

Gibt es einen Atmosphärischen Treibhauseffekt? – Teil 1

geschrieben von Admin | 30. März 2024

Michael Schnell, Hermann Harde

1. Vorbemerkungen

Die Emissionen fossiler Brennstoffe werden für einen Klimanotstand mit katastrophalen Folgen für unseren Planeten verantwortlich gemacht, wenn die weltweiten anthropogenen Emissionen nicht rasch gestoppt werden. Grundlage dieser Vorhersagen ist der atmosphärische Treibhauseffekt (TH-Effekt), der auf Jean-Baptiste Joseph Fourier im Jahr 1824 zurückgeht [1]. Er untersuchte den Energiehaushalt der Erde, um die Oberflächentemperatur zu erklären. Dabei ging er davon aus, dass sich die Atmosphäre ähnlich wie ein Glasfenster verhält, das für die Sonnenstrahlung transparent ist, aber die vom Boden emittierte Infrarotstrahlung (IR) blockiert. Der Wärmeaustausch durch Konvektion oder Wärmeleitung mit der Umgebung wurde in diesem Modell weitgehend vernachlässigt.

Weiter ist festzustellen, dass selbst viele Klimaexperten nicht wirklich zur Kenntnis nehmen, wie sich Treibhausgase (TH-Gase) tatsächlich auf unser Klima auswirken. Dies führt häufig zu dramatischen Fehlinterpretationen in populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen, sogar in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (6. Sachstandsbericht AR6 des IPCC [2]). Andererseits führen diese Übertreibungen bei Menschen mit klarem Gespür und Verständnis für reale physikalische Sachverhalte zu starken Zweifeln an einem vom Menschen verursachten Klimawandel und der Existenz des Treibhauseffekts, der fast ausschließlich auf theoretischen Überlegungen beruht.

Der Hauptgrund für diese Zweifel ist ein fehlender, nachvollziehbarer Nachweis des TH-Effektes, obwohl es in den letzten 120 Jahren viele Versuche gab, diesen Effekt durch mehr oder weniger einfache Laborexperimente zu bestätigen oder zu widerlegen. Direkte Messungen an der Atmosphäre werden zu stark durch Konvektions-, Turbulenz- oder Streueffekte beeinflusst, um den relativ geringen Beitrag von Treibhausgasmolekülen zu einer lokalen Erwärmung der Luft oder der Erdoberfläche zu quantifizieren, dies bei lokalen Tag-Nacht-Schwankungen bis zu 60 °C und durch saisonale Zyklen sogar bis zu 100 °C.

1.1 Historische Anmerkungen

Eine der wesentlichen experimentellen Untersuchungen geht auf R. W. Wood (1909) [3] zurück, der zwei Kästen mit normaler Luft verwendete. Eine

Box war mit einem Glasfenster abgedeckt, das für Sonnenlicht transparent war, aber IR-Strahlung blockierte, die andere war mit einem NaCl-Fenster abgedeckt, das ebenfalls für IR-Licht transparent war. Seine Messungen zeigten eine deutliche Erwärmung des Innenraums, jedoch keinen oder nur einen vernachlässigbaren Temperaturunterschied zwischen den Boxen.

Daraus schlossen Wood und andere Autoren bei der Wiederholung dieses Experiments (z. B. Allmendinger 2006 [4], Nahle 2011 [5]), dass Infrarotstrahlung, die durch das NaCl-Fenster entweichen kann, nicht oder nur vernachlässigbar zur Erwärmung beiträgt, während der beobachtete Temperaturanstieg in beiden Boxen – anders als Fouriers Interpretation – ausschließlich durch einen unterdrückten konvektiven Wärmeaustausch mit der Umgebung erklärt wird und nicht mit irgendeiner Form von eingeschlossener Strahlung zusammenhängt.

Aber Experimente, die nicht nur eine einzige Temperatur für jede Box messen, sondern die Temperatur am Boden und der Oberseite des Innenraums aufzeichnen, finden bei der Box mit NaCl-Fenster einen um 5°C größeren Temperaturabfall vom Boden bis zur Decke als bei der Glasbox. Die Temperatur am Boden ist dagegen bei beiden Boxen nahezu identisch (V. R. Pratt 2020 [6]). Diese Ergebnisse werden grundsätzlich mit einem etwas anderen Aufbau bestätigt, der eine interne elektrische Heizung anstelle externer Lichtquellen verwendet (E. Loock 2008 [7]). Eine solche Erwärmung vermeidet Unterschiede in der einfallenden Strahlung, die sonst Fenster aus unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen Verlusten passieren muss. Für den Glaskasten konnte eine höhere Temperatur von 2,5 – 3°C gefunden werden, und beim Austausch des Glases durch eine polierte Aluminiumfolie steigt die Temperatur sogar um weitere $\approx 3^\circ\text{C}$.

Während die Wood'schen Experimente die Frage beantworten können, ob und inwieweit eine verringerte IR-Transmission zur Erwärmung eines Behälters, oder entsprechend der Troposphäre, beitragen kann, geben sie keine Auskunft über die Wechselwirkung von Treibhausgasen mit IR-Strahlung. Es blieb also weiterhin die Frage, inwieweit solche Gase die IR-Strahlung zumindest teilweise zurückhalten können und inwieweit die einfache Absorption durch TH-Gase oder die umstrittene Rückstrahlung zu einer zusätzlichen Erwärmung des Bodens beitragen könnten. Für solche Untersuchungen ist es erforderlich, einen Behälter mit dem zu untersuchenden Gas zu füllen und dieses mit einer Referenzmessung mit Luft oder einem Edelgas zu vergleichen.

Mittlerweile wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt, teils mit äußerer Bestrahlung oder mit innerer Erwärmung (siehe z. B. Loock [7]), teils mit Messung der Gastemperatur oder der IR-Strahlung in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung (Seim & Olsen 2020 [8]). Aber entweder konnte keine Erwärmung festgestellt werden oder der beobachtete Temperaturanstieg konnte bei näherer Betrachtung nicht auf einen IR-Strahlungseffekt zurückgeführt werden.

Leider wurden im Internet einige fehlerhafte Demonstrationen mit angeblichen Temperaturunterschieden von mehr als 10°C präsentiert, die die starke Wirkung der Treibhausgase beweisen sollten (siehe z. B. Ditfurth 1978 [9]). Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die höhere Temperatur hauptsächlich durch einen Schichtungseffekt, verbunden mit einer erhöhten Isolation, verursacht wird, wenn schwereres CO_2 von unten in ein Gefäß eingefüllt wird (Schnell 2020 [10]). Bei diesen angeblichen Demonstrationen des Treibhauseffektes wird übersehen, dass reines CO_2 trotz Erwärmung eine höhere Dichte als die darüber befindliche Luft hat und dadurch keinen thermischen Auftrieb verursacht. Ohne anschließende Homogenisierung führt dies zu einem erhöhten Temperaturanstieg in der CO_2 -Schicht. Solche Experimente zeigen lediglich, dass CO_2 IR-Strahlung absorbieren kann, was eigentlich nicht überraschen sollte.

Und wirklich problematisch ist es, wenn einer der Preisträger des Friedensnobelpreises 2007 eine Web-basierte Kampagne mit mehreren Werbespots im Fernsehen initiiert, die darauf abzielt, das Bewusstsein für eine Klimakrise zu schärfen. Als „Beweis“ wird ein völlig unrealistisches und nicht reproduzierbares Video-Experiment des TH-Effektes präsentiert (Al Gore's Climate 101 Video Experiment 2001 [11]), das mittlerweile durch mehrere Überprüfungen als fehlerhaft entlarvt wurde (Watts 2011 [12], Solheim 2016 [13]).

Solche Experimente werden leider weiter genutzt, um weltweit Angst zu verbreiten und unsere Gesellschaft mit der Botschaft zu indoktrinieren, dass wir unsere Erde nur retten können, indem wir künftig alle Treibhausgasemissionen stoppen. Solche Experimente untergraben alle ernsthaften Versuche, den erwarteten Einfluss von Treibhausgasen auf unser Klima zu diskutieren und zu analysieren. Politische Vorstellungen, Spekulationen oder religiöser Glaube sind keine ernsthaften Berater, um eine erfolgreiche Zukunft zu sichern. Unser Wissen und unser technischer Fortschritt basieren auf seriösen wissenschaftlichen Grundlagen.

1.2 Ziel der Untersuchungen

Es ist höchste Zeit, die endlosen Spekulationen über die katastrophalen Auswirkungen oder die Nichtexistenz eines atmosphärischen TH-Effektes zu beenden und sich auf verlässliche Untersuchungen zu konzentrieren, die es ermöglichen, die Größe und den begrenzenden Einfluss von Treibhausgasen durch anthropogene Emissionen fossiler Brennstoffe auf die globale Erwärmung zu quantifizieren. In einer aktuellen Arbeit (Harde & Schnell 2022 [14]) wird der theoretische Hintergrund des TH-Effektes zusammengefasst, und es werden erstmals quantitative Messungen für die Treibhausgase CO_2 , CH_4 und N_2O unter ähnlichen Bedingungen wie in der unteren Troposphäre vorgestellt. Eine gekürzte, weniger technische Version steht als PDF zur Verfügung [15] und wird in komprimierter Form im zweiten Teil dieses Artikels wiedergegeben.

Um den Strahlungsaustausch zwischen Körpern unterschiedlicher Temperatur aufzuzeigen und die Besonderheiten des TH-Effektes hervorzuheben, wurden detaillierte Modell-Untersuchungen durchgeführt, bei denen die TH-Gase durch eine geschwärzte Metallplatte in einem Strahlungskanal ersetzt werden (Schnell & Harde 2023 [16]). Als Einführung in das grundlegende Prinzip des atmosphärischen TH-Effektes werden im ersten Teil dieses Artikels zunächst diese Untersuchungen vorgestellt, bevor im zweiten Teil auf die TH-Gase eingegangen wird.

2. Demo-Experiment mit Metallplatte

2.1 Der Strahlungskanal

Der Versuchsaufbau zur Demonstration des Strahlungsaustausches und des TH-Effektes besteht aus einem vertikalen Hohlzylinder aus Styropor. Er ist als modularer Aufbau konzipiert und kann daher leicht für verschiedene Experimente umgebaut werden (Abb. 1, Details siehe: Schnell & Harde 2023 [16]).

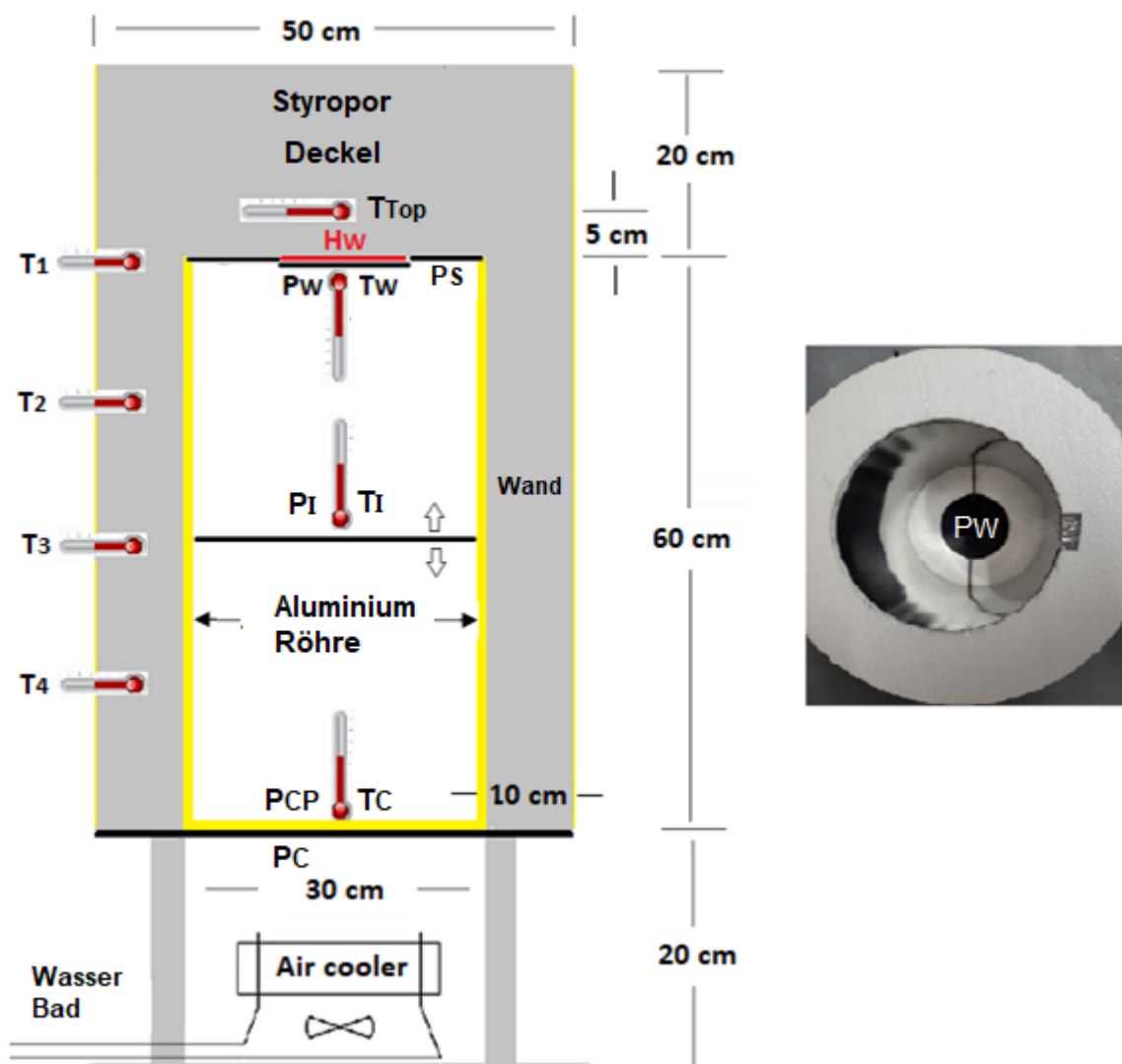


Abb. 1: Schematischer Versuchsaufbau. Die Indizes stehen für: W = warm, C = cold, CP = cold polished und I = Intermediate.

Im Styropor-Behälter befinden sich zwei parallele Metallplatten P_w und P_c im Abstand von 60 cm und zur Simulation des TH-Effektes eine Zwischenplatte P_I . Die obere Platte P_w ist geschwärzt und kann durch eine elektrische Heizung der Leistung H_w beheizt werden. Die untere Platte P_c ist ebenfalls geschwärzt und wird durch einen Luftkühler in ihrer Temperatur stabilisiert. Sie ist CPC kälter als die Raumtemperatur T_{Raum} . Für ein Kontrollexperiment kann diese untere Platte durch eine polierte P_{CP} -Scheibe mit sehr geringem Absorptionsvermögen und damit geringem Emissionsvermögen ersetzt werden, um die Intensität der Gegenstrahlung durch Reflektion zu erhöhen.

Die Innenseite des Styroporbehälters (als Strahlungskanal bezeichnet) kann mit einem Aluminiumrohr oder einer dünnen Al-Folie ausgekleidet werden, wodurch IR-Strahlung durch Mehrfachreflexion und Streuung effizient von einer Platte zur anderen geleitet wird. Dies ermöglicht einen intensiven Strahlungsaustausch zwischen den Platten, und trotz teilweise leichter Absorptionsverluste an der Innenwand werden ohne Zwischenplatte im Kanal mehr als 70 % der zugeführten Heizleistung H_w durch IR-Strahlung abgeführt.

Ein kleinerer Teil der über die Platte P_w zugeführten Heizleistung H_w fließt durch einen mechanischen Wärmefluss über die Styroporisolierung nach außen ab (siehe hierzu Tabelle 2).

Temperatur-Sensoren rund um den Strahlungskanal detektieren diese Wärmeströme.

Durch die senkrechte Anordnung des Strahlungskanals stellt sich eine stabile Luft-Schichtung (oben warm, unten kalt) ein, die Konvektion als Wärmetransport ausschließt.

Die wichtigsten Informationen für die Untersuchungen liefern aber die Temperatur T_w und die Heizleistung H_w der warmen Platte P_w . Diese Platte fungiert gleichzeitig als Wärmequelle und Sensor.

2.2 Gegenstrahlung

Ziemlich kontrovers diskutiert wird die These, dass ein erhitzter Körper durch die Strahlung eines kälteren Körpers oder Gases weiter erwärmt werden kann. Dies wird als Verletzung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik angesehen, obwohl Clausius als einer der Väter dieses Gesetzes einen gegenseitigen Wärmeaustausch durch Strahlung nie in Frage gestellt hat.

Während die IR-Emission der beheizten Platte P_w eindeutig durch ihre Temperatur T_w und den Emissionsgrad $\epsilon_w \approx 1$ der Platte definiert wird, ist die Strahlung aus der Umgebung, die sogenannte Rückstrahlung, naturgemäß

deutlich komplexer. Diese Strahlung resultiert aus einer Überlagerung von Emissionen, Reflexionen und Strahlungsverlusten, die von der gekühlten Platte und der Kanalwand des Hohlzylinders verursacht werden. Die Auswirkung der Rückstrahlung kann durch Variation der Oberfläche und der Temperatur der Grundplatte demonstriert werden. Für diese Messungen wird die Zwischenplatte P_I entfernt und das Aluminiumrohr im Strahlungskanal verwendet

Die folgenden Untersuchungen verdeutlichen, wie die Temperatur der konstant beheizten Platte P_W durch die Rückstrahlung beeinflusst wird.

a) Grundplatte P_C auf beiden Seiten schwarz beschichtet:

Die ersten 100 Minuten zeigen ein thermisches Gleichgewicht, wobei Platte P_W eine Temperatur $T_W = 24,0 \text{ °C}$ erreicht. Die schwarz beschichtete P_C -Grundplatte wird dann langsam von den vorherigen 17 °C auf 11 °C abgekühlt (Abb. 2a, blaue Linie), wodurch ihre IR-Emission S_C nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz abnimmt. Für die P_W -Platte vergrößert sich dadurch der Strahlungsaustausch als Differenz aus abgegebener (S_W) und empfangener Leistung (S_C):

$$\Delta S_{WC} = S_W - S_C, \quad S_{W,C} = \varepsilon_{W,C} \cdot \sigma \cdot A_{W,C} \cdot T_{W,C}^4 \quad (1)$$

Dabei ist σ die Stefan-Boltzmann-Konstante mit $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ und $A_{W,C}$ die Fläche der warmen bzw. kalten Platte. Wegen der stärkeren Wärmeabfuhr muss die Temperatur T_W entsprechend sinken, wodurch abgeführte und zugeführte Leistung wieder gleich groß werden (Abb. 2a).

Der Strahlungsaustausch, die Strahlungsbilanz zweier unabhängiger Strahler nach Gl. (1), wurde erstmals von Josef Stefan (1879) [17] formuliert und kann mit diesem Experiment auf einfache Weise gezeigt werden.

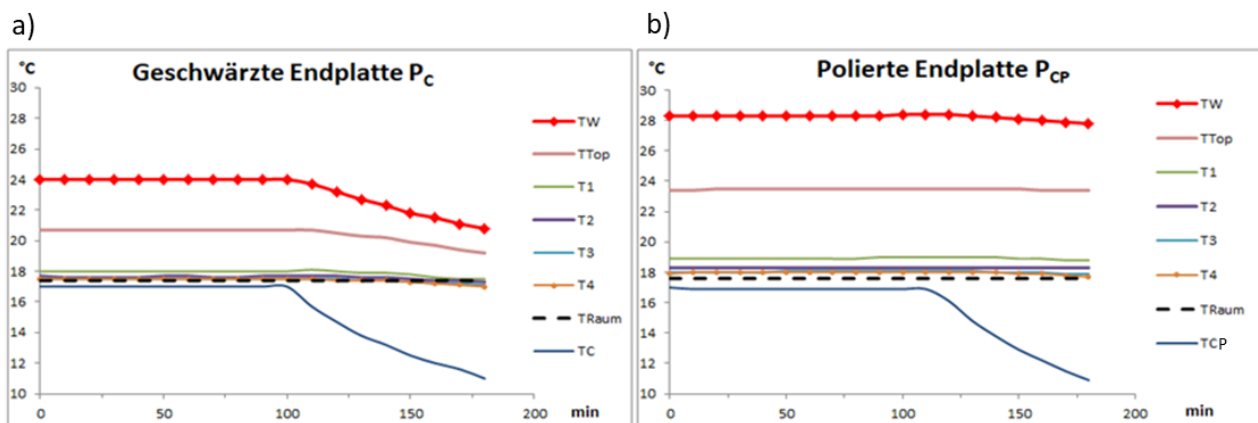


Abb. 2: Auswirkung der Gegenstrahlung auf die Temperatur T_W der beheizten Platte P_W , a) durch eine geschwärzte Grundplatte P_C , b) durch eine polierte Platte P_{CP} .

b) Grundplatte P_{CP} außen geschwärzt und innen auf Hochglanz poliert:

Im thermisches Gleichgewicht wird unter ansonsten gleichen Bedingungen eine 4,9 °C höhere Temperatur $T_w = 28,9$ °C erreicht. Ursache ist der deutlich verringerte Absorptionsgrad α_{CP} der polierten Platte, der eine Zunahme des Reflexionsgrades entsprechend $r_{CP} = 1 - \alpha_{CP}$ bedingt. Anstelle der IR-Emission der Platte P_{CP} wird die Rückstrahlung S_c jetzt weitgehend durch die reflektierte, intensivere Strahlung der warmen Platte erzeugt, was nach Gleichung (1) eine geringere Wärmeabfuhr und damit eine höhere T_w -Temperatur bedeutet (Abb. 2b).

Im Gegensatz zur geschwärzten Platte zeigt sich beim Abkühlen der P_{CP} -Platte kaum eine Rückwirkung auf die Temperatur T_w der oberen Platte. Dies lässt sich durch den geringeren Emissionsgrad $\varepsilon_{CP} \approx \alpha_{CP}$ der polierten Platte und die Temperaturunabhängigkeit der Reflexion an der Platte P_{CP} erklären.

Für den Fall von reflektierenden Oberflächen und einer geringen Strahlungsbilanz hat Stefan den Strahlungsaustauschgrad $E < \varepsilon_w, \varepsilon_c \ll 1$ eingeführt, der mit dem Experiment b) demonstriert werden kann.

Um es noch einmal zu betonen: Die Grundplatten sind 60 cm von der geheizten Platte P_w entfernt und eine Variation ihrer Oberflächengestaltung reicht aus, um starke Temperaturunterschiede der Platte P_w zu bewirken, die nur durch Veränderungen der IR-Rückstrahlung erklärbar sind. Eine Veränderung der Wärmeleitung als mögliche Ursache für diese Effekte kann bei diesen Experimenten ausgeschlossen werden, da der grundlegende Versuchsaufbau bei diesen Experimenten nicht verändert wurde und die Temperaturen des Strahlungskanals T_1 bis T_4 annähernd konstant blieben.

2.3 Quantifizierung der Wärmeströme

Die der P_w -Platte zugeführte Heizleistung H_w wird sowohl durch IR-Strahlung als auch durch einen mechanischen Wärmestrom J_Q abgeführt. Da im thermischen Gleichgewicht nur so viel Wärme abfließen kann, wie durch die Heizung zugeführt wird, addieren sich Strahlungstransport ΔS_{WC} und Wärmeleitung J_Q zur Heizleistung H_w

$$H_w = \Delta S_{WC} + J_Q. \quad (2)$$

Das Verhältnis der beiden Wärmeströme lässt sich bestimmen, wenn eine der beiden Größen ermittelt werden kann, da die andere Größe dann die Differenz zu H_w ist.

Der mechanische Wärmestrom J_Q ergibt sich nach Fourier in guter Näherung aus der Wärmeleitfähigkeit λ_s der Styroporisolierung, ihrer Dicke d und Oberfläche A_s sowie der Temperaturdifferenz ΔT zur Umgebung:

$$J_Q = \lambda_s \cdot \frac{A_s}{d} \Delta T. \quad (3)$$

Dieser Ansatz ist jedoch nicht hilfreich, da unterschiedliche Temperaturen, Dicken und Oberflächen der Styroporisolierung der Versuchsanordnung berücksichtigt werden müssten.

Der Wärmestrom J_Q kann jedoch direkt gemessen werden, indem der Strahlungskanal vollständig mit zwölf 5 cm dicken Styroporscheiben gefüllt wird. Es entsteht ein Styroporblock (ohne Strahlungskanal) mit den gleichen Außenabmessungen und den zwei Platten. In diesem Fall kann die zugeführte Wärme H_w nur durch den mechanischen Wärmestrom J_Q abgeführt werden, wodurch Gl. (2) übergeht in:

$$H_w = J_Q. \quad (4)$$

Die Berechnungsgrundlage für die Bewertung der Wärmeströme ist der Temperaturanstieg ΔT_w , die Temperaturdifferenz vor und nach dem Einschalten der Heizung H_w . Mit der Kenntnis von H_w und ΔT_w kann der Wärmewiderstand ϑ (auch als thermischer Widerstand bezeichnet) der Versuchsanordnung, als Verhältnis von ΔT_w zu H_w , bestimmt werden als (Einheit °C/W):

$$\vartheta = \frac{\Delta T_w}{H_w}. \quad (5)$$

Da sich die Beschichtung des Strahlungskanals auf den mechanischen Wärmestrom J_Q auswirkt, ergeben sich auch verschiedene Wärmewiderstände, die zur besseren Unterscheidung zur Strahlung hier als Leitungswiderstände ϑ_j bezeichnet werden. Dabei zeigt sich, dass eine Beschichtung mit einer Aluminium-Folie eine optimale Lösung darstellt, die die Reflektion im Strahlungskanal verbessert, aber den Leitungswiderstand im Vergleich zum reinen Styropor (ohne Beschichtung) nur unwesentlich verringert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ermittlung der Leitungswiderstände ϑ_j in einem Styroporblock

Beschichtung des Strahlungskanals	H_w W	T_w °C	ΔT_w °C	ϑ_j °C/W
ohne	1,16	41,6	24,2	21,0
Aluminium-Folie	1,15	40,5	22,9	20,0
Aluminium -Rohr	1,16	38,0	20,5	17,7

Durch schrittweises Entfernen der inneren Styroporscheiben zeigt sich, dass der mechanische Wärmestrom hauptsächlich über den oberen Styropordeckel und die obere Wandisolierung nach außen abfließen, während die Füllung des Strahlungskanals mit Styropor eine vernachlässigbare Veränderung bewirkt. Dadurch lässt sich der Leitungswiderstand des Styroporblocks auch auf den Strahlungskanal übertragen (siehe: Schnell & Harde 2023 [16]). Außerdem hat ruhende Luft eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Styropor, und schon aus diesem Grund kann die Wärmeleitfähigkeit des Strahlungskanals nicht größer sein als die des Styroporblocks.

So ergibt sich für den Strahlungskanal mit Aluminium-Folie mit $\vartheta_J = 20,0$ °C/W, $H_w = 1,2$ W und $\Delta T_w = 6,5$ °C entsprechend Gl. (4) und (5) ein mechanischer Wärmeverluststrom von

$$J_Q = \frac{\Delta T_w}{\vartheta_J} = 0,33 \text{ W.} \quad (6)$$

Damit wird die durch IR-Strahlung abgeführte Leistung entsprechend Gl. (2) $\Delta S_{wc} = 0,87$ W und stellt mit 73 % den klar dominanten Anteil an der Wärmeabfuhr dar. Das Aluminium-Rohr hat aufgrund seiner glatten, polierten Oberfläche den höchsten Reflexionsgrad, verliert aber zu viel Wärme durch Wärmeleitung und steht daher nur an zweiter Stelle (Tabelle 2).

Tabelle 2: Anteil der Wärme H_w , die durch IR-Strahlung abgeführt wird.

Beschichtung des Strahlungskanals	H_w W	ΔT_w °C	ϑ_J °C/W	J_Q W	ΔS_{wc} W	ΔS_{wc} %
ohne	1,20	8,2	21,0	0,39	0,81	67,4
Alu-Rohr	1,20	6,5	17,7	0,37	0,83	69,3
Alu-Folie	1,20	6,5	20,0	0,33	0,87	72,9

2.4 Einfluss paralleler Wärmeströme auf den Treibhauseffekt

Wird die Wärme durch zwei parallele Wärmeströme abgeführt, addieren sich die Wärmewiderstände wie die parallelgeschalteten Widerstände in einer elektrischen Schaltung (Abb. 3):

$$\frac{1}{\vartheta_G} = \frac{1}{\vartheta_1} + \frac{1}{\vartheta_2}. \quad (7)$$

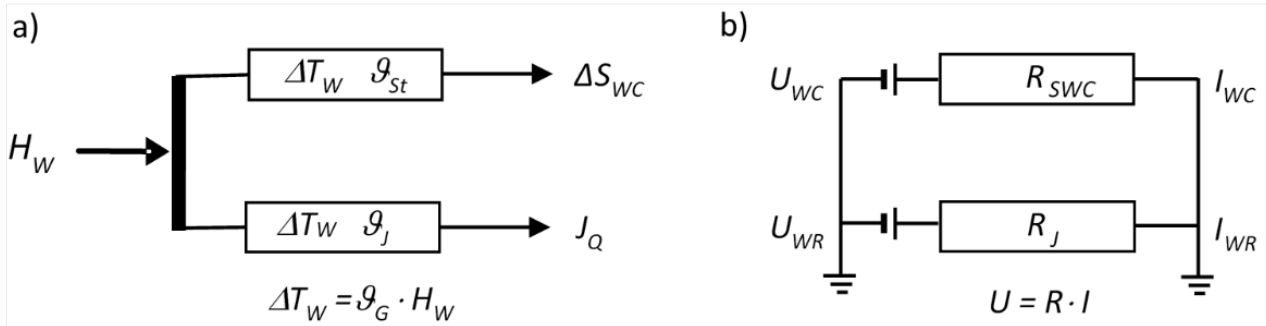


Abb. 3: a) Wärmeflüsse durch Strahlung und Wärmeleitung, b) elektrisches Ersatzschaltbild.

Der Gesamt-Wärmewiderstand ϑ_G ist damit immer kleiner als jeder Teilwiderstand, was durch einen Vergleich der Wärmebilanzen eines Styroporblocks und eines Strahlungskanals (in beiden Fällen ohne Beschichtung) gezeigt werden kann (Abb. 4).

Im Falle des Styroporblocks (Fall a) ist die Wärmeleitung J_Q der einzige Wärmefluss. Die Temperatur der warmen Platte P_w erhöht sich um $\Delta T_w = 24,2$ °C, was einem Leitungswiderstand $\vartheta_J = 21$ °C/W entspricht und gleichzeitig den Gesamt-Wärmewiderstand ϑ_G darstellt.

Im Falle des Strahlungskanals (Fall b ohne Styroporscheiben) wird die Wärme der Platte P_w parallel durch Wärmeleitung und Strahlungsaustausch abgeführt, wodurch sich die Temperatur nur um $\Delta T_w = 8,8$ °C erhöht, was den Gesamt-Wärmewiderstand auf $\vartheta_G = 7,3$ °C/W verringert. Da, wie oben dargelegt, die inneren Styroporscheiben praktisch keinen Einfluss auf den Leitungswiderstand haben, errechnet sich mit $\vartheta_J = 21$ °C/W und $\vartheta_G = 7,3$ °C/W ein Strahlungswiderstand $\vartheta_{St} = 11,1$ °C/W nach Gl. (7).

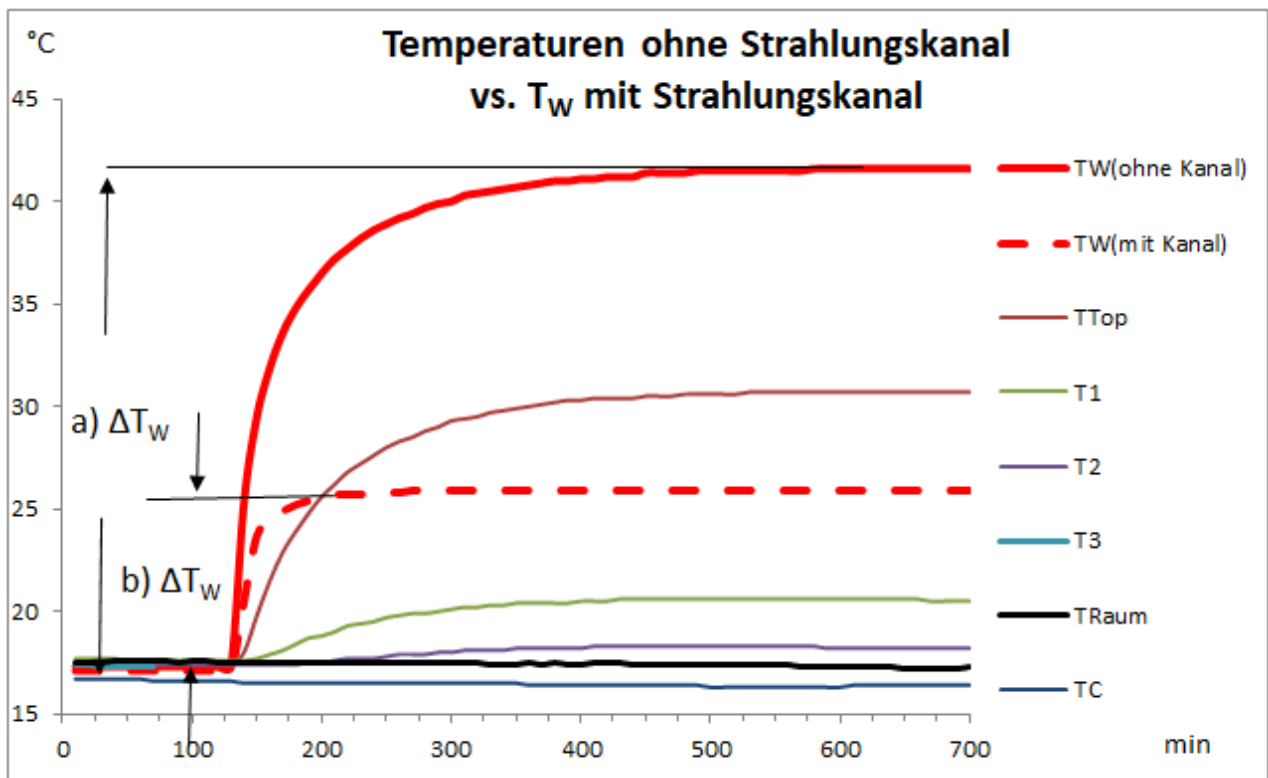


Abb. 4: a) Temperatur T_w ohne Strahlungskanal, b) zum Vergleich Temperatur T_w mit Strahlungskanal.

Dieser Vergleich zeigt das große Potenzial der IR-Strahlung zur Energieübertragung, wodurch wesentlich mehr Wärme abgeführt wird als durch reine Wärmeleitung.

Die Erdoberfläche, die zu mehr als 70 % aus Wasser besteht, wird i. W. durch drei parallele Wärmeströme, Konvektion, Evapotranspiration und Strahlungsaustausch, gekühlt. Durch den Anstieg der CO_2 -Konzentration steigt der Strahlungswiderstand ϑ_{st} , wodurch sich die Erdoberfläche leicht erwärmt. Eine Erderwärmung verursacht aber auch eine Zunahme der Wasserverdampfung mit dem Wärmewiderstand ϑ_{Eva} , wodurch die Erdoberfläche eine zusätzliche Kühlung erfährt und nach Gl. (7) der Wärmewiderstand ϑ_g wieder sinkt.

Ein solcher Mechanismus ist eine negative Temperatur-Rückkopplung (siehe Harde 2017 [18]), die leider vom IPCC und den dort referierten Klimamodellen nicht berücksichtigt wird und dadurch zu deutlich höheren Prognosen für eine durch CO_2 verursachte Erwärmung führt.

Die durch Verdunstung abgeführte Wärme und die daraus resultierende Wolkenbildung erklären, warum Ozeane auch in den Tropen nur eine maximale Oberflächen-Temperatur von rund 32 °C erreichen. Im Gegensatz dazu werden in den Wüsten der Subtropen, die sich nicht durch Wasserverdampfung kühlen können, Rekordtemperaturen erreicht, wie z.B. im Death Valley mit 56,7 °C in zwei Meter Höhe [19] oder sogar Bodentemperaturen von 94 °C im Furnace Creek bzw. 78,2 °C in der Dascht-e

2.5 Simulation des Treibhauseffekts

Wird eine geschwärzte, dünne Al-Platte als Zwischenscheibe P_I in den Strahlungskanal eingebracht, unterbricht diese den Strahlungsaustausch durch einen Absorptions-Emissions-Zyklus, wobei die der Platte zugeführte Energie beidseitig durch Infrarotstrahlung wieder abgegeben wird. Dieser Vorgang entspricht im Prinzip der Wirkung von Treibhausgasen in der Atmosphäre, mit dem Unterschied, dass in der schwarzen Scheibe alle verfügbaren Wellenlängen eines Planck-Strahlers von der Absorptions-Emissions-Unterbrechung betroffen sind. In diesem Modellversuch ist die gekühlte Platte P_C die Energiesenke, der Ort, an dem die durch IR-Strahlung übertragene Nettoenergie abgeführt wird.

Der Modellversuch kann auch als Simulation des Einflusses von Wolken auf den Strahlungsaustausch angesehen werden. In diesem Sinne simuliert die Scheibe P_I eine vollständige Wolkenbedeckung und P_W die Erdoberfläche. Ein weiterer Sensor auf der Scheibe P_I liefert Informationen über die an diesem Ort auftretende Temperatur T_I , die der Temperatur der Gase bzw. Wolken entsprechen würde.

Definitionsgemäß ist das Maß für den Treibhauseffekt die Temperaturerhöhung ΔT_G der warmen Platte im Vergleich zu einer Messung ohne die Platte P_I bei sonst gleicher Heizleistung H_w . In drei Versuchen, die sich lediglich im Abstand zwischen der Scheibe P_I und der warmen Platte unterscheiden, führt die Existenz dieser Platte im Strahlungskanal zu gut beobachtbaren Temperaturunterschieden von bis zu $2,0\text{ }^\circ\text{C}$ (Abb. 5, Tab. 3).

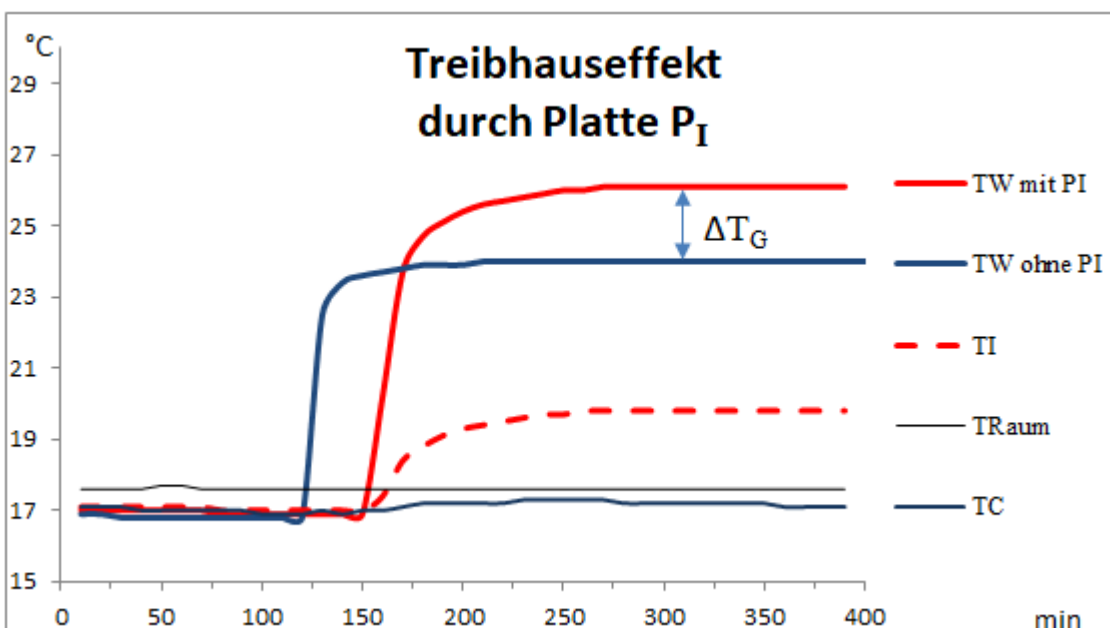


Abb. 5: Temperaturverlauf von T_w (Rot) und T_I (Gestrichnet) mit

Zwischenscheibe P_I (5 cm Abstand zu Platte P_W). Zum Vergleich die Temperatur T_W ohne Scheibe P_I (Blau).

Für die Platte P_W ist jetzt die Quelle der Rückstrahlung nicht mehr die Platte P_C , sondern die wärmere Platte P_I mit der Temperatur T_I (Rot gestrichelt). Dies führt zu einem Anstieg der Temperatur T_W (Rot). Zum Vergleich ist die Temperatur T_W ohne die Scheibe P_I dargestellt (Blau).

Tabelle 3: Treibhauseffekt einer Aluminiumscheibe

Aluminiumscheibe P_I Abstand zu P_W (cm)	H_W W	T_C °C	T_W °C	T_I °C	ΔT_W °C	ΔT_G °C	ϵ_G °C/W
5	1,20	17,1	26,1	19,8	9,2	2,00	7,7
30	1,20	16,9	25,7	19,0	8,8	1,60	7,3
55	1,20	16,9	25,3	18,5	8,4	1,20	7,0
ohne Scheibe	1,20	16,8	24,0	–	7,2	0,00	6,0

Damit wird erneut bestätigt: Die Temperatur eines beheizten Körpers hängt eindeutig von der Intensität der Gegenstrahlung seiner Umgebung ab, auch wenn diese kälter ist.

Übertragen auf die Atmosphäre lässt sich hieraus ableiten, dass der Treibhauseffekt durch TH-Gase vor allem bei klarem Himmel in Erscheinung tritt. Niedrige Wolken mit ihren vergleichsweise hohen Temperaturen erzeugen dagegen eine so starke Gegenstrahlung, dass die Beiträge durch die Treibhausgase überdeckt und deutlich abgeschwächt erscheinen.

Referenzen

1. J. B. Fourier, 1824: *Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires*. In: *Annales de Chimie et de Physique*, Vol. 27, 1824, S. 136–167, https://books.google.co.uk/books?id=1Jg5AAAACAAJ&pg=PA136&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages#v=onepage&q&f=false
2. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani et al. (eds.)]. Cambridge University Press, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.
3. R. W. Wood, 1909: *Note on the Theory of the Greenhouse*, London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine, Vol. 17, pp. 319-320. <https://zenodo.org/record/1430650#.Yoo9kPTP1EY>
4. T. Allmendinger, 2006: *The thermal behaviour of gases under the influence of infrared-radiation*, Int. J. Phys. Sci. 11: 183-205. <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/E00ABB60017>
5. N. S. Nahle, 2011: *Repeatability of Professor Robert W. Wood's 1909 experiment on the Theory of the Greenhouse*, Biology Cabinet Online-Academic Resources and Principia Scientific International,

Monterrey, N. L.

https://principia-scientific.org/publications/Experiment_on_Greenhouse_Effect.pdf

6. V. R. Pratt, 2020: *Wood's 1909 greenhouse experiment, performed more carefully*,
<http://clim.stanford.edu/WoodExpt/>
7. E. Loock, 2008: *Der Treibhauseffekt – Messungen an einem Wood'schen Treibhaus*,
<https://docplayer.org/30841290-Der-treibhauseffekt-messungen-an-einem-wood-schen-treibhaus-von-ehrenfried-loock-version.html>
8. T. O. Seim, B. T. Olsen, 2020: *The Influence of IR Absorption and Backscatter Radiation from CO₂ on Air Temperature during Heating in a Simulated Earth/Atmosphere Experiment*, *Atmospheric and Climate Sciences*, 10, pp. 168-185, <https://doi.org/10.4236/acs.2020.102009>.
9. H. v. Ditfurth, 1978: *Studio-Demonstration in Deutschem TV, ZDF TV-Series „Querschnitte“*.
10. M. Schnell, 2020: *Die falschen Klimaexperimente*,
<https://www.eike-klima-energie.eu/2020/11/06/die-falschen-klima-experimente/>
11. A. Gore, D. Guggenheim, 2006: *An Inconvenient Truth*, Movie,
<https://www.imdb.com/title/tt0497116/>
12. A. Watts, 2011: *Replicating Al Gore's Climate 101 video experiment shows that his „high school physics“ could never work as advertised*,
<https://wattsupwiththat.com/2011/10/18/replicating-al-gores-climate-101-video-experiment-shows-that-his-high-school-physics-could-never-work-as-advertised/?cn-reloaded=1>
13. J.-E. Solheim, 2016: *Start des zweitägigen „Al Gore-Experiments“*, 10. Internationale Klima- und Energie-Konferenz (10. IKEK), EIKE, Berlin,
<https://www.eike-klima-energie.eu/2017/02/04/10-ikek-prof-em-jan-erik-solheim-start-des-zweitaegigen-al-gore-experiments/>.
14. H. Harde, M. Schnell, 2022: *Verification of the Greenhouse Effect in the Laboratory*, *Science of Climate Change*, Vol. 2.1, pp. 1-33,
<https://doi.org/10.53234/scc202203/10>.
15. H. Harde, M. Schnell, 2022: *Nachweis des Treibhauseffekts im Labor*,
http://hharde.de/index_htm_files/Harde-Schnell-THE-m.pdf
16. M. Schnell, H. Harde, 2023: *Model-Experiment of the Greenhouse Effect*, *Science of Climate Change*, Vol. 3.5, pp. 445 – 462,
<https://doi.org/10.53234/scc202310/27>
17. J. Stefan, 1879: *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, 79, S. 391 – 428
18. H. Harde, 2017: *Radiation Transfer Calculations and Assessment of Global Warming by CO₂*, *International Journal of Atmospheric Sciences*, Volume 2017, Article ID 9251034, pp. 1-30,
<https://doi.org/10.1155/2017/9251034>.
19. Wikipedia, *Temperaturextrema*,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Temperaturextrema>
20. Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Dasht-e_Lut

Wegen der nicht genauen Darstellung von Indizes und Sonderzeichen, hier nochmal der Teil 1 als pdfGibt es einen Atmosphärischen Treibhauseffekt Teil 1 Vollständig

Kernkraft auf dem Vormarsch – ohne Sonderweg-Deutschland

geschrieben von Admin | 30. März 2024

Über 30 Staaten haben sich beim internationalen Atomgipfel in Brüssel auf den Ausbau von Kernenergie geeinigt. Das Gruppenbild spricht Bände: traute Eintracht – ohne Vertreter aus Deutschland. Deutschland zerstört lieber eines der besten Kraftwerke der Welt: Isar 2 fällt demnächst grünem Vernichtungswahn zum Opfer.

Von Holger Douglas

In einem der besten Kernkraftwerke der Welt können jetzt die Metallsägen beginnen, ihr Werk zu vollziehen: Im Kernkraftwerk Isar 2 östlich von München wurde die Genehmigung für den Abbruch erteilt, jetzt kann die Zerstörung beginnen. Unter weitem Beifall wird eines der leistungsfähigsten Kraftwerke verschrottet: Es fällt grünem Vernichtungswahn zum Opfer.

Auch Ministerpräsident Söder tat nichts, um das Unheil abzuwenden. Er weiß nicht, woher künftig der Strom für seine Industrie kommen soll. Die ersten Unternehmen haben bereits abgesagt, am Standort zu investieren. Grund: kein bezahlbarer und sicherer Strom. Stattdessen sollen in dem »Chemiedreieck« im Südosten Bayerns rund um Burghausen jetzt Windräder die Energieversorgung übernehmen; Windräder in einer der windschwächsten Ecken Deutschlands – größer kann der Lacherfolg über diesen gelungenen Streich nicht sein.

Sogar Luxemburg sieht eine Zukunft für Kernkraft. Das Land werde zwar keine Reaktoren bauen, wie Premierminister Frieden sagte, doch erkennt das Land die Bedeutung der Kernkraft im Kampf gegen so etwas wie den Klimawandel an. Bemerkenswert: Während das Land meistens Nachbar Deutschland folgte, geht es jetzt den Weg des restlichen Europas.

Damit steht Deutschland komplett im Abseits. Zuletzt zu sehen beim ersten internationalen Gipfeltreffen für Atomenergie in Brüssel. Vertreter von rund 30 Staaten haben sich dort auf einen beschleunigten Ausbau der Kernenergie geeinigt. Sie haben in einer gemeinsamen Erklärung ihren Einsatz für einen schnelleren Ausbau sowie eine vereinfachte Finanzierung von Atomkraft bekräftigt. Die Teilnehmer

betonten die entscheidende Rolle von Atomkraftwerken bei der Reduzierung klimaschädlicher CO₂-Emissionen.

Bedeutung bekam dieses Treffen, weil nicht nur ein paar EU-Größen, sondern hochrangige Vertreter aus den USA, China und Japan an dem Treffen teilnahmen. So war der stellvertretende Ministerpräsident Chinas, Zhang Guoqing, immerhin der zweithöchste Mann in dem Staat, angereist. Das Gruppenbild vor dem renovierten Atomium in Brüssel sprach Bände: traute Eintracht – ohne einen Vertreter aus Deutschland.

In einer Zeit, in der »Selbstverpflichtungen« in sind, »verpflichteten« sich jetzt 34 Länder, darunter die Vereinigten Staaten, China, Frankreich, Großbritannien und Saudi-Arabien, »darauf hinzuwirken, das Potenzial der Kernenergie voll auszuschöpfen, indem sie Maßnahmen ergreifen, die es ermöglichen, die Laufzeitverlängerung bestehender Kernreaktoren, den Bau neuer Kernkraftwerke und den frühzeitigen Einsatz fortschrittlicher Reaktoren zu unterstützen und wettbewerbsfähig zu finanzieren.« Weiter heißt es: »Wir verpflichten uns, alle Länder, insbesondere die Schwellenländer, bei ihren Kapazitäten und Bemühungen zu unterstützen, die Kernenergie in ihren Energiemix aufzunehmen.«

Neben dem Bau neuer Atomkraftwerke unterstützten die Teilnehmer auch die Verlängerung der Lebensdauer bestehender Anlagen. Zudem plädierten sie für die zügige Einführung neuerer und kleinerer Reaktoren, um die Nutzung von Atomenergie zu optimieren. Die Teilnehmer forderten internationale Finanzinstitutionen wie die Weltbank zudem auf, Atomprojekte stärker zu unterstützen.

Die Noch-Kommissionspräsidentin von der Leyen tönte in das gleiche Atomhorn und wies bei dem Treffen darauf hin, dass Kernkraft mit einem Anteil von rund 22 Prozent die größte Stromquelle in der EU sei. Jetzt rief sie Staatschefs und Minister aus 37 Ländern dazu auf, eine mögliche Laufzeitverlängerung ihrer Atomkraftwerke zu prüfen und den Neubau voranzutreiben. Erstaunliche Worte von UvdL – war doch Deutschland bei dem Gipfel nicht vertreten. Hier hat Habeck Wichtigeres zu tun: Kraftwerke abschalten.

Ganz anders in Frankreich: Hier betonte Präsident Macron, »dass Frankreich eines der wenigen Länder dank seines Nuklearmodells ist, das Strom exportiert, was eine Chance ist.« Mit Sicherheit hatte er den Blick ins Nachbarland Deutschland im Sinn, in dem es künftig viel Geld mit der Lieferung von Strom zu verdienen gibt. Wie lang Deutschland noch bezahlen kann, ist offen.

In den kommenden Jahren sollen in Frankreich mindestens sechs neue Kernkraftwerke gebaut werden. Acht weitere Kernkraftwerke werden geplant. Dies sei nötig, um die Klimaziele zu erreichen, so die Regierung Macron.

Es ist ein gewaltiges Wiederaufbauprogramm einer Kraftwerksindustrie notwendig. Viel Know-how im Kraftwerksbau ist in den vergangenen

Jahrzehnten verloren gegangen, seitdem der Atomausstieg in Europa vorangetrieben werden sollte. Fachkräfte fehlen wie zum Beispiel zertifizierte Schweißer, die Reaktordruckgefäße sicher schweißen können.

Der modernste Reaktor, der derzeit in Flamanville fertiggestellt wird, soll Mitte dieses Jahres ans Netz gehen können. Eigentlich hätte er bereits seit Ende 2022 mit Brennstäben befüllt werden sollen. Doch dieser Termin hat sich erheblich nach hinten verschoben; auch wurde der neue Block drei erheblich teurer als geplant. 13,2 Milliarden statt 12,7 Milliarden Euro wird jetzt das Kraftwerk an der Küste des Ärmelkanals kosten. Ursprünglich wurden die Baukosten mit 3,3 Milliarden Euro kalkuliert. Ebenso drastisch teurer wurde der Bau des britischen Kernkraftwerkes Hinkley Point C, ebenfalls ein sogenannter europäischer Druckwasserreaktor. Exorbitant viel teurer geworden ist auch der finnische Reaktor Ol-kiluoto.

Jetzt hofft die Politik auf eine Senkung der Kosten, wenn erst einmal wieder eine Kernkraftwerksindustrie und entsprechendes Know-how »Wie baut man ein Atomkraftwerk?« aufgebaut sein wird und Reaktoren in Serie errichtet werden. In Frankreich geht man davon aus, dass in den kommenden Jahren 100.000 neue Arbeitsplätze im Kraftwerksbau entstehen werden.

Auch bestehende Kraftwerke werden in Frankreich aufgerüstet, damit sie länger laufen können. Das ursprüngliche Ziel ‚weg von der Atomkraft‘, das auch in Frankreich von den Grünen hochgehalten wurde, um den Anteil der Kernkraftwerke auf unter 50 Prozent zu senken, hat die Regierung Macron im vergangenen Jahr kurzerhand gekippt.

Der Beitrag erschien zuerst bei TE hier

Wie weiter mit der Kernenergie? Klaus-Dieter Humpich zu Gast in der AfD-Fraktion im Bundestag

geschrieben von AR Göhring | 30. März 2024

Der Referent Klaus-Dieter Humpich ist promovierte Ingenieur. Mit Schwerpunkt Kernenergie. Einen besseren Vortragenden zu finden dürfte jeder Partei schwerfallen. In seinem Vortrag mit anschließender Diskussion im Deutschen Bundestag am 19.3.24 (hochgeladen am 23.3.24) stellte er die vielen neuen sicheren Kernkraft-Generationen aus

verschiedenen Ländern und von einigen Herstellern vor, zum Beispiel aktuelle Druck- und Siedewasser-Reaktoren.

Die Veranstaltung dauerte knapp 2 h. Wer möchte kann sich die hochinteressante Diskussion im Anschluss an den Vortrag hier ansehen.

Corona-Aufarbeitung und Klima: ein Teddy und ein Bauernopfer

geschrieben von AR Göhring | 30. März 2024

Die Vergangenheit kann man nicht ändern. Die „Corona-Aufarbeitung“ darf deshalb nicht nur fragen, „Was haben wir damals falsch gemacht?“, sondern muss fragen: „Könnten diese Fehler wieder vorkommen?“ Man will doch nicht in ein paar Jahren schon wieder reumütige „Aufarbeitungen“ zur Energiewende oder zur Immigration machen müssen.

von Hans Hofmann-Reinecke

Ein Teddy und ein Bauernopfer

Nach der geplanten Aufarbeitung wird die Regierung auf jegliche kritischen Fragen antworten können: „Corona? Das Thema ist sorgfältig analysiert und abgeschlossen. Hier ist der Bericht. Ja, wir hätten einiges besser machen können – niemand ist vollkommen. Ja, wir haben uns gegenseitig viel zu verzeihen, aber das ist nun geschehen. Jetzt müssen wir in die Zukunft blicken.“ Da sind vielleicht ein paar Krokodilstränen geflossen, vielleicht gab es sogar ein Bauernopfer, aber das war's dann. Dem braven Bürger wird ein Teddy in die Wiege gelegt und mit den Worten „jetzt schlaf schön“ über den Kopf gestrichen.

Falls die „Aufarbeitung“ aber ernst genommen würde – was ich sehr bezweifle – dann müssten die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wie konnte es dazu kommen, dass so weitreichende Entscheidungen ohne die geringste ernsthafte Abwägung von erhofftem Nutzen und Schaden gefällt wurden?
- Warum wurden Kritiker nicht angehört, sondern verteufelt und bestraft?
- Sind die Ursachen für diese gravierenden Fehlentscheidungen

systemisch, also in der Arbeitsweise unseres politischen Systems eingebettet? Wenn ja, warum? Es hat doch in der Vergangenheit gut funktioniert.

- Sind die Ursachen vielleicht in den Personen zu suchen, welche aus ethischer oder professioneller Sicht ihren Verantwortungen nicht gewachsen waren?
- Was muss heute getan werden, dass in Zukunft derartiges Versagen verhindert wird, und zwar auf allen Gebieten?

Energiewende: Analyse statt Aufarbeitung

Wir brauchen nicht auf das nächste Virus zu warten um zu erleben, ob so eine Aufarbeitung ernst gemeint ist. Es gibt aktuell durchaus Themen, bei denen das Risiko besteht, dass hier ähnliche Fehlentscheidungen wie bei Corona gefällt werden. Es könnte sein, dass dieselben personellen oder systemischen Mängel erneut enormen Schaden verursachen werden. Es könnte gut sein, dass die Energiewende so ein Thema ist, und wir hätten nichts davon, wenn uns in fünf Jahren eine Aufarbeitung der Energiewende angeboten wird, die dann zu dem Ergebnis kommt:

„Das Thema ist sorgfältig analysiert und abgeschlossen. Ja, wir hätten einiges besser machen können. Ja, wir haben uns gegenseitig viel zu verzeihen, aber das ist nun geschehen, und jetzt müssen wir in die Zukunft schauen.“

Ich schlage daher ich vor, dass wir Entscheidungen zum Thema Energiewende hier und jetzt einer kurzen Revision unterziehen:

- **Wurden die weitreichenden Entscheidungen nach ernsthafter Abwägung von erhofftem Nutzen und mölichem Schaden gefällt?** Keineswegs: Der Atomausstieg hat keinerlei Nutzen, aber großen Schaden gebracht. Er basierte auf der Lüge, Kernkraft sei eine „Risikotechnologie“. Dass dies nicht der Fall ist, das hätte einer der vielen Mitarbeiter im Energie-Ministerium in kürzester Zeit eruieren können (Fukushima, *Three Mile Island*). Die Entscheidung wurde aber durch einen „Ethikrat“ aus handverlesenen Laien gefällt, deren Urteil a priori feststand.
- **Warum wurden kompetente Kritiker nicht angehört, sondern verteufelt und bestraft?** Durch die Verteufelung vom Kritikern soll verhindert werden, dass man sich mit deren Argumenten auseinandersetzen muss. Man ist sich ja dessen bewusst, dass die Kritiker den politischen Entscheidungsträgern fachlich und intellektuell überlegen sein könnten. Da will man eine Konfrontation um jeden Preis vermeiden.

Dies ist unverantwortlich, denn die pessimistischen Prognosen der Kritiker hinsichtlich Strompreis, Stabilität des Netzes und Schäden durch Wind- und Solarkraftwerke bewahrheiten sich jetzt unaufhaltsam.

- **Sind die Ursachen für diese gravierenden Fehlentscheidungen systemisch, also in der Arbeitsweise unseres politischen Systems eingebettet, welches doch früher einmal gut funktioniert hat?** Die Ähnlichkeiten zu der Gefährdungs-Eskalation von „mittel“ auf „hoch“ sind ganz offensichtlich. Die beim Start der Energiewende verfügbaren technisch-wissenschaftlichen Daten wurden ignoriert oder verdrängt, und zwar in noch krasserem Ausmaß als bei Corona. Es liegt also nahe, dass es sich hier um systemisches Versagen handelt, welches darin besteht, dass sich die politischen Akteure ausschließlich ihrer Partei verantwortlich fühlen, nicht aber der deutschen Bevölkerung. Dieser Makel besteht auf allen hierarchischen Ebenen.
- **Sind die Ursachen vielleicht in den Personen zu suchen, welche aus ethischer oder professioneller Sicht ihrer Verantwortung nicht gewachsen waren?** Das ist nicht auszuschließen. Ein Wirtschafts- und Energieminister, der keinerlei Ausbildung in seinem Fach besitzt, muss im Amt dazulernen. Das teure Lehrgeld dafür kommt aus den Taschen der Steuerzahler. Dazu ist er seinen Beratern zu 100% ausgeliefert, und diese wiederum verfolgen ihre eigenen Ziele, sie haben ja keinen Amtseid auf die Bundesrepublik abgelegt.
- **Was muss getan werden, dass in Zukunft derartiges Versagen der Politik verhindert wird?** Die Probleme sind also sowohl auf systemisches, als auch auf personelles Versagen zurückzuführen. Eine wirksame „Aufarbeitung“ muß an den Wurzeln ansetzen und nicht an den Symptomen. Man sollte sich ein Beispiel an der Vergangenheit nehmen. Was wurde bis vor 20 Jahren anders und besser gemacht? Was gab es damals, was es heute nicht mehr gibt? Umgekehrt muß man untersuchen, warum brauchen wir heute Gesetze, die es damals nicht gab?

Solange weder in Sachen Energie, noch auf anderen existenziellen Gebieten gnadenlose und objektive Prüfung der Entscheidungen stattgefunden hat, und die notwendigen Revisionen durchgesetzt wurden, ist die Corona-Aufarbeitung nur ein weiterer Trick, um die Bevölkerung ruhig zu stellen.

Dieser Artikel erscheint auch im Blog des Autors Think-Again. Der Bestseller Grün und Dumm, und andere seiner Bücher, sind bei Amazon erhältlich.

Die außerordentlichen Wetter-Ereignisse von 2022 bis 2024*

geschrieben von Chris Frey | 30. März 2024

Javier Vinós, [Climate Etc.](#)

*[*Im Original lautet die Schlagzeile „...climate events...“. Auch im Beitrag wird „climate events“ mit „Wetterereignisse“ übersetzt. A. d. Übers.]*

Der unwahrscheinliche Vulkan, das wärmste Jahr und der Zusammenbruch des Polarwirbels.

Die Wetter-Ereignisse des Jahres 2022-24 waren wirklich außergewöhnlich. Von einem unwahrscheinlichen unterseeischen Vulkanausbruch über das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen bis hin zum Zusammenbruch des Polarwirbels nach drei plötzlichen stratosphärischen Erwärmungs-Ereignissen. Diese seltene Konvergenz stellt eine einzigartige Lernmöglichkeit für Klimatologen und Klimabegeisterte gleichermaßen dar und bietet Einblicke in ein Klimaereignis, das sich möglicherweise in Hunderten oder gar Tausenden von Jahren nicht wiederholen wird.

1. Januar 2022, der unwahrscheinliche Vulkan

Nie zuvor hat es einen unterseeischen Vulkanausbruch gegeben, dessen Rauchfahne bis in die Stratosphäre reichte und der eine große Menge an verdampftem Wasser absetzte. Zu diesem außergewöhnlichen Ereignis war es im Januar 2022 gekommen, als der Vulkan Hunga Tonga ausbrach. Die Bedingungen für ein solches Ereignis sind selten: Der Vulkan muss tief genug sein, um genügend Wasser mit der Wolke auszustoßen, aber nicht zu tief, um zu verhindern, dass es die Stratosphäre erreicht. Die meisten Unterwasservulkane erzeugen überhaupt keine Wasserfahnen, was den Ausbruch des Hunga Tonga umso bemerkenswerter macht.

Der Vulkan Hunga Tonga befand sich am Tag vor dem Ausbruch in einer Tiefe von 150 Metern an einem einzigartigen „Sweet Spot“. Außerdem muss die Eruption selbst außergewöhnlich stark sein, damit Wasserdampf in die Stratosphäre aufsteigen kann. Der Ausbruch des Hunga Tonga im Januar 2022 war der stärkste seit dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo im Jahr 1991 und damit seit 30 Jahren.

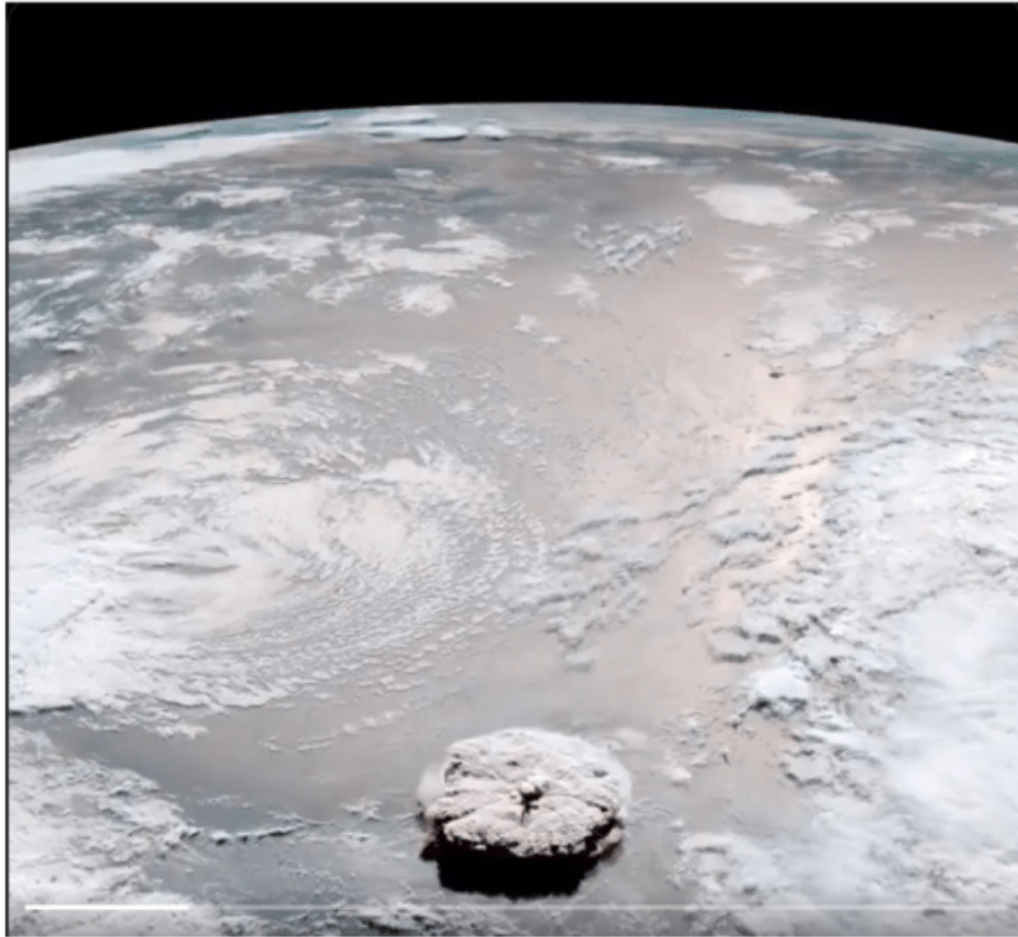


Figure 4. The Hunga Tonga eruption from space.

Abbildung 1. Der Ausbruch des Hunga Tonga aus dem Weltraum.

Aktive Unterwasservulkane in der entsprechenden Tiefe sind selten, und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vulkan mit dieser Intensität ausbricht, ist relativ gering. Möglicherweise handelt es sich um ein Ereignis, das nur alle paar Jahrhunderte oder vielleicht sogar nur einmal pro Jahrtausend auftritt. Zweifellos war es ein außergewöhnlich seltenes Ereignis.

Während die stärksten Eruptionen wie z. B. der Tambora im Jahre 1815 das Wetter in der Hemisphäre einige Jahre lang stark beeinflussen können, deuten unsere Beobachtungen von Eruptionen wie Agung (1963), El Chichón (1982) und Pinatubo (1991) darauf hin, dass ihre Auswirkungen innerhalb von drei bis vier Jahren abklingen.

Die Vorstellung, dass die Kleine Eiszeit (LIA) durch verstärkte vulkanische Aktivität verursacht wurde, ist weit verbreitet. Die Daten sprechen jedoch dagegen. Die vulkanische Aktivität während der LIA war nicht ungewöhnlich hoch, sondern eher niedriger als im Durchschnitt des Holozäns (obwohl die vulkanische Aktivität im frühen 19. Jahrhundert, gegen Ende der LIA, außergewöhnlich hoch war). Der wichtigste ungewöhnliche Klimafaktor während der LIA war die außergewöhnlich

geringe Sonnenaktivität.

In die Stratosphäre eindringende Vulkanausbrüche führen zu erheblichen strahlungsbedingten, chemischen und dynamischen Veränderungen, wobei Schwefel eine Schlüsselrolle spielt. Vulkanisches Schwefeldioxid (SO_2) oxidiert, verbindet sich und aggregiert zu Sulfataerosolen. Diese Aerosole streuen die eintreffende kurzwellige Strahlung, was zu einer verringerten Oberflächeneinstrahlung und damit zu einer Abkühlung der Oberfläche führt. Außerdem absorbieren sie sowohl die ein- als auch die ausgehende Infrarotstrahlung und tragen so zur Erwärmung der Stratosphäre bei.

Die Auswirkungen des Hunga-Tonga-Ausbruchs sind jedoch genau das Gegenteil. Hunga Tonga wurde zwar mit Schwefeldioxid in Verbindung gebracht, aber die Hauptauswirkung ging von Wasserdampf aus. Wasserdampf ist ein starkes Treibhausgas, so dass der plötzliche Anstieg des Wasserdampfs in der Stratosphäre um 10 % an einem einzigen Tag die Trübung der Stratosphäre für ausgehende Infrarotstrahlung erhöhte. Anders als in der unteren Troposphäre, wo der Treibhauseffekt relativ gesättigt ist, wirkt sich der Zusatz von Wasserdampf in der Stratosphäre wesentlich stärker aus, befindet sich dieser doch damit weit oberhalb der durchschnittlichen Emissionshöhe der Erde (etwa 6 km). Außerdem verstärkt der erhöhte Wasserdampfgehalt in der Stratosphäre die Infrarot-Emissionen aus der Stratosphäre und kühlt sie dadurch erheblich ab.

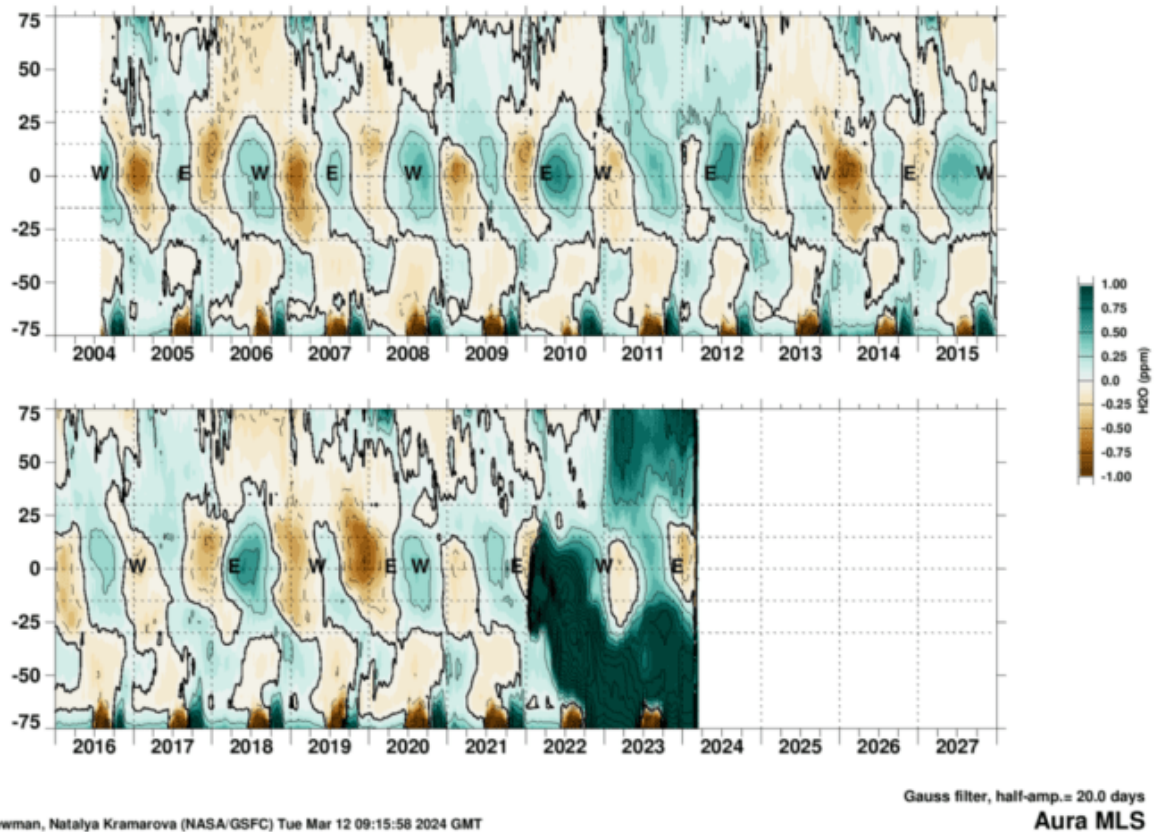
H₂O**31.6hPa**

Abbildung 2: Stratosphärischer Wasserdampf in ppm nach Breitengrad im Laufe der Zeit in 31,6 hPa Höhe. Die Entwicklung des Hunga-Tonga-Wasserdampfes ist von der tropischen Injektion in Richtung der Pole deutlich zu erkennen.

Der unwahrscheinliche inverse Vulkanausbruch von Hunga Tonga kühlt derzeit die Stratosphäre ab und erwärmt gleichzeitig die Oberfläche. Dieser Effekt wird jedoch im Laufe der Zeit allmählich abnehmen, wenn der überschüssige Wasserdampf in den nächsten 2 bis 4 Jahren aus der Stratosphäre entweicht. Abbildung 2 veranschaulicht die Bewegung des vulkanischen Wassers von den tropischen Regionen, in welche die dehydrierte Luft aus der Troposphäre eindringt, zu den mittleren und hohen Breiten, wo es in den kommenden Jahren allmählich die Stratosphäre verlassen wird.

Es stellt sich die Frage: Warum hat es mehr als ein Jahr gedauert, bis die Auswirkungen der stratosphärischen Veränderungen auf die Temperatur nach der Explosion festgestellt werden konnten? Normalerweise geht man davon aus, dass Strahlungseffekte sofort eintreten, sobald Wasserdampf oder Sulfataerosole in die Stratosphäre gelangen. Unser Wissen darüber, wie Vulkane das Wetter beeinflussen, ist jedoch nach wie vor unvollständig, und Klimamodelle haben Schwierigkeiten, diese Phänomene genau zu reproduzieren.

Der Transport in der Stratosphäre erfolgt schnell in Nord-Süd-Richtung,

aber sehr langsam in Bezug auf den Breitengrad und die Höhe, mit erheblichen saisonalen Schwankungen. Abhängig von Faktoren wie dem Breitengrad des Ausbruchs und der Jahreszeit können die Auswirkungen eines Vulkanausbruchs auf das Wetter sehr unterschiedlich sein. Der Ausbruch des Tambora liefert einen Präzedenzfall: Er ereignete sich im April 1815, aber seine Auswirkungen auf das Wetter, die zum „Jahr ohne Sommer“ führten, wurden erst im Juni 1816, also 15 Monate nach dem Ausbruch, festgestellt. Dieses historische Beispiel unterstreicht die Möglichkeit, dass Ereignisse, die mehr als ein Jahr nach einer Eruption eintreten, tatsächlich auf diese zurückgeführt werden können.

2. 2023, das wärmste Jahr jemals

Ab Juni 2023 waren die letzten sieben Monate des Jahres die wärmste Periode seit Beginn der Aufzeichnungen und übertrafen die bisherigen Rekorde deutlich. Angesichts der beträchtlichen Temperaturschwankungen, die von Monat zu Monat zu beobachten sind, ist ein solches Ereignis recht bemerkenswert. Aber wie unwahrscheinlich ist es?

Anhand des HadCRUT5-Datensatzes stellen wir fest, dass es seit 1870 17 rekordverdächtige wärmste Jahre gegeben hat. Jedes Jahr in HadCRUT5, das alle vorangegangenen Jahre übertrifft, wird als Rekordjahr eingestuft, und der Rekordanstieg wird als Temperaturdifferenz zum vorherigen Rekordjahr gemessen (höchste Marke bis dahin). Zum Beispiel war 2009 das wärmste Jahr, aber es war nur $0,005^{\circ}\text{C}$ wärmer als 2007, das vorherige Rekordjahr. Das Jahr 2023 war das wärmste Jahr und $0,17^{\circ}\text{C}$ wärmer als 2016. Dies ist der größte Unterschied zwischen einem Rekordjahr und dem vorherigen Rekordjahr in der gesamten Reihe.

Abbildung 3 zeigt, dass 2023 mit $+0,17^{\circ}\text{C}$ der größte Temperaturanstieg seit 153 Jahren zu verzeichnen war. Dieser Anstieg im Vergleich zu früheren Aufzeichnungen ist bemerkenswert, selbst für ein Jahr, das als das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen verzeichnet worden ist.

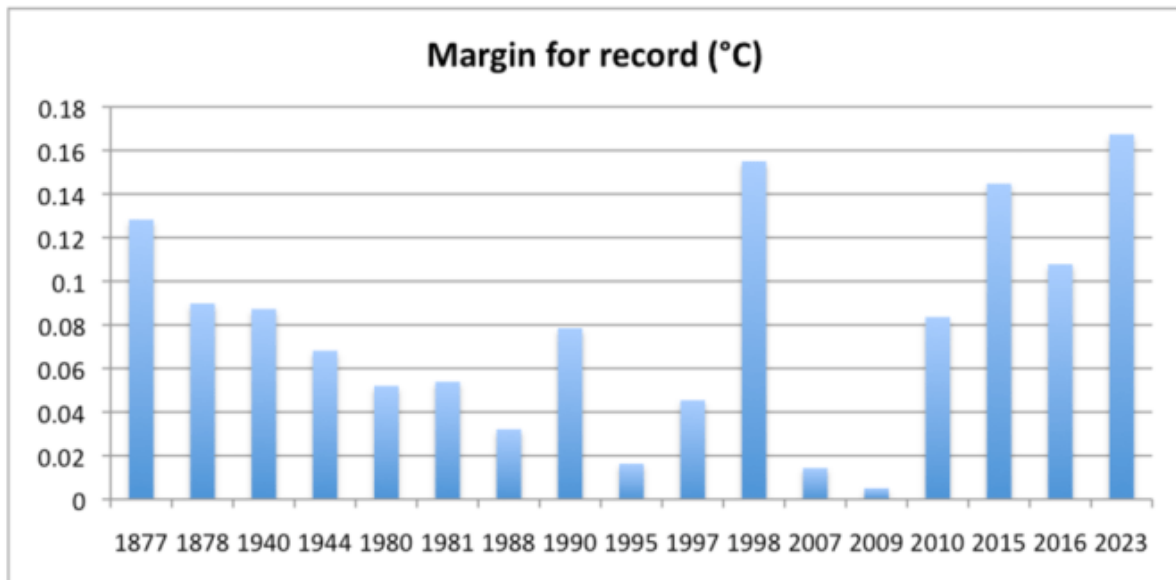


Abbildung 3. Die wärmsten Jahre im HadCRUT5-Datensatz seit 1870 mit dem Temperaturanstieg gegenüber dem vorherigen Rekord. Den größten Sprung gab es im Jahre 2023.

In den wärmsten Jahren stechen oft mehrere Monate als die wärmsten hervor (Abbildung 4, blaue Balken). Im Jahr 2023 gab es sieben solcher Monate, die nur 2016 hinter sich lassen und mit 2015 gleichziehen. Bemerkenswert ist, dass diese sieben wärmsten Monate aufeinander folgten und sich von Juni bis Dezember erstreckten. Die roten Balken in Abbildung 4 veranschaulichen die Anzahl der aufeinanderfolgenden Rekordmonate für jedes Rekordjahr. Aus der Abbildung wird deutlich, dass die Jahre im Datensatz mit fünf oder mehr aufeinanderfolgenden wärmsten Monaten mit sehr starken El-Niño-Jahren zusammenfallen: 1877-78, 1997-98 und 2015-2016.

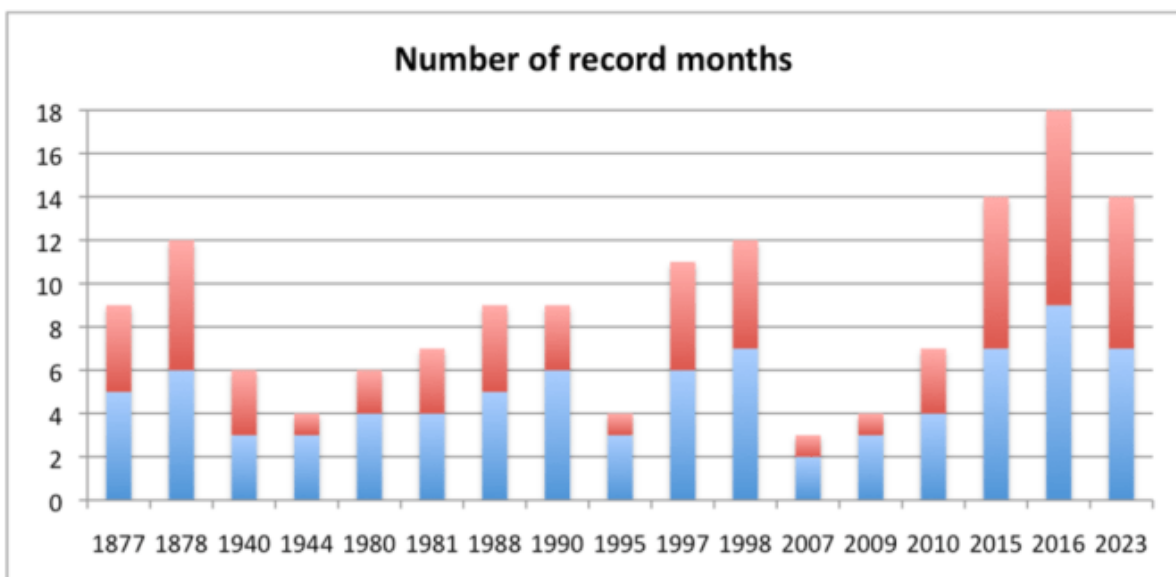


Abbildung 4. Die Anzahl der Rekordmonate in den Rekordjahren ist in blau, die Anzahl der aufeinanderfolgenden Rekordmonate in rot dargestellt.

Im Jahr 2023 reflektieren die Temperaturstatistiken ähnliche Bedingungen wie in den stärksten El-Niño-Jahren seit über einem Jahrhundert. Aber war dies wirklich der Fall? Es ist schwierig festzustellen, ob El Niño der Auslöser für den Wärmerekord im Jahr 2023 war. Sich allein auf die Temperatur des Pazifischen Ozeans als Kriterium für El Niño zu verlassen, würde zu einem Zirkelschluss führen. El Niño ist ein komplexes Phänomen, an dem sowohl die Atmosphäre als auch der Ozean beteiligt sind. Der Multivariate ENSO-Index ([MEI v2](#)) verwendet fünf Variablen – Luftdruck auf Meeresspiegel-Niveau, Temperatur der Meeresoberfläche, zonale Winde an der Oberfläche, meridionale Winde an der Oberfläche und ausgehende langwellige Strahlung – um eine Zeitreihe der ENSO-Bedingungen von 1979 bis heute zu erstellen.

Dieser Index zeigt, wenn er über das gesamte Jahr gemittelt wird, dass von allen Rekordjahren seit 1980 nur 1997-98 und 2015-16 das Ergebnis eines sehr starken El Niño waren. Das Jahr 2023 war sogar ein schwaches El-Niño-Jahr, trotz sehr hoher Meerestemperaturen.

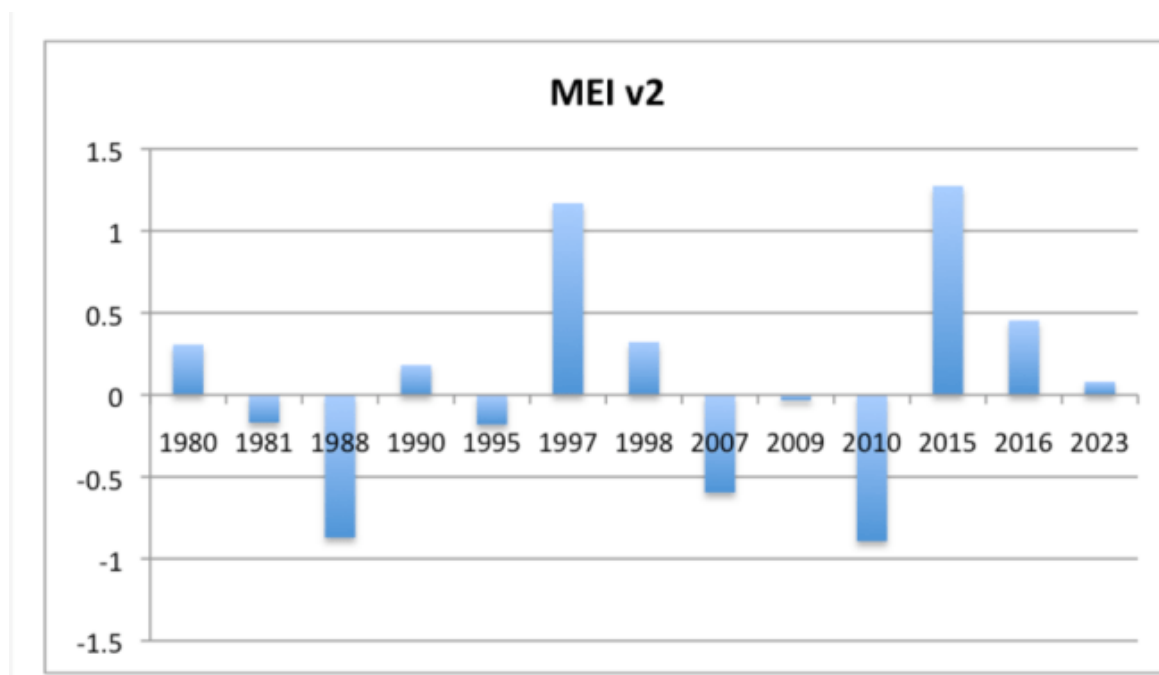


Abbildung 5. Jahresdurchschnittswerte des Multivariaten ENSO-Index für die wärmsten Rekordjahre.

Daraus lässt sich schließen, dass 2023 tatsächlich ein ungewöhnliches Jahr mit Rekordtemperaturen war. Obwohl es in Bezug auf die Überschreitung früherer Temperaturrekorde mit sehr starken El-Niño-Jahren konkurrierte, fiel es nicht wirklich in diese Kategorie.

Bemerkenswert ist, dass es trotz des Fehlens eines starken El Niño den höchsten Temperaturrekord in dem anderthalb Jahrhunderte umfassenden Datensatz aufstellte, und zwar mit dem größten Abstand.

In einem Artikel mit dem Titel „[State of the climate – summer 2023](#)“ zeigte Judith Curry, wie ungewöhnlich das Jahr 2023 in Bezug auf die globale Strahlungsbilanz am oberen Rand der Atmosphäre, die Komponenten der Oberflächen-Energiebilanz und die internen Modi der Klimavariabilität war, die durch atmosphärische und ozeanische Zirkulationsmuster bestimmt werden.

Das Ausmaß der Anomalien, die im Jahr 2023 in einem breiten Spektrum von Variablen auftraten, wurde noch nie zuvor aufgezeichnet. Es handelt sich um ein in unseren Aufzeichnungen bisher nicht dagewesenes Wetter-Ereignis.

3. Januar-März 2024, der Zusammenbruch des Polswirbels

Der Polarwirbel ist ein kreisförmiges Windmuster, das sich auf rotierenden Planeten mit einer Atmosphäre entwickelt. Er resultiert aus der Erhaltung der potenziellen Wirbelstärke, einer Eigenschaft, die von der Corioliskraft und dem potenziellen Temperaturgradienten abhängt. Die potenzielle Temperatur bezieht sich auf den Teil der Temperatur eines Luftpakets, der nicht von seiner potenziellen Energie beeinflusst wird, und wird oft als die Temperatur definiert, die das Paket hätte, wenn es an die Oberfläche gebracht werden würde (1000 hPa).

In der nördlichen Hemisphäre kommt es gegen Ende des Sommers in der Arktis zu einem starken Temperaturabfall, wenn die Tage kürzer werden. Um die potenzielle Wirbelstärke aufrechtzuerhalten, verstärkt sich der Wind um die Polarregionen in west-östlicher Richtung. Die Bildung des Polarwirbels in der Stratosphäre erfolgt, wenn die vorherrschenden Ostwinde auf Westwinde umschlagen. Diese Verschiebung ist an der zonalen Windgeschwindigkeit zu erkennen, die um den September herum von negativ auf positiv wechselt (siehe Abbildung 6). Schließlich löst sich der Wirbel gegen April auf.

Die Winde im stratosphärischen Polarwirbel können bis zu 180 km/h erreichen und bilden eine gewaltige Barriere für den Wärmetransport aus den Tropen. Infolgedessen werden die Atmosphäre und die Oberfläche innerhalb des Wirbels sehr kalt und trocken, was den Energieverlust für den Planeten verringert, da kalte Oberflächen weniger Wärme abstrahlen.

In der Atmosphäre treten wie in jeder Flüssigkeit Wellen auf, planetarische Wellen genannt. Eine Ursache der Bildung dieser planetarischen Wellen sind große Gebirgsketten und Temperaturunterschiede zwischen Ozeanen und Land. Nach der [Rossby-Formel](#) verlagern sich diese Wellen umso schneller, je kürzer deren Wellenlänge und je stärker der sog. Zonale Grundstrom [= der Westwind-Impuls] ist. Schwächt sich der zonale Grundstrom ab, wird der Polarwirbel geschwächt,

so dass wärmere Luft einströmen kann, welche kalte Luft nach außen drückt. Dieser Austausch führt zu kälteren Winterbedingungen in den mittleren Breitengraden.

[Ohne dem Autor zu nahe treten zu wollen – obiger Absatz ist keine direkte Übersetzung, denn es entsteht der Eindruck, dass der Autor – anders als der Übersetzer – nicht wirklich mit der Rossby-Theorie planetarischer Wellen vertraut ist. Wer mehr dazu wissen will, kann den Link anklicken. A. d. Übers.]

Wenn sich die Winde so weit abschwächen, dass sie ihre Richtung ändern, zerfällt der Polarwirbel in zwei oder drei kleinere Wirbel, die sich voneinander entfernen. Die Luft in der Stratosphäre, die in das Gebiet eindringt, das zuvor von dem Wirbel eingenommen wurde, sinkt ab und erwärmt sich dabei erheblich. Dieses Phänomen, das als plötzliche Stratosphärenenerwärmung (SSW) bezeichnet wird, kann die Temperaturen in der polaren Stratosphäre innerhalb weniger Tage bis zu 40 °C ansteigen lassen. SSWs sind in der nördlichen Hemisphäre relativ häufig und treten in der Regel etwa alle zwei Jahre auf. In den folgenden Wochen führen sie in bestimmten Regionen, insbesondere im östlichen Nordamerika und im östlichen Eurasien, oft zu härteren Winterbedingungen.

El-Niño-Jahre begünstigen in der Regel SSW-Ereignisse und Zusammenbrüche des Polarwirbels.

Dies könnte auf die erhöhten Temperaturkontraste im Ozean während El Niño zurückzuführen sein, die planetarische Wellen mit größerer Amplitude erzeugen. Gelegentlich, etwa alle 10-20 Jahre, treten zwei SSW-Ereignisse im gleichen Winter auf. Die lange Periode dieses Winters (November bis März) markiert jedoch das erste Mal seit Beginn der Aufzeichnungen in den 1950er Jahren, dass drei SSW-Ereignisse beobachtet wurden. Der Zusammenbruch des Polarwirbels ereignete sich im Januar, Februar und März, wie in Abbildung 6 der [SSW-Überwachung der NOAA](#) dargestellt. Jedes Mal fiel die rote Linie, die die Westwindgeschwindigkeit darstellt, auf die Nulllinie. Zu dieser Jahreszeit ist es möglich, dass sich der stratosphärische Polarwirbel nicht neu bildet.

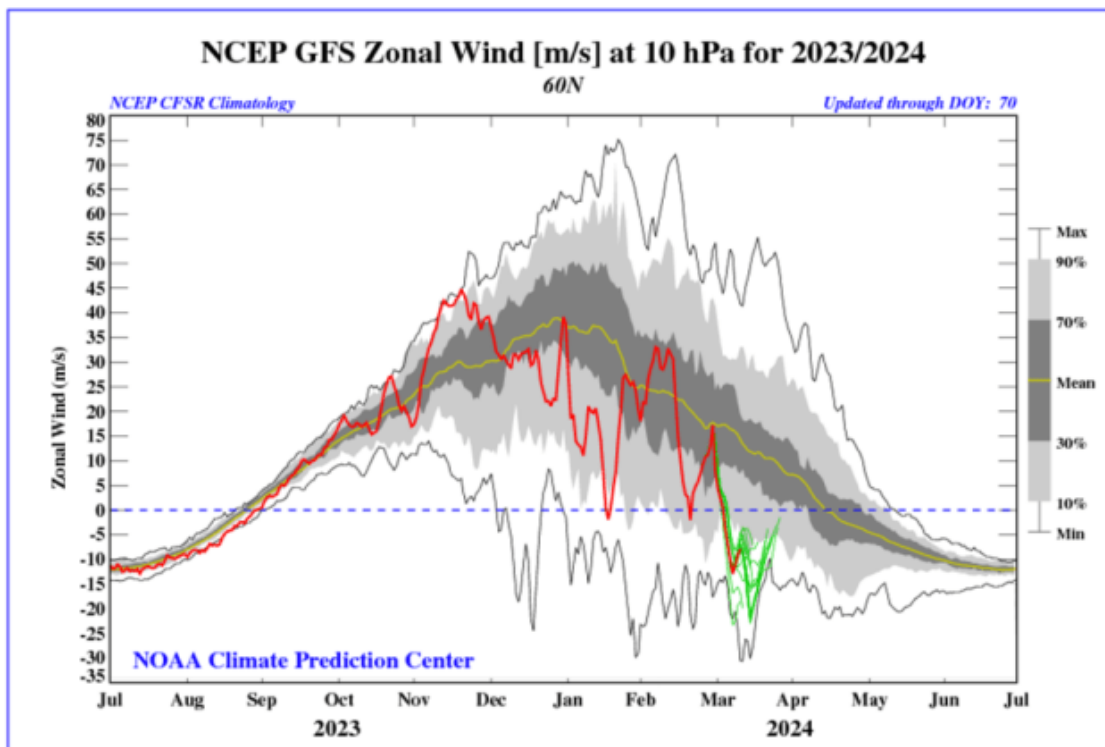


Abbildung 6. Die westlichen (positiven) stratosphärischen zonalen Winde bei 60°N (rote Linie) erreichten in diesem Jahr dreimal die Null-Geschwindigkeits-Linie, was jedes Mal auf eine plötzliche Erwärmung der Stratosphäre und den Zusammenbruch des Polarwirbels hindeutet.

Laut Adam Scaife vom britischen Met Office ist dieses Ereignis nicht nur beispiellos, sondern könnte auch [nur einmal in 250 Jahren auftreten](#). Dies geht aus einer aktuellen [statistischen Studie über SSW-Ereignisse](#) hervor, die mit einem saisonalen Vorhersagesystem innerhalb eines Klimamodells durchgeführt wurde. Es ist jedoch wichtig, einen Vorbehalt anzumerken: Klimamodelle haben immer noch Schwierigkeiten, die Stratosphäre genau abzubilden, und können das beobachtete Phänomen nicht reproduzieren, dass La-Niña-Jahre auch die Wahrscheinlichkeit von SSW-Ereignissen erhöhen.

Die Auswirkungen der drei SSW-Ereignisse in diesem Winter sind nicht besonders dramatisch. Zwar können sich normale Wettermuster verschieben und in einigen Gebieten zu ungewöhnlichen Temperaturen und Niederschlägen führen, doch sind die Auswirkungen nur vorübergehend. Allerdings wirken sich diese Ereignisse auf die Temperaturen in der Arktis und damit auf die Energiemenge aus, die den Planeten verlässt. Die Abschwächung des Polarwirbels, wie in Abbildung 6 dargestellt, führt in diesem Winter zu einem verstärkten Wärmetransport in die Arktis und damit zu höheren Temperaturen in dieser Region.

Abbildung 7 veranschaulicht diesen Trend, wobei die orangefarbene Linie die Temperaturen in der Arktis im Jahr 2023 nach Angaben des Dänischen Meteorologischen Instituts und die grüne Linie die Temperaturen in

diesem Jahr darstellt. Da der Treibhauseffekt während des arktischen Winters aufgrund des geringen Wasserdampfs in der Atmosphäre relativ schwach ist, entweicht aufgrund des geschwächten Wirbels mehr Energie vom Planeten. Dadurch wird die ungewöhnliche Erwärmung in der zweiten Hälfte des Jahres 2023 abgeschwächt und reduziert, die dazu beigetragen hat, dass es das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen war.

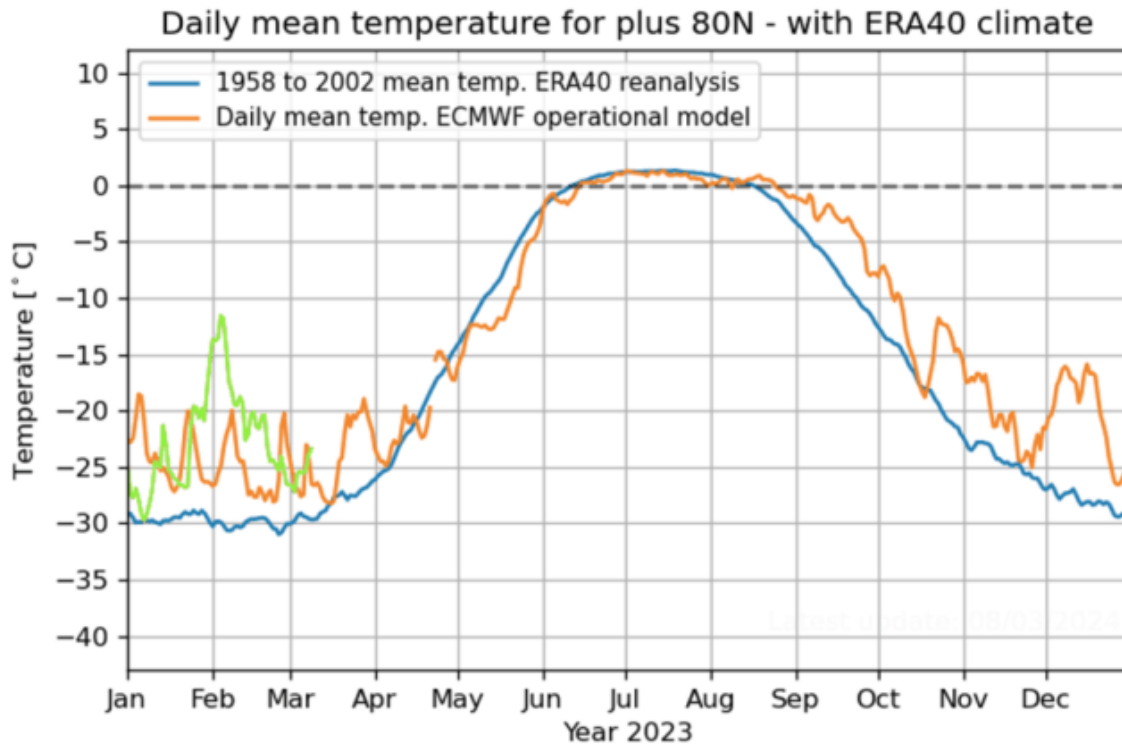


Abbildung 7. Oberflächentemperatur in der Arktis für die Jahre 2023 (orange) und 2024 (grün), verglichen mit dem Durchschnitt von 1958-2002 (blau).

Trotz der zusätzlichen Wärme, die in die Arktis transportiert wird und zu einem Temperaturanstieg führt, ist die Ausdehnung des arktischen Meereises nicht entsprechend zurückgegangen. Tatsächlich übersteigt die Meereisausdehnung in diesem Winter den Durchschnitt für 2010-2020. Es scheint, dass das arktische Eis entgegen den weit verbreiteten Befürchtungen über sein Verschwinden widerstandsfähig und stabil bleibt.

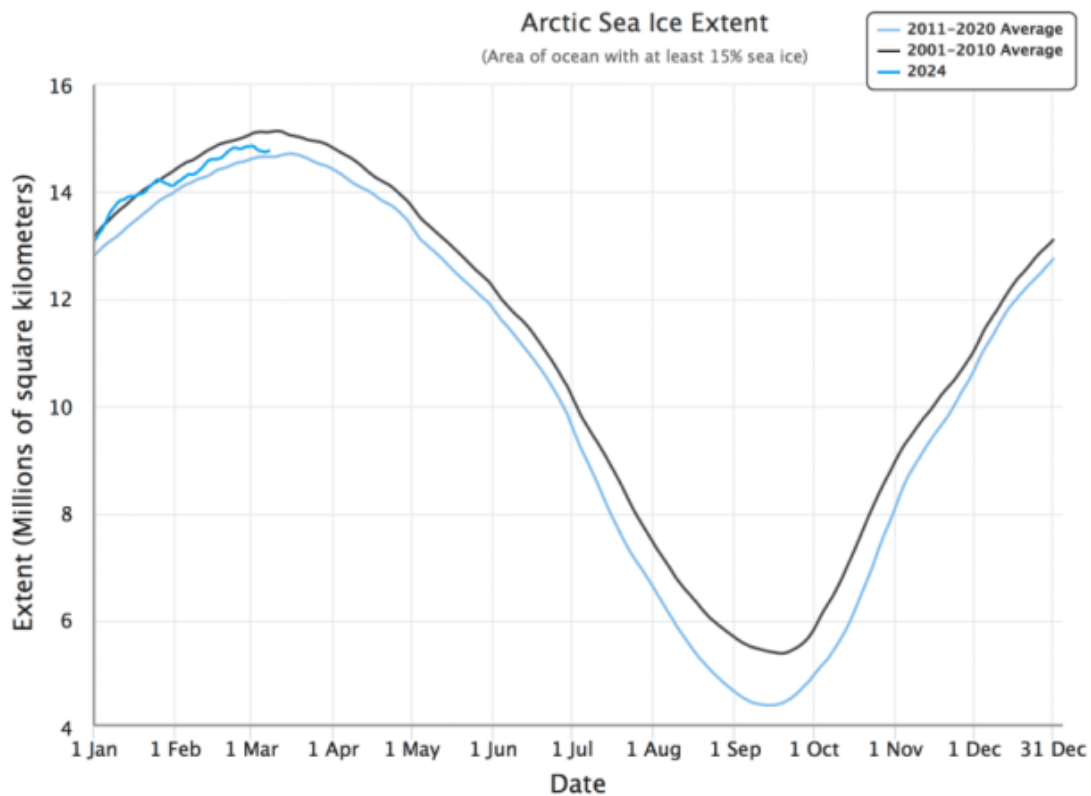


Abbildung 8. Ausdehnung des arktischen Meereises im Jahr 2024 im Vergleich zu den dekadischen Durchschnittswerten für 2001-10 und 2011-20 des National Snow and Ice Data Center.

4. Was ist in naher Zukunft zu erwarten?

Der unwahrscheinliche Vulkanausbruch ist die wahrscheinliche Ursache für die außergewöhnliche Erwärmung, die wiederum zum Auftreten der beispiellosen drei SSW-Ereignisse führte.

Unser Verständnis der Auswirkungen dieser Ereignisse unterstützt diese Interpretation.

Historische Daten über die wärmsten Jahre deuten darauf hin, dass das Jahr 2024 mit hoher Wahrscheinlichkeit erneut den Temperaturrekord brechen wird, ähnlich wie die Jahre 1877-78, 1980-81, 1997-98 und 2015-16. Wenn wir jedoch die Hunga-Tonga-Eruption als Hauptursache für die Erwärmung identifiziert haben, können wir davon ausgehen, dass der überschüssige Wasserdampf, wenn er die Stratosphäre verlässt, zu einer Abkühlung an der Oberfläche führt, was die Temperaturen in den nächsten drei bis vier Jahren senken könnte. Studien wie [Solomon et al. \(2010\)](#) haben bereits die negativen Auswirkungen der Austrocknung der Stratosphäre auf die globale Erwärmung aufgezeigt. Die durch den Hunga-Tonga-Vulkan verursachte Erwärmung dürfte sich wieder umkehren.

Darüber hinaus könnten andere Faktoren, die sich auf die Temperaturen auswirken, wie der Rückgang der Sonnenaktivität nach dem Maximum des Sonnenzyklus 25 und ein künftiger Wechsel der atlantischen

multidekadischen Oszillation in ihre kalte Phase zu einer großen Pause bei der globalen Erwärmung beitragen. Nimmt man die Temperatur von 2023-24 als Bezugspunkt, könnte es in den kommenden Jahren sogar zu einer gewissen Abkühlung kommen. Es sind in der Tat interessante Zeiten, was die Klimadynamik betrifft.

Link:

<https://wattsupwiththat.com/2024/03/25/the-extraordinary-climate-events-of-2022-24/>

Übersetzt und teils modifiziert von Christian Freuer für das EIKE