

Das Energie-Ungleichgewicht der Erde: Teil I

geschrieben von Chris Frey | 13. März 2025

Kevin Kilty

Im Frühsommer letzten Jahres stieß ich bei einer Internetrecherche auf Googles KI Overview, das mir mitteilte, dass das Energieungleichgewicht der Erde (EEI), d. h. die Differenz zwischen der eingehenden Sonneneinstrahlung und der ausgehenden Sonneneinstrahlung plus langwelligem Infrarot, $0,5 \pm 0,47 \text{ W/m}^2$ beträgt. Wie die meisten Fakten, die die KI-Übersicht bietet, schenkte ich ihr damals wenig Beachtung, sondern legte sie in meinem Gedächtnis ab.

Später begann ich, über diese Zahl nachzudenken. Dabei fielen mir mehrere Dinge auf. Erstens schien mir die Unschärfe ein Versuch zu sein, den Wert nicht als $0,5 \pm 0,5$ zu schreiben und damit möglicherweise Null in das angegebene Konfidenzintervall einzuschließen. Schließlich ist es schwierig, davon zu sprechen, dass die Welt zu kochen beginnt, wenn das Konfidenzintervall für die Wärmequelle Null einschließt – d. h. überhaupt keine Wärmequelle. Zweitens ist die Zahl sehr klein, wenn man bedenkt, dass die einfallende Sonneneinstrahlung in den gemäßigten Zonen zu jeder Zeit über 1100 W/m^2 betragen kann und obendrein sehr variabel ist. Ich fragte mich: „Wie misst man diese Ungleichgewichtszahl und wie gut können wir ihre Unsicherheit charakterisieren?“ Ich erwartete zu erfahren, dass die EEI im Vergleich zur Variabilität des Klimas eine sehr kleine Zahl ist und dass ihre Größenordnung sehr unsicher ist.

Es ist schwierig, AI Overview dazu zu bringen, Dinge zu einem späteren Zeitpunkt zu wiederholen, und es hatte keinen Sinn, die ursprüngliche Quelle für den Wert von $0,5 \pm 0,47 \text{ W/m}^2$ zu finden. Schließlich fand ich den Ursprung dieses Wertes, erfuhr aber, dass er sich nicht auf den EEI an sich bezog. Vielmehr handelte es sich um ein Maß für die Veränderung des EEI von Jahrzehnt zu Jahrzehnt. Bei meiner Suche fand ich jedoch eine Reihe von EEI-Werten an verschiedenen Orten, die auf unterschiedliche Weise angegeben wurden:[1] Die Schätzungen reichten von $0,47 \text{ W/m}^2$ bis $1,0 \text{ W/m}^2$.

Ein Teil dieser Streuung, die sich in all diesen Werten zeigt, lässt sich dadurch erklären, dass die Zahlen unterschiedliche Zeiträume abdecken. Beispielsweise beziehen sich die von Von Stuckmann et al. [2] angegebenen Werte von $0,47 \text{ W/m}^2$ und $0,76 \text{ W/m}^2$ auf die Zeiträume 1971-2018 bzw. 2010-2018. Nichtsdestotrotz ist dies eine ziemlich große Streuung der Schätzungen für das Energieungleichgewicht, wenn man bedenkt, dass eine Person es als „die grundlegendste Messgröße, die die wissenschaftliche Gemeinschaft und die Öffentlichkeit als Maßstab dafür kennen muss, wie gut die Welt bei der Aufgabe, den Klimawandel unter

Kontrolle zu bringen, vorankommt...“ beschreibt.

Darüber hinaus sind die Unsicherheitswerte für diese sehr wichtige Zahl unklar. Handelt es sich um Werte mit einer Standardabweichung, 95 % Konfidenzintervalle, 90 % Werte oder etwas anderes? Es stellt sich heraus, dass sie eine Mischung sind. Da einige Leute behaupten, dass der EEI mit der Zeit steigt, handelt es sich dabei um Mittelwerte über einen bestimmten Zeitraum plus Unsicherheit, die verzögert werden, oder sind sie zu einem bestimmten Zeitpunkt aktuell? Es gibt viele Fragen zu beantworten.

Schauen wir mal, was wir in einigen ausgewählten Literaturrecherchen herausfinden können.

Bilanzierung der Energie

Die Energiebuchhaltung der Erde unterscheidet sich nicht sonderlich von der doppelten Buchhaltung. Es gibt ein Einnahmenkonto (eingehende Sonneneinstrahlung) und die Ausgaben für die ausgehende langwellige und reflektierte Sonneneinstrahlung. In unserem Energiebuch gibt es ein Aktiva-Konto, auf dem ich alle Energiezuführungen für nützliche Dinge wie die Erwärmung des Planeten oder seine Begrünung verbuchen würde, das die Alarmisten aber vielleicht als Passiva-Konto bezeichnen würden, und ein Energie-Eigenkapital-Konto der Erde.

Wie auch immer wir diese Konten nennen, unser System der doppelten Buchführung muss ausgeglichen sein, und dies sollte zwei unabhängige Möglichkeiten bieten, die Energiebilanz oder deren Fehlen zu bestimmen. Bei der einen Methode betrachten wir die Energieströme, die eine Grenze auf Satellitenebene überschreiten. Bei der anderen Methode betrachten wir alle Orte, an denen sich Energie angesammelt zu haben scheint. Im Prinzip sollten die beiden Verfahren innerhalb der jeweiligen Unsicherheit die gleichen Zahlen liefern.

Größenordnung und Unsicherheit

Da das Energieungleichgewicht eine von vielen Messgrößen ist, die als Argument für Veränderungen in der Lebensweise, bei Produkten und in der Wirtschaft insgesamt herangezogen werden, sollte es besser nachgewiesen werden, dass es sich um eine sehr sichere Angelegenheit handelt. Das bedeutet zumindest, dass sie genau gemessen werden muss.

Die Unsicherheit einer Messung ist nicht nur eine Frage der Zufälligkeit eines gemessenen Prozesses oder der Zufälligkeit einer Stichprobe in einer Population. Sie muss alle Aspekte einer Messung einbeziehen, von der inhärenten Zufälligkeit des zu messenden Prozesses über Unsicherheiten bei der Konstruktion der Instrumente, der Kalibrierung, der Drift, der Installation (man denke hier an das Projekt der Oberflächenstationen), der Algorithmen und der Datenreduktion. Wenn ein stationärer Prozess wirklich zufällig abgetastet wird, kann die Streuung

der Messungen alle Unsicherheitskomponenten umfassen [3]. Ausnahmen sind systematische Fehler und Verzerrungen. Fehler und Verzerrungen sind besonders problematisch, wenn es sich um spezielle oder einzigartige Instrumente und Plattformen handelt, da diese Geräte, die vielleicht nur aus einigen wenigen Einheiten bestehen, kein statistisches Ensemble ergeben und die Verzerrungen in den Messstatistiken allein wahrscheinlich nicht erkannt werden.

Henrion und Fischoff stellten insbesondere fest, dass Messungen physikalischer Konstanten dazu neigten, sich nahe beieinander zu gruppieren, selbst wenn spätere und bessere Messungen zeigten, dass diese Gruppierung extrem unwahrscheinlich war [4]. Sie vermuteten, dass dies ein Artefakt der Soziologie der physikalischen Wissenschaft ist. In gewissem Sinne bestand ein Konflikt zwischen dem Wunsch, die endgültige Arbeit zu erstellen (geringe Unsicherheit) und der Gewissheit, richtig zu liegen (größere Vertrauensbereiche), wobei erstere oft den Sieg davontrug. Eine weitere Erkenntnis war, dass die Wissenschaftler die Voreingenommenheit schlecht einschätzen und dass vermeintlich unabhängige Forschungsgruppen zu einem Wert gedrängt werden können, der von der einflussreichsten Gruppe unter ihnen gefunden wurde (Bandwagon-Effekt). In der Klimawissenschaft wird ein ähnlicher Anstoß durch den Wunsch erzeugt, schockierende Ergebnisse zu produzieren – ein Effekt, den man als „Es ist schlimmer als wir dachten“ bezeichnen könnte.

Direkte Messungen des Energieflusses

Eine direkte Messung des Energieungleichgewichts ist durch Satellitenmessungen möglich. Das Experiment „Clouds and the Earth's Radiant Energy System“ (CERES) der Nasa umfasste sieben verschiedene Radiometer, die ab 1997 auf fünf verschiedenen Satelliten flogen. Diese Radiometer ermöglichen die direkte Messung der eingehenden Sonnenstrahlung, der ausgehenden Sonnenstrahlung und des ausgehenden LWIR. Zwei dieser Satelliten hatten ihr Betriebsende im Jahr 2023, wurden aber danach weiter betrieben. Sowohl Terra als auch Aqua leiden jetzt unter Treibstoff- und Energiemangel. Ein neues Mitglied dieses Experiments, Libera, soll Anfang 2028 in Betrieb genommen werden. Dieses Programm hat im Laufe der Jahre einige interessante Dinge entdeckt.

Auf einer Konferenz im September 2022 fasste Norman G. Loeb die CERES-Mission, ihre Ergebnisse und einige Konsequenzen aus diesen Erkenntnissen zusammen [5]: Demnach hat sich das Energieungleichgewicht der Erde von $0,5 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ in den ersten zehn Jahren dieses Jahrhunderts auf $1,0 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ in jüngster Zeit verdoppelt. Dieser Anstieg ist das Ergebnis eines Anstiegs der absorbierten Sonnenstrahlung um $0,9 \pm 0,3 \text{ W/m}^2$, der teilweise durch einen Anstieg der ausgehenden langwelligeren Strahlung um $0,4 \pm 0,25 \text{ W/m}^2$ ausgeglichen wird.

Was bedeuten diese Unsicherheitsschätzungen und wie glaubwürdig sind sie? Zur Beantwortung des „Was“-Teils dieser Frage ist das Verfahren Nr. 20 in der Powerpoint in Abbildung 1 wiedergegeben.

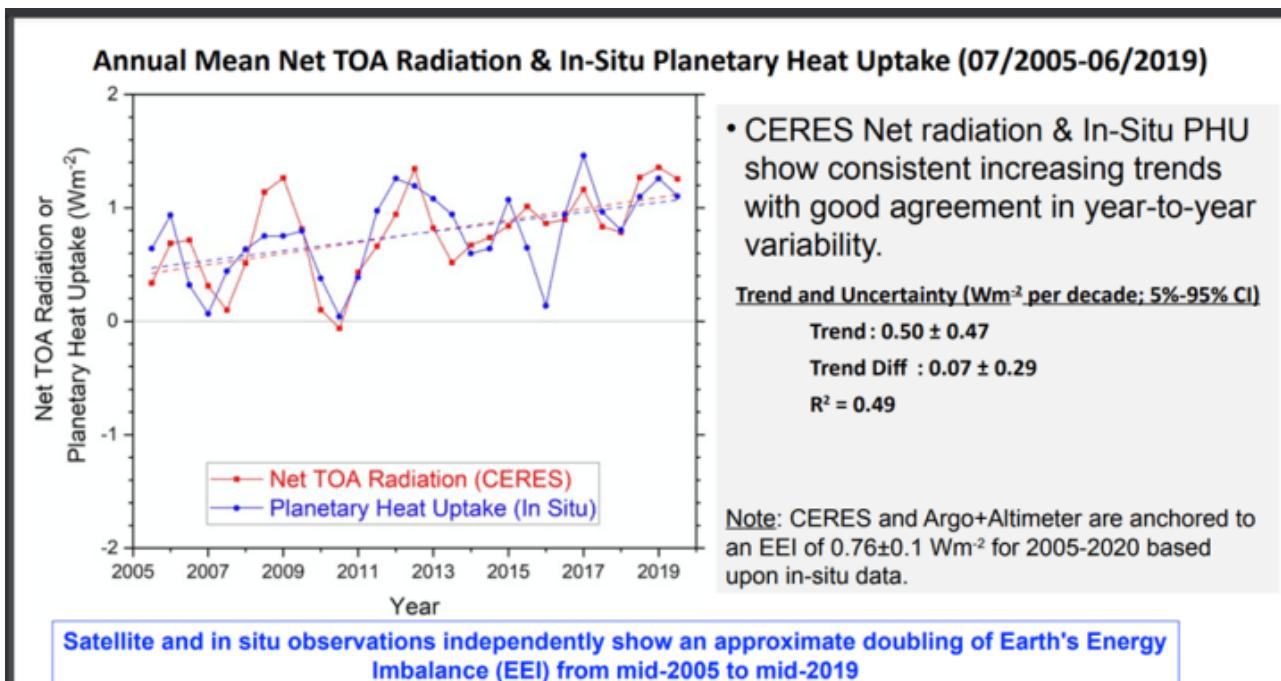


Abbildung 1. Aus Loeb, N. 2022 [5].

Dies zeigt einen Vergleich direkter Messungen der Ein- und Ausstrahlung mit der planetarischen Wärmeaufnahme, auf die ich im Folgenden eingehen werde, die aber auf eine unabhängige, indirekte Messung des Strahlungsungleichgewichts hinausläuft. Die beiden Messgrößen liegen mit $0,5 \pm 0,47$ W/m² pro Jahrzehnt eng beieinander. Diese Folie offenbart die Quelle der Zusammenfassung von AI Overview! Die Unsicherheit wird als Konfidenzintervall (5 %, 95 %) angegeben; $\pm 0,47$ entspricht also einer Standardabweichung von $\pm 0,29$. Was in diesem Schaubild gut aussieht, ist die Übereinstimmung in dem, was wir als zwei unabhängige Schätzungen des Energieungleichgewichts vermuten.

Weitere Untersuchungen zeigen, dass diese Übereinstimmung nicht so ist, wie sie scheint. Unabhängig davon, auf welchen Abdeckungsfaktor sich diese \pm -Zahlen beziehen (\pm , $2\pm$, 90 % CI, 95 % CI usw.), würde ein Verfahren, das sich aus der Veränderung der Sonnenenergie abzüglich der ausgehenden Langwelle zusammensetzt, $0,5 \pm 0,39$ W/m² ergeben; dies kombiniert mit den $0,5 \pm 0,2$ W/m² eines vorangegangenen Jahrzehnts würde $1,0 \pm 0,44$ W/m² ergeben, nicht $1,0 \pm 0,2$ W/m². Es sei denn, es besteht eine negative Korrelation zwischen ihnen, die nie erklärt wird. Ich hatte echte Schwierigkeiten, die Zahlen, die ich gelesen habe, miteinander in Einklang zu bringen. Und es gibt noch mehr.

Ich begann meine Nachforschungen über die Unsicherheit des Energieungleichgewichts, indem ich mich auf einen Sonderband des JGR vom Mai 1986 bezog, der sich mit der Instrumentierung des Vorgängers von CERES, dem Earth Radiation Budget Experiment (ERBE), befasste [6]. Dort heißt es:

„Diese Instrumente sind so ausgelegt, dass sie Strahlungsfluss- und Strahlungsexitanzmessungen mit einer Messunsicherheit von besser als 1 %

über eine zweijährige Umlaufzeit liefern.“ [7]

Es gibt zwei Tabellen in dieser Studie, die für unsere Frage der Unsicherheit relevant sind. Tabelle 1 in dieser Studie zeigt die sehr großen Schwankungen des Ungleichgewichts von mehreren zehn W/m^2 , die auf die interne Klimavariabilität zurückzuführen sind – Schwankungen, die weitaus größer sind als die glaubwürdige EEI aufgrund von Antrieben. Tabelle 2 in dieser Studie enthält eine Liste bekannter und unbekannter Abweichungen. Die bekannten Abweichungen reichen von -2 bis +7 W/m^2 , und der aus Satellitenmessungen gewonnene EEI ist um einen Faktor von vielleicht fünf zu groß, um glaubwürdig zu sein.

Während sich die intrinsische Unsicherheit der Instrumente von ERBE zu CERES offenbar nicht wesentlich verbessert hat, wurden die Messungen des Energiebudgets durch Korrelationen zwischen CERES-Instrumenten und anderen Weltraumplattformen sowie durch Bodenmessungen verbessert. Unabhängig von der Cleverness dieser Systeme bringen sie Unsicherheiten von anderen Instrumenten, Plattformen und Algorithmen mit sich, die in die Ergebnisse einfließen sollten. Ich hätte mir gewünscht, irgendwo eine vollständige Analyse der Unsicherheiten zu sehen, aber ich habe sie nicht gefunden.

Besorgnis erregender ist jedoch die Diskussion über Algorithmen zur Verbesserung dieses Umstandes für die Zwecke der Klimamodellierung, indem in einem Fall Anpassungen der LWIR-Strahlungsdichtemessung und auch verschiedene Anpassungen der SW-Strahlungsdichtemessungen vorgenommen wurden, um einen EEI zu erhalten, der mit den Schätzungen der planetarischen Wärmeaufnahme kompatibel ist. Die damals vorgenommenen Anpassungen waren nicht geringfügig, sondern um einen Faktor zwei größer als der EEI selbst,[9] mit anderen Worten: Die Schätzungen der Wärmeaufnahme in den Ozeanen und der Atmosphäre haben die Satellitenmessungen in eine bevorzugte Richtung gedrängt. Die beiden Verfahren zur Schätzung des EEI sind nicht unabhängig voneinander. Wir haben nicht wirklich ein System der doppelten Buchführung.

Planetarische Wärme-Aufnahme

Die Orte auf der Erde, an denen überschüssige Energie gespeichert werden könnte, sind die folgenden: 1) Temperaturänderung der Atmosphäre unterhalb der Tropopause, 2) Temperaturänderung der Ozeane oberhalb von 2000 m Tiefe, 3) Temperatur der Bodenoberfläche/Unterfläche und 4) Änderung der Temperatur der Kryosphäre und Phasenwechsel. Ein aktueller Überblick über all diese Daten und Ergebnisse findet sich in von Schuckmann et al. (2023) [2] Einige Schätzungen sind wirklich bemerkenswert mit einer behaupteten relativen Unsicherheit von unter 10 % (Unsicherheit geteilt durch Erwartungswert), wenn man bedenkt, dass 2) bis 4) Orte sind, die einer direkten Messung entzogen sind.

Die Autoren scheinen jedoch zu erkennen, dass ihre Unsicherheitsschätzungen nicht so rosig sind. Sie sagen:

„Die Ensemble-Streuung gibt einen Hinweis auf die Übereinstimmung zwischen den Produkten und kann als Indikator für die Unsicherheit verwendet werden. Die Grundannahme für die Fehlerverteilung ist Gauß mit einem Mittelwert von Null, der durch ein Ensemble verschiedener Produkte angenähert werden kann. Sie berücksichtigt jedoch keine systematischen Fehler, die zu Verzerrungen innerhalb des Ensembles führen können, und stellt nicht die gesamte Unsicherheit dar.“

Dennoch wird uns im vielleicht optimistischsten Fall gesagt, dass die gegenwärtige Rate der Wärmeaufnahme $0,76 \pm 0,1 \text{ W/m}^2$ [2] oder vielleicht sogar $0,77 \pm 0,06 \text{ W/m}^2$ [10] beträgt. Diese Zahlen ergeben sich aus der Summe der Beiträge 1) bis 4) in unserer Liste; allerdings stammen 89 % allein aus dem Ozean. Die angegebene Unsicherheit sollte sich zumindest aus der Addition der jeweiligen Unsicherheiten der Beiträge in Quadratur ergeben, als ob es sich bei diesen Daten um unkorrelierte, unabhängige und unvoreingenommene Schätzungen der gleichen Sache handelt.

Ocean heat content linear trends (Wm^{-2})					
	0–300 m	0–700 m	0–2000 m	700–2000 m	0–bottom
1960–2020	0.14 ± 0.04	0.21 ± 0.1	0.32 ± 0.1	0.11 ± 0.04	0.35 ± 0.1
1971–2020	0.18 ± 0.1	0.27 ± 0.1	0.40 ± 0.1	0.13 ± 0.03	0.43 ± 0.1
1993–2020	0.24 ± 0.1	0.37 ± 0.1	0.55 ± 0.2	0.18 ± 0.04	0.61 ± 0.2
2006–2020	0.27 ± 0.1	0.39 ± 0.1	0.62 ± 0.2	0.23 ± 0.1	0.68 ± 0.3
					0.8

Abbildung 2. Speicherung des Energieungleichgewichts im Ozean. Aus K. von Schuckmann et al. (2023) Heat stored in the Earth system 1960–2020, © Author(s) 2023. Dieses Werk wird unter der Creative Commons Attribution 4.0 License verbreitet.

Die gigantische Arbeit von Struckmann et al. [2], an der 68 Co-Autoren aus 61 Institutionen beteiligt sind, ist eine Lawine von Daten, die in verschiedenen Einheiten, über unterschiedliche Zeiträume und aus zahlreichen Quellen und Untergruppen von Quellen stammen. Es ist äußerst schwierig, sie zu sortieren. Abbildung 2 zeigt nur ein Beispiel für die Unstimmigkeiten, die ich in der Zusammenstellung sehe. Vergleichen Sie z. B. die im Ozean gespeicherte Wärme von 1960 bis 2020 mit der von 1993 bis 2020. Der Tiefenbereich 0–2000 m setzt sich sicherlich aus der Summe von 0–700 m und 700–2000 m zusammen, wie die Summen in beiden Fällen deutlich zeigen. Die Unsicherheitsangaben sind jedoch nicht miteinander zu vereinbaren. In einem Fall ergeben die Unsicherheiten von 0,1 und 0,04 zusammen 0,1, im anderen Fall 0,2. Vielleicht gibt es eine Kovarianz zwischen den beiden Tiefenbereichen; allerdings zeigt Abbildung 2 in Von Schuckmann et al [2] eine offensichtliche positive Korrelation in allen Tiefenbereichen – etwas, das die Unsicherheit verstärken und nicht verringern sollte.

Verstärkung der EEI

Ein hervorstechendes Thema all dieser Arbeiten zum Energieungleichgewicht ist, dass sich die Wärmeaufnahme beschleunigt. Loeb et al [10] weisen auf Satellitenbeobachtungen hin, die zeigen, dass sich das Energieungleichgewicht von $0,5 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ im Zeitraum 2000 bis 2010 auf $1,0 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ im Zeitraum 2010 bis 2020 verdoppelt hat – was ich als dekadische Schätzung bezeichnen würde. Der Anstieg ist das Ergebnis von $0,9 \pm 0,3 \text{ W/m}^2$ mehr absorbiert Sonnenstrahlung, die teilweise durch einen Anstieg der ausgehenden langwelligen Strahlung um $0,4 \pm 0,25 \text{ W/m}^2$ ausgeglichen wird.

Wieder einmal habe ich Schwierigkeiten, all dies in Einklang zu bringen. Nach den Regeln der Addition unkorrelierter Schätzungen würde man aus der Zunahme der Sonneneinstrahlung und der Zunahme der ausgehenden LWIR-Strahlung einen Wert von $0,5 \pm 0,4 \text{ W/m}^2$ ableiten, den Loeb [5] jedoch mit einem Konfidenzintervall von 5-95 % als $0,5 \pm 0,47 \text{ W/m}^2$ angibt. Das ist rätselhaft.

Von Struckmann et al. [2] schlagen als äquivalente dekadische Verfahren $0,48 \pm 0,1 \text{ W/m}^2$ und $0,76 \pm 0,2 \text{ W/m}^2$ vor (die Unsicherheiten bezeichnen sie als 90% Konfidenzintervall, 5%-95%), was, wenn man den angegebenen Unsicherheiten Glauben schenken darf, weitaus geringer ist als das, was Loeb et al. [10] berechnet. Lässt man jedoch alle Unterschiede außer Acht, so ist es offensichtlich, dass alle Gruppen Beweise für ein beschleunigtes Ungleichgewicht vorlegen. Aber ist dies wirklich erwiesen?

Ich beschloss, ein kleines Experiment mit dem uahncdn_lt_6.0-Datensatz (University of Alabama, Huntsville) durchzuführen. Ich verwendete eine lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate. Der lineare Anstiegskoeffizient von Monat zu Monat beträgt $0,0013 \text{ C}$, und das 95 %-Konfidenzintervall liegt zwischen $0,0012$ und $0,0014 \text{ C/Monat}$. Abbildung 4 zeigt dies. Wie Dr. Spencer in seinem Blog geschrieben hat, ist diese Änderung von $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ pro Jahr das Ergebnis eines erhöhten CO₂-Antriebs, und alles, was davon abweicht, ist ein Einfluss der Klimavariabilität.

Eine genaue Betrachtung von Abbildung 3 zeigt, dass die Daten nicht zufällig um die Best-Fit-Linie gestreut sind. Ihr Trend scheint in der Nähe des Ursprungs eher flach zu sein, und an mehreren Stellen befinden sich etwas mehr Daten unterhalb als oberhalb der Linie. Einige Extremwerte treten am Ende der Zeitreihe auf. Diese Form lässt auf eine Krümmung wie einen quadratischen Term schließen.

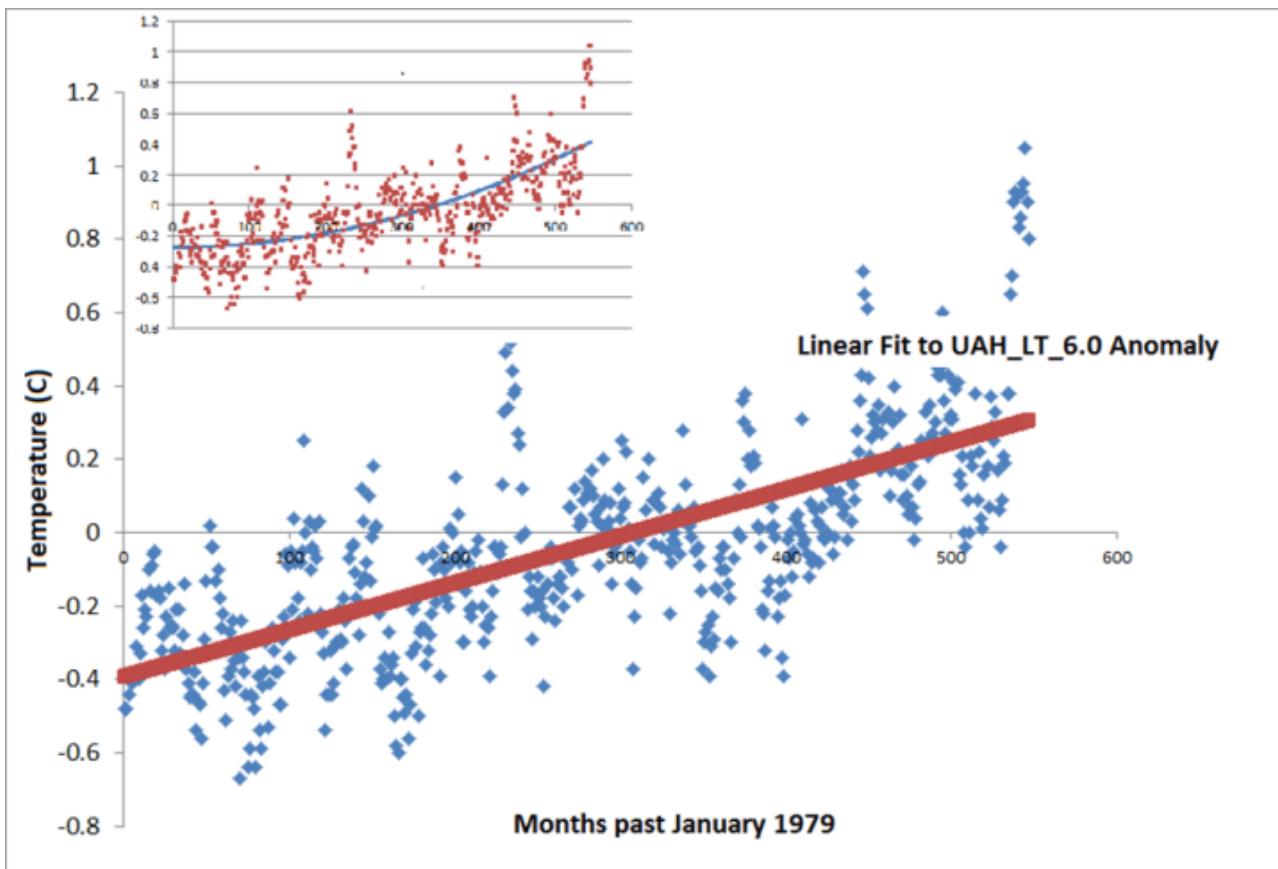


Abbildung 3

Also habe ich eine quadratische Funktion nur an die Daten angepasst (kleines Diagramm oben links in Abbildung 3) und erhielt eine anscheinend bemerkenswert gute Anpassungskurve, die am Ursprung eine Nullneigung aufweist und zum Ende hin monoton ansteigt. Ah! Ein Beweis für einen sich beschleunigenden Trend?

Nicht ganz.

Der Anteil der Variation, der durch eine Linie erklärt wird, liegt bei 51 %, durch eine quadratische bei 53% – ein unbedeutender Unterschied. Der Standardfehler der Residuen ist nicht anders ($0,198$ gegenüber $0,195$), und man vermutet, dass die Daten nicht ganz die Anforderung erfüllen, unabhängig und identisch über ihren Bereich verteilt zu sein. Tatsächlich lässt sich leicht zeigen, dass diese Daten über mehrere Zeitskalen hinweg korreliert sind, und die Korrelation allein könnte einem einen Trend vorgaukeln, der nicht vorhanden ist. Diese Tendenz zu einer Abflachung, gefolgt von einem kurzen, aber starken Anstieg, zeigt sich auch in anderen Daten, die das gesamte vergangene Jahrhundert abdecken, beispielsweise 1920-1945. Diese Temperaturdaten sind viel zu variabel, um einen Vorzug des quadratischen Trends gegenüber dem linearen Trend feststellen zu können.

Schlussfolgerungen

Als ich mit diesen Bemühungen begann, erwartete ich, dass ich bei meiner Suche nach einem Energieungleichgewicht eine sehr kleine Zahl mit einer sehr großen Unsicherheit finden würde. Genau das habe ich gefunden. Außerdem war ich überrascht zu sehen, dass die Schätzungen der Wärmeaufnahme einen großen Einfluss auf die Satellitendaten haben, so dass die Schätzungen nicht unabhängig sind. Ich hätte auch damit rechnen müssen, dass der daraus resultierende Wert des EEI dazu dienen würde, die Besorgnis über den Klimawandel zu fördern.

Alle Forscher in dieser EEI-Gemeinschaft bringen das Energieungleichgewicht mit einer ganzen Reihe von Problemen in der heutigen Welt in Verbindung. Für sie bedeutet eine Erwärmung des Planeten nichts als Ärger; es scheint überhaupt keine Vorteile zu geben. Von Schuckmann et al. [2] gehen sogar so weit, auf der Grundlage ihrer Schätzungen des Ungleichgewichts und unter Berücksichtigung der anerkannten unbekannten Unsicherheiten und Annahmen zu berechnen, wie viel CO₂ aus der Atmosphäre entfernt werden müsste, um uns in das Jahr 1988 zurückzubringen oder um die Erde unter einer Temperaturveränderung von 2°C gegenüber dem Ende des 19. Jahrhunderts zu halten. Warum diese beiden Ziele wichtig sind, ist nicht klar, aber man sagt uns, dass sie irgendwie Klimaprobleme verhindern werden.

Aber Panik auslösende Probleme haben nichts mit geringfügigen Temperaturänderungen zu tun. Hitzewellen entstehen nicht durch einen Hintergrundtemperaturanstieg von 1 oder gar 1,5 °C. Sie sind die Folge von UHI, der sich 10 °C nähert und aus der Art und Weise resultiert, wie wir unsere Megastädte gebaut haben, die voller energieverwendender Geräte und von der Landluft abgeschnitten sind. Der mickrige Anstieg des Meeresspiegels verursacht keine Überschwemmungen – es sind Fehler im Bauwesen und Menschen, die dort bauen, wo sie es nicht sollten. Die Kenntnis der EEI, die an sich schon interessant sein könnte, wird nichts von alledem verhindern helfen.

References:

1- See for example: Trenberth, et al, Earth's Energy Imbalance, Journal of Climate, 27, 9, p.3129-3144, 2014 DOI:

<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00294.1>; V. Schuckmann, et al, Heat stored in the Earth system: where does the energy go?, Earth Syst. Sci. Data, 12, 2013–2041, <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>, 2020; Loeb, N.G., et al. Observational Assessment of Changes in Earth's Energy Imbalance Since 2000. Surv Geophys (2024). <https://doi.org/10.1007/s10712-024-09838-8>;

2-v Schuckmann, et al, 2023, Heat stored in the Earth system 1960–2020: where does the energy go? System Science Data, 15(4), 1675-1709.

<https://doi.org/10.5194/essd-15-1675-2023>

3 -Guide to Uncertainty in Measurement. Available online at
https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf

4-Max Henrion and Baruch Fischhoff, Am J. Physics. 54,791, 1989. See also Science. 289, 2260-2262, 29 September 2000.

5-Loeb, Norman, Trends in Earth's Energy Imbalance, ISSI GEWEX Workshop, September 26-30, 2022, Bern, Switzerland. Powerpoint online at:
https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220010511/downloads/Loeb_2022_compressed.pptx.pdf

6-B. Barkstrom, and G. Smith, The Earth Radiation Budget Experiment' Science and Implementation, Reviews of Geophysics, v. 24, n 2, p. 379-390, May 1986

7-Kopia, L. Earth Radiation Budget Experiment Scanner Instrument, Reviews of Geophysics, v. 24, n 2, p. 400-406, May 1986

8-Loeb 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, Journal of Climate, DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0208.1 "With the most recent CERES edition-4 instrument calibration improvements, the net imbalance from the standard CERES data products is approximately 4.3 , much larger than the expected EEI."

9-Loeb, et al, 2009, Toward Optimal Closure of the Earth's Top-of-Atmosphere Radiation Budget. J. Climate, 22, 748–766,
[https://doi.org/10.1175/2008JCLI2637.1.](https://doi.org/10.1175/2008JCLI2637.1)

10-Loeb, et al, 2024, Observational Assessment of Changes in Earth's Energy Imbalance Since 2000. Surveys in Geophysics;
<https://doi.org/10.1007/s10712-024-09838-8>

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2024/09/16/theearths-energy-imbalance-part-i/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE

Teil 2 folgt in Kürze