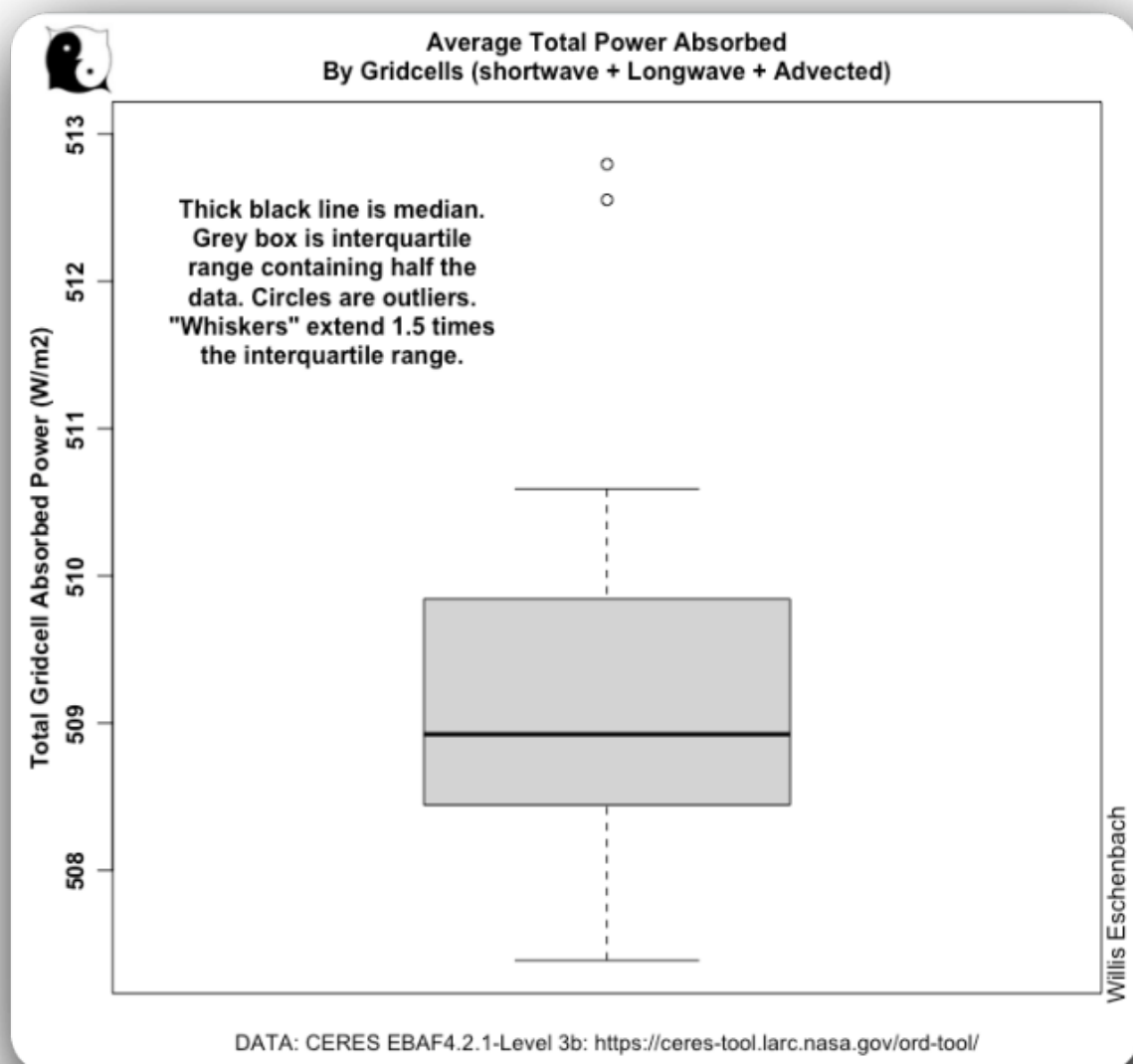


Abbildung 5. Boxplot: Spannweite der von den einzelnen Gitterzellen absorbierten Leistung in jedem der 25 Jahre der CERES-Daten.

Die Spannweite reicht von 507 W/m² bis 513 W/m², was einer Differenz von 6 W/m² entspricht. Dies ist weitaus mehr als die durch CO₂ zu erwartende Veränderung.

Jetzt folgt hier eine Darstellung, die zeigt, wie gering die Veränderung der erwarteten Empfindlichkeit der Temperatur gegenüber der Absorption von Strahlung an der Oberfläche ist:

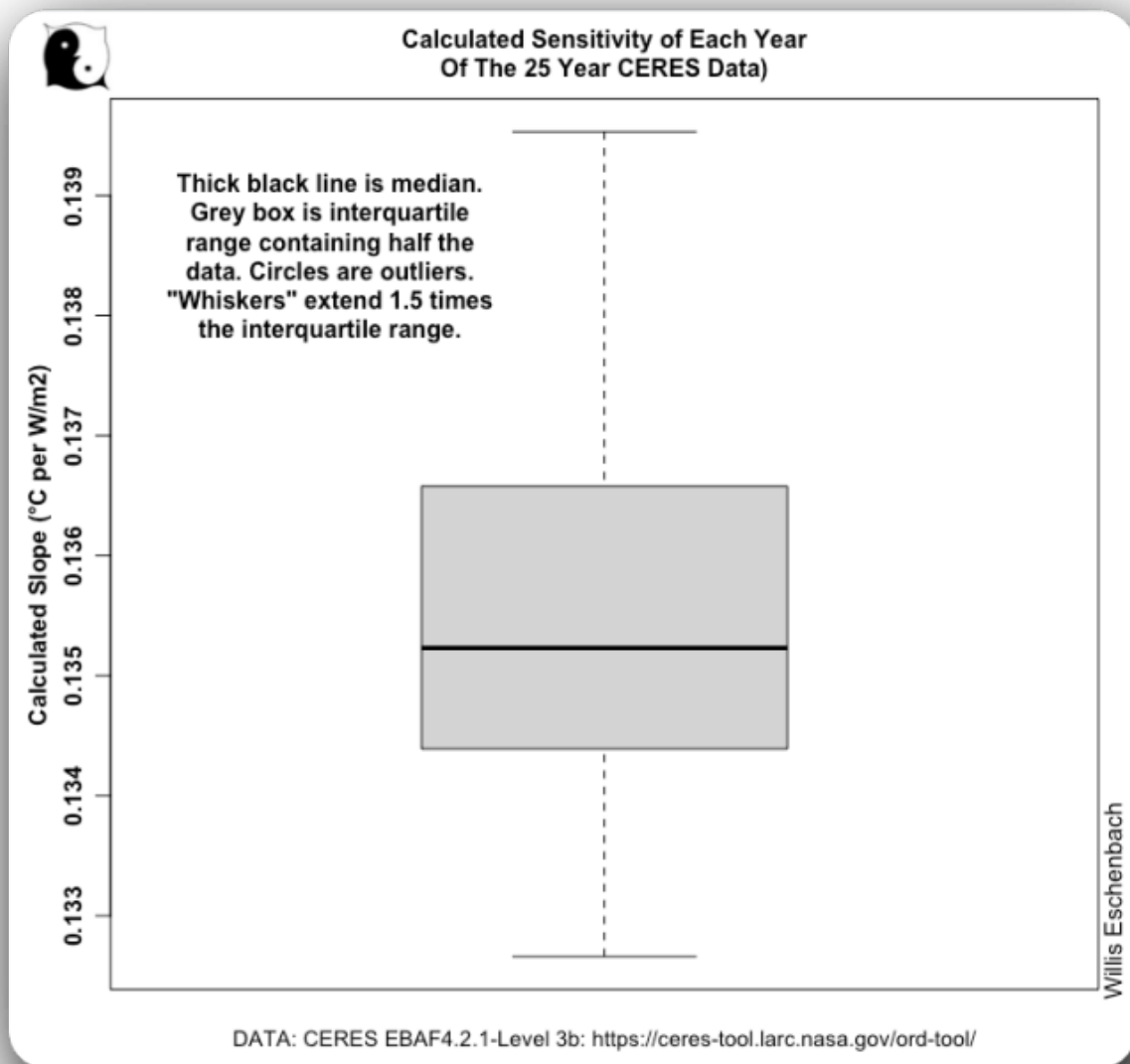


Abbildung 6. Boxplot: Spannweite der Temperaturempfindlichkeit für jedes der 25 Jahre der CERES-Daten.

Oben habe ich die Empfindlichkeit auf 0,14 °C pro W/m² gerundet. Obwohl die absorbierte Leistung um 6 W/m² variiert, schwankt die berechnete durchschnittliche Empfindlichkeit nur zwischen 0,133 und 0,140 °C pro W/m². Das ist so gering, dass es im Rauschen untergeht. Wir sehen also, dass dieser Zusammenhang zwischen Temperatur und der von den

Gitterzellen absorbierten Leistung ein stabiles Merkmal des Klimas ist.

Wie hängt das alles nun mit der Gleichgewichts-Klimasensitivität zusammen? Um diese zu berechnen, müssen wir uns ansehen, wie die Veränderungen der unglücklich benannten „Treibhausstrahlung“ mit der nach unten gerichteten Langwellenstrahlung an der Oberfläche zusammenhängen. Mit anderen Worten: Wenn die Treibhausstrahlung um 1 W/m^2 zunimmt, um wie viel nimmt dann die nach unten gerichtete Strahlung an der Oberfläche zu? Auch hier greife ich wieder auf die CERES-Daten zurück. Abb. 7 zeigt das Ergebnis:

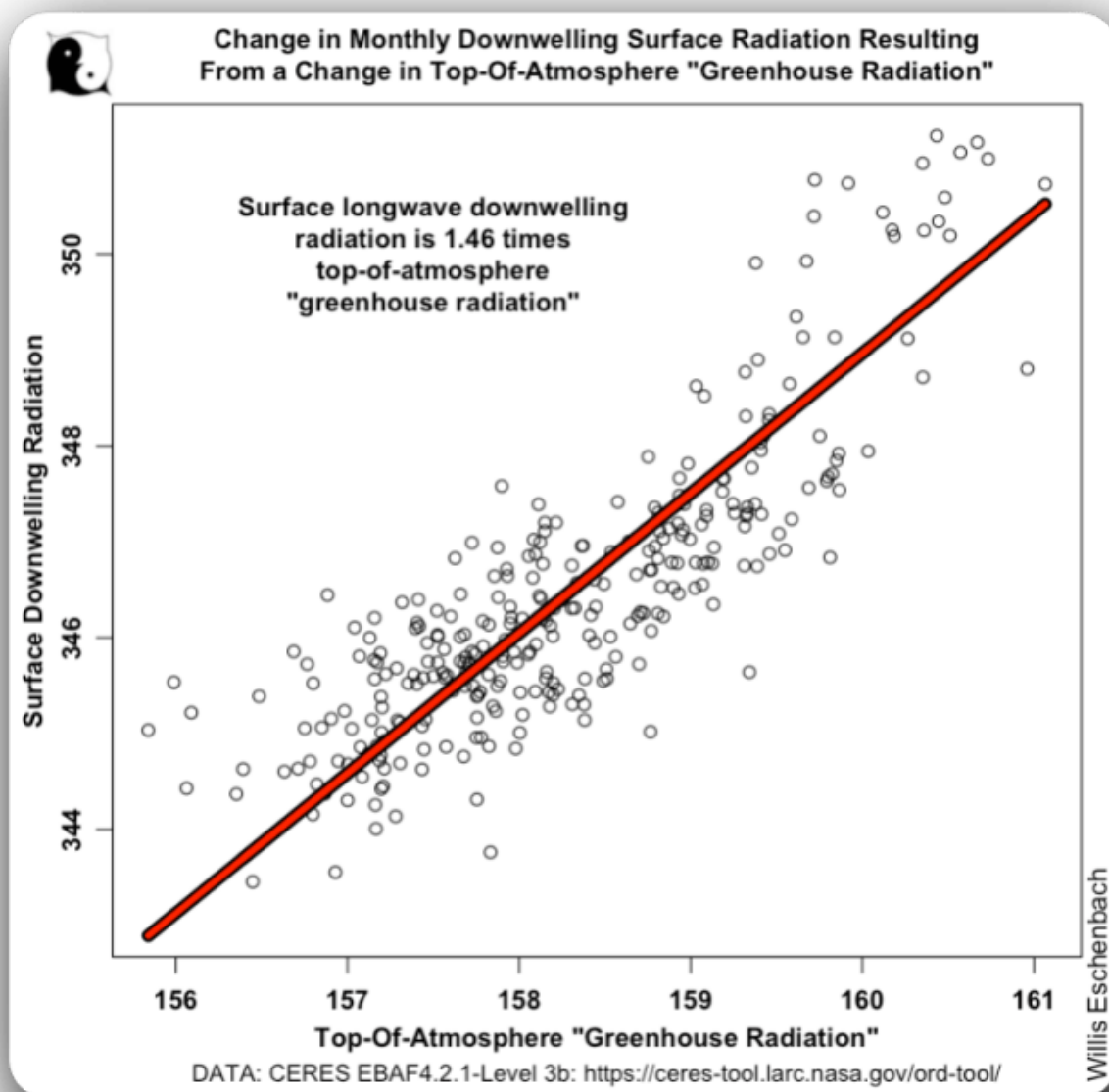


Abbildung 7. Streudiagramm: von der Erdoberfläche ausgehende langwellige Strahlung im Vergleich zur „Treibhausstrahlung“ an der Obergrenze der Atmosphäre (TOA).

Nun können wir alles zusammenfassen:

Änderung der Temperatur pro 1 W/m^2 Leistungsaufnahme der Gitterzelle = $0,14 \text{ }^\circ\text{C pro W/m}^2$

Änderung der nach unten gerichteten „Treibhausstrahlung“ an der Obergrenze der Atmosphäre (TOA) pro Verdopplung des CO_2 -Gehalts = $3,7 \text{ W/m}^2 \text{ pro } 2\times\text{CO}_2$

Änderung der Leistungsaufnahme pro Gitterzelle pro 1 W/m^2 „Treibhausstrahlung“ an der TOA = $1,46 \text{ W/m}^2 \text{ pro W/m}^2$

Erwartete Temperaturänderung durch eine Verdopplung des CO_2 -Gehalts =

$0,14 \text{ }^\circ\text{C pro W/m}^2 \text{ mal } 3,7 \text{ W/m}^2 \text{ pro } 2\times\text{CO}_2 \text{ mal } 1,46 \text{ W/m}^2 \text{ pro W/m}^2 = \mathbf{0.75^\circ\text{C per } 2\times\text{CO}_2}$

Unsicherheitsanalyse: Die Unsicherheit der Steigung lässt sich abschätzen, indem man die Standardabweichung der Steigungen der 25 einzelnen Jahre berechnet, aus denen sich die in Abb. 3 dargestellte durchschnittliche Steigung zusammensetzt. Diese beträgt $0,006 \text{ }^\circ\text{C pro W/m}^2$. Dies verdeutlicht auch die zeitliche Stabilität dieser Art von Analyse.

Die Unsicherheit der Änderung der nach unten gerichteten Oberflächenstrahlung beträgt $0,069 \text{ W/m}^2 \text{ pro W/m}^2$ [?*].

[?]* *Das habe ich nicht verstanden! A. d. Übers.*

Die Unsicherheit bei der geschätzten Zunahme des CO_2 -Antriebs durch eine Verdopplung des CO_2 -Gehalts beträgt $0,35 \text{ W/m}^2$.

Zusammen ergibt dies einen Endwert für die geschätzte Klimasensitivität von:

$0.76 \pm 0.08 \text{ }^\circ\text{C per } 2\times\text{CO}_2$

Ich weise darauf hin, dass ich in diesem [Beitrag](#) eine maximale geschätzte Klimasensitivität von $1,1 \text{ }^\circ\text{C pro } 2\times\text{CO}_2$ berechnet hatte. Ich bezeichnete diesen Wert als Maximum, da er den dämpfenden Einfluss von Wolken und anderen Phänomenen auf die Veränderungen nicht berücksichtigte.

Diese aktuelle Schätzung von $0,76 \text{ W/m}^2 \text{ pro } 2\times\text{CO}_2$ berücksichtigt nicht nur Wolken, sondern alle anderen Wetterphänomene, die die Empfindlichkeit beeinflussen. Ich würde daher sagen, dass es sich eher um eine bestmögliche Schätzung als um eine maximale Schätzung handelt.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2026/03/21/chasing-elusive-climate-sensitivity/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE