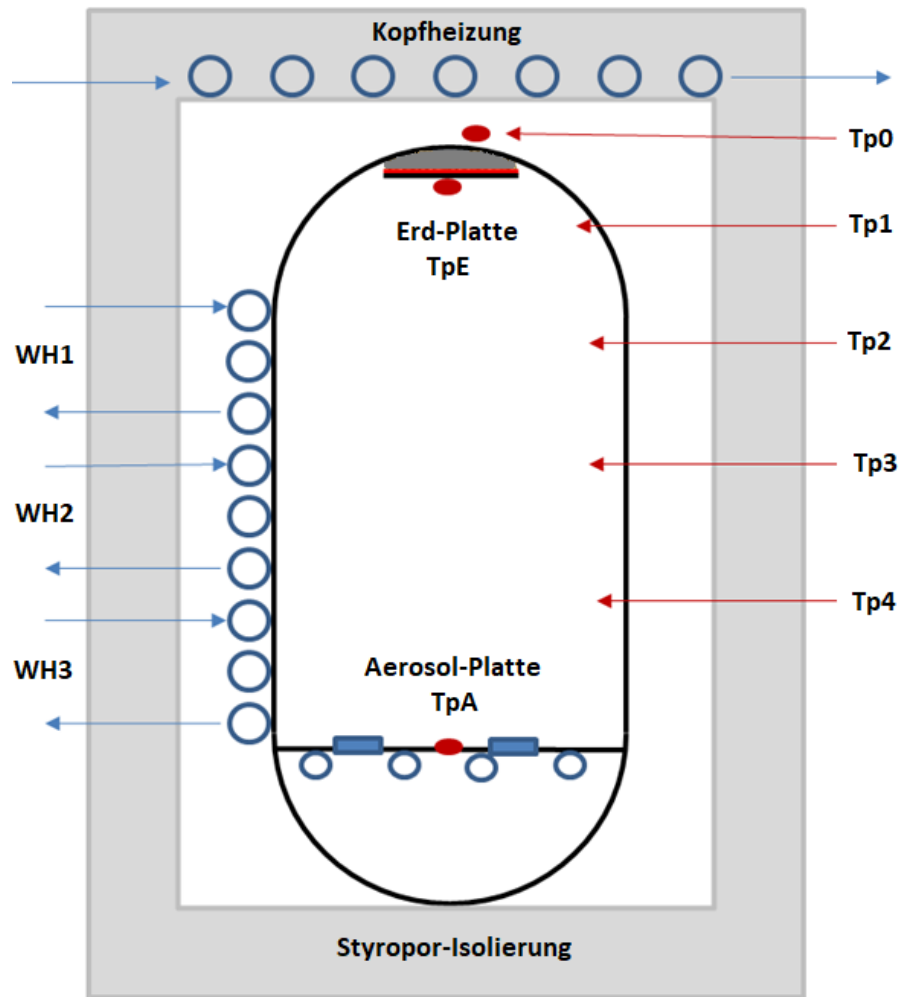


Experimentelle Verifikation des Treibhauseffektes*

Demonstrationsversuche der erdnahen IR-Strahlungen
für Schüler und Studenten

*Jean-Baptiste Joseph Fourier: Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires
Académie Royale des Sciences de Institute de France VII, 570-604, 1827.

Experimentelle Konzeption - Modell einer Erde mit einer Wolkenschicht



Erd-Platte



Rückseite mit Heizfolie

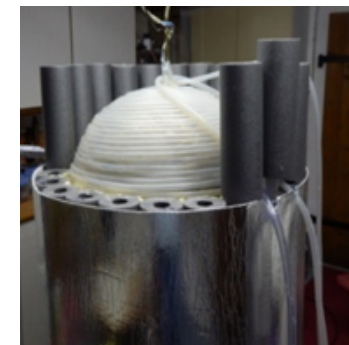


Aerosol-Platte - Rückseite mit der Kühlschlange



PVC- bzw. Silicon-Schläuche umwickeln die Röhre von außen und den oberen Dom.

Auf Hochglanz polierte Aluminiumröhre.



Wärmeübertragung paralleler Oberflächen durch IR-Strahlung

$$P = \sigma \cdot A \cdot E \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

P = übertragene Wärme als Differenz von Aus- und Gegenstrahlung

T_1, T_2 = Temperaturen Thermometer und Vakuumgefäß

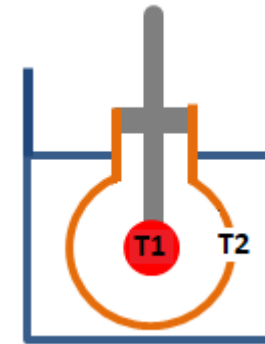
A = Fläche, σ = Konstante

E = Strahlungsaustauschgrad

$$E := \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Josef Stefan, SB der Ak. d. Wiss. Wien, Math. Physikal. Kl. 79, 1879, S. 391-428.

Dulong und Petit, Annales de chim. de phys. VII. 225 – 264 und 337 - 367, 1817



Strahlungsexperiment von Dulong und Petit

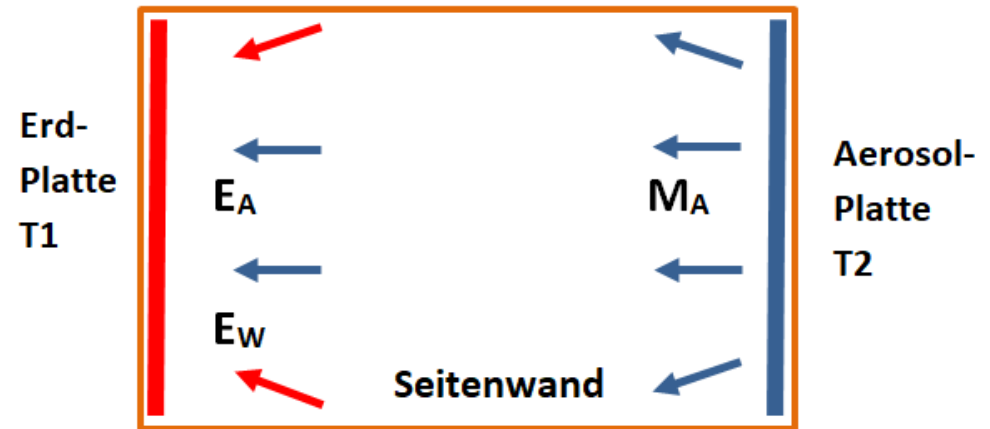
Die Gemeinsame Gegenstrahlung

Gl. 1: $E_G = E_W + E_A$

Wand und Aerosol-Platte

E = **Bestrahlung** der Erd-Platte

M_A = **Ausstrahlung** der Aerosol-Platte



Die Seitenwand verringert den Einfluss der Aerosol-Platte!

Diese Schwächung ist die effektive Strahlung der Aerosol-Platte E_A und ist der Schlüssel zum Treibhauseffekt!

$$E_A < M_A$$

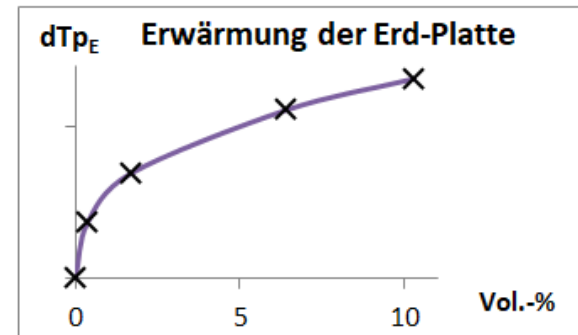
Experimentelle Messmethoden

A) Konzentrationsexperimente:

Konzentration der IR-Gase erhöhen.

Zielstellung:

Erwärmung der Erd-Platte dTp_E

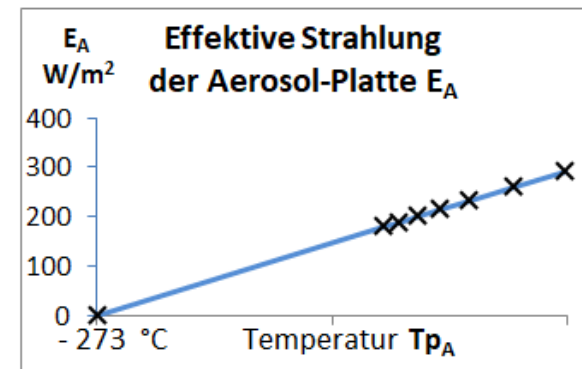


B) Abkühlungsexperimente:

Aerosol-Platte abkühlen.

Zielstellung:

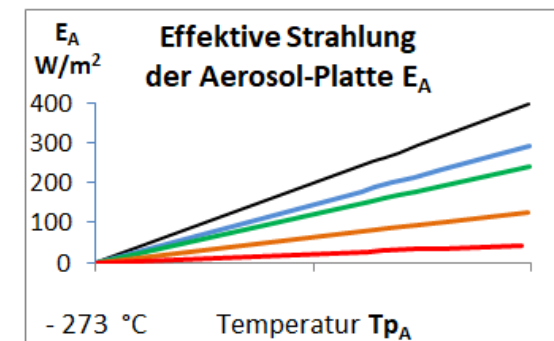
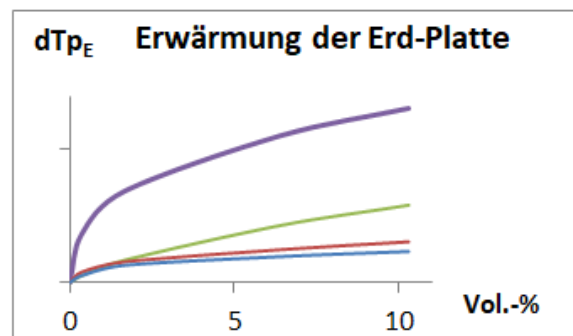
Effektive Strahlung der Aerosol-Platte E_A



Serien von 4 bis 5 Versuchen

Zielstellungen:

Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge aufdecken



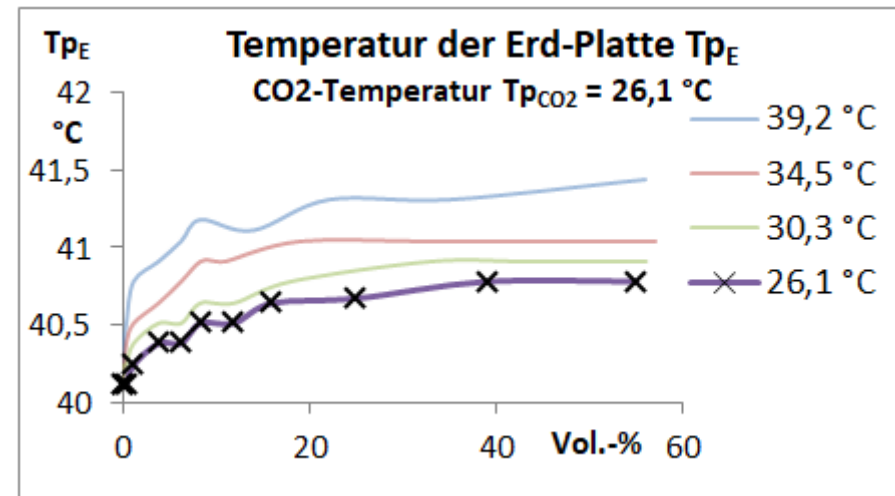
Erhöht auch kaltes CO2 die Temperatur der Erd-Platte?

Widerspricht Fouriers Treibhauseffekt der Thermodynamik?

Serie 1: Vier Versuche: $T_{p_{CO_2}} = 39$ bis 26 °C ($WH_{1,2,3}$)

CO2 von 0 - 60 Vol.-%, $T_{p_E} = 40\text{ °C}$, $T_{p_A} = 20\text{ °C}$.

Temperaturdifferenz CO2 – Erd-Platte	Erwärmung Erd-Platte
1. $dT = - 0,8\text{ K}$	$dT_{p_E} = 1,2\text{ K}$
2. $dT = - 5,5\text{ K}$	$dT_{p_E} = 0,9\text{ K}$
3. $dT = - 9,7\text{ K}$	$dT_{p_E} = 0,8\text{ K}$
4. $dT = - 13,9\text{ K}$	$dT_{p_E} = 0,7\text{ K}$



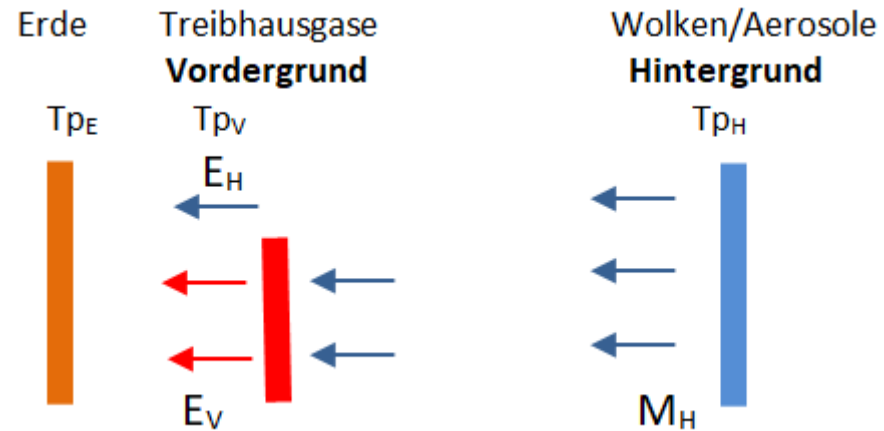
Schlussfolgerungen:

Der Treibhauseffekt beruht auf eine Veränderung der Gegenstrahlung.

Wie lässt sich das komplexe atmosphärische System von zwei verschieden Strahlungsquellen erklären?

Die gemeinsame Gegenstrahlung von IR-Gasen und Aerosol-Platte

Teil 1: Das Konzept der Vorder- und Hintergrundstrahlung:



Der Treibhauseffekt als Überlagerung von Vorder- und Hintergrundstrahlung

Welchen Anteil haben Vorder- und Hintergrund an der Bestrahlung der Erde?

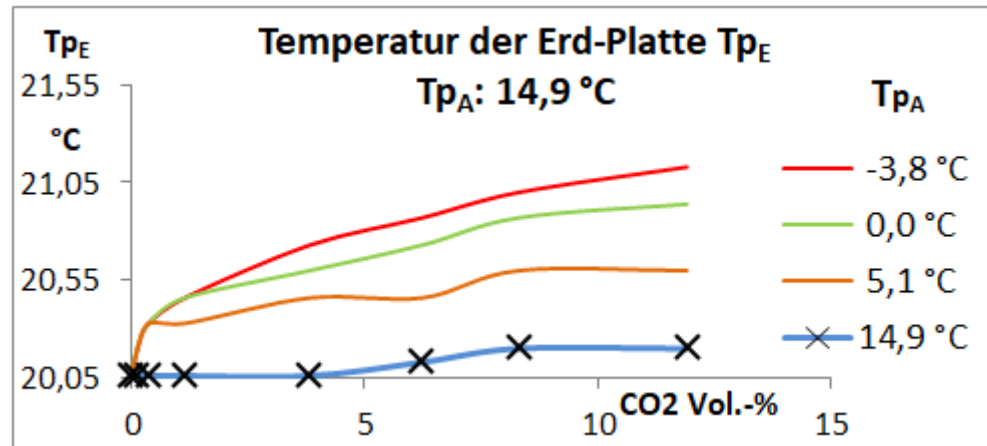
Die gemeinsame Gegenstrahlung von IR-Gasen und Aerosol-Platte

Teil 2: Einfluss der Hintergrundstrahlung

Serie 2: Vier Versuche: Aerosol-Platte T_{p_A} von $-3,8$ bis $+15$ °C aber konstante CO_2 -Temperatur = 15 °C.

CO_2 von 0 - 11 Vol.-%, $T_{p_E} = 20$ °C, $WH_1 + WH_2 = 15$ °C

Temperaturdifferenz <u>CO_2 – Aerosol-Platte</u>	Erwärmung <u>Erd-Platte</u>
1. $dT = 18,8$ K	$dT_{p_E} = 1,1$ K
2. $dT = 15,0$ K	$dT_{p_E} = 0,9$ K
3. $dT = 9,9$ K	$dT_{p_E} = 0,5$ K
4. $dT = 0,1$ K	$dT_{p_E} = 0,15$ K



Schlussfolgerungen:

Die Intensität der Hintergrundstrahlung steuert die Wirksamkeit der Treibhausgase.

Ångström: Treibhauseffekt Wasserdampf = 5 % unter Wolken (30 % bei klarem Himmel)

A. Ångström, Geogr. Annaler 11, 156 (1929)

$$A = \sigma \cdot T_E^4 \cdot (1 - (0,194 - 0,236 \cdot 10^{-0,069 \cdot e}) \cdot (1 - k \cdot w/10)) \text{ (W/m}^2\text{): } k = 0,2 - 0,9; e = \text{Luftfeuchte}$$

Bolz: Der Einfluss des Wasserdampfes geht in der Messgenauigkeit unter.

H. M. Bolz u. G. Falkenberg, Z. Meteor. 3, 97, (1949)

$$A = 0,94 (0,82) \sigma T_H^4 \text{ (W/m}^2\text{), bedeckter (bzw. wolkenlosen) Himmel, Tagesmittel}$$

Die gemeinsame Gegenstrahlung von IR-Gasen und Aerosol-Platte

Teil 3: Einfluss der Vordergrundstrahlung

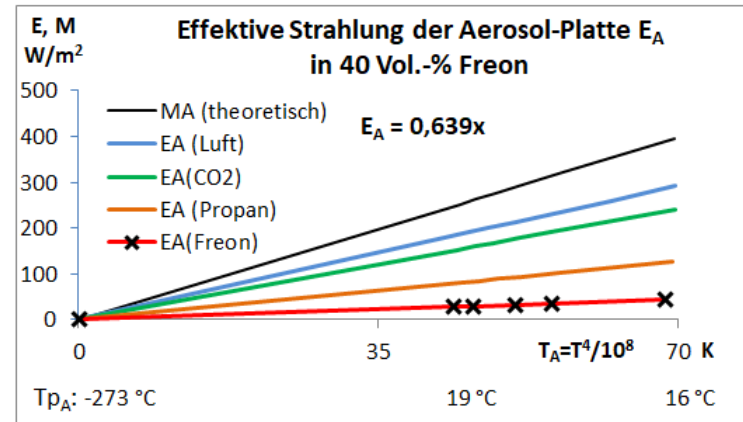
Serie 3: Vier Abkühlungsexperimente: $T_{p_A} = 16$ bis -19 °C.

Gase: Luft, CO₂, Propan und Freon.

Konstant: $T_{p_E} = 16$ °C, $WH_{1,2,3} = 16$ °C.

Gl. 1: $M_E = E_A + E_W + Q_E$, Gl. 2: $E_A = M_E - E_W - Q_E$

Gasphase	Effektive Strahlung Aerosol-Platte
1. Luft/Seitenwand:	$E_A/M_A = 0,74$
2. CO ₂ :	$E_A/M_A = 0,60$
3. Propan:	$E_A/M_A = 0,32$
4. Freon 134a:	$E_A/M_A = 0,11$



Vordergrundstrahler verringern die effektive Strahlung des Hintergrundes!

„Während des Vormittags herrschte Hochnebel ...
Gegen Mittag klarer Himmel...

$$\begin{aligned} \text{Gegenstrahlung} &= 370 \text{ W/m}^2 \\ \text{Gegenstrahlung} &= 300 \text{ W/m}^2 \\ dE_G &= 70 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Wikipedia: Atmosphärische Gegenstrahlung. München am 6. Oktober 2005:

Treibhauseffekt Wolken = 24-34 W/m² von total = 344-350 W/m² IR-Gegenstrahlung?

http://wiki.bildungserver.de/klimawandel/index.php/Wolken_im_Klimasystem

Das Wolken-IR-Gas-Paradoxon – Wolken oder IR-Gase, das ist hier die Frage!

Die gemeinsame Gegenstrahlung von IR-Gasen und Aerosol-Platte

Teil 4: Der relative Treibhauseffekt

Sowohl Wolken/Aerosole als auch IR-Gase haben nur einen relativen Treibhauseffekt. Die eigene Wirksamkeit hängt immer von der Strahlung der jeweils anderen Seite ab!

Die Vordergrundstrahlung der IR-Gase

$$\text{Gl. 3: } E_{\text{IR-Gas}} = \epsilon_{\text{IR-Gas}}(n) \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_V^4/10^8 - T_H^4/10^8) \text{ (M. Schnell, unveröffentlicht)}$$

ϵ = Emissionsgrade, V = Vordergrund, H = Hintergrund

n = Zahl der IR-aktiven Moleküle in einem Volumen pro Grundfläche A

Der tatsächliche Treibhauseffekt ist kleiner als bisher angenommen,
30 – 40 % des theoretischen Wertes bei $T_H = -10 \text{ bis } -18 \text{ °C}$ und $T_V = 15 \text{ °C}$

Die Hintergrundstrahlung der Wolken/Aerosole

$$\text{Gl. 4: } E_H = (1 - \epsilon_{\text{IR-Gas}}(n)) \cdot \sigma \cdot T_H^4/10^8$$

Alle Formen von Wolken kühlen die Erde!
IR-Gase verringern den Wolken-Treibhauseffekt aber nicht die Wolkenalbedo.

Wolkenalbedo:*	- 55 Watt (Kühlung)
<u>Wolken-Treibhauseffekt</u>	+ 29 Watt (Erwärmung)
Bilanz:	- 26 Watt/m ²

*) Wolkenalbedo = 16 % der Solarstrahlung Schönwiese, Klimatologie, 1994, Seite 136

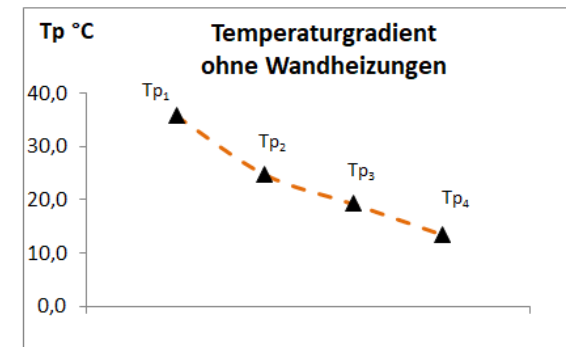
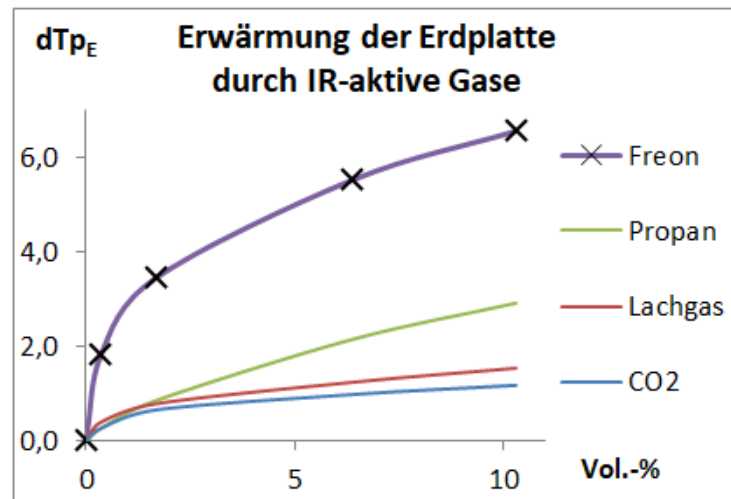
Erwärmungskurven unterschiedlicher Treibhausgase

Serie 4: Fünf Konzentrationsversuche **ohne Wandheizungen**

Gase: **CO2, Lachgas, Propan, Freon, Methan**

$T_{pE}(\text{Start}) = 39,5 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{pA} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$

Gasphase	Erwärmung Erd-Platte
1. CO2	$dT_{pE} = 1,2 \text{ K}$
2. Lachgas	$dT_{pE} = 1,5 \text{ K}$
3. Propan	$dT_{pE} = 2,9 \text{ K}$
4. Freon	$dT_{pE} = 6,6 \text{ K}$

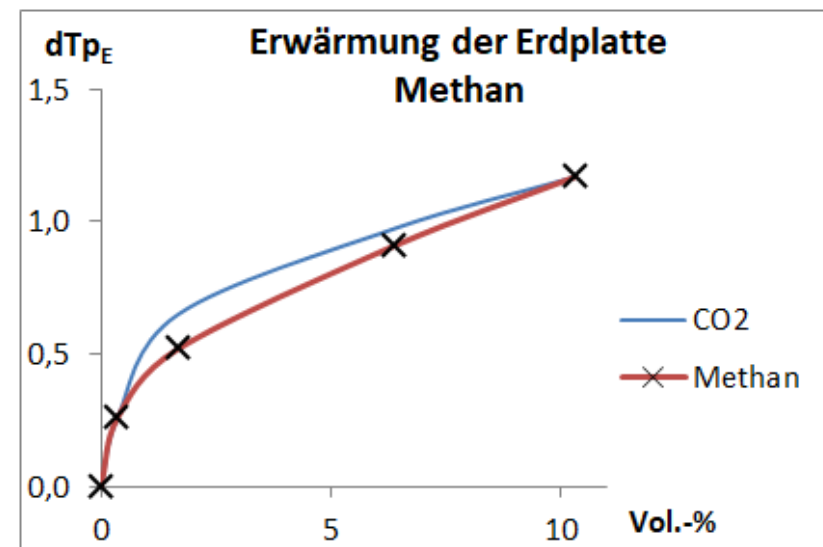


5. Methan: $dT_{pE} = 1,2 \text{ K}$

Methan ist NICHT wirksamer als CO2!

Vordergrundstrahlung benötigt IR-Gase mit einer kurzen Reichweite!

Haben Spurengase im ppm- oder ppb-Bereich einen Einfluss auf den erdnahen Treibhauseffekt?



Erwärmung der Erd-Platte durch Wärmeleitung?

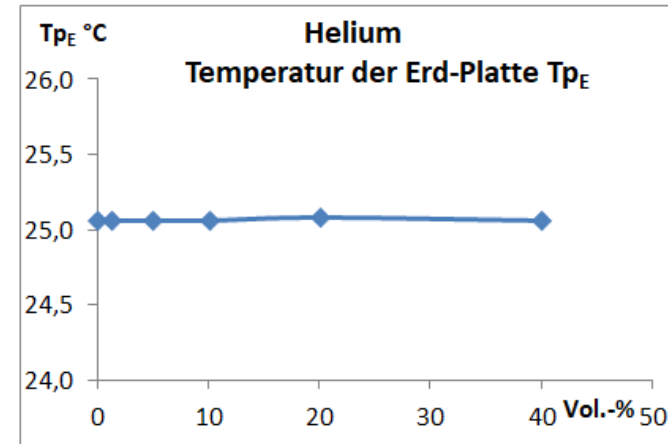
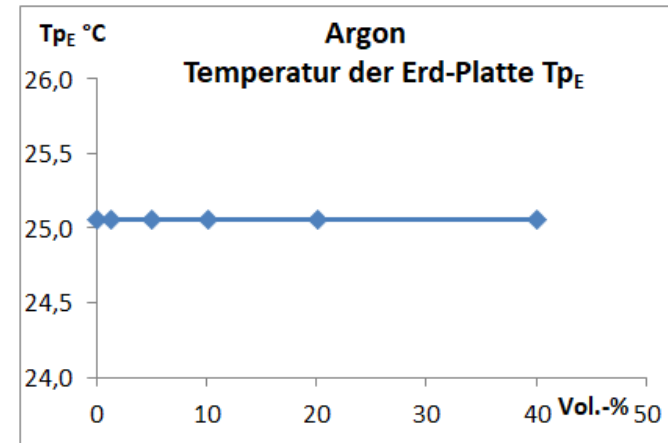
Spezifische Wärmeleitung $10^{-3} \cdot \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$						
Helium	Methan	Luft	Argon	Propan	CO2	Freon
156,7	30,2	24,4	16,3	15,1	14,2	13,3

Serie 5:

A) Helium bzw. Argon von 0 - 40 Vol.-%

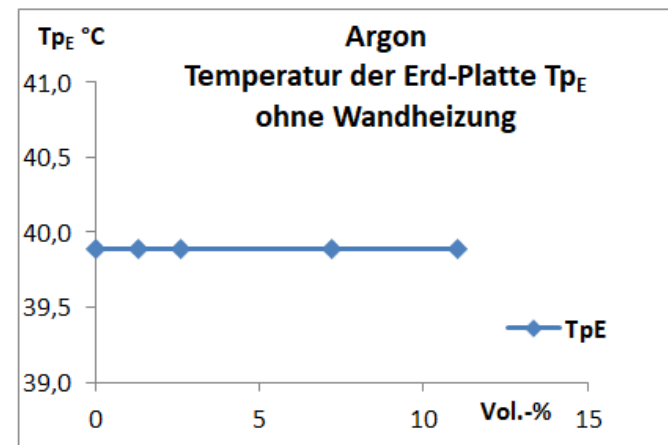
Wandheizungen: WH1, WH2 = 25 °C.

$$T_{p_E} = 25 \text{ °C}, T_{p_A} = -10 \text{ °C}$$



B) Argon von 0 – 11 Vol.-% ohne Wandheizungen

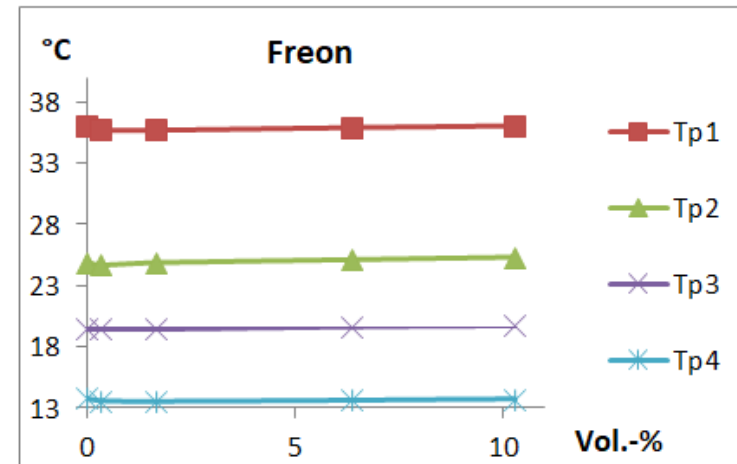
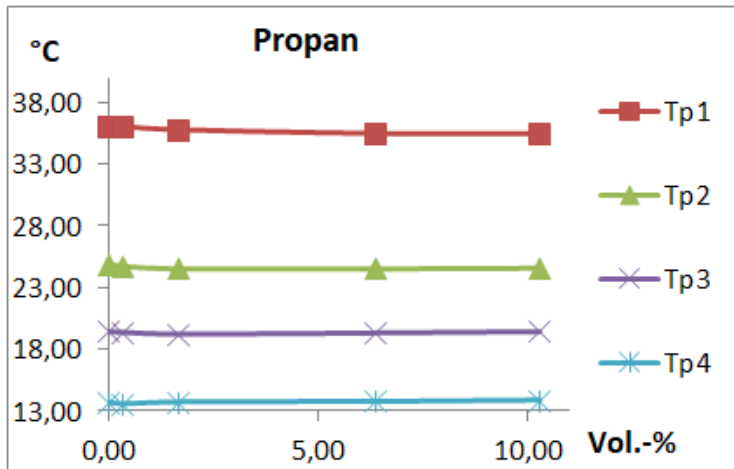
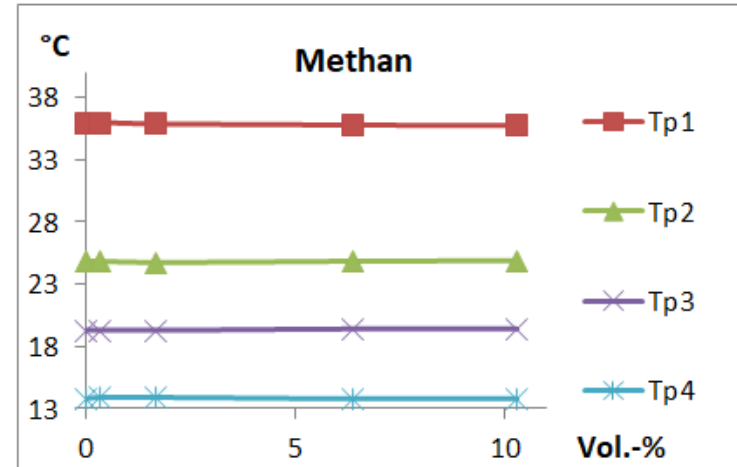
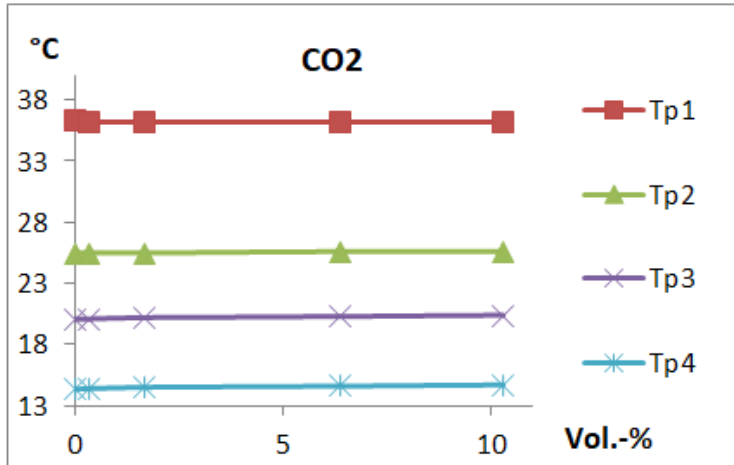
$$T_{p_E} = 39,5 \text{ °C}, T_{p_A} = - 2 \text{ °C},$$



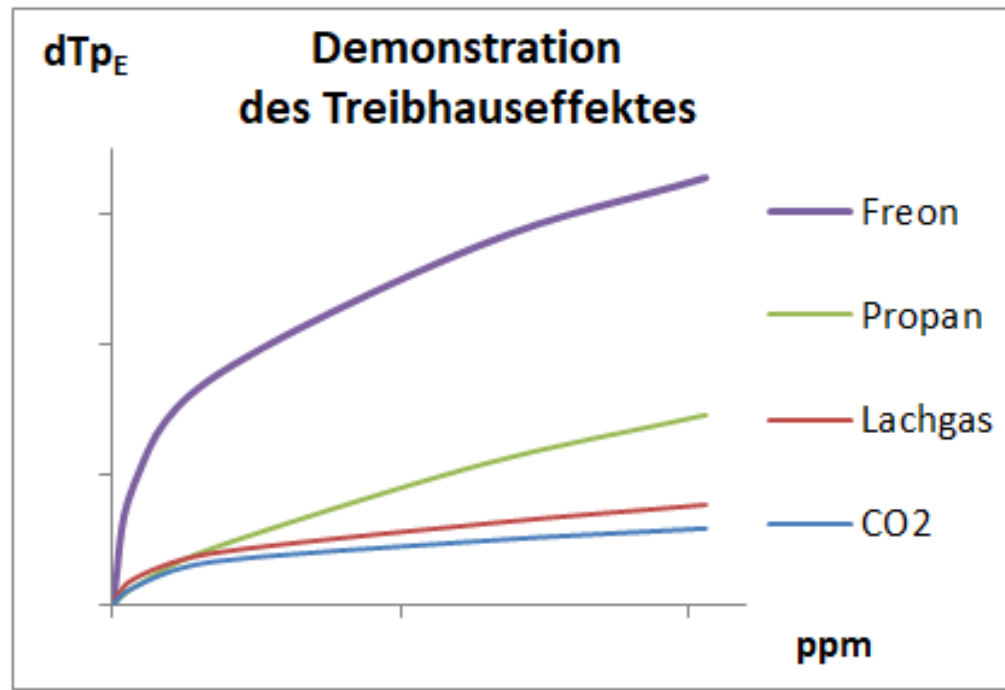
Verändern Treibhausgase die Lufttemperatur?

Serie 4: Luft-Temperaturen T_{p1} bis T_{p4} , ohne Wandheizungen

$T_{pE}(\text{Start}) = 39,5 \text{ °C}$, $T_{pA} = -2 \text{ °C}$



Auf den ersten Blick keine Veränderungen der Luft-Temperaturen



Zum Schluss noch eine Bemerkung. Die gezeigten Erwärmungskurven sind nur Demonstrationsversuche einer Laborapparatur. Hiermit ließen sich Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten des Treibhauseffektes nachweisen.

Es konnte gezeigt werden, dass weitere Anstiege der CO₂-Konzentration nur mäßige Temperaturbeiträge liefert, da sein größtes Potential bereits mit den ersten 150 ppm erreicht ist und seine Wirkung vor allem durch das Prinzip der Vordergrund- und Hintergrundstrahlung erheblich relativiert wird.

Es muss nicht immer eine Garage sein, ein Keller tut es auch!



Danke für Ihre Geduld!