

Klimawandel

Nachgerechnet 2

Prof. Dr.-Ing. G. Schuller
Technische Universität Ilmenau
Institut für Medientechnologie

Frage: Beeinflusst die CO₂ Konzentration die globale Temperatur?

- **Physik:**
- Wesentlicher Effekt: Absorptionsspektren von CO₂ und Wasserdampf:
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>
- Wir sehen:
- CO₂ ist für das elektromagnetische Spektrum des **sichtbaren Lichts** durchlässig,
- aber im Bereich von **Infrarot**, also der Wärmestrahlung, weniger Durchlässig.
- Wasserdampf ist kurzlebig und von der Temperatur abhängig, daher ist CO₂ das wesentliche Gas.

Frage: Beeinflusst die CO₂ Konzentration die globale Temperatur?

- Die Sonne heizt mit dem sichtbaren Licht die Erde auf,
- die Wärme wird als Infrarotstrahlung wieder zurück in der Weltraum gestrahlt.
- So stellt sich ein Gleichgewicht ein.

Der Strahlungsantrieb von CO2

- Bei mehr CO2 in der Atmosphäre wird mehr Infrarotstrahlung auf der Erde gehalten.
- Diese zusätzliche zurückgehaltene Strahlung wird “**Strahlungsantrieb**” genannt (<https://de.wikipedia.org/wiki/Strahlungsantrieb>)
- Formel des Strahlungsantriebs von CO2:

$$\Delta F = 5,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \ln \frac{C}{C_0}$$

- C_0 : CO2 Bezugswert, 280ppm der vorindustriellen Zeit,
- C: neuer CO2 Wert (2019): 410ppm
- Das Resultat ist eine Leistung in Watt pro Flächeneinheit m^2

Der Strahlungsantrieb von CO₂

- In Python:

```
import numpy as np
```

```
5.35*np.log(410/280)
```

- Resultat: **2.04 W/m²**
- Strahlungsantrieb von CO₂ ist also ca. 2W/m² (+- ca. 10%)
- Dies ist die **zusätzliche Leistung** durch den bisherigen Anstieg von CO₂ auf 410ppm im Vergleich zum Level vor der Industrialisierung von 280 ppm.
- Das entspricht etwa der Leistung einer Fahrradlampe für jeden Quadratmeter der Erde.

Der Strahlungsantrieb von CO₂

- Variationen der Sonnenstrahlung kommen auf etwa 0.5 W/m^2
- Andere Effekte sind noch geringer
- -> Der Strahlungsantrieb von CO₂ ist der dominierende Effekt

Frage: Wie lange dauert es ungefähr, bis der Strahlungsantrieb die Erde um 1 Grad C erwärmt?

- Die Erde wird **dominiert von Ozeanen**, auf sie entfällt 70% der Oberfläche
- Daher konzentrieren wir uns auf die **Ozeane zur Abschätzung**
- Die **Wärmekapazität** von Wasser ist die Energie die benötigt wird, um 1kg Wasser um 1 Grad Celsius (oder Kelvin) aufzuwärmen.
- Einheit: $J/(kg \cdot K) = (Ws)/(kg \cdot K)$
- Wärmekapazität von Wasser: **$c=4.2 \cdot 10^3 J/(kg \cdot K)$**

(https://de.wikipedia.org/wiki/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t)

- Wasser hat auch eine höhere Wärmekapazität als Erde

Zeit für 1 Grad Erwärmung

- Wir können die Einheiten für die Wärmekapazität nun umformen nach der **Zeit**, um die Formel für die Zeit für 1 Grad Erwärmung zu bekommen:
- $c = \text{Ws}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, also:
- $c\cdot\text{kg}/\text{W} = \text{s}/\text{K}$
- Einheit der rechten Seite: s/K , also **Sekunden pro Kelvin**
- Dies ist die Zeit in Sekunden, die für 1 Grad Temperaturerhöhung (Kelvin oder Celsius) gebraucht wird.

Zeit für 1 Grad Erwärmung

- Auf jeden Quadratmeter Ozean wirken die genannten 2W Strahlungsantrieb
- Aber bis zu welcher **Tiefe** müssen wir die Ozeane berücksichtigen?
- Die sog. “Thermokline” ist eine Art isolierende Grenzschicht zur Tiefsee.
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermokline>
- Sie erstreckt sich grob von 200-1000m m Tiefe in Ozeanen.
- Nehmen wir die Mitte der Schicht bei **600m** als Grenze an, bis zu der Energie von der Oberfläche dringt.
- Wasser hat ein Gewicht von 1000 kg pro Kubikmeter
- Für jeden Quadratmeter und 600m Wassertiefe haben wir also ein Wassergewicht von $600\text{m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{600000 \text{ kg/m}^2}$

Zeit für 1 Grad Erwärmung

- Diese Masse von 600000 kg/m^2 setzen wir in unsere Formel für die Zeit pro Kelvin ein, und erweitern sie mit $1/\text{m}^2$:
- $\text{s/K} = c \cdot \text{kg/W} = c \cdot (\text{kg/m}^2) / (\text{W/m}^2)$
- $\text{s/K} = 4.2 \cdot 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 600000 \text{ kg/m}^2 / (2 \text{ W/m}^2) = (4.2\text{e}3 \cdot 600\text{e}3 / 2) \text{ s/K}$
- $= 1260000000.0 \text{ s/K} = \mathbf{1.26\text{e}9 \text{ s/K}}$
- Dies ist die Zeit in Sekunden für 1 Grad Erwärmung. Wir können dies in Jahre umrechnen, indem wir durch die Anzahl der Sekunden pro Jahr teilen.
- $1 \text{ Jahr} = 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s} = 31536000 \text{ s} = 31.536\text{e}6 \text{ s}$
- Also: $1.26\text{e}9 \text{ s/K} = 1.26\text{e}9 / 31.536\text{e}6 \text{ Jahre/K}$
- $= \mathbf{39.95 \text{ Jahre/K}}$
- **Ueber die letzten 40 Jahre (1980-2019) hatten wir tatsächlich einen Anstieg der globalen Temperatur von 1 Grad Celsius, es passt also gut.**

Historische Temperaturwerte

- Wir können globale Temperaturwerte als relative Temperaturen bekommen (sie sind genauer als absolute Werte) von 1880 bis heute, als csv Datei:
- https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land_ocean/1/6/1880-2019.csv
- Die letzten 1000 Jahre:
- <https://www.temperaturerecord.org>
- Unten ist Link fuer die letzten 2000 jahre, den wir speichern und zu csv konvertieren:
- `historical_temperature_dataset_0-1979_py.csv`

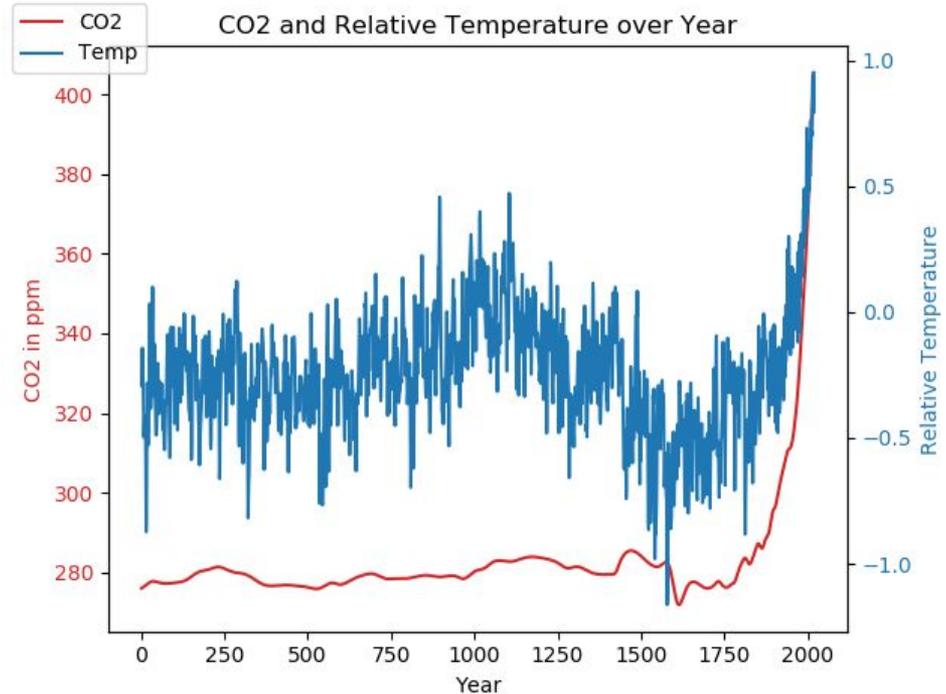
Historische Temperaturwerte

- Beide Datensätze kombinieren wir mittels eines Python Programms und stellen sie dar, zusammen mit den CO2 Werten.
- Wir starten das Programm im Terminal mit:

```
python3 dataplot_twinplot2.py
```

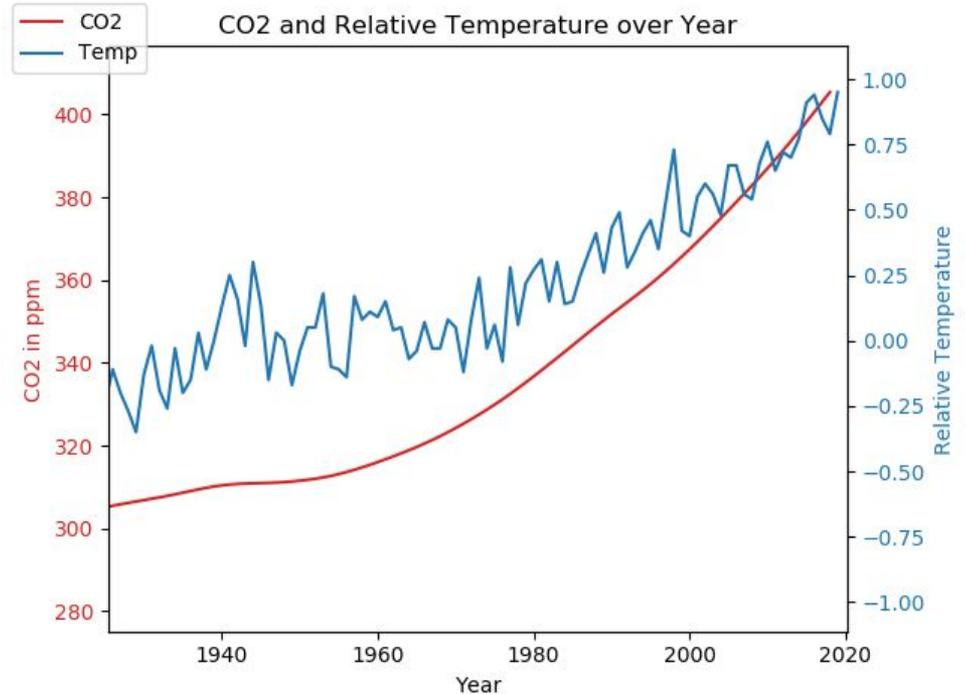
Historische Temperaturwerte

- Die blaue Kurve stellt die kombinierten Temperaturdaten dar
- Die rote Kurve die CO2 Daten zum Vergleich
- Wir sehen: unsere **heutige Abweichung** der Temperatur vom langjährigen Mittel ist schon **grösser als bei der “kleinen Eiszeit”** im Mittelalter, und **deutlich wärmer als zur Zeit des Römischen Reiches!**



Historische Temperaturwerte

- Wir können auf die Neuzeit hinein zoomen und sehen:
- Ab ca. 1980 haben wir einen **Temperaturanstieg von ca. 1 Grad, wie wir berechneten!**



Fazit

- Unsere Abschätzung zeigt dass der Globale **Temperaturanstieg von der erhöhten CO2 Konzentration verursacht wird.**
- Mit dem weiteren Ausstoß von fossilem CO2 erhöht sich der Strahlungsantrieb weiter, und der **Temperaturanstieg wird sich beschleunigen.**