

Gefunden: Der „Missing Link“ für mein hemisphärisches Stefan-Boltzmann-Modell

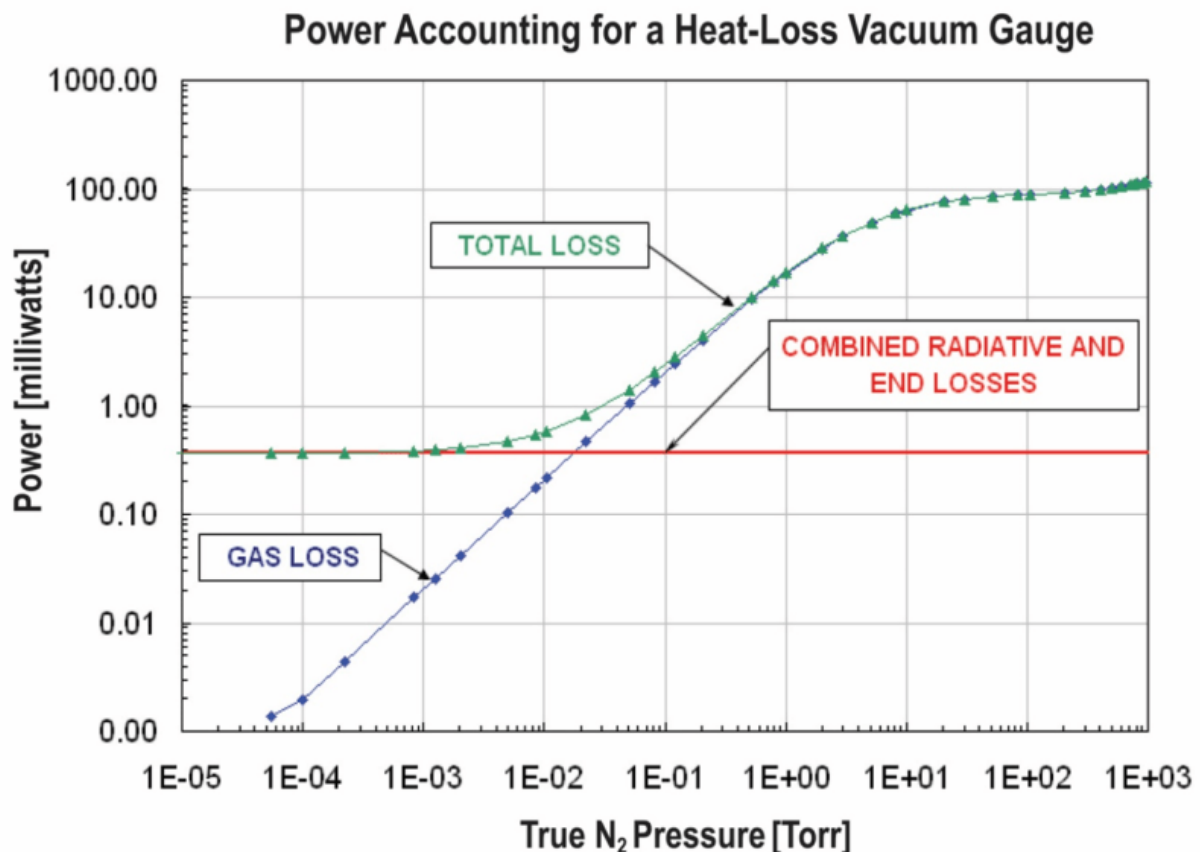
geschrieben von Admin | 26. Mai 2023

Uli Weber

Vorwort: *Um meine Argumentation klar herauszuarbeiten, werde ich in meinem nachfolgenden Artikel mit Durchschnittswerten argumentieren, obgleich das im Stefan-Boltzmann-Gesetz unzulässig ist. Der kritische Leser sei auf meine physikalisch korrekten Berechnungen verwiesen.*

Seit 2017 habe ich hier auf dem EIKE-Blog mein hemisphärisches Stefan-Boltzmann-Modell beschrieben, weiterentwickelt und mit realen Phänomenen abgeglichen. Die wesentlichen physikalischen Vorgänge in diesem Modell sind:

- Die hemisphärische Sonneneinstrahlung erfolgt auf der Tagseite der Erde, wodurch sich die terrestrische Temperaturgenese ohne den sogenannten „natürlichen atmosphärischen Treibhauseffekt“ (THE) erklären lässt:
<https://www.eike-klima-energie.eu/2019/09/11/anmerkungen-zur-hemisphaerischen-mittelwertbildung-mit-dem-stefan-boltzmann-gesetz/>
- Die Einbeziehung der globalen Wärmespeicher in Atmosphäre und Ozeanen in das „eingeschwungene“ System Erde, die der konventionellen Null-Kelvin-Annahme für die Nachtseite grundlegend widerspricht:
<https://eike-klima-energie.eu/2021/05/08/die-sogenannte-gemessene-globale-durchschnittstemperatur-wird-von-den-ozeanen-bestimmt/>
- Die Anwendung der Stefan-Boltzmann-Umgebungsgleichung, die den Wärmeaustausch einer Ortslage mit den globalen Wärmespeichern (generell und insbesondere auf der Nachtseite) und damit die sogenannte „globale Durchschnittstemperatur“ ohne einen sogenannten THE zu erklären vermag:
<https://eike-klima-energie.eu/2019/12/15/kelvin-allein-zu-haus-der-unterschied-zwischen-zwei-watt-ist-deren-umgebungstemperatur/>



Nur bei der Quantifizierung der terrestrischen Abstrahlung musste ich bisher auf den konventionellen THE-Ansatz mit seiner „Abstrahlungshöhe“ von 5.000 Metern zurückgreifen, damit sich die durchschnittliche solare Einstrahlung und die terrestrische Abstrahlung von netto 235 [W/m²] entsprechen. Dabei ergibt sich diese Abstrahlungshöhe aber lediglich aus der sogenannten „gemessenen globalen Durchschnittstemperatur“ von ca. 15°C und einer Differenz von (-33°C) zur (physikalisch falsch berechneten) S-B-„Abstrahlungstemperatur der Erde“ von (-18°C) über die barometrische Höhenformel mit einem Gradienten von (6,5°C/1.000m) zu physikalisch nichtssagenden 5.000 Metern. Am 20. April 2023 erschien nun hier auf EIKE der Artikel „Eine neue Sichtweise auf den Treibhauseffekt“ von Thomas E. Shula in deutscher Übersetzung von Christian Freuer (Original auf WUWT), der Funktion und Messergebnisse eines Pirani-Messgeräts zum Thema hat. Nach dem dort zunächst erläuterten NASA-Modell für das Energiebudget der Erde sollte die langwellige Abstrahlung der Erde von 398,2 W/m² etwa 95,5 % des Wärmetransports entsprechen, während Konduktion und Konvektion nur etwa 4,5 % des Wärmetransports ausmacht. Dagegen zeigt die Messkurve des Pirani-Messgeräts bei einem atmosphärischen Druck von 760 Torr, dass der Wärmetransport durch die Gasfüllung 99,6 % beträgt, während nur 0,4 % auf Strahlungs- und Endverluste zurückzuführen sind:

Abbildung 1: Die Ansprechkurve für ein typisches Pirani-Messgerät aus „A Novel Perspective on the Greenhouse Effect“ von Thomas E. Shula. Diese Abbildung wurde im WUWT-Original mit Genehmigung von MKS Instruments, Inc. (Andover, MA) veröffentlicht.

Erklärung der Grafik aus dem entsprechenden EIKE-Artikel (leicht überarbeitet); wer's schon kennt kann den *kursiv* gesetzten Absatz überspringen:

Der Faden im Pirani-Messgerät entspricht der Oberfläche der Erde. Die Gasmoleküle stoßen mit der Oberfläche zusammen und absorbieren Energie, wodurch sich ihre effektive Temperatur erhöht (Wärmeleitung). Eine „Blase“ dieses wärmeren Gases steigt dann im Verhältnis zu dem kühleren Gas um sie herum auf, während das kühlere Gas zur Oberfläche sinkt und den Zyklus ständig wiederholt (Konvektion). Dies kühlt die Oberfläche ab und wird durch die Reaktion des Pirani-Messgeräts perfekt veranschaulicht. Das Ansprechverhalten des Pirani-Messgeräts ist unabhängig von dem Gehäuse, in dem es sich befindet, oder dem Fehlen eines solchen.

Die rote Linie im Diagramm stellt die (konstanten) Gesamtstrahlungs- und Endverluste des Pirani-Messgeräts von etwa 0,4 mW dar.

Die blaue Linie stellt den Leistungsverlust nur durch das Gas dar, und

die grüne Kurve, die an den beiden Enden abflacht, stellt den Gesamtverlust dar, d. h. die gesamte Energiezufuhr, die erforderlich ist, um die Temperatur des Glühfadens in Abhängigkeit vom Druck aufrechtzuerhalten.

Würde man ein „nacktes“ Pirani-Messgerät in eine Höhe bringen, in der der Atmosphärendruck 10 Torr beträgt, wäre das Ansprechverhalten dasselbe, als wäre es an ein Vakuumsystem mit einem Druck von 10 Torr angeschlossen.

- Bei atmosphärischem Druck, **760 Torr**, beträgt die zur Aufrechterhaltung der Temperatur des Glühfadens erforderliche Leistung 100 mW. Da die Strahlungs- und Endverluste 0,4 mW betragen, bedeutet dies, dass der Wärmetransport durch das Gas 99,6 % beträgt, wobei nur 0,4 % auf Strahlungs- und Endverluste zurückzuführen sind. Dies sollte nicht überraschen, denn alle Gasmoleküle können Wärme durch Leitung und Konvektion transportieren, nicht nur der winzige Teil, der die so genannten „Treibhausgase“ ausmacht.
- Wir können auch den Fall eines Vakuumdrucks von **10 Torr** betrachten, was einer Höhe von etwa 33.000 m über dem Meeresspiegel entspricht. In diesem Fall sind etwa 60 mW Leistung erforderlich, um die Temperatur des Glühfadens aufrechtzuerhalten, so dass das Gas immer noch für etwa 99,3 % des Wärmetransports verantwortlich ist, während Strahlungs- und Endverluste nur 0,7 % ausmachen.
- Mit zunehmender Höhe ist ein größerer Anteil des Wärmetransports auf die Strahlung zurückzuführen, und so kehrt die gesamte Wärme in der obersten Atmosphäre schließlich in den Weltraum zurück. Der Übergangspunkt, an dem die Gasverluste gleich den Strahlungs- und Endverlusten sind, liegt bei etwa **200 [20] milliTorr** (0,02 Torr), was einer Höhe über 76.000 m entspricht.

Anzumerken bleibt, dass der Wärmetransport nicht nur vom Druck abhängig ist, sondern auch von der molaren Masse und der Molekülstruktur. Daher liefert die Druckmessung bei verschiedenen schweren Gasen unterschiedliche Ergebnisse (Wikipedia). Eine allgemeine Regel besagt: Je größer die Atom- bzw. Molekülmasse des vorhandenen Gases, desto kleiner ist die Wärmeleitung.

Halten wir also zunächst einmal fest: Bei normalem Atmosphärendruck von 760 Torr (entsprechend 760 mm Quecksilbersäule bei 0°C = 10.132,5 hPa) beträgt der Wärmetransport im Gas durch Konduktion und Konvektion 99,6%. Bei einem Vakuumdruck von 10 Torr in 33 km Höhe sind es immer noch 99,3%. Und erst bei 20 mTorr, entsprechend 76 km Höhe, wäre ein Gleichgewicht zwischen dem Wärmetransport durch Gas und dem Strahlungstransport erreicht.

Zum Pirani-Artikel kommentierte Michael Schnell am 22. April 2023 um 10:08 Uhr, Zitat:

„Eine Übertragung der Pirani-Messung auf die Erde ist unzulässig, wie bereits Dr. Ullrich angemerkt hat, da als Wärmequelle absichtlich ein dünner Heizdraht mit einer sehr kleinen Oberfläche verwendet wird.

Herrn Shula's Schlussfolgerung „Die IR-Strahlung sei für den Aufwärtswärmetransport in der unteren Atmosphäre unbedeutend“ ist völliger Unsinn, was leicht zu widerlegen ist, wenn man sich die nächtliche Strahlungsinversion ansieht. Nach Sonnenuntergang kühlt sich der Boden durch IR-Strahlung schneller ab als die bodennahe Luftschicht, was Konvektion als mächtigen, alternativen Wärmetransport ausschaltet. Jetzt gibt es nur noch Strahlungskühlung (Abkühlung des Bodens) und Wärmeleitung (Übertragung der Boden-Temperatur auf die Luft), wodurch eine Temperatur-Inversion (eine stabile Temperaturschichtung) von einigen hundert Metern entsteht. Diese geringe Distanz markiert den Wirkungsbereich der Wärmeleitung in der Atmosphäre. Bodeninversion tritt insbesondere bei winterlichen Hochdruckwetterlagen und niedrigen Temperaturen auf und wenn eine fehlende Wolkendecke (mit ihrer „ominösen“ Gegenstrahlung) die IR-Ausstrahlung des Bodens begünstigt.“

Zunächst einmal würde ich den Herstellern von Pirani-Vakuummeter keine Absicht unterstellen; sie folgen wohl eher technischen Notwendigkeiten. Das Pirani-Vakuummeter VersaTorr BVT100 überdeckt beispielsweise einen Vakuumbereich von 2 mbar bis 1.333 mbar. Und über die meteorologische Inversion sagt der DWD, Zitat mit Hervorhebungen:

„Unter Inversion versteht man in der Meteorologie die Umkehr des normalerweise mit der Höhe abnehmenden Temperaturverlaufs in einer mehr oder weniger dicken Schicht. Inversionen können durch großräumige Advektion von Warmluft oder durch Absinkvorgänge in der entsprechenden Höhe sowie durch Abkühlung der unteren Luftschichten entstehen.

Vom Erdboden aufsteigende Warmluftblasen können eine solche

Inversionsschicht nicht durchdringen. Somit stellt eine Inversion eine Sperrschicht dar, die einen Austausch zwischen tief liegenden und höher liegenden Luftschichten verhindert. Eine Inversion wirkt in der Atmosphäre stabilisierend.

Inversionen begünstigen die Bildung von Smog. Inversionswetterlagen sind insbesondere in industriell ausgerichteten Ballungsräumen gefürchtet, da sich die Luftschichten nicht durchmischen und sich somit innerhalb der Inversionsschicht die Luft mit Schadstoffen anreichern kann.

*Von einer Bodeninversion spricht man, wenn sich in langen, klaren Winternächten, meist unter Hochdruckeinfluss, **der Boden durch Ausstrahlung stark abkühlt** und damit auch die darüber liegende bodennahe Luftschicht. Diese bodennahe Schicht ist somit kälter als die darüber liegende Luftschicht. **Die obere Begrenzung dieser Bodeninversionsschicht liegt dabei in der Höhe über Grund, in der sich die Abkühlung des Erdbodens nicht mehr auswirkt.***

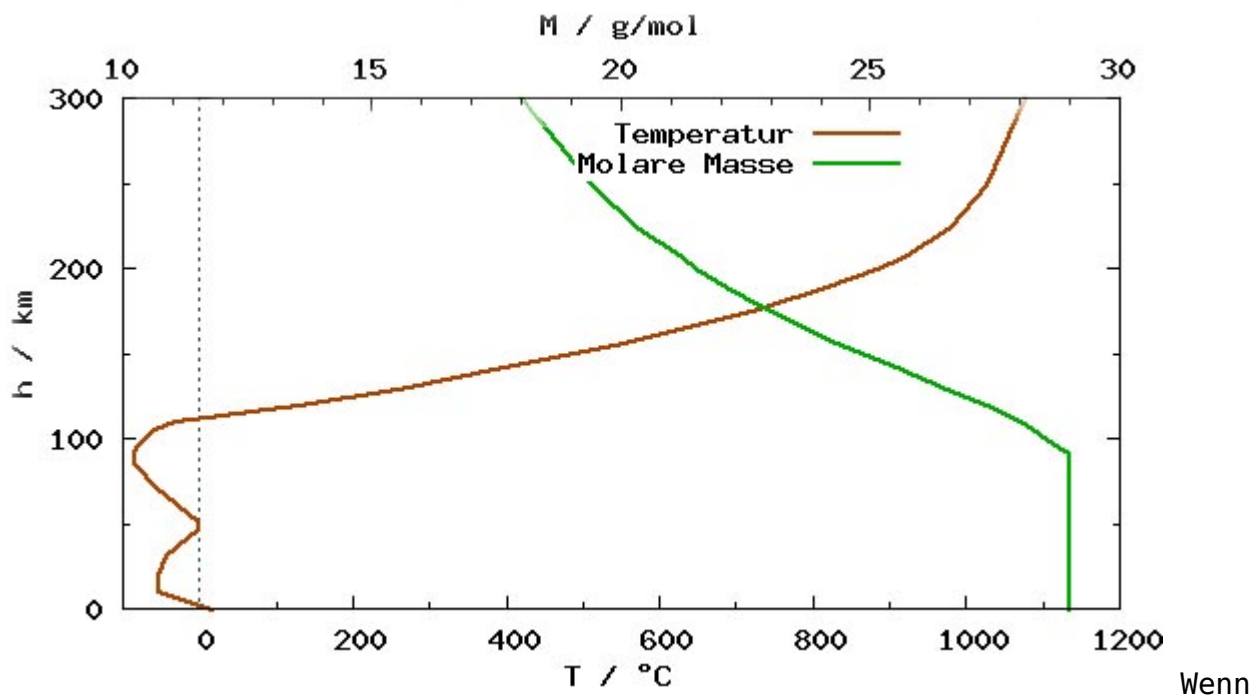
Der DWD beschreibt bei der Bodeninversion also zwei getrennte Phänomene:

- 1. Eine starke Abkühlung des Erdbodens durch Abstrahlung**
- 2. Die Lage der Inversionsschicht in einer Höhe, in der sich die Abkühlung des Bodens nicht mehr auswirkt**

Analyse zu (1): Die Abstrahlung der Erdoberfläche hat keinen Einfluss auf die Höhe der Inversionsschicht.

Analyse zu (2): Die Wärmeleitung der Luft reicht vom Erdboden bis zur Inversionsschicht.

Aus diesen beiden Analysen folgt **THESE 1: Der umschlossene Raum im Pirani-Vakuummeter ist zu klein, um beide Phänomene abzubilden und/oder die Leistung des Heizdrahtes ist dafür zu gering.**

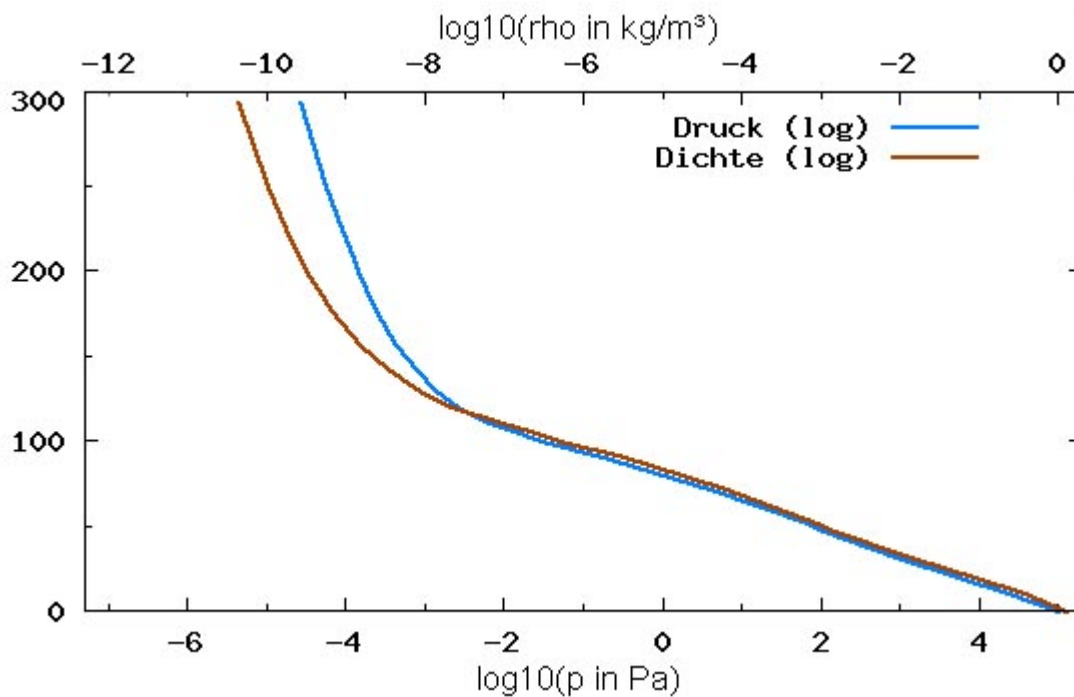


wir uns jetzt einmal in der folgenden Abbildung 2 den Verlauf von Temperatur und mittlerer molarer Masse der Luft ansehen, so stellen wir fest, dass sich beides bis in 100 km Höhe kaum verändert:

Abbildung 2: Temperatur und mittlere molare Masse der Luft in Abhängigkeit von der Höhe

Lizenz: GNU Free Documentation n $\theta = 101\ 325\ \text{Pa}$ $1,380\ 649 \cdot 10^{-23}\ \text{J} / \text{K} \cdot 273,15\ \text{K} = 1,013\ 25\ 1,380\ 649 \cdot 2,731\ 5 \cdot 10^{26}\ \text{Pa} \cdot \text{J} = 1,013\ 25\ 1,380\ 649 \cdot 2,731\ 5 \cdot 10^{26}\ \text{N} / \text{m}^2 \cdot \text{N} \cdot \text{m} = 2,686\ 780\ 111 \dots \cdot 10^{25}\ \text{m}^{-3}$

Die Abbildung 2 zeigt für die ersten 100 Kilometer der Atmosphäre eine Temperaturschwankung von etwa +20 bis -50 Grad Celsius. Dabei verändert sich die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre nicht. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den durchschnittlichen Luftdruck und die Luftdicht in Abhängigkeit von der Höhe:



Abbildungun

g 3: Durchschnittlicher Luftdruck und Luftdichte in Abhängigkeit von der Höhe

Lizenz: GNU Free Documentation n 0 = 101 325 P a 1,380 649 · 10⁻²³ J / K · 273,15 K = 1,013 25 1,380 649 · 2,731 5 · 10²⁶ P a J = 1,013 25 1,380 649 · 2,731 5 · 10²⁶ N / m² N · m = 2,686 780 111 ... · 10²⁵ m⁻³

In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass Luftdruck und Luftdichte in der Atmosphäre bis ca. 100 Kilometer Höhe nahezu parallel verlaufen. Damit wird das Ergebnis von Abbildung 2 bestätigt, die Zusammensetzung der Atmosphäre ist bis dorthin nahezu einheitlich. In Abbildung 4 werden jetzt die Temperatur aus Abbildung 2 und der Druck aus Abbildung 3 für die Höhe 0-90 Kilometer dargestellt:

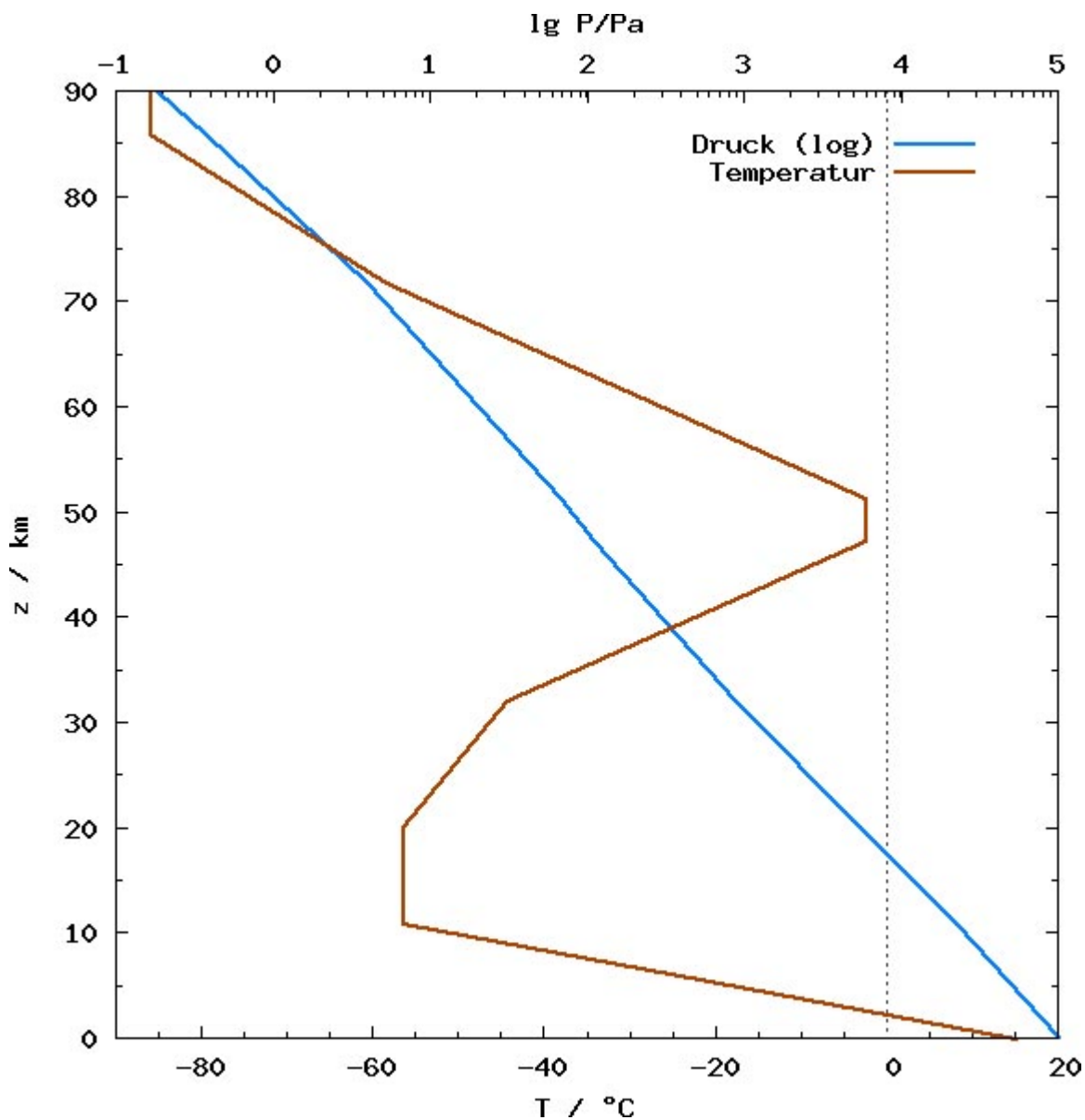


Abbildung 4: Standardatmosphäre 1976 bis 90 km Höhe – Lizenz: GNU Free Documentation
 $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$, $P_0 = 101325 \text{ Pa}$, $T_0 = 15^\circ\text{C}$, $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$
 $\gamma = 1,4$, $R = 287,058 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
 $\rho = \rho_0 \left(\frac{P}{P_0}\right)^{1/\gamma}$, $T = T_0 \left(\frac{P}{P_0}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$, $z = \frac{R T_0}{g \gamma} \left[\left(\frac{P}{P_0}\right)^{1/\gamma} - 1 \right]$

Von 15°C auf Meeressniveau fallen die Temperaturen auf etwa -58°C bei ca. 10 Kilometern ab, um dann bis 20 km konstant zu bleiben. Zur Stratopause steigen die Temperaturen dann wieder bis auf etwa 0°C an und fallen zur Mesopause erneut auf ca. -85°C ab. Dieser Verlauf wird augenscheinlich nicht durch einen Dichtesprung bewirkt. Der nahezu lineare Temperaturabfall zwischen NN und 10 km Höhe entlarvt nun die sogenannte „Abstrahlungshöhe“ als Zweckprodukt einer fehlerhaften globalen Stefan-Boltzmann-Inversion. Deren physikalisch beliebiges Ergebnis von -18°C würde nämlich mit gleichlautender Argumentation auf jede andere Temperatur zwischen +15°C und ca. -57°C mit einer entsprechenden „Abstrahlungshöhe“ zwischen 0 und 10 km zutreffen.

Phänomen (3): Abbildung 4 zeigt eine Höheninversion der Temperatur, die

nicht durch einen Dichtesprung verursacht wird.

Analyse (3): Bis in etwa 10 Kilometer Höhe folgt die Temperatur der Atmosphäre der barometrischen Höhenformel und bleibt dann bis etwa 20 Kilometer Höhe konstant. Darüber, in der Stratosphäre wird die solare UV-Strahlung in der Atmosphäre absorbiert. Dies geschieht in der Ozonschicht. Deshalb steigt die Temperatur in der Ozonschicht bis nahe 0 °C. *„Die Ozonschicht ist ein Bereich erhöhter Konzentration des Spurengases Ozon in der Erdatmosphäre, hauptsächlich in der unteren Stratosphäre. Etwa 90 % des atmosphärischen Ozons befinden sich in 15 bis 30 km Höhe. In etwa 40 km Höhe hat es seine höchste Volumenkonzentration von etwa 8 ppm“* (Wikipedia). Dabei wird die energiereiche UV-Strahlung der Sonne absorbiert und in Wärme umgewandelt.

THESE 2: In der Ozonschicht „kollidieren“ die solare Einstrahlung (UV) und die terrestrische Abstrahlung (IR). Der Temperaturverlauf oberhalb von 10 bis 20 Kilometern kann daher keiner der beiden Strahlungen allein zugerechnet werden. Die Temperaturkurve in Abbildung 4 weist aber eindeutig nach, dass die barometrische Höhenformel oberhalb von etwa 10 Kilometer Höhe nicht mehr gültig ist. Bis dorthin ist also von Wärmeleitung in der Atmosphäre auszugehen.

Die wirkliche Abstrahlhöhe unserer Erde dürfte mit den Überlegungen aus den Thesen 1 und 2 also oberhalb von 10 bis 20 Kilometern liegen.

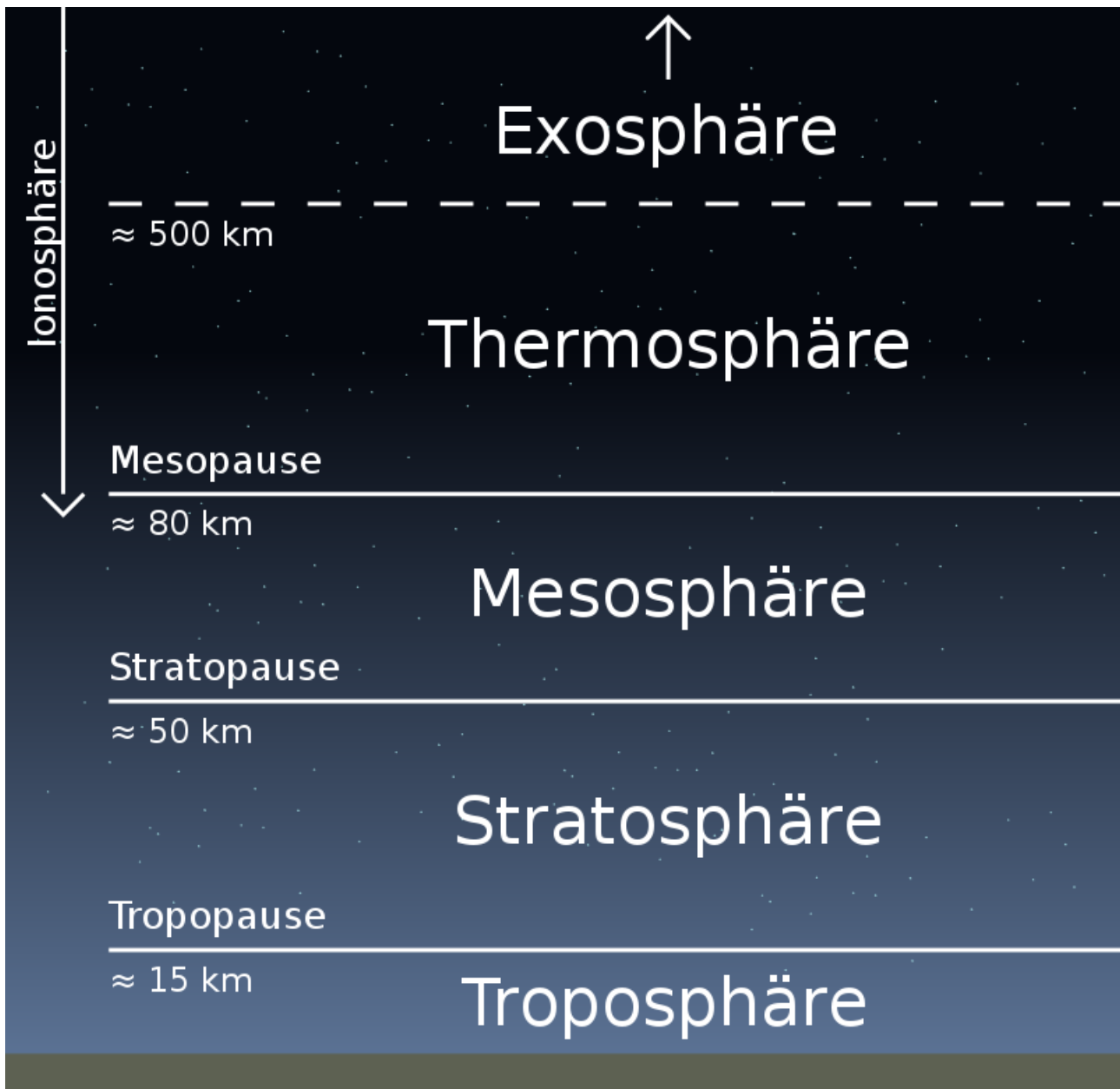


Abbildung: Aufbau der Erdatmosphäre (Europa, Sommer)

Autor Niko Lang, Lizenz Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Germany

DISKUSSION: Die Troposphäre als Wetterküche unserer Erde hat mit der Abstrahlung von IR-aktiven Gasen also überhaupt nichts zu tun. Nach den Ergebnissen aus Abbildung 1 mit der Ansprechkurve für ein typisches Pirani-Messgerät würde die sogenannte Abstrahlhöhe zwischen etwa 50-100 Kilometern liegen. Im Ergebnis dieser Analyse erfolgt die tatsächliche Gas-Abstrahlung unserer Erde dagegen bereits in der Stratosphäre ab 10-20 Kilometern. Da aber in diesem Höhenbereich die solare Einstrahlung (UV) und die terrestrische Abstrahlung (IR) „kollidieren“ ist auf dieser Betrachtungsebene keine genauere Lokalisierung möglich.

ERGEBNIS: Die Gasstrahlung aus dem Bereich zwischen Stratosphäre und Mesosphäre ist damit neben der direkten Abstrahlung im atmosphärischen Fenster das „Missing Link“ für die mittlere spezifische

Gesamtabstrahlungsleistung unserer Erde von 235 [W/m²].

Die wesentlichen physikalischen Vorgänge in meinem hemisphärischen Stefan-Boltzmann- Modell lauten jetzt also:

- [$P_{iR_E^2} \Rightarrow 2P_{iR_E^2}$]: Die hemisphärische Sonneneinstrahlung [$P_{iR_E^2}$] erfolgt auf der Tagseite der Erde [$2P_{iR_E^2}$], wodurch sich die terrestrische Temperaturgenese ohne den sogenannten „natürlichen atmosphärischen Treibhauseffekt“ (THE) erklären lässt.
- [$Q_{\text{Ozean}} > 4,59 \cdot 10^{26} \text{ Joule}$]: Die Betrachtung von Wärmespeicherung in Atmosphäre und Ozeanen im „eingeschwungenen“ System Erde, die der konventionellen Null-Kelvin-Annahme für die Nachtseite grundlegend widerspricht.
- [$\Delta S = \sigma (T_{\text{Ortslage}}^4 - T_{\text{Ozean\&Atmosphäre}}^4)$]: Die Anwendung der Stefan-Boltzmann-Umgebungsgleichung, die den Wärmeaustausch einer Ortslage mit den globalen Wärmespeichern in Ozeanen und Atmosphäre (generell und insbesondere auf der Nachtseite) und damit die sogenannte „globale Durchschnittstemperatur“ ohne einen sogenannten THE zu erklären vermag.
- [$IN_{\text{Sonne}} = OUT_{\text{Erde}}$]: Die Abstrahlung von Gasen aus dem Bereich zwischen Stratosphäre und Mesosphäre ergänzt die IR-Abstrahlung der Erde im atmosphärischen Fenster und komplettiert damit die mittlere Gesamtabstrahlungsleistung unserer Erde auf die globale gemittelte temperaturwirksame solare Netto-Strahlungsleistung von durchschnittlich 235 [W/m²].

Schlussbemerkung: Die Gasstrahlung aus dem Bereich zwischen Stratosphäre und Mesosphäre und die direkte Abstrahlung der Erde im atmosphärischen Fenster ergänzen sich also zu einem gemeinsamen Abstrahlungsmodell unserer Erde. Im Zweifel erfahren Sie hier den Zusammenhang zwischen Stoffmenge, Masse, Volumen und Teilchenzahl. Die Dunning-Krüger-Erbsenzähler von der Inquisition des suizidalen Klimawahns mögen gerne mit der Dokumentation meiner ketzerischen Klimabeiträge fortfahren, sich aber gefälligst enthalten, mich mit ihrem unsäglichen THE-Katechismus belästigen zu wollen.

Ich bedanke mich bei Herrn Dipl.-Ing. Michael Limburg für konstruktive Vorschläge und Kommentare.