Treibhauseffekt-Rückkopplung durch Wasserdampf

[latexpage]

In der Klimadiskussion wird das Argument der Rückkopplung durch Wasserdampf dazu herangezogen, um die Klimawirkung der Treibhausgase – die Sensitivität bei Verdoppelung von deren Konzentration in der Atmosphäre – , die nach Strahlungstransportgleichung und generellem Konsens maximal 0,8° beträgt, um einen angeblichen Faktor 2-6 zu verstärken. Allerdings wird das gewöhnlich nicht genauer quantifiziert, es werden in der Regel nur Formeln mit dem „finalen Feedback" angegeben.

Vor kurzem haben David Coe, Walter Fabinski und Gerhard Wiegleb in der Publikation „**The Impact of CO_2, H_2O and Other ‚Greenhouse Gases' on Equilibrium Earth Temperatures**" unter anderem genau diese Rückkopplung beschrieben und analysiert. In Anlehnung an ihre Publikation wird dieser Effekt mit dem teils gleichen, teils leicht unterschiedlichen Ansatz im folgenden hergeleitet. Die Ergebnisse sind fast identisch.

Dabei wird hier von allen anderen Effekten, die bei der Bildung von Wasserdampf auftreten, wie z.B. Wolkenbildung, abgesehen.

Der grundsätzliche Mechanismus der Wasserdampfrückkopplung

Ausgangspunkt ist eine Temperaturerhöhung der Atmosphäre um ΔT_0, ungeachtet deren Ursache. Typischerweise wird der Treibhauseffekt als primäre Ursache angenommen. Die Argumentation ist nun, dass die erwärmte Atmosphäre mehr Wasserdampf aufnehmen kann, d.h. der Sättigungsdampfdruck (SVP = „Saturation Water Pressure") erhöht sich und es wird

angenommen, dass sich konsequenterweise auch die Wasserdampfkonzentration ΔH_2O erhöht, und zwar als lineare Funktion der Temperaturänderung. (Die Temperaturänderung ist so klein, dass eine Linearisierung auf jeden Fall legitim ist):

$\Delta H_2O = j\cdot \Delta T_0 $

Dabei ist j die Proportionalitätskonstante für die Wasserdampfkonzentration.

Eine erhöhte Wasserdampfkonzentration bewirkt wiederum aufgrund der Treibhauswirkung von Wasserdampf eine Temperaturerhöhung, die linear von der Wasserdampfkonzentration abhängt:

$\Delta T_1 = k\cdot \Delta H_2O $

Zusammengefaßt bewirkt also die auslösende Temperaturerhöhung ΔT_0 eine Folgeerhöhung der Temperatur ΔT_1:

$\Delta T_1 = j\cdot k\cdot \Delta T_0 $

Da die Voraussetzung des Verfahrens ist, dass die Ursache der auslösenden Temperaturerhöhung unerheblich ist, bewirkt die Erhöhung um ΔT_1 natürlich ebenfalls wieder einen Rückkopplungszyklus:

$\Delta T_2 = j\cdot k\cdot \Delta T_1 = (j\cdot k)^2\cdot \Delta T_0$

Dies wiederholt sich rekursiv. Die finale Temperaturänderung ist demnach eine geometrische Reihe:

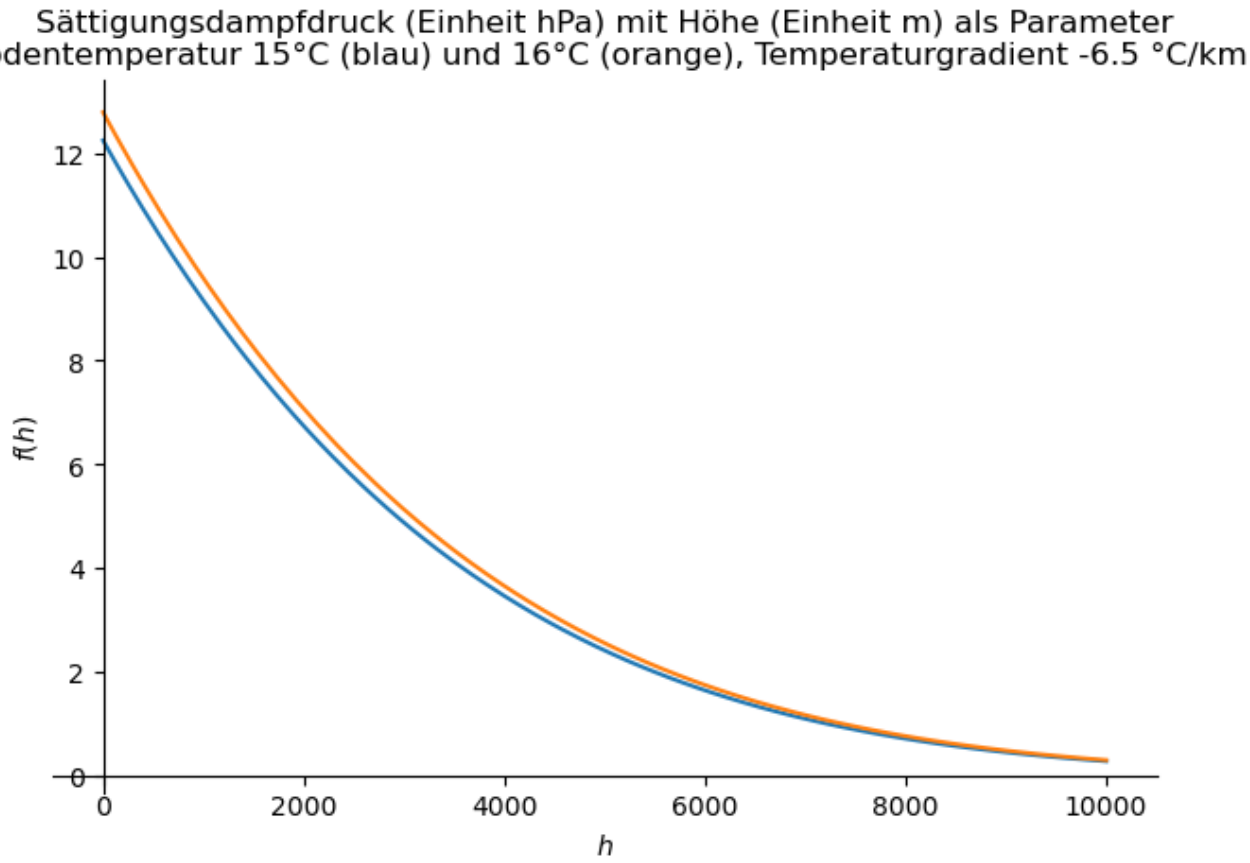
$\Delta T = \Delta T_0\sum_{n=0}^\infty(j\cdot k)^n = \Delta T_0\cdot \frac{1}{1-j\cdot k} $

Wäre $j\cdot k\ge 1$, würde die Reihe divergieren und die Temperatur über alle Grenzen wachsen. Daher ist es wichtig, sich über die Größe dieser beiden Rückkopplungsfaktoren Klarheit zu verschaffen.

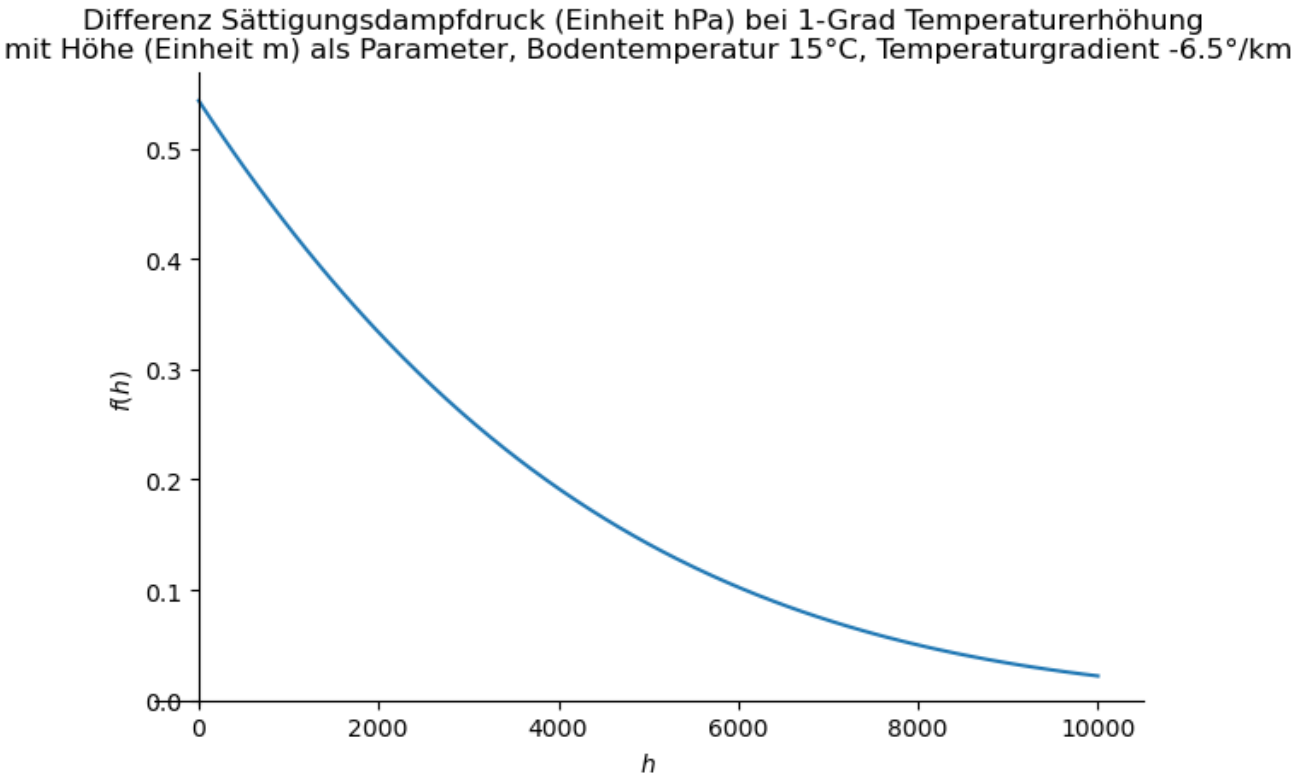
Abhängigkeit der möglichen Wasserdampfkonzentration von der Temperatur

Die maximal mögliche Wasserdampfkonzentratio in Abhängigkeit von der Temperatur T (in °C) ist durch den Sättigungsdampfdruck SVP (englisch „saturation vapour

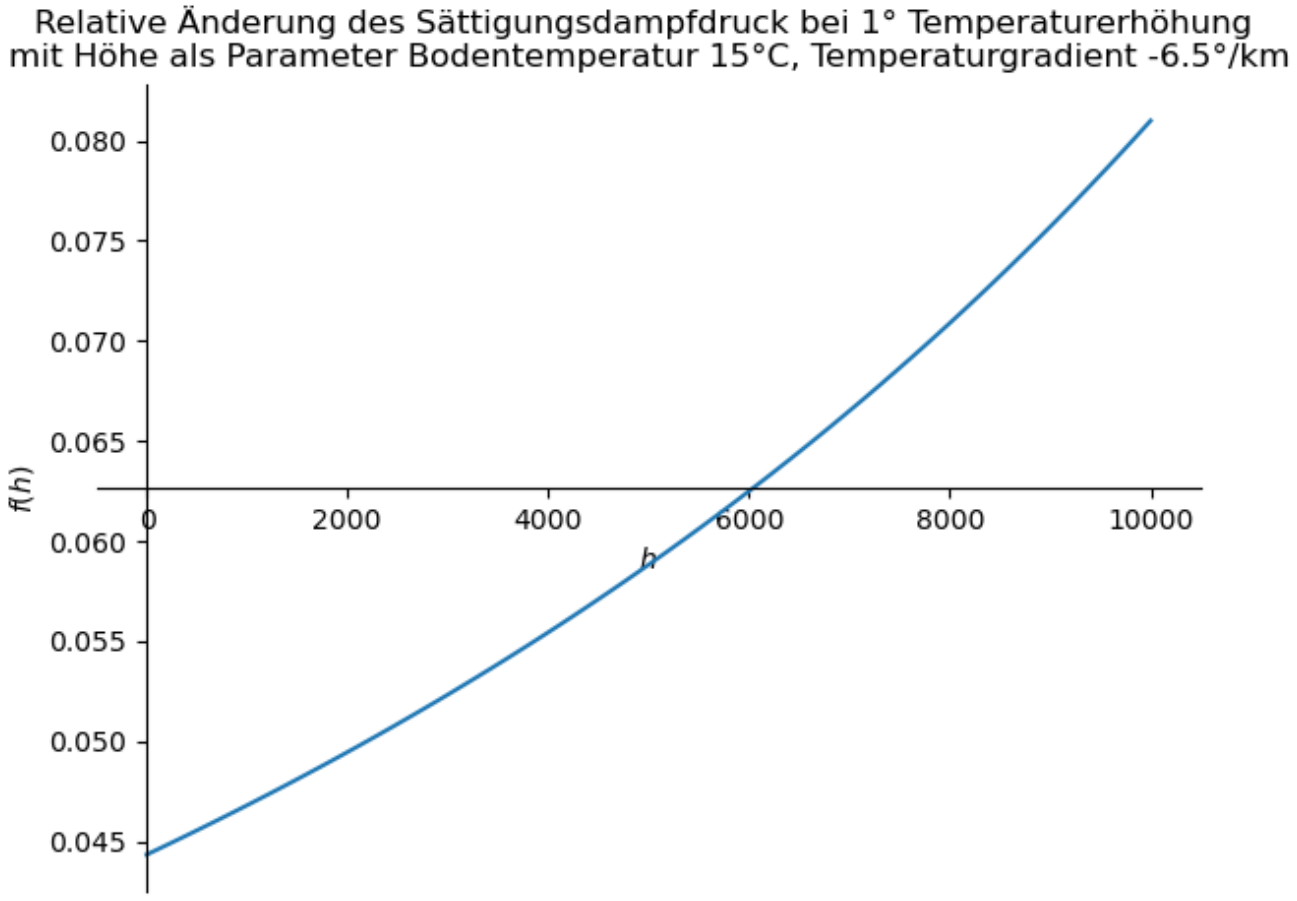
pressure“, SVP) begrenzt. Dieser wird durch die Arden Buck Gleichung, (eine moderne, überarbeitete Version der Magnus-Formel) sehr genau beschrieben:
$ SVP = 0.61121\cdot \exp{((18.678-\frac{T}{234.5})(\frac{T}{257.14+T}))} $
Es wird hier die Standard-Atmosphäre mit 15°C Boden- bzw. Wasseroberflächentemperatur und adiabatischem Temperaturgradient von -6.5°C/km betrachtet.



Die absolute Differenz $\frac{\Delta (SVP(T))}{\Delta T}$ ist naturgemäß bei höheren Temperaturen, also in Bodennähe, am größten:



Die relative Differenz $\frac{\frac{\Delta (SVP(T))}{\Delta T}}{SVP(T)}$ wird mit zunehmender Höhe größer, bewegt sich zwischen 4% und 8%.



Die mögliche Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit – das Verhältnis des tatsächlichen Dampfdrucks im Vergleich zum Sättigungsdampfdrucks – als Folge der globalen Temperaturerhöhung T_0 ist durch diese relative Änderung des Sättigungsdampfdrucks begrenzt.

Da die mittlere, dominante Infrarot-Abstrahlung der Erde etwa in der Höhe 5000m stattfindet, und sich oberhalb davon kaum mehr Wasserdampf befindet, ist es sinnvoll, 6% als oberes Limit der Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit infolge einer Temperaturerhöhung um 1°C anzunehmen. Demzufolge ergibt sich die Konstante j als $j=0.06$. Dieser Wert ist etwas kleiner als die üblicherweise genannten (aber gewöhnlich nicht belegten) 7%. Nach dem obigen Diagramm wären 7% Erhöhung der Luftfeuchtigkeit erst oberhalb von 8000 m ü.d.M. möglich.

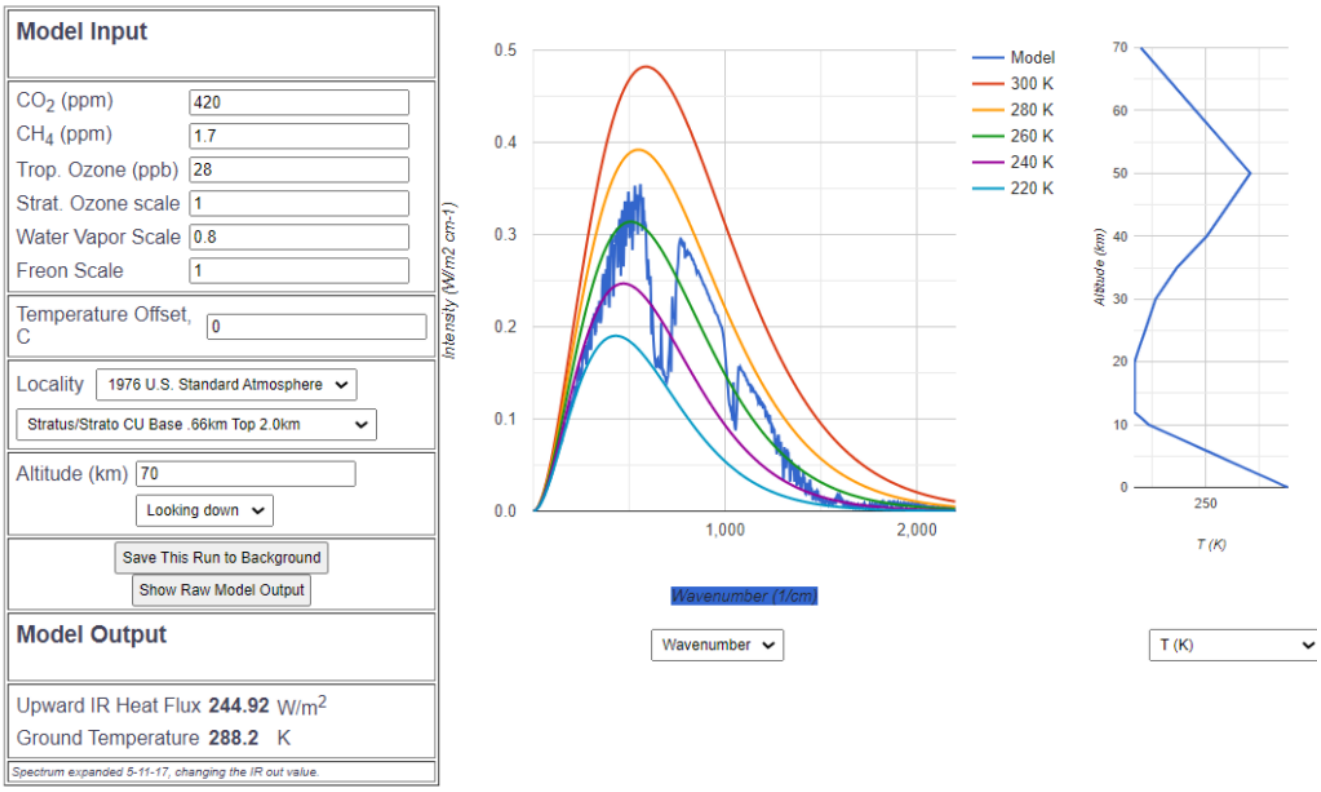
Abhängigkeit des Treibhauseffekts von der Änderung der relativen Luftfeuchtigkeit

Der Infrarot Strahlungstransport in der Atmosphäre ist von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig. Dies wird in dem bekannten und bewährten Simulationsprogram MODTRAN berücksichtigt. Mit zunehmender Luftfeuchtigkeit sinkt infolge des Treibhauseffektes des Wasserdampfes die ausgehende Infrarotstrahlung.

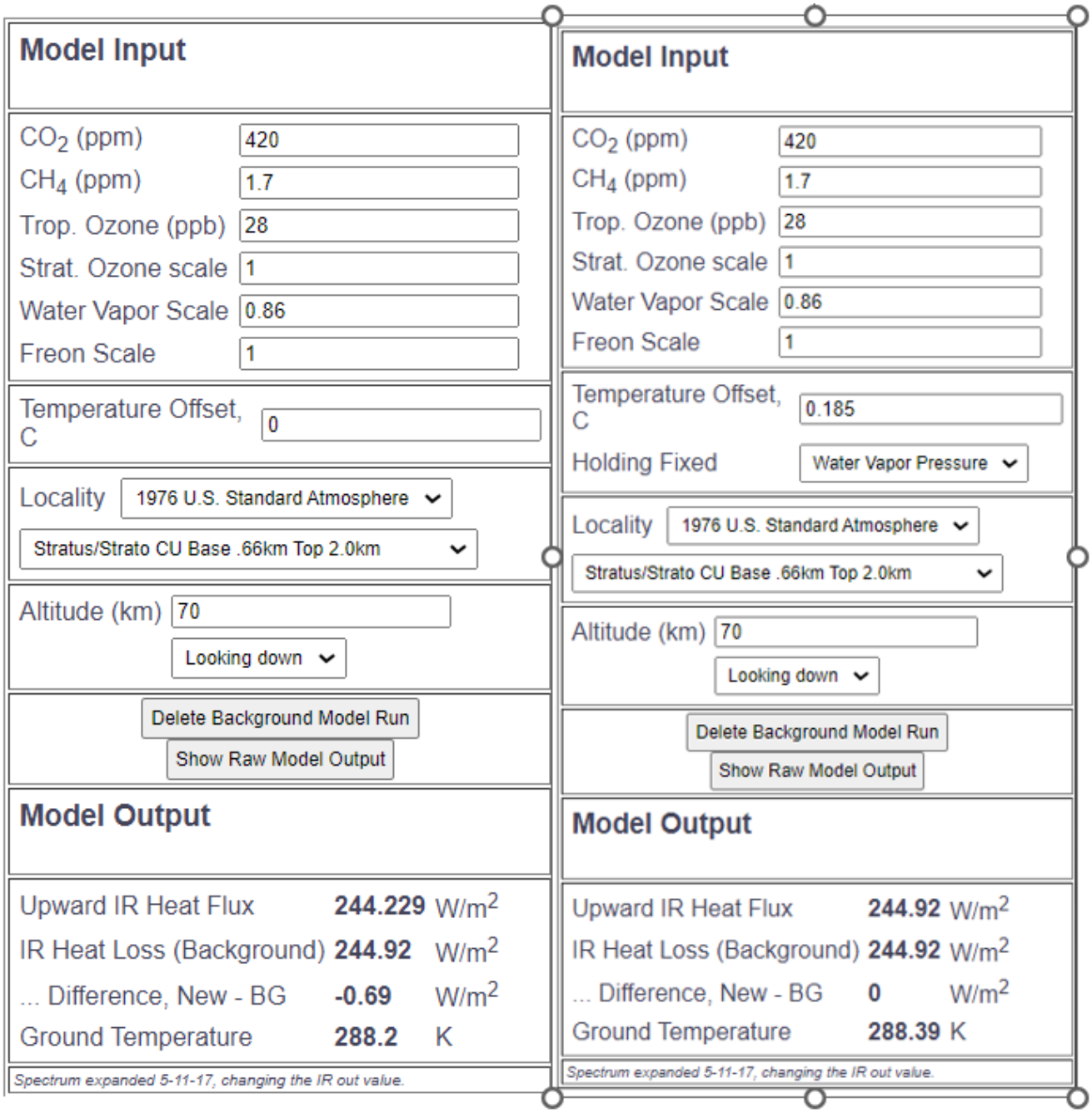
Zwischen der Luftfeuchtigkeit 60% und 100% ist die Strahlungsabnahme linear. Daher wird zur Ermittlung der Abnahme der Strahlungsleistung und der zur Kompensation notwendigen Temperaturerhöhung die Zunahme der relativen Luftfeuchtigkeit von 80% auf 86% betrachtet.

Dazu stellen wir die Parameter der MODTRAN Simulation auf

- die aktuelle CO2-Konzentration von 420 ppm,
- eine relative Luftfeuchtigkeit von 80%,
- und eine Wolkenkonstellation, die der mittleren IR Abstrahlungsleistung von 240 $\frac{W}{m^2}$ nahe kommt.



Der Temperatur-Offset wird nun so lange vergrößert, bis die reduzierte iR-Abstrahlung von 0.6 \frac{W}{m^2} durch Temperaturerhöhung wieder ausgeglichen ist. Dies ist bei einer Erhöhung der Bodentemperatur um 0.185 °C der Fall.



Eine 6% höhere relative Luftfeuchtigkeit bewirkt also einen Treibhauseffekt, der durch eine Temperaturerhöhung von 0.185°C ausgeglichen wird, Auf eine Änderung um (theoretische) 100% Luftfeuchtigkeit hochgerechnet sind das $k=3.08$°C/100% .

Der finale Rückkopplungsfaktor und der gesamte Treibhauseffekt

Damit bewirkt eine um 1 Grad höhere Temperatur in einem Rückkopplungszyklus eine zusätzliche Temperaturerhöhung um $k\cdot j = 0.06*3.08= 0.185$.

Die geometrische Reihe führt zu einem Verstärkungsfaktor f

des reinen CO$_2$ Treibhauseffekts um
$f=\frac{1}{1-0.185} = 1.23 $

Damit ist die um die Wasserdampfrückkopplung verstärkte Sensitivität bei Verdopplung der CO$_2$ Konzentration ΔT nicht mehr $\Delta T_0=0.8$°C, sondern
$\Delta T = 1.23\cdot 0.8$ °C = 0.98°C $\approx$ 1°C

Würde man die vom „Mainstream“ postulierten 7% maximaler Erhöhung der Luftfeuchtigkeit zugrunde legen, wäre die zusätzliche Temperaturerhöhung 0.215 °C und demzufolge die Verstärkung des Treibhauseffekts
$f=\frac{1}{1-0.215} = 1.27 $. Die Sensitivität für CO$_2$ Verdoppelung wäre dann
$\Delta T = 1.27\cdot 0.8$ °C = 1.02°C $\approx$ 1°C

Dieses Ergebnis berücksichtigt nicht die um die durch höhere Wasserdampfkonzentration stärkere Wolkenbildung und deren Abschirmung des einfallenden Sonnenlichts, die eine negative Rückkopplung bewirkt.