



Startseite > Wissenschaft > Mensch > Meinung > Klimawandel: Woher die gewaltige Energie de

Crashkurs in Strahlungsbilanz und Treibhausgas-Heizung

Woher die gewaltige Energie des Klimawandels stammt

Ein Gastbeitrag von Stefan Rahmstorf

In jedem Liter eingeatmeter Luft stecken
3.432.000.000.000.000.000 CO₂-Moleküle fossiler Brennstoffe.
Gesundheitsschädlich ist das zwar nicht - aber man muss es
wissen, um den Klimawandel zu verstehen.

25.01.2020, 16:49 Uhr

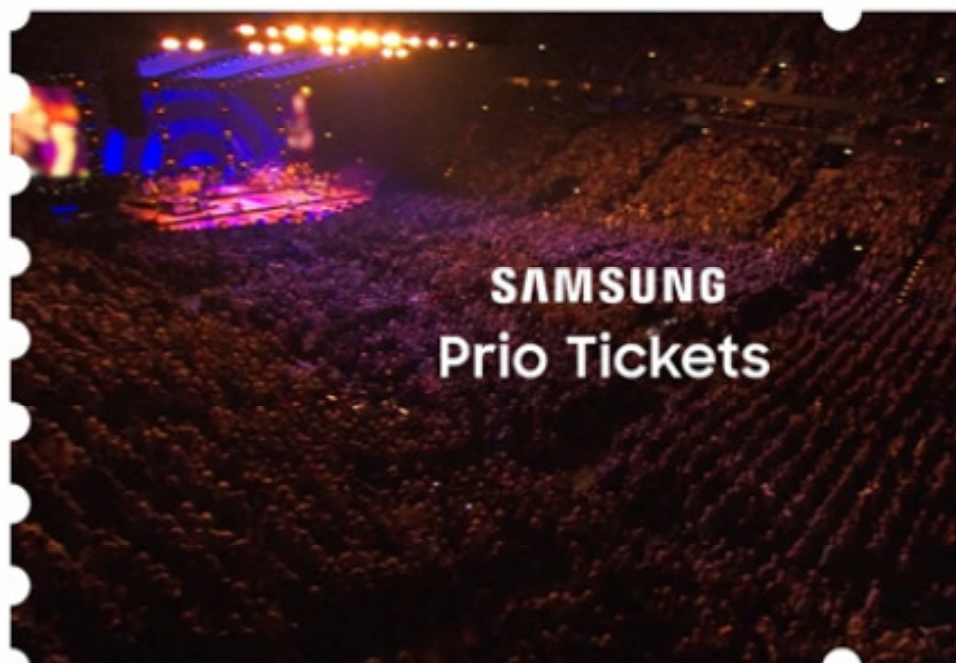




Die von Treibhausgasen aufgefangene und zur Erdoberfläche zurückgestrahlte Wärme entfacht auf der Erde eine gigantische Heizung - ihre Leistung entspricht mehr als dem Fünfzigfachen des Energieverbrauchs der gesamten Menschheit
Skylines/ Shutterstock

Ich möchte eines gleich vorweg sagen: Das hier wird keine typische Physikvorlesung, versprochen! Trotzdem möchte ich Sie zu einem kleinen Experiment einladen. Fragen Sie zehn Freunde oder Bekannte, ob sich die Erde erwärmt. Ich würde jetzt mal optimistisch davon ausgehen, dass zehn von zehn mit Ja antworten. Fragen Sie anschließend, woran das liegt. Meine Prognose: Acht oder neun von zehn werden die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas, Fliegen und Autofahren nennen. Spätestens jetzt dürfte die Zahl der richtigen Antworten aber rasant abnehmen: Bitten Sie Ihren Gesprächspartner, zu beantworten, warum das so ist.

WERBUNG



Ads by Teads

ANZEIGE



Für mich legt dieser Versuch ein bekanntes Problem der Wissenschaft offen. Nie war die Verbreitung (oberflächlicher) Informationen größer als heute. Und dass mehr Menschen als früher über grundlegende naturwissenschaftliche Fakten unterrichtet sind, ist ein Segen. Doch die Zahl derjenigen, die um die tieferen Ursachen planetarer Gesetzmäßigkeiten wissen, scheint im privaten Umfeld nicht gestiegen zu sein. Beim Thema Klimawandel ist es nicht anders.

Zur Person



Astrid Eckert

Stefan Rahmstorf schreibt regelmäßig für den SPIEGEL über die Klimakrise. Er ist Klima- und Meeresforscher und leitet die Abteilung Erdsystemanalyse am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Seit 2000 ist er zudem Professor für Physik der Ozeane an der Universität Potsdam. Zu

seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Paläoklimaforschung, Veränderungen von Meeresströmungen und Meeresspiegel sowie Wetterextreme.

Bei Zusammenkünften von Freunden, wie in unserem kleinen Experiment angelegt, wird das weniger zum Problem als im Internet. Denn genau an diesem Punkt setzen die Boten des Zweifels an. Wenn Sie auf Klimaleugner-Seiten wie der von EIKE schauen, werden Sie zahlreiche Quellenangaben, wissenschaftliche Sprache und "Belege" finden, die Sie von der Abwesenheit der Klimakrise zu überzeugen versuchen. Dabei trotzdem den Durchblick zu behalten, fällt vielen gar nicht so leicht, selbst wenn sie sich mit ihrem Wissen über den Klimawandel eigentlich sicher fühlen.

Deshalb hier ein kurzer Crashkurs zu den wichtigsten Belegen.

Damit etwas wärmer wird, muss man Energie zuführen. Das sagt das Gesetz von der Energieerhaltung, auch bekannt als der erste Hauptsatz der Thermodynamik. Er gilt für den Kochtopf auf dem Herd genauso wie für das Erdsystem. Für die Erde kann diese Energie nur aus der sogenannten Strahlungsbilanz kommen, also dem Austausch von Strahlung mit dem uns umgebenden All. Von der Sonne empfangen wir kurzwellige Strahlung und zwar 342 Watt pro Quadratmeter Erdoberfläche. Davon werden 107 Watt zurückgespiegelt - vor allem durch helle Flächen wie Wolken, Schnee und Eis. Die restlichen 235 Watt werden im Gleichgewicht (also bei stabilem Klima) durch die Abstrahlung von Wärme ausgeglichen.

Die Strahlungsbilanz eines Planeten bestimmt seine Temperatur

Die Atmosphäre ist für die kurzwelligen Sonnenstrahlen durchlässig, aber die langwelligen Wärmestrahlen werden zum großen Teil unterwegs von sogenannten Treibhausgasen (auch Klimagase genannt) abgefangen und teils wieder zurückgestrahlt. Erst aus größeren Höhen mit dünnerer Luft können die Wärmestrahlen zunehmend ins All entweichen. Die Strahlungsbilanz von Planeten bestimmt deren Temperatur – das wurde bereits im Jahr 1824 von dem französischen Wissenschaftler Joseph Fourier verstanden, der dabei auch den Treibhauseffekt entdeckte.

Fragiles Gleichgewicht

Die Energiebilanz der Erde

Angaben in W/m²

reflektierte

einfallende

herausgehende
langwellige

Grafik: Die Energiebilanz der Erde. Die Energiebilanz ist im Gleichgewicht gezeigt; die Beiträge auf den drei Ebenen (Oberkante, Atmosphäre und Erdoberfläche) summieren sich jeweils auf null (z.B. $342-107=235$ an der Oberkante). Quelle: IPCC 2007.

Es gibt genau drei Möglichkeiten, diese Strahlungsbilanz zu verändern und unseren Heimatplaneten aufzuheizen:

- Die Sonneneinstrahlung nimmt aufgrund der Sonnenaktivität oder der Erdbahnparameter zu.
- Der reflektierte Anteil der Sonnenstrahlung nimmt ab, weil die Helligkeit der Erdoberfläche oder der Wolkendecke abnimmt.
- Die Abstrahlung von Wärme ins All nimmt ab.

Die ankommende und abgehende Strahlung wird ständig gemessen: von Satelliten oberhalb der Atmosphäre und von

einem globalen Strahlungsmessnetz am Erdboden. Diese Messungen zeigen:

- Option 1 scheidet aus, denn die ankommende Sonnenstrahlung hat seit Mitte des letzten Jahrhunderts sogar etwas abgenommen .
- Option 2 trifft zwar teilweise zu – doch der Mensch hat die Erde sogar heller gemacht, durch Abholzung von dunklen Wäldern und deren Ersatz durch hellere Ackerflächen. Dunkler wird die Erde nur als Reaktion auf die Erwärmung, weil die Schnee- und Eisbedeckung abnimmt . Das verstärkt die globale Erwärmung, ist aber nicht deren Ursache.
- Option 3 muss also die Ursache der Erwärmung sein: Zunehmende Treibhausgasemissionen in der Atmosphäre behindern die Abstrahlung von Wärme ins All, und dadurch nimmt die Erde ständig mehr Sonnenstrahlung auf als wir durch Wärmestrahlung wieder abgeben. Deshalb wird es wärmer.

Die von den Treibhausgasen aufgefangene und zur Erdoberfläche zurückgestrahlte Wärmestrahlung ist eine Messtatsache. Diese Wärmestrahlung wärmt die Erdoberfläche sogar wesentlich mehr an als die ankommende Sonnenstrahlung (siehe Grafik). Jeder kann den Effekt direkt spüren: Spazieren Sie bei Nacht unter sternklarem Himmel und mit trockener Luft im T-Shirt einmal ums Haus. Wiederholen Sie den Rundgang, wenn der Himmel nachts bedeckt und die Luft feucht ist. Am ersten Abend war Ihnen kälter.

Mehr zum Thema

Klimakrise: 2019 war das wärmste Jahr in Europa

Steigende Temperaturen: Klimawandel erstmals täglich im weltweiten Wetter nachweisbar

Oder kommt die Erderwärmung aus dem Ozean?

Auch die Zunahme an Rückstrahlung aus der Atmosphäre im Lauf der Jahre entspricht genau dem, was die Physik aufgrund der zunehmenden CO₂-Menge in der Luft vorhersagt. Auch das ist eine Messtatsache. Die dadurch entstehende Heizleistung beträgt inzwischen rund zwei Watt pro Quadratmeter, Tag und Nacht, rund um den Globus. Insgesamt ist das eine ein Petawatt (das sind eine Million Gigawatt) starke Heizung – eine Leistung, die mehr als dem Fünfzigfachen des Energieverbrauchs der gesamten Menschheit entspricht.

Aber könnte Wärme nicht auch von unten kommen? Aus dem Erdinneren? Es gibt den geothermischen Wärmefluss – doch der ist mit nur 0,09 Watt pro Quadratmeter für das Klima vernachlässigbar klein und ändert sich auch nicht innerhalb von hundert Jahren.

Oder aus dem Ozean? Der ist zwar ein großer Wärmespeicher, der vorübergehend (etwa bei einem El Niño-Ereignis) durchaus nennenswert Wärme an die Luft abgeben kann. Doch in den letzten Jahrzehnten hat der Ozean keine Wärme abgegeben, sondern ganz im Gegenteil Wärme aufgenommen. Damit hat er die globale Erwärmung durch Treibhausgase verlangsamt. So wie die Luft hat sich auch der Ozean erwärmt. Auch das ist eine Messtatsache, gemessen durch Forschungsschiffe und eine Armada von Tausenden

autonomen Messgeräten in den Weltmeeren, die in den vergangenen zwanzig Jahren mehr als zwei Millionen Temperaturprofile aufgenommen haben.

Gerade sind die aktuellsten Daten in der Fachliteratur erschienen: Die Weltmeere nehmen jährlich 9,4 Trilliarden Joule an Wärme auf, das sind 0,58 Watt pro Quadratmeter Erdoberfläche. Um diesen Betrag verringert also der Wärmepuffer Ozean die obengenannte Treibhausgas-Heizung von zwei Watt pro Quadratmeter.

Mehr zum Thema

Gesellschaftliche Debatte über Umweltschutz: 2019 hat sich das Klima gewandelt

Von Bernhard Pötter

Weltwirtschaftsforum: Klimakrise dominiert Agenda in Davos

Es führt also schlicht kein Weg daran vorbei, dass die Wärmeenergie, die unserem Planeten einheizt, aus der Strahlungsbilanz kommen muss. Und die ist überwiegend durch die wachsenden Treibhausgasmengen in der Atmosphäre aus dem Gleichgewicht geraten. Natürliche Faktoren haben dabei eine sehr geringe Rolle gespielt und haben der Erwärmung sogar ganz leicht entgegengewirkt (siehe folgende Grafik). Daher folgert die Wissenschaft, dass die moderne globale Erwärmung praktisch komplett vom Menschen verursacht worden ist. Eine auch nur halbwegs glaubwürdige alternative Erklärung gibt es in der Fachliteratur nicht.

Grafik: Ursachen der Veränderung der Strahlungsbilanz – und damit der globalen Temperatur – seit der vorindustriellen Zeit. Quelle: US National Climate Assessment 2017.

Bleibt noch die Frage zu klären, ob nicht vielleicht der Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre, allen voran von CO₂, eine natürliche Ursache haben könnte? Die AfD hat auch schon mal behauptet, das CO₂ käme aus dem Ozean. Auch diese These verleugnet Messtatsachen: nämlich dass die CO₂-Menge im Ozean ebenfalls zunimmt. Wir haben durch die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas rund doppelt so viel CO₂ in die Luft gepustet, wie sich dort angesammelt hat. Mit anderen Worten: Das zusätzliche CO₂ in der Luft kommt nicht etwa irgendwo aus dem natürlichen Erdsystem, sondern ganz im Gegenteil: Die Natur hat uns sogar etwa die Hälfte unserer Emissionen gratis abgenommen.

Teils hat der Ozean sie aus der Luft aufgenommen, teils die Wälder. Dafür sollten wir zutiefst dankbar sein – und sorgsam

darauf achten, Wälder und Ozeane so gesund zu erhalten, dass sie uns auch in Zukunft diesen wertvollen Dienst erweisen können.

Die Physik war besser als jede Glaskugel

Unsere Emissionen aufgrund der Nutzung fossiler Brennstoffe und (zu etwa einem Viertel) aus der Abholzung von Wäldern haben die CO₂-Menge bereits um rund 45 Prozent erhöht – in jedem Liter Luft, den wir einatmen, sind damit rund 3.432.000.000.000.000.000 Moleküle von uns Menschen hinzugefügtes CO₂.

Weil die Physik verstanden ist, wurde die globale Erwärmung von der Klimawissenschaft vorhergesagt, bevor sie in Messdaten sichtbar wurde. Schon 1896 rechnete der schwedische Nobelpreisträger Svante Arrhenius aus, wie viel globale Erwärmung eine (damals noch hypothetische) CO₂-Verdoppelung in der Atmosphäre verursachen würde. Der erste offizielle Expertenbericht, der vor der globalen Erwärmung durch die Nutzung fossiler Brennstoffe und ihren Folgen wie Meeresspiegelanstieg warnte, [stammt aus dem Jahr 1965](#) . Das war ein halbes Jahrhundert vor Abschluss des Pariser Abkommens.

Und selbst die Experten der Ölfirma Exxon [warnten schon in den](#) Siebzigerjahren vor einer gefährlichen kommenden Super-Warmzeit, und berechneten schon 1982 konkret und fast exakt richtig, wie rasch diese Erwärmung bis heute ablaufen würde. Seit Jahrzehnten verläuft die globale Erwärmung nun schon so, wie von den Klimaforschern vorhergesagt – nur dass manche Folgen früher und drastischer eintreten, als zunächst erwartet.

[Mehr zum Thema](#)

Konzepte zur CO2-Reduktion: Technik for Future Von Claus Hecking

5+ **Kommentar zur Klimapolitik: Dänemark zeigt Deutschland, wie es geht** Von Kurt Stukenberg

Auch die natürlichen Klimaveränderungen in der Erdgeschichte folgen den obengenannten Möglichkeiten, die Strahlungsbilanz zu verändern. Sie beruhen auf Veränderung der Erdbahnparameter, der Sonnenleuchtkraft oder natürlichen CO₂-Veränderungen über Jahrtausende, die sich heute in Klimamodellen immer besser nachvollziehen lassen. Die Erdgeschichte zeigt, wie empfindlich das Klima auf Störungen der Energiebilanz unseres Planeten reagiert.

Wer die Fakten heute noch leugnet, um damit die dringend nötigen Maßnahmen zur Vermeidung einer planetaren Katastrophe hinauszuzögern, macht sich mitschuldig an den Folgen: an stärkeren Tropenstürmen, Flutkatastrophen, Dürren und Waldbränden – und möglicherweise künftigen Hungersnöten. **5**



Diskutieren Sie mit uns

Feedback

ANZEIGE

ANZEIGE

ANZEIGE



Bayer AG
Pflanzenschutz -
Ich höre die
Meinung der

realbest
Hausverkauf?
Dieser Gratis-
Rechner zeigt, wie

HOME24
Relaxliege Kasson
|

**Aktuell in diesem
Ressort**

**Harvard-
..
Warum sollte ich
mit dem
Rauchen**



Die
Wirtschaftsexpertin
Zoë Cullen ist Ko-
Autorin der Studie
"The Old Boys' Club.
Schmoozing and the
Gender Gap".

**Kritik an "Lilium
Jet"**

**Lufttaxi-Start-
up weiter in
Erklärungsnot**

Experten zweifeln
an den
Versprechen des
deutschen
Lufttaxi-
Herstellers
Lilium. Die Firma

**Uno-
Ozeanbeauftragt**

**"Wir
müssen
anfangen,
wie in einem
Kriegszustand
zu denken"**

Die Ozeane
werden immer
wärmer, der
Meeresspiegel



**Fossile
Energien
Norwegens
neuer Ölrausch**

steigt
unaufhaltsam.
Nicht nur

Mehr lesen über

Meinung

Klimawandel

Verwandte Artikel

- **Neue Analyse: Ozeane werden immer wärmer**
- **Fall James Black: Ein Forscher sagte schon 1977 den Klimawandel voraus - leider arbeitete er bei Exxon**

-10%

Relaxliege Kasson I

449,99 € **Mehr sehen** 179,99 €

Spiele

[mehr Spiele](#)

Solitaire

Sudoku

Mahjong

Ex

Serviceangebote von SPIEGEL-Partnern

Gutscheine

ANZEIGE

Jetzt
Täglich neue Douglas Mit Decathlon
Apotal Blume2000.Gutscheine Gutscheincodes
Gutscheincodes Gutscheine sichern sparen

[Top Gutscheine](#) [Alle Shops](#)

Auto

Job

Finanzen

Freizeit

Alle Magazine des SPIEGEL

DER SPIEGEL

SPIEGEL WISSEN

SPIEGEL COACHING

SPIEGEL Gruppe

[Abo](#) [Shop](#) [bento](#) [manager magazin](#) [Harvard Business Manager](#)

[buchreport](#) [Werbung](#) [Jobs](#) [SPIEGEL Akademie](#) [SPIEGEL Ed](#)

[Impressum](#) [Datenschutz](#) [Nutzungsbedingungen](#) [Kontakt](#) [Hilfe](#)

 [Twitter](#)

 [Facebook](#)