

# Die Erde ohne Treibhausgase

geschrieben von Chris Frey | 16. März 2025

Andy May

Der allgemeine Treibhauseffekt (GHE) wird häufig als der Unterschied zwischen der durchschnittlichen globalen Temperatur der Erde ohne Treibhausgase (THG) und mit ihnen definiert. Treibhausgase sind alle Gase, die einen Teil der von der Erdoberfläche abgegebenen Wärmeenergie absorbieren. Das wichtigste dieser Gase ist Wasserdampf, aber es gibt auch geringer wirkende Treibhausgase wie CO<sub>2</sub>, Ozon und Methan.

Zur Berechnung der Erdtemperatur ohne Treibhausgase wird normalerweise die Planetenkugel ausgepackt und im Weltraum in der durchschnittlichen Entfernung der Erde von der Sonne platziert, wobei die gesamte Erdoberfläche von der Sonne mit einem Viertel der Sonnenleistung beleuchtet wird, um der kugelförmigen Erde und der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Hälfte der Erde immer dunkel ist. Diese imaginäre flache Erde dreht sich nicht, und kein Teil der Erde ist jemals dunkel. Eine Beschreibung der Berechnung kann in [Benestad \(2017\)](#) nachgelesen werden. Die mit diesem Szenario berechnete globale Durchschnittstemperatur beträgt etwa 255 K (-18 °C), und da dies etwa 33 °C niedriger ist als die aktuelle globale Durchschnittstemperatur von 15 °C, wird der gesamte Treibhauseffekt mit etwa 33 °C angenommen. Weitere Erläuterungen zu dieser Definition findet man [hier](#).

In diesem Beitrag werde ich zunächst die Probleme mit dem GHE-Modell der „flachen Erde“ auflisten und dann ein Modell einer neuen, treibhausgasfreien, kugelförmigen, rotierenden Erde vorstellen. Danach werde ich die Annahmen auflisten, die zur Erstellung des Modells der kugelförmigen Erde verwendet wurden, sowie die Probleme, die damit verbunden sind, und schließlich diskutieren, was wir bei der Erstellung des Modells gelernt haben. Computermodelle sind Lernwerkzeuge, sie geben nie eine richtige Antwort, aber sie helfen dabei, etwas über die Probleme zu erfahren, zu deren Untersuchung sie entwickelt worden sind.

## Probleme mit dem Flache-Erde-Modell

Das Modell der flachen Erde ohne Treibhausgase ignoriert die Tatsache, dass die Erde eine rotierende Kugel ist und dass die Hälfte der Erde immer im Dunkeln liegt. Die dunkle Seite strahlt immer Energie ab, empfängt aber keine. Das ist ein großer Unterschied zu dem Modell, bei dem die Sonne 24 Stunden am Tag mit überall gleicher Intensität direkt auf die Erde scheint. Die Befürworter des Modells der flachen Erde begründen dies damit, dass die Temperatur der satellitengestützten Treibhausgasemissionen der Erde ebenfalls 255 K beträgt (Benestad, 2017), was unter Verwendung einer Tabelle mit der durchschnittlichen Temperatur im Verhältnis zur Höhe (der US-amerikanischen oder

internationalen [Standardatmosphäre](#)) eine durchschnittliche Emissionshöhe von etwa fünf Kilometer ergibt. Es wird wenig darüber diskutiert, wie die Energie von der Oberfläche, wo die meiste Sonnenenergie absorbiert wird, in fünf Kilometer Höhe gelangt. Der Transport erfolgt jedoch größtenteils durch Konvektion, und der größte Teil der von den Treibhausgasen emittierten Energie wird bis zu einer Höhe von fünf Kilometern als latente Wärme im Wasserdampf gespeichert. Oberhalb von 5 km wird sie hauptsächlich in den Weltraum [abgestrahlt](#), da der Wasserdampf in der kälteren mittleren bis oberen Troposphäre zu Wassertröpfchen kondensiert und/oder immer geringer wird.

Wenn man sich nur mit Durchschnittswerten befasst, d. h. mit dem durchschnittlichen atmosphärischen Temperaturprofil, der durchschnittlichen Temperatur, der durchschnittlichen Emissionshöhe, dem durchschnittlichen Emissions-Intensitäts-Spektrum usw., kann das Modell der flachen Erde genau erscheinen und mit der Realität übereinstimmen. Die Treibhausgasemissionen in den Weltraum entstehen jedoch in einer troposphärischen Schicht von etwa zwei bis zehn Kilometern, je nach atmosphärischen und Bewölkungs-Bedingungen. Außerdem gibt es keine einheitliche Beziehung zwischen der Oberflächentemperatur und der Temperatur in der atmosphärischen Treibhausgas-Emissionsschicht, sondern sie variiert je nach Wetterbedingungen, Bewölkung, Jahreszeit und Tageszeit. Die Oberfläche funktioniert weitgehend unabhängig von der Emissionsschicht, beide sind durch Konvektion und Wetter getrennt.

In der Astronomie wird oft angenommen, dass die Emissionsfrequenz und -intensität eines Planeten das „Schwarzkörper“-Frequenzspektrum des Planeten ist, das nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz eine Schwarzkörpertemperatur definiert. Dabei handelt es sich nicht um die tatsächliche Temperatur der Planetenoberfläche, sondern nur um eine grobe Schätzung. Planeten sind keine perfekten schwarzen Körper. Sie sind „graue Körper“. Ein [Schwarzkörper](#) strahlt die gesamte Energie ab, die er absorbiert, und da er per Definition eine konstante Temperatur hat, strahlt er die gesamte einfallende Energie mit einem Frequenzspektrum ab, das durch seine Temperatur bestimmt wird. Am wichtigsten ist, dass ein schwarzer Körper keine Energiespeicherkapazität hat oder dass sein Gesamtenergiespeicher konstant ist und sich nie ändert.

Graukörper hingegen geben nicht die gesamte Energie ab, die sie aufnehmen; sie speichern einen Teil der Energie und geben den Rest ab. Die Ozeane der Erde haben eine enorme Wärmekapazität und speichern mehr Energie als die Oberfläche der Venus, aber während die [Venusoberfläche](#) eine Temperatur von 464 °C hat, beträgt die Oberflächentemperatur der Erde nur etwa 15 °C. Das liegt daran, dass die Ozeane der Erde eine Wärmekapazität von  $5,4 \times 10^{24}$  Joule/K haben und die Venus keine Ozeane besitzt. Das Fehlen von Ozeanen und atmosphärischem Wasserdampf in Verbindung mit dicken Schwefelsäurewolken und einer sehr dichten Atmosphäre führt zu der hohen Temperatur der Venusoberfläche.

## Ein rotierendes Erde-Modell frei von Treibhausgasen

Ziel des Modells der flachen Erde ist es, den Einfluss der Treibhausgase auf die Temperatur der Erdoberfläche zu berechnen. Dies erfordert eine Schätzung dieser Temperatur ohne Treibhausgase. Das ist schwierig, denn das bedeutet, dass es kein Wasser, keine Wolken und keinen Wasserdampf gibt, und das sind entscheidende Merkmale der Erde. Das klassische Modell der flachen Erde geht davon aus, dass der Planet seine derzeitige Albedo (Reflexionsvermögen) von 0,3 beibehält, was bedeutet, dass 30 % der einfallenden Sonnenenergie reflektiert wird. Die Hälfte oder mehr dieser Albedo ist jedoch auf die Wolken zurückzuführen. Ohne Wasser gäbe es keine Wolken und die Albedo der Erde wäre eher mit der des Mondes vergleichbar, der eine Albedo von 12 % hat. Wir untersuchen beide Albedo-Schätzungen mit dem Modell.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Tatsache, dass Treibhausgase Energie in den Weltraum abgeben. Wenn die Atmosphäre keine Treibhausgase enthält, gibt sie nur wenig Energie in den Weltraum ab und wirkt wie ein Isolator. Während jedoch die Treibhausgase die von der Oberfläche unserer Atmosphäre abgegebene Strahlung einfangen, ist die Atmosphäre ohne Treibhausgase transparent, und alle Oberflächenemissionen gelangen direkt in den Weltraum; die Erde speichert nur die von der felsigen Oberfläche absorbierte Sonnenenergie.

Das häufigste Gestein auf der Erdoberfläche ist Basalt. Auf unserer Erde gibt es viel Wasser, das den Basalt chemisch in Schlamm oder Schmutz verwandelt. Auf der treibhausgasfreien Erde gibt es kein Wasser, daher nehme ich an, dass die Oberfläche aus blankem Basalt besteht. Er wird durch Meteoriten etwas aufgebrochen, aber das ignorieren wir für dieses Modell. Felsen haben eine höhere thermische Trägheit als Erde oder Schlamm und halten die aufgenommene Wärme länger fest.

Wie die meisten Gesteine ist Basalt ein ziemlich guter Isolator, aber er hat eine Temperaturleitfähigkeit, d. h. die Geschwindigkeit, mit der er Wärme durch sein Inneres leitet. Der Wärmedurchgangskoeffizient wird in  $\text{m}^2/\text{Sekunde}$  angegeben. Jeder, der schon einmal an einem warmen Tag in einer alten mittelalterlichen Kirche war, weiß, dass der Wärmedurchgangskoeffizient von Gestein gering ist. Wenn also Sonnenlicht auf Basalt trifft und ihn erwärmt, dringt ein Teil der Wärme in den Basalt ein, wo sie eine Zeit lang gespeichert wird, und der Basalt gibt den Rest der Sonnenenergie durch die treibhausgasfreie, transparente Atmosphäre in den Weltraum ab. Mein treibhausgasfreies Modell berücksichtigt ausdrücklich die thermische Diffusivität.

Darüber hinaus gibt der warme Basalt durch Wärmeleitung auch etwas Wärme an die Atmosphäre ab. Die Atmosphäre ist frei von Treibhausgasen und gibt daher nur sehr wenig Energie direkt in den Weltraum ab, so dass wir sie für unser Modell ignorieren können. Allerdings ist die Tagseite des rotierenden Planeten etwa  $170^\circ\text{C}$  wärmer als die Nachtseite, so dass die Winde überschüssige Wärmeenergie als fühlbare Wärme von der Tagseite zur

Nachtseite oder von den Tropen zu den Polen transportieren werden. So erreichen die Windgeschwindigkeiten in der wasserfreien Atmosphäre der Venus 700 km/h (430 mph). Die Winde transportieren überschüssige Wärme aus den heißeren Gebieten in die kühleren Gebiete und leiten dann einen Teil der Wärme an die Oberfläche, wo sie ins All abgegeben oder absorbiert wird. Aus diesem Grund wird davon ausgegangen, dass die Erwärmung der Atmosphäre auf unserem treibhausgasfreien Planeten durch die Erwärmung der Oberfläche seitens der Atmosphäre genau ausgeglichen wird.

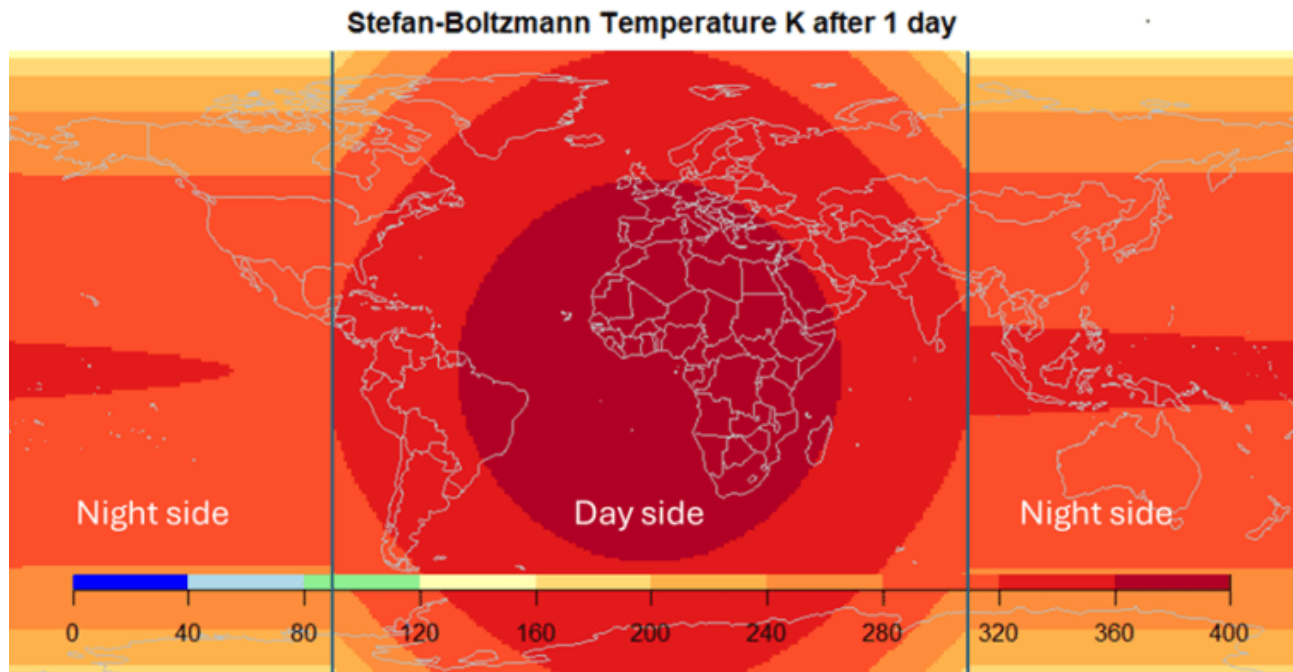


Abbildung 1. Das treibhausgasfreie Modell der Temperatur der rotierenden Erdoberfläche in Kelvin. Die Tages- und Nachtseite des Modells sind markiert. Die Ost-West-Lage ist willkürlich, der lokale Mittag liegt willkürlich bei null Grad Länge und Breite und die angenommene axiale Neigung ist Null. Dies ist das Ergebnis eines Modelllaufs, bei dem eine Albedo von 0,12 und eine thermische Trägheit im Basalt von 0,1 angenommen wurde.

Das Modell geht davon aus, dass die Atmosphäre für das einfallende Sonnenlicht völlig transparent ist und die gesamte Energie von der Basaltoberfläche absorbiert wird, die sich entsprechend dem Einfallswinkel des Sonnenlichts auf die Tageshälfte der Kugeloberfläche erwärmt. Zwar wird ein Teil des Sonnenlichts von der Atmosphäre gestreut, doch wird dieser Effekt im Modell ignoriert. Abbildung 1 zeigt die Temperatur nach einem Tag auf der treibhausgasfreien Erde gemäß dem Modell. Die Ost-West-Positionen sind willkürlich auf den Äquator auf dem Längengrad Null zentriert und sind aufgrund der konstanten Rotation der THG-Erde bedeutungslos. Die Nord-Süd-Positionen sind aussagekräftig und repräsentieren eine Erde ohne axiale Neigung. Das Fehlen einer axialen Neigung bedeutet, dass die THG-freie Erde keine Jahreszeiten hat.

Abbildung 1 veranschaulicht, dass sich die Oberfläche in direktem Verhältnis zur empfangenen Strahlung erwärmt und die maximale Strahlung empfangen wird, wenn die Sonne direkt über uns steht. Die maximale Sonneneinstrahlung beträgt nach Korrektur um die Mondalbedo von 12 %  $1198 \text{ W/m}^2$  und tritt für einige Minuten am Äquator zur lokalen Mittagszeit auf. In Abbildung 1 ist dies bei Längengrad = 0 und Breitengrad = 0, also am Äquator direkt südlich von Greenwich England, wo die Temperatur zur Mittagszeit 381K (108°C) erreicht. Die Erde dreht sich von West nach Ost, weshalb die Temperatur auf der Nachtseite am östlichen Ende der Nachtseite (rechts in Abbildung 1) höher ist als auf der Westseite (links in Abbildung 1).

Da die thermische Diffusionsfähigkeit von Basalt sehr gering ist, etwa  $9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$  (Robertson, 1988), dauert es eine Weile, bis sich die oberen Schichten der Gesteinsoberfläche erwärmen und in diesem Modell eine Art Gleichgewicht der globalen durchschnittlichen Basalttemperatur erreicht wird. Die Tagseite absorbiert die Sonnenstrahlung und gibt Wärmeenergie ab. Die Nachtseite hingegen empfängt nichts, gibt aber aufgrund ihrer gespeicherten Wärmeenergie dennoch Strahlung ab. Die Nachtseite gibt aufgrund ihrer niedrigeren Oberflächentemperatur weniger Energie ab als die Tagseite.

Wie viel genau tagsüber im Basalt gespeichert ist und wie viel später am Tag, wenn die Oberflächentemperatur kühler ist, abgegeben wird, ist nicht bekannt, kann aber anhand der Temperaturleitfähigkeit des Basalts geschätzt werden. Die Diffusivität variiert mit der Temperatur ungefähr entsprechend der in Abbildung 2 dargestellten Funktion.

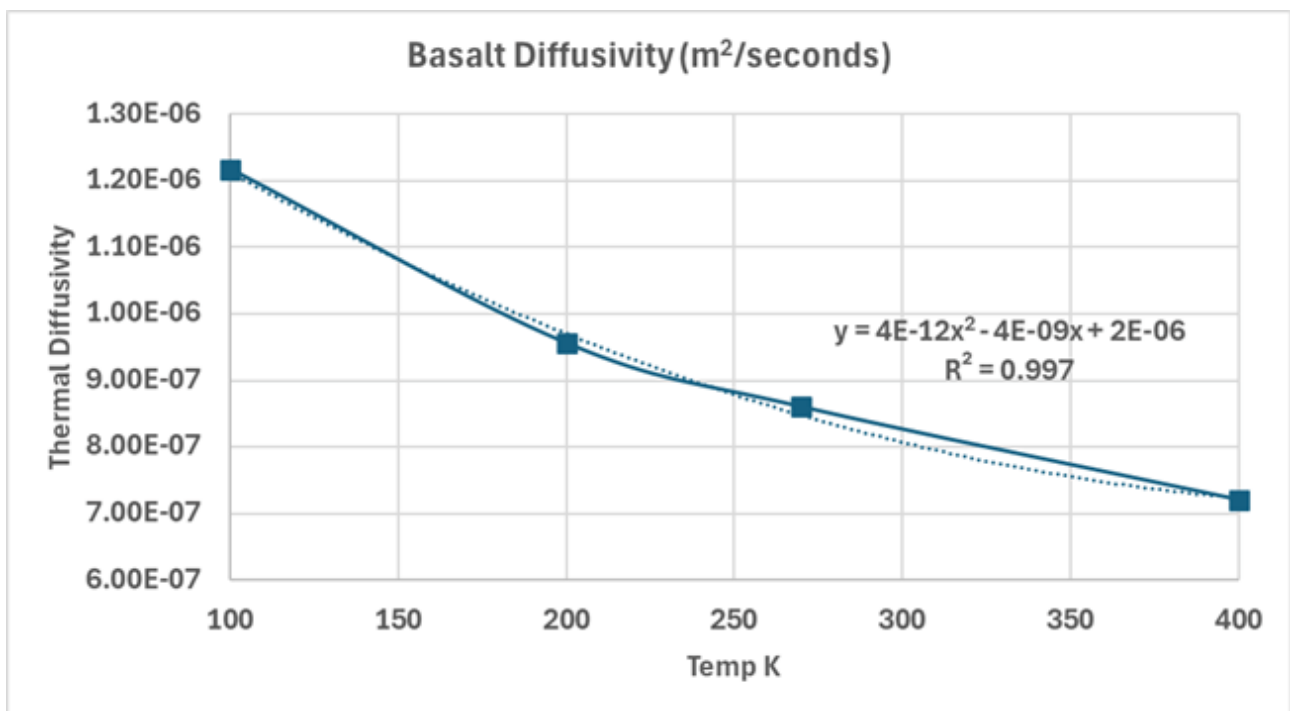


Abbildung 2. Thermische Diffusivität von Basalt als Funktion der Temperatur. Daten hauptsächlich aus Robertson, 1988, (Hartlieb, Toifl,

Kuchar, Meisels, & Antretter, 2015), (Halbert & Parnell, 2022) und (Sabol, Gillespie, McDonald, & Danillina, 2006).

Obwohl die Diffusivität bei höheren Temperaturen geringer ist, speichert der Basalt tagsüber zunächst mehr Energie als er nachts abgibt. Dem Modell zufolge wird auf der Tagseite mehr Gesamtenergie emittiert als auf der Nachtseite, was jedoch auf die höhere Temperatur der Tagesoberfläche zurückzuführen ist. Das Modell besagt also, dass ein Teil der Energie, die tagsüber in den Basalt diffundiert, auf die Nachtseite gelangt, der Rest wird tagsüber bei niedrigeren Tagestemperaturen emittiert, die bei der Rotation des Planeten näher an den Rändern der Tagseite auftreten.

Auf der Nachtseite steigt ein Teil der tagsüber gespeicherten Energie auf, um die Oberfläche zu erwärmen, und wird in den Weltraum abgestrahlt. Auf der Nachtseite sind zwei entgegengesetzte Kräfte am Werk. Die thermische Diffusionsfähigkeit von Basalt nimmt bei niedrigeren Temperaturen zu, aber die niedrigeren nächtlichen Temperaturen führen zu einer geringeren Energieabgabe an den Weltraum. Es besteht also ein Missverhältnis zwischen der Speicherung am Tag und den nächtlichen Emissionen. Das bedeutet nicht, dass die Oberfläche auf den absoluten Nullpunkt abkühlt, denn das wird nicht passieren, weil die thermische Trägheit des Basalts zu groß und die Diffusivität zu gering ist, aber es bedeutet, dass es eine Weile dauert, bis eine stabile Temperatur an der Oberfläche erreicht wird. Ich habe dieses Modell für 36 500 Iterationen oder etwa 100 Jahre laufen lassen. Die durchschnittliche globale Temperatur an der Oberfläche entwickelte sich wie in Abbildung 3 dargestellt:

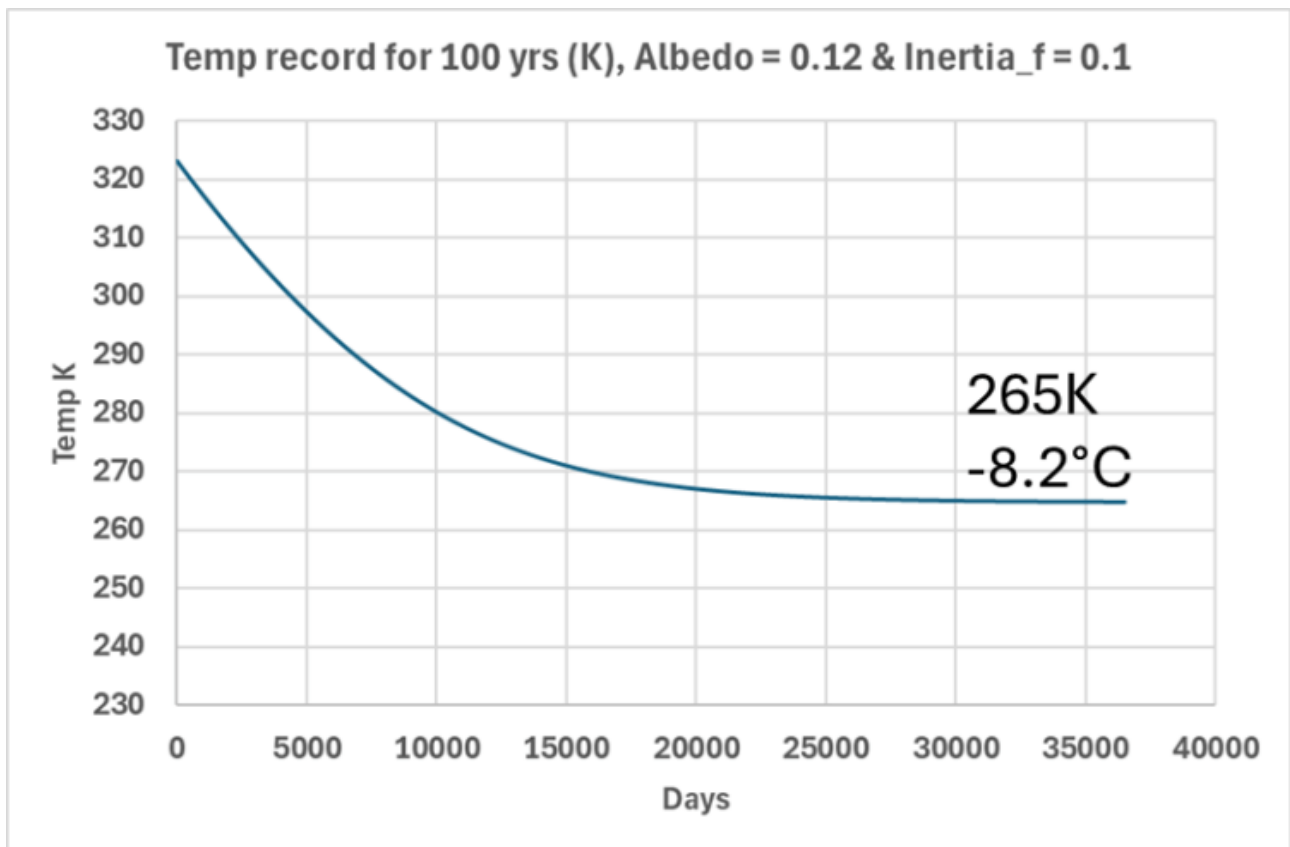


Abbildung 3. Globale durchschnittliche Temperatur des treibhausgasfreien Modells in den ersten 100 Jahren. Die weitgehend stabilisierte globale Durchschnittstemperatur nach 100 Jahren liegt bei 265 K oder -8 °C.

Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, stabilisiert sich die durchschnittliche Temperatur unter Verwendung der in mein Modell eingebauten Annahmen schließlich auf eine solche, die niedriger ist als die heutige Temperatur. Bei diesem Ergebnis wird die Albedo des Mondes zugrunde gelegt, die der Albedo der Erde ohne Wasser oder Wasserdampf ähnlich ist. Außerdem wird ein Ausweichfaktor für die thermische Trägheit von 0,1 angenommen. Ich habe verschiedene Schätzungen der thermischen Trägheit ausprobiert, darunter den Wärmedurchgangskoeffizienten (Sabol, Gillespie, McDonald, & Danillina, 2006) und den „R“-Isolationsfaktor, und keine davon hat aus verschiedenen Gründen gut funktioniert. Es gibt viele Möglichkeiten der Wärmeübertragung, Leitung, Konvektion und Strahlung, und diese variieren je nach den örtlichen Gegebenheiten, so dass es keine allgemeine Definition der Wärmeträgheit gibt. Alle vernünftigen Annahmen zeigen jedoch einen hohen Wert der thermischen Trägheit im Basalt, der dazu führt, dass die Temperatur nach der Initialisierung des Modells sinkt.

Obwohl unterschiedliche Annahmen die endgültige globale Gleichgewichtstemperatur verändern, führen alle vernünftigen Werte für die thermische Trägheit zu einer niedrigeren globalen durchschnittlichen Temperatur als heute. Abbildung 4 vergleicht einige der von mir untersuchten Szenarien nach 100-Jahre-Durchläufen. Das Modell wurde



sowohl mit der Albedo des Mondes von 0,12 als auch mit der aktuellen Albedo der Erde (einschließlich der nicht vorhandenen Wolken) von 0,3 durchgeführt. Ohne Treibhausgase würde die Erde ihre derzeitige Albedo nicht beibehalten, aber dies ist der übliche Wert, den ich zu Vergleichszwecken verwendet habe. Die beiden diskutierten Werte für die thermische Trägheit (0,1 und 0,15) sind vernünftige Annahmen, da die tatsächliche thermische Trägheit von Basalt recht hoch ist, aber selbst diese Werte könnten ein wenig zu hoch sein. Höhere Werte dieses Faktors bedeuten eine geringere Trägheit und niedrigere Werte eine höhere Trägheit. Andere Werte für die Trägheit wurden untersucht, aber als unwahrscheinlich angesehen.

Die thermische Trägheit ist der Widerstand eines Materials gegenüber Temperaturänderungen. Es gibt keine formale oder allgemeine Methode zur Beschreibung der thermischen Trägheit, da sie sehr situationsabhängig ist. Das Newton'sche [Kühlungsgesetz](#) gilt für kleine Temperaturunterschiede, versagt aber in Situationen, wie ich sie hier modelliert habe. Der [Wärmewirkungsgrad](#), auch thermisches Reaktionsvermögen genannt, der die Quadratwurzel aus dem Produkt von Wärmeleitfähigkeit, Dichte und spezifischer Wärmekapazität ist, funktionierte ebenfalls nicht. Mein letzter Versuch war die Verwendung des „R“-Isolationsfaktors, aber auch dieser Versuch schlug fehl.

Meine Analyse dieser verschiedenen Trägheitsfaktoren ist als Tabellenkalkulation beigefügt, ein Link zum Herunterladen befindet sich am Ende des Beitrags. Eine Art neues Maß für den Wärmewiderstand (Trägheit) muss für die von mir modellierte Situation entwickelt werden. Für den Moment habe ich einen angenommenen Faktor erstellt, der den Anteil der im Basalt gespeicherten Wärmeenergie darstellt, der innerhalb von 12 Stunden an die Oberfläche gelangen und als Strahlung abgegeben werden kann. Im Modell wird dies „inertia\_f“ genannt. Die Werte 0,1 und 0,15 sind vernünftig, wenn man die etablierten Werte der Wärmeleitfähigkeit, Dichte und spezifischen Wärmekapazität durchschnittlichen Basalts berücksichtigt.



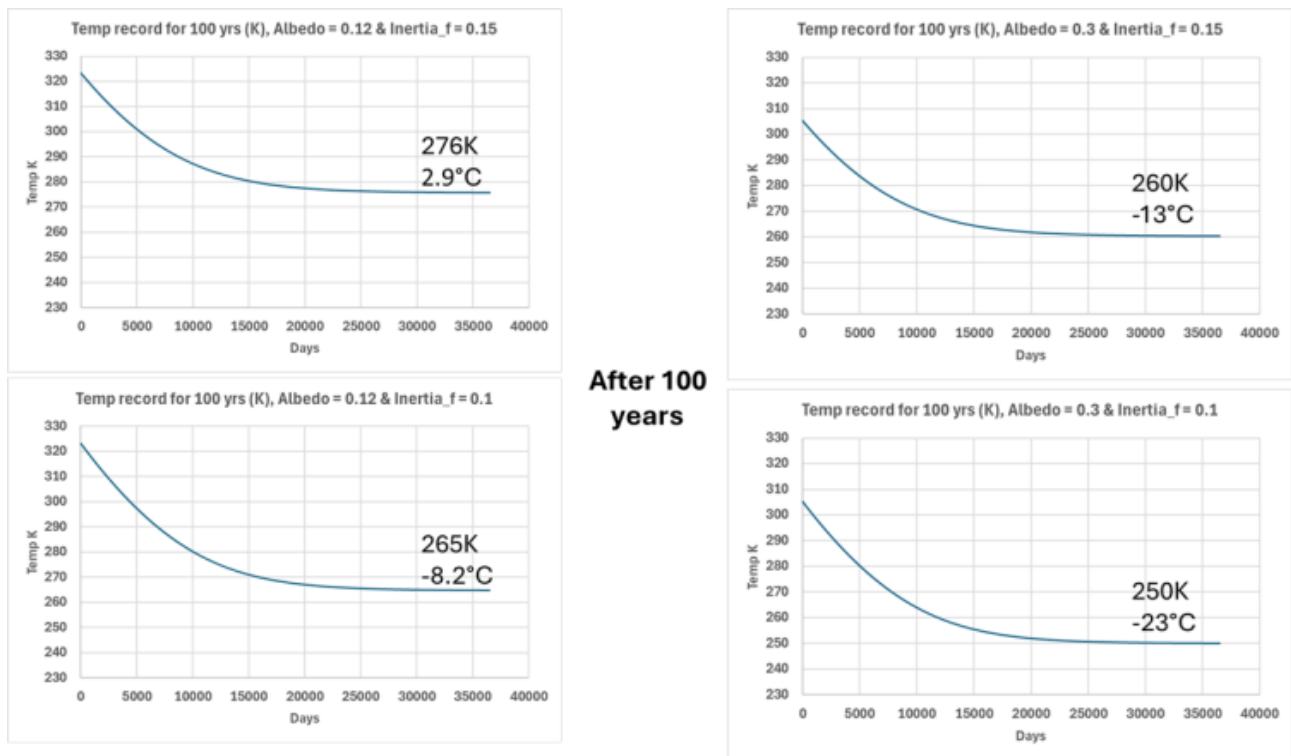


Abbildung 4. Einige der verschiedenen Szenarien, die in dieser Modellstudie untersucht worden sind.

Man beachte, dass alle nach 100 Jahren berechneten Temperaturen niedriger sind als die derzeitige globale Temperatur. In Anbetracht der großen Unsicherheit des Modells sind Werte, die über der derzeitigen globalen Temperatur liegen, möglich, aber Werte von mehr als 300 K gelten als äußerst unwahrscheinlich. Außerdem wird der Temperaturunterschied zwischen der Tagseite der treibhausgasfreien rotierenden Erde und der Nachtseite niemals verschwinden, wie Abbildung 5 nach 100 Jahren zeigt:

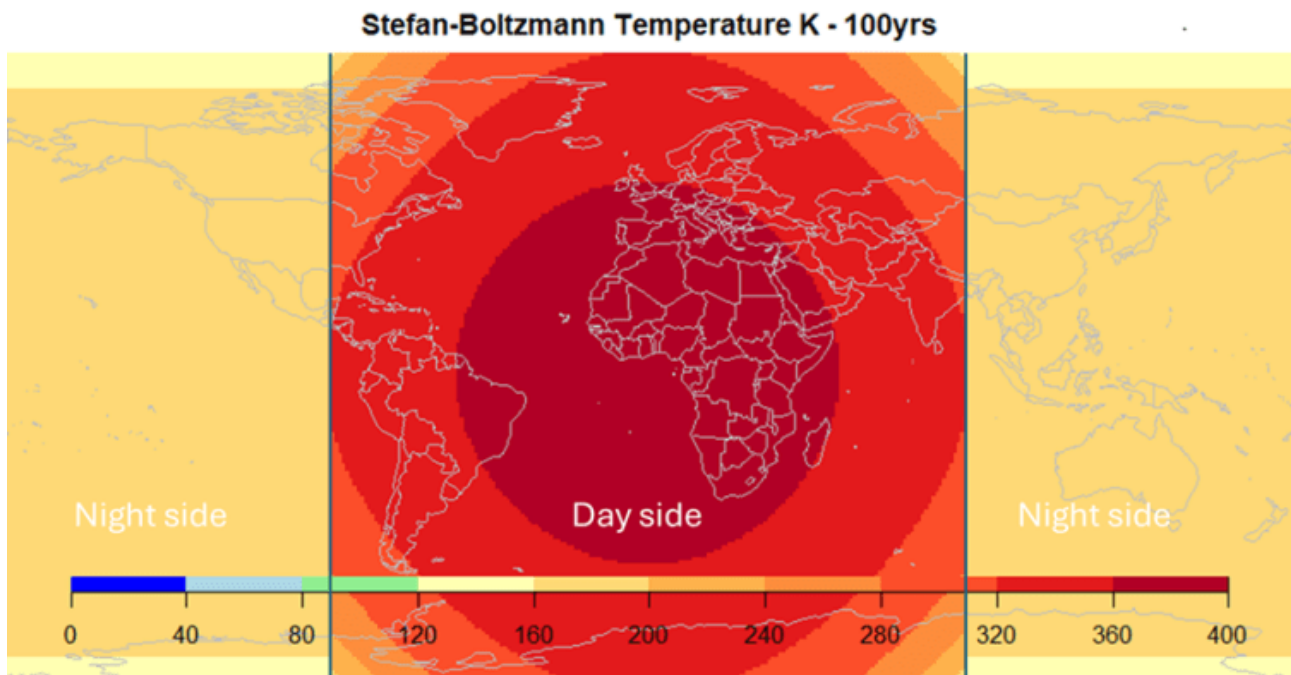


Abbildung 5. Temperaturverteilung auf dem treibhausgasfreien Planeten nach 100 Jahren. Sie stammt aus einem Modelllauf, der eine Albedo von 0,12 und eine thermische Trägheit im Basalt von 0,1 verwendet. Aufgrund der Rotationsgeschwindigkeit der Erde ist die Grenze zwischen der Tages- und der Nachtseite schärfer als bei einem tatsächlich rotierenden treibhausgasfreien Planeten.

## Die im Modell eingehenden Annahmen

Das Modell geht davon aus, dass die einzigen nennenswerten Energieverluste von der Oberfläche ausgehen, obwohl die Atmosphäre eine geringe Menge an Energie in den Weltraum abgibt. Diese atmosphärischen Emissionen werden in dem Modell ignoriert.

Das Modell geht von keiner axialen Neigung aus.

Das Modell geht von einer kreisförmigen Umlaufbahn aus.

Das Modell berücksichtigt keine Konvektion, außer dass es davon ausgeht, dass sie in Bezug auf die Emissionen in den Weltraum gleich Null ist. Dies ist vernünftig, da wir auch davon ausgehen, dass die Atmosphäre für Oberflächen-Emissionen transparent ist.

Das Modell geht davon aus, dass die Topographie (Berge, Täler usw.) den Wärmetransport durch die Atmosphäre netto nicht beeinflusst.

Das Modell geht davon aus, dass die thermische **Diffusivität** des Oberflächenbasalts einer Funktion der Temperatur folgt, wie in Robertson, 1988, beschrieben. Die Funktion ist in Abbildung 2 eingezeichnet. Die Wärmedurchlässigkeit ( $\alpha$ ) folgt der Formel in Gleichung 1:

**Gleichung 1:**  $\alpha =$  wobei:  $k$ = Wärmeleitfähigkeit,  $\rho$ = Dichte und  $c_p$  die spezifische Wärmekapazität ist.

*[Eine explizite Gleichung ist im Original nicht angegeben. A. d. Übers.]*

Die Temperaturleitfähigkeit nimmt bei niedrigeren Temperaturen zu, was mit der abnehmenden spezifischen Wärmekapazität des Gesteins und der zunehmenden Wärmeleitfähigkeit übereinstimmt (Einzelheiten und Einheiten siehe beigefügtes Arbeitsblatt). Die für die Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmekapazität von Basalt verfügbaren Daten reichen nicht bis zu den niedrigen Temperaturen, die auf der Nachtseite auftreten, so dass die im Modell verwendeten Werte extrapoliert werden mussten.

Die Wärmeleitfähigkeit von trockener Luft ist bei den in diesem Modell betrachteten Temperaturen 6 bis 38 Mal höher als die von Basalt. Daher wird der Wärmestrom an der Oberfläche normalerweise vom Basalt zur Luft fließen, wenn die Temperaturen ähnlich sind. Der niedrigere Wert von sechs tritt jedoch bei niedrigeren nächtlichen Temperaturen auf, und wenn die darüber liegende Luft ausreichend wärmer ist als der Basalt, kommt es zu einem Fluss von der Luft zum Basalt. Die erwarteten starken Winde von der Tages- zur Nachtseite spielen also eine Rolle und transportieren Wärmeenergie zum nächtlichen Basalt, die in den Weltraum abgestrahlt wird.

Die wichtigste Annahme in dem Modell ist die angenommene thermische Trägheit, die eine wichtige Rolle für die Temperatur der Nachtseite spielt. Meine Berechnung der von der Tagseite auf die Nachtseite übertragenen gespeicherten Wärme ist vernünftig und vertretbar, aber die Geschwindigkeit, mit der sie auf der Nachtseite in den Weltraum abgestrahlt wird, ist etwas spekulativ.

## **Die Probleme mit diesem Modell**

Die berechnete Absorption von Wärmeenergie durch die Oberfläche auf der Tagseite ist sehr grob. Ich habe bei der Berechnung die thermische Diffusivität von Basalt verwendet und angenommen, dass der Rest der Energie in den Weltraum abgestrahlt wird.

Der Einfachheit halber wurde eine gleichmäßige und glatte Felloberfläche angenommen, was jedoch unwahrscheinlich ist. Ohne Ozeane ist eine zerklüftete Topographie wahrscheinlich, welche die zu erwartenden Winde mit sehr hoher Geschwindigkeit in einer Atmosphäre ohne Wasserdampf leiten wird. Dies wird zu einer komplizierteren und ungleichmäßigeren Temperatur führen als in den Abbildungen 1 und 5 dargestellt. Unabhängig von der Komplexität der Konvektion kann jedoch davon ausgegangen werden, dass der atmosphärische Nettotransport von Wärmeenergie nahe Null liegt. Die Energie, die in die Atmosphäre gelangt, kommt aus dem Basalt, und die Energie aus der Atmosphäre geht in den Basalt. Die reale Erde hat mehr Kontrolle, da sie durch die Energiespeicherung in Wasser und Wasserdampf sowohl die Emissionen als auch die Sonneneinstrahlung in

gewissem Maße steuern kann, indem sie die Wolkenbedeckung, den gesamten atmosphärischen Wasserdampf und die Speicherung in den Ozeanen variiert, aber das gilt nicht für eine Erde ohne Treibhausgase.

## Diskussion

Meiner Meinung nach hat das THG-freie Modell eine ziemlich enge Bandbreite plausibler Ergebnisse. Einige Modellläufe (es werden nicht alle Läufe gezeigt) führen zu globalen Durchschnittstemperaturen knapp über dem Gefrierpunkt, aber globale durchschnittliche Temperaturen höher als heute werden als unwahrscheinlich angesehen. Temperaturen, die deutlich unter 235 K liegen ( $\text{Albedo}=0,3$  und  $\text{Trägheit}_f=0,05$ ), sind ebenfalls unwahrscheinlich. Nach diesem Modell liegt der gesamte Treibhauseffekt wahrscheinlich zwischen 15 und 53°C. Somit liegt der gesamte Treibhauseffekt der flachen Erde innerhalb des plausiblen Bereichs, der mit diesem Modell der rotierenden kugelförmigen Erde ermittelt wurde. Während der Einfluss von Wasserdampf, Eis und Wasser auf das Klima der Erde leicht zu erkennen ist, ist der Einfluss der anderen Treibhausgase schwieriger zu ermitteln.

Das Modell des Treibhauseffekts der flachen Erde ist so konzipiert, dass es einfach die Differenz zwischen der scheinbaren Schwarzkörpertemperatur der Erde, wie sie vom Weltraum aus gesehen wird, und der aktuellen globalen durchschnittlichen Temperatur berechnet. Die Erde ist jedoch eindeutig kein Schwarzkörper, und die vom Weltraum aus gesehene Schwarzkörpertemperatur ist keine Oberflächentemperatur. Die aus dem Weltraum festgestellte Treibhausgasstrahlung wird hauptsächlich von Wasserdampf aus 2 bis 10 km Höhe in der Atmosphäre emittiert (siehe Abbildung 4), hinzu kommen einige geringfügige Emissionen anderer Treibhausgase aus verschiedenen anderen Höhenlagen. Oberflächenstrahlung in den THG-Frequenzen kann nicht den ganzen Weg von der Oberfläche ins All zurücklegen. Auf Meereshöhe ist es 50.000-mal wahrscheinlicher, dass ein Treibhausgas die Energie eines absorbierten Photons durch Zusammenstöße mit anderen Molekülen abgibt, als dass es sie wieder emittiert, so dass die Konvektion die Wärmeenergie zunächst von der Oberfläche in eine Höhe transportieren muss, in der sie in den Weltraum abgestrahlt werden kann.

Das in diesem Beitrag beschriebene Modell der rotierenden kugelförmigen Erde ohne Treibhausgase ist realistischer als das Modell der flachen Erde, hat aber immer noch Probleme. Wie George Box 1976 [schrieb](#), sind „alle Modelle falsch“. Das Modell ist nicht endgültig, aber mein bevorzugter Modelllauf hat eine Albedo von 0,12 und eine  $\text{Trägheit}_f$  von 0,1; das Ergebnis dieses Laufs ist in Abbildung 3 dargestellt. Er führt zu einer THG-freien Temperatur von 265 K (-8 °C), die geringer ist als beim Modell der flachen Erde und einen geringeren Gesamteffekt der Treibhausgase zeigt. Allerdings ist dieses Ergebnis immer noch unsicher. Die Hauptunsicherheit des Modells liegt in den thermischen Eigenschaften des Gesteins auf der Oberfläche, insbesondere in der schlecht definierten „thermischen Trägheit“, die angenommen worden war.

## Zukunft

Es handelt sich um ein sehr einfaches Modell, das eher ein Proof of Concept als ein echtes Modell ist. Es kann verbessert werden. Die Hinzufügung einer axialen Neigung, so dass die treibhausgasfreie Erde Jahreszeiten hat, könnte interessant sein, ebenso wie die Hinzufügung einer gewissen orbitalen Exzentrizität. Die wichtigste Ergänzung wäre jedoch eine gut definierte und geeignete Funktion für die thermische Trägheit von Basalt. Vielleicht hat ja ein Petrophysiker eine Idee, wie man das machen könnte? Wir können es nur hoffen. Kommentare zur Angemessenheit der Annahme, dass die Atmosphäre thermisch neutral ist, wären interessant zu lesen. Auf jeden Fall ist dies eine Verbesserung gegenüber der einfachen Subtraktion der von Satelliten gemessenen durchschnittlichen Temperatur des schwarzen Körpers von der aktuellen durchschnittlichen Temperatur zur Berechnung eines möglichen Treibhauseffekts.

Ein weiterer Punkt: Mir missfällt die Tendenz der Klimamodellierer, die thermischen Eigenschaften der Oberfläche bei der Modellierung des Erdklimas zu ignorieren. Die Oberfläche, ob Ozean oder Land oder eine Kombination davon, ist keine thermisch statische „Platte“. In der realen Erde verfügt die Oberfläche, sowohl der Ozean als auch das Land, über einen großen Vorrat an thermischer Energie, und dieser Vorrat ändert sich mit der Zeit (May & Crok, 2024) & (Crok & May, 2023), er spielt definitiv eine Rolle im langfristigen Klima und sollte berücksichtigt werden.

To download the model, which is written in R, click [here](#).

To download the thermal diffusivity spreadsheet click [here](#).

## Bibliography

Benestad, R. E. (2017, May). A mental picture of the greenhouse effect. *Theoretical and Applied Climatology*, 128, 679-688. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-016-1732-y>

Box, G. E. (1976). Science and Statistics. *Journal of the American Statistical Association*, 71(356), 791-799. Retrieved from <http://www-sop.inria.fr/members/Ian.Jermyn/philosophy/writings/Boxonmaths.pdf>

Crok, M., & May, A. (2023). *The Frozen Climate Views of the IPCC, An Analysis of AR6*. Andy May Petrophysicist LLC.

Halbert, D., & Parnell, J. (2022). Thermal conductivity of basalt between 225 and 290 K. *Meteorit Planet Sci*, 57, 1617-1626. doi:10.1111/maps.13829

Hartlieb, P., Toifl, M., Kuchar, F., Meisels, R., & Antretter, T. (2015). Thermo-physical properties of selected hard rocks and their

relation to microwave-assisted comminution. *Minerals Engineering*, 91, 34-41. doi:10.1016/j.mineng.2015.11.008

May, A., & Crok, M. (2024, May 29). Carbon dioxide and a warming climate are not problems. *American Journal of Economics and Sociology*, 1-15. doi:10.1111/ajes.12579

Robertson, E. C. (1988). *Thermal Properties of Rocks*. Reston: USGS. Retrieved from <https://pubs.usgs.gov/of/1988/0441/report.pdf>

Sabol, D. E., Gillespie, A. R., McDonald, E., & Danillina, I. (2006). Differential thermal inertia of geological surfaces. *Proceedings of the 2nd annual international symposium of recent advances in quantitative remote sensing, torrent, Spain*, (pp. 25-29

Link:

<https://andymaypetrophysicist.com/2025/03/12/the-earth-without-greenhouse-gases/>

Übersetzt von Christian Freuer für das EIKE-Website