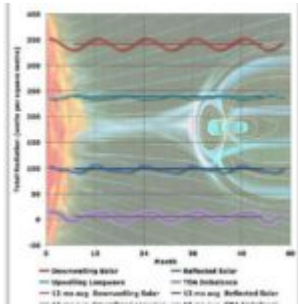


Genauigkeit, Präzision und ein Watt pro Quadratmeter



Ich war darauf gekommen, hierüber nachzudenken aufgrund einer seltsamen Behauptung in einer jüngst in dem Magazin Nature Climate Change erschienenen Studie mit dem Titel *Model-based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods* ([paywalled](#)) [etwa: Auf Modellen basierende Beweise der Wärmeaufnahme im tiefen Ozean während Perioden ohne Änderung der Temperatur an der Erdoberfläche]. Ich liebe dieses „Auf Modellen basierende Beweise“, aber das war es nicht, was meine Aufmerksamkeit erregte. Es war vielmehr das folgende Statement (Hervorhebung von mir):

*Es gab Jahrzehnte wie z. B. 2000 bis 2009, als beobachtete Zeitreihen der globalen Mitteltemperatur nur eine geringe Zunahme oder sogar einen leicht negativen Trend gezeigt haben (eine Stillstands-Periode). Das beobachtete Energie-Ungleichgewicht an der TOA für diese jüngste Dekade zeigt jedoch, dass ein Gesamtenergie-Fluss in das Klimasystem von etwa 1 W/m^2 irgendwo im System Erwärmung hervorrufen sollte. Hier analysieren wir Simulationen von Klimamodellen für das 21. Jahrhundert, die **ein konsistentes Strahlungs-Ungleichgewicht an der TOA von etwa 1 W/m^2 enthalten, wie im vergangenen Jahrzehnt beobachtet.** (Referenzen am Ende dieses Beitrags)*

Wie auch immer, hier kommen einige Neuigkeiten hinsichtlich jener Behauptung eines konsistenten TOA-Ungleichgewichtes aus dem CERES-Satelliten-Datensatz:

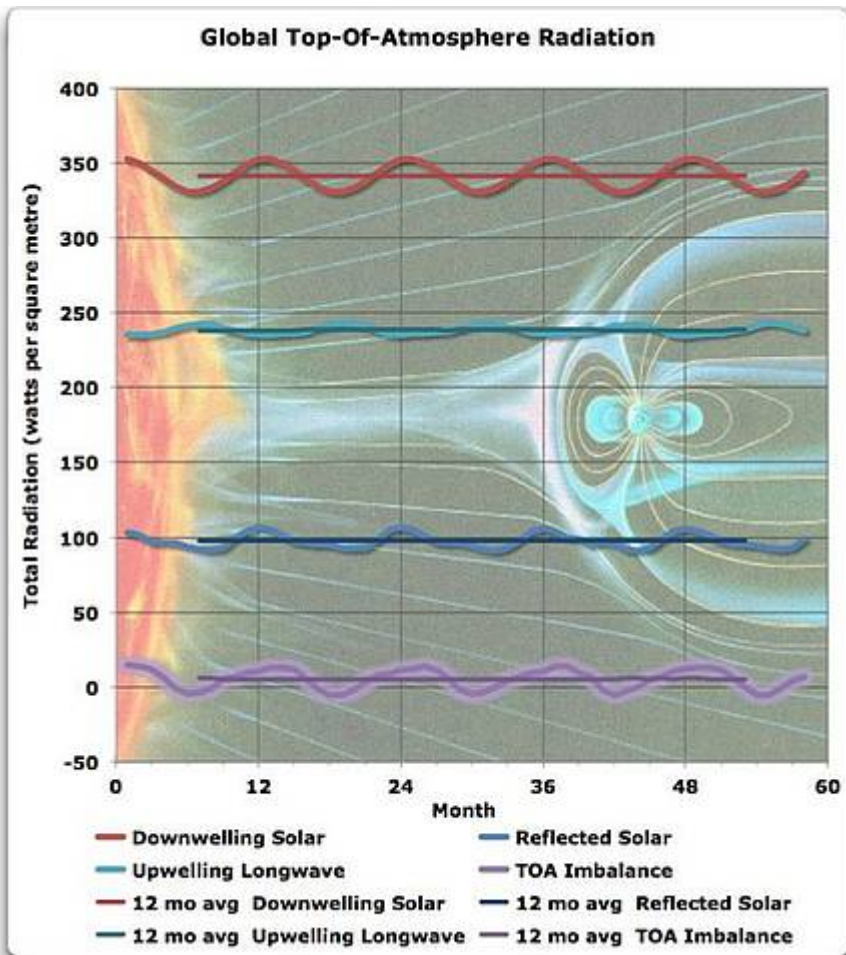


Abbildung 1: Gemessene Strahlungsniveaus an der TOA auf Basis der CERES-Satellitendaten, beginnend im Januar 2001. Die Zahlen auf der horizontalen Achse entsprechen den Monaten. Gezeigt werden die in das System eintretende Sonnenenergie (rote Linie), die das System verlassende Sonnenenergie (dunkelblaue Linie) und die das System verlassende langwellige (infrarote) Strahlung (hellblaue Linie). Das monatliche Gesamt-Ungleichgewicht an der TOA wird unten in violett gezeigt. Das gleitende 12-Monats-Mittel für jede Variable wird als dünne Linie gezeigt. Komischerweise sind die Variationen der ausgehenden langwelligigen Strahlung etwa 6 Monate außer Phase mit der einfallenden Strahlung. Alle Strahlungswerte sind positiv. Ungleichgewicht an der TOA ist Solareinstrahlung abzüglich reflektierte Solarstrahlung abzüglich ausgehende langwellige Strahlung, d. h. Inflow kleiner als Outflow [dieser Satz lautet im Original: *TOA Imbalance is solar less reflected solar less outgoing longwave, i.e. inflow less outflow*]. 12-Monats-Mittel variieren zu wenig, um als Änderungen in diesem Maßstab hervorzutreten.

Nun gibt es eine Reihe von interessanten Dingen in dieser Graphik. Da ist zunächst die Tatsache, dass zwar die jahreszeitlichen Variationen ziemlich groß sind, mehrere Zehner-Watt pro Quadratmeter, die jährlichen Variationen aber so klein sind. In diesem Maßstab kann man sie kaum erkennen. Also wollen wir den Maßstab ausdehnen und einen genaueren Blick lediglich auf die Variationen des Gesamt-Energie-Ungleichgewichtes an der TOA werfen (violette Linie in Abbildung 1 unten). Das Ergebnis zeigt Abbildung 2:

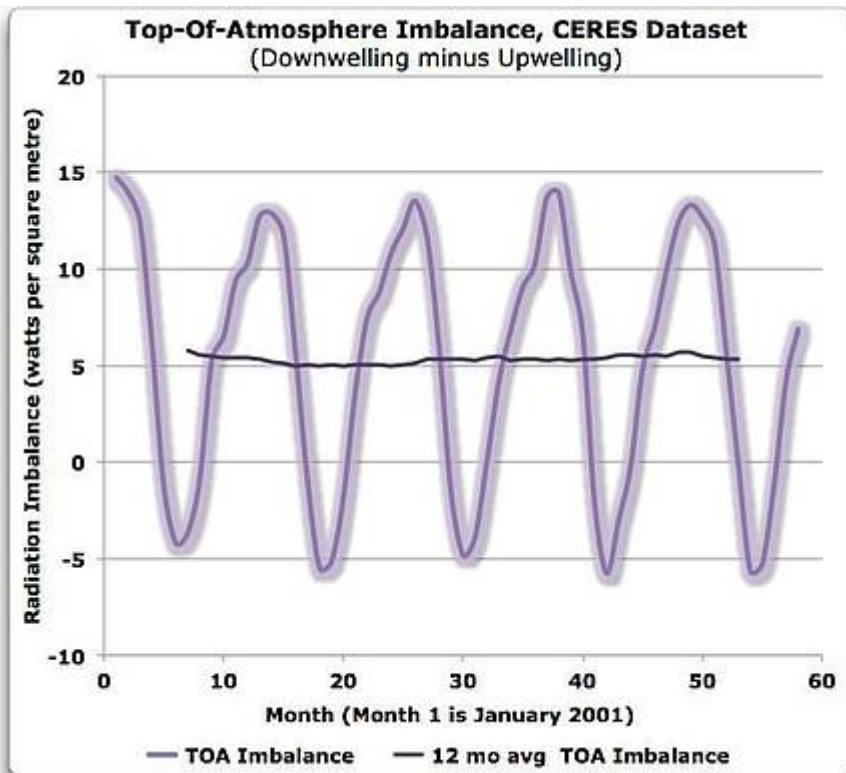


Abbildung 2: Das Gesamt-Energie-Ungleichgewicht „durch die Lupe“: Auf der horizontalen Achse sind die Monate aufgetragen. Die dünne Linie zeigt gleitende zentrierte 12-Monats-Mittel der Ungleichgewichts-Daten an der TOA. Alle Strahlungswerte sind positiv. Das TOA-Ungleichgewicht ist solare kleiner als reflektierte solare kleiner als ausgehende langwellige Strahlung, d. h. Inflow kleiner Outflow [Original siehe oben! Ich bin einfach nicht sicher, das richtig übersetzt zu haben. A. d. Übers.]

Hier fangen die kleinen Variationen in den gleitenden 12-Monats-Mittelwerten an, sich zu zeigen. Allerdings beträgt der Mittelwert selbst 5 W/m^2 ... das ist nicht gut. So viel Ungleichgewicht ist nicht glaubwürdig.

Das zeigt den Unterschied zwischen Präzision und Genauigkeit. Man sieht, dass die Messungen offensichtlich ziemlich präzise sind – das 12-monatige gleitende Mittel variiert nur um ein Dreiviertelgrad während des gesamten Zeitraumes.

Absolut sind sie jedoch nicht so genau; das wissen wir, weil sie sich nicht ausbalancieren ... und es ist sehr zweifelhaft, dass sich die Erde um 5 W/m^2 außer Gleichgewicht befindet. Das ist eine sehr große Menge, die sicher bemerkt worden wäre.

Nun habe ich schon zuvor darüber [berichtet](#), wie James Hansen mit diesem Problem umgeht. Er sagt:

Die durch die am weitesten entwickelte Generation von den Strahlungshaushalt messenden Satelliten erreichte Präzision wird gezeigt durch das planetarische Energie-Ungleichgewicht, gemessen durch CERES (Wolken und das Strahlungsenergie-System der Erde; Loeb et al. 2009). Darin zeigt sich ein mittleres 5-Jahres-Ungleichgewicht von $6,5 \text{ W/m}^2$ (Loeb et al. 2009). Weil

dieses Ergebnis nicht plausibel ist, wurden Faktoren zur Kalibrierung der Instrumente eingeführt, um das Ungleichgewicht auf ein solches Niveau zu senken, wie es die Klimamodelle simulieren, also $0,85 \text{ W/m}^2$ (Loeb et al. 2009).

Ergebnis: Hansen hat eher die Levitus-Daten als die CERES-Daten verwendet, um die Behauptungen eines Strahlungs-Ungleichgewichtes von etwa 1 W/m^2 zu stützen. Allerdings ist nicht alles verloren. Die Präzision der CERES-Daten ist sehr gut. In Abbildung 2 kann man zum Beispiel erkennen, wie sich das Strahlungs-Ungleichgewicht an der TOA von Jahr zu Jahr unterscheidet. Also dehnen wir den Maßstab noch einmal aus und werfen einen sogar noch genaueren Blick nur auf die gleitenden 12-Monats-Mittelwerte für alle vier Strahlungsmessungen in Abbildung 1.

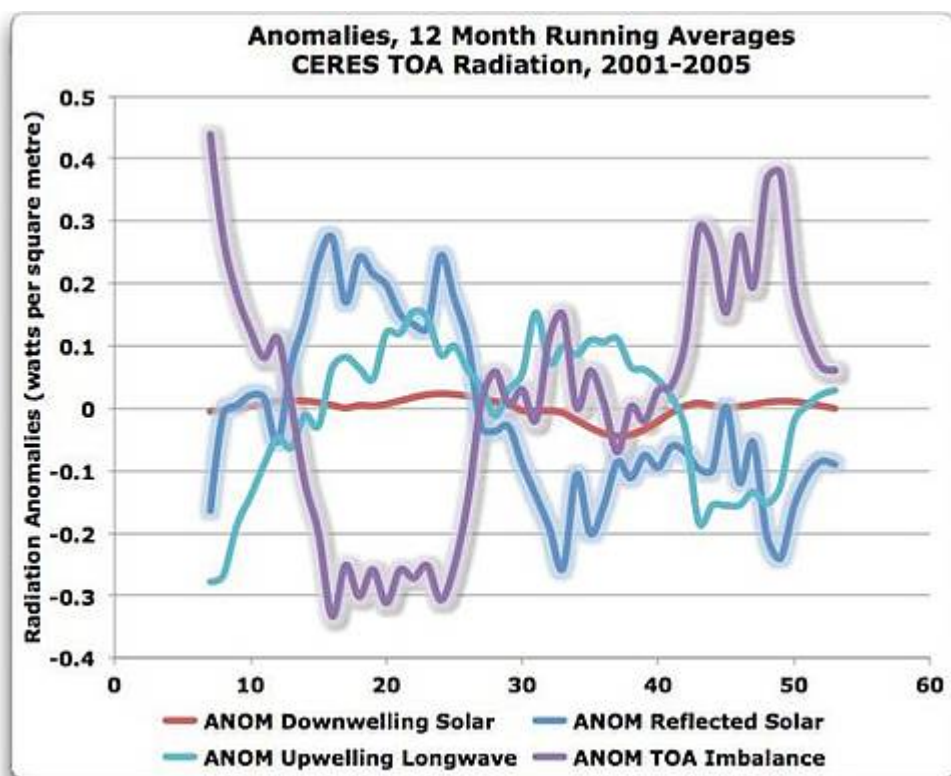


Abbildung 3: Ein noch näherer Blick, diesmal lediglich auf die kleinen Variationen der gleitenden 12-Monats-Mittel der CERES-Daten wie in Abbildung 1 dargestellt. Alle Strahlungswerte sind positiv. TOA-Ungleichgewicht ist solare kleiner als reflektierte solare kleiner als ausgehende infrarote Strahlung.

Jetzt beginnt man etwas zu erkennen.

Als erstes ist mir die Präzision der einfallenden Solarstrahlung aufgefallen (rote Linie). Wie zu erwarten war, ist die Sonne ziemlich stabil, die Strahlung variiert nur wenig im Vergleich zu den Variationen des reflektierten Sonnenlichtes und der langwelligen Ausstrahlung. Und die Beobachtungen reflektieren dies getreulich. Also scheint klar, dass ihre Instrumente zur Messung von Strahlung ziemlich präzise sind.

Als nächstes fiel mir auf, dass die Änderung des Ungleichgewichtes (violett)

stärker in Beziehung steht zur Änderung des reflektierten Sonnenlichtes (dunkelblau) als zu den Variationen der langwelligen Ausstrahlung. Ich habe das reflektierte Sonnenlicht in der Graphik oben (dunkelblau) besonders hervorgehoben. Das wird durch die Korrelation bestätigt. R^2 zwischen dem TOA-Ungleichgewicht und dem reflektierten Sonnenlicht beträgt 0,67; aber zwischen dem TOA-Ungleichgewicht und der langwelligen Ausstrahlung ist R^2 nur 0,07.

Es sieht wie ein wichtiges Ergebnis aus, dass das Ungleichgewicht hauptsächlich in Beziehung zur Albedo steht und dass sich wegen der Variation der Albedo die Variationen der reflektierten Sonnenenergie in der Größenordnung von \pm drei zehntel eines Watts innerhalb weniger Jahre bewegen.

Schließlich bin ich wieder einmal überrascht, wie insgesamt stabil das System ist. Zwölf-Monats-Mittel aller drei Variablen sind alle stabil bis zu etwa $\pm 0,3 \text{ W/m}^2$. Bei einer Gesamtzahl von 340 W/m^2 in beide Richtungen ist das plus oder minus eines Zehntelprozents ... Das nenne ich extrem stabil. Ja, bei längeren Reihen sieht man wahrscheinlich größere Schwingungen, aber das ist immer noch sehr stabil.

Und das bringt mich zurück zu dem Zitat aus der Studie, mit der ich diesen Beitrag begonnen habe. Sie sagen, dass es

... ein konsistentes Strahlungs-Ungleichgewicht gibt an der Obergrenze der Atmosphäre von etwa 1 W/m^2 , wie es im vergangenen Jahrzehnt beobachtet worden ist...

Nun, ihren Referenzen 2 und 3 zufolge basiert diese Behauptung auf dem Gedanken, dass die überschüssige Energie von den Ozeanen aufgenommen wird. Und diese Behauptung ist weit verbreitet wiederholt worden. Ich habe über diese Behauptungen [hier](#) etwas geschrieben. Die Behauptungen basieren alle auf den Levitus-Ozean-Temperaturdaten, welche eine zunehmende Wärme in den Ozeanen zeigen. Hier folgt meine Graphik des jährlich erforderlichen Antriebs zur Auslösung dieser Änderungen, die im ozeanischen Wärmegehalt nach Levitus gezeigt werden:

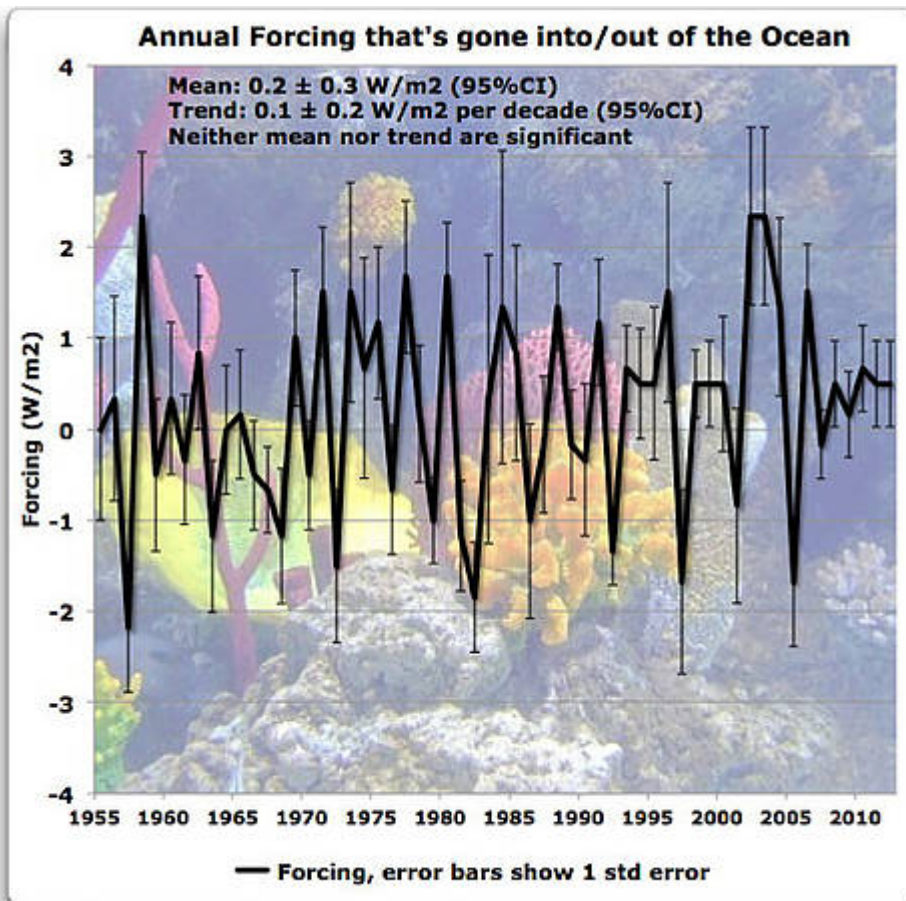


Abbildung 4: Jährlicher Antrieb in W/m^2 , der erforderlich ist, um die Energiemenge in den Levitus-Daten auszulösen, die in den Ozean eintritt oder aus diesem herauskommt. Die Daten stehen für die oberen 2000 Meter Wasser. Trotz der Verwendung von Mittelwerten sowohl von Hansen als auch in der hier besprochenen Studie sind weder das Mittel noch der Trend statistisch signifikant. Weiteres [hier](#).

Für unsere Zwecke möchte ich darauf hinweisen, dass es hinsichtlich des in den Levitus-Daten gezeigten Energiegewinns und -verlustes sehr großer Änderungen der Energiemenge von Jahr zu Jahr bedarf, die in den Ozean eindringen. Diese Energie muss von irgendwoher kommen, und sie muss irgendwohin verschwinden, wenn sie den Ozean wieder verlässt. Da der solare Input während der Periode in etwa konstant ist, muss diese Energie aus Änderungen entweder der langwelligen Ausstrahlung oder des reflektierten Sonnenlichtes stammen ... und wir haben präzise (obwohl vielleicht ungenaue) Daten von CERES hierfür. Glücklicherweise spielt das Fehlen von Genauigkeit in diesem Fall keine Rolle, weil wir an Änderungen von Jahr zu Jahr interessiert sind. Hierfür ist alles, was wir brauchen, Präzision, und die CERES-Daten sind sehr präzise.

Also ... jetzt möchte ich den in Abbildung 4 gezeigten Antrieb des ozeanischen Wärmegehaltes nach Levitus mit den CERES-Daten vergleichen. Abbildung 5 zeigt den Unterschied:

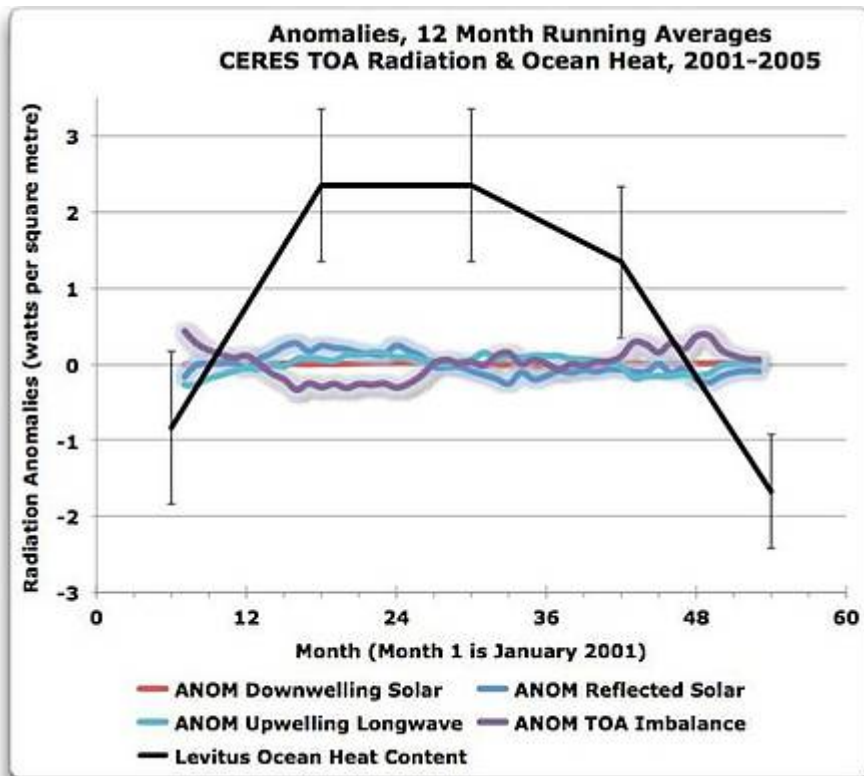


Abbildung 5: Antrieb aus den Levitus-Daten des ozeanischen Wärmegehaltes verglichen mit den CERES-Daten in Abbildung 3.

Wie man sieht, haben sie eine Reihe großer Probleme mit ihren Behauptungen hinsichtlich eines konsistenten Ungleichgewichtes von 1 W/m^2 während des letzten Jahrzehnts.

Erstens widersprechen dieser Behauptung die gleichen Daten, von denen sie behaupten, dass sie sie stützen. Da ist nichts, was „konsistent“ ist in den Levitus-Daten, es sei denn, man verwendet ein langzeitliches Mittel.

Das zweite Problem liegt in den Levitus-Daten selbst ... Woher kommt die Energie bzw. wohin geht sie? Während das TOA-Ungleichgewicht nach CERES nicht akkurat ist, ist es sehr präzise, und es würde eine Fluktuation in der Größenordnung zeigen, wie sie in den Levitus-Daten zum Ausdruck kommt. Wenn wirklich so viel Energie in den Ozean eindringen bzw. diesen verlassen würde, hätte der CERES-Satellit dies sicherlich beobachtet ... also wo ist sie?

Ich habe bereits [hier](#) beschrieben, was ich als unrealistische Fehlerbalken in den Levitus-Daten ansehe. Mein jüngster Vergleich mit den CERES-Daten ändert nicht meine frühere Schlussfolgerung, dass nämlich die Präzision der Levitus-Daten erheblich überschätzt wird.

Und zum Schluss, der Gedanke, dass wir über ausreichend präzise, genaue und vollständige Beobachtungen verfügen, um das TOA-Ungleichgewicht mit beispielsweise $0,85 \text{ W/m}^2$ zu berechnen ... nun, ich nenne es vorläufig und mathematisch optimistisch. **Wir haben einfach nicht die Daten, um die Energiebilanz der Erde mit einer Genauigkeit von $\pm 1 \text{ W/m}^2$ zu berechnen**, weder aus den Ozeanen noch von den Satelliten.

Weitere Beiträge von mir zu den CERES-Daten:

Observations on CERES TOA forcing versus temperature

Time Lags In The Climate System

A Demonstration of Negative Climate Sensitivity

CERES data: Unfortunately, when I go to verify it's still available, I get:

The Atmospheric Science Data Center recently completed a site wide redesign.

It is possible that the page you are looking for is being transitioned. Please try back later.

If the page you have requested is still not available, it may have been renamed or deleted.

It is recommended that you use the Search interface on the ASDC Web Site to find the information you were looking for.

Since I got there via the afore mentioned "Search interface on the ASDC Web Site", I fear we're temporarily out of luck.

[UPDATED TO ADD] I've collated the global and hemispheric monthly averages from R into a ".csv" (comma separated values) Excel file available [here](#).

Levitus data

REFERENCES FOR THE NATURE CLIMATE CHANGE ARTICLE:

2. Hansen, J. et al. *Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. Science* 308, 14311435 (2005).

3. Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. & Kiehl, J. *Earth's global energy budget. Bull. Am. Meteorol. Soc.* 90, 311323 (2009).

4. Trenberth, K. E. *An imperative for climate change planning: Tracking Earth's global energy. Curr. Opin. Environ. Sustain.* 1, 1927 (2009).

5. Trenberth, K. E. & Fasullo, J. T. *Tracking Earth's energy. Science* 328, 316317 (2010).

Link:

<http://wattsupwiththat.com/2013/08/30/accuracy-precision-and-one-watt-per-square-metre/>

Übersetzt von Chris Frey EIKE