

# Klimawandel

Es gibt immer noch Menschen, die meinen, der Klimawandel, also die zunehmende Erwärmung der Luft und der Ozeane sei nicht vom Menschen verursacht. Kürzlich hat man mir einen Link auf einen Artikel geschickt, der Aussagen eines Wissenschaftlers zitiert. Aussagen des Dr. John Clauser, der 2022 einer der Nobelpreisträger für Physik war. Oft werden dabei auch Aussagen nur teilweise zitiert, aber es mag schon sein, dass es auch unter Wissenschaftlern Menschen gibt, die andere Ursachen für den Klimawandel sehen, den wir jetzt beobachten. Dann sollen sie das auch mit Kollegen teilen und diskutieren, bzw. mit den üblichen Methoden der Wissenschaft überprüfen. Ob das subjektiv eine Minderheit ist oder nicht, hängt davon ab, welche Informationsquellen man nutzt. Und da scheint es eine intuitive und nur mehr schwer korrigierbare Grundsatzentscheidung zu sein, welchen Quellen man traut und welchen man nicht traut.

Mein Zugang ist, selber zu denken, sich selber ein Bild zu Ursache und Wirkung zu machen. Das mag mir als Physiker leichter fallen, aber die Fakten zum Klimawandel kann jeder halbwegs gebildete Mensch selber bewerten und in einen Zusammenhang bringen.

Mein Exkurs beginnt mit einer Einführung in die Welt der großen Zahlen, der Energie und Leistung.

## Einheiten und Größenordnungen

Studiert man die Statistiken zum Verbrauch von Ressourcen, so stößt man auf Zahlen in einer Größenordnung, die wir uns nur schwer vorstellen können.

Größenbezeichnungen

1	1	Deutsch	US-English (short scale)	Zahl
kilo	$10^3$	Tausend	thousand	1.000
Mega	$10^6$	Million, Mio	million	1.000.000
Giga	$10^9$	Milliarde, Mrd	billion	1.000.000.000
Tera	$10^{12}$	Billion	trillion	1.000.000.000.000
Peta	$10^{15}$	Billiarde	quadrillion	1.000.000.000.000.000
Exa	$10^{18}$	Trillion	quintillion	1.000.000.000.000.000.000

Einige große Werte: Masse der Erde:  $6 \cdot 10^{24}$  kg, Masse der Atmosphäre:  $5,15 \cdot 10^{18}$  kg

## Energie, Leistung und deren Einheiten:

Die Grund-Einheit der Energie ist 1 J (Joule) oder 1 Ws (WattSekunde). Unseren Stromverbrauch (elektrische Energie) rechnen wir in kWh ab, 1 kWh = 3.600.000 J oder 3,6 MJ (MegaJoule). Beim Tanken von Treibstoff wird in Litern abgerechnet, beim Erdgas in  $m^3$  und bei Pellets in kg oder Tonnen. Rechnet man die Kosten für unterschiedliche Energieträger in Kosten pro kWh um, dann zeigt sich auch, wie gering dann die Unterschiede plötzlich sind. Wir haben es erlebt, wird das Erdgas teurer, werden auch die Pellets teurer.

### Beispiele für Energiemengen

Begriffe: Primärenergie ist die in den Energiequellen prinzipiell enthaltene Energie. Was davon nach den Umwandlungsprozessen und dem Transport beim Verbraucher an der Steckdose oder im Tank ankommt, nennt man Endenergie. Eine gute Erklärung dieser Begriffe findet man hier:

<https://www.udo-leuschner.de/basiswissen/SB102-08.htm>

Ein typischer Jahresverbrauch an elektrischer Energie pro Haushalt ist ca. 3.000 kWh.

50 Liter Benzin haben einen Energieinhalt von ca. 425 kWh. Wenn Sie also 10 Mal pro Jahr Ihr Auto auftanken, dann landet schon deutlich mehr Energie im Auto als für den Strom im Haushalt verbraucht wird.

Der Lünersee speichert maximal 262 Million kWh = 262 GWh Energie.

Der Endenergieverbrauch Vorarlbergs im Jahre 2020 war 9.942 GWh, davon 2.693 GWh elektrische Energie und ca. 50% fossile Energie. Pro Einwohner sind das 24.000 kWh.

2019 war der Primärenergiebedarf in Österreich 1.894 PJ oder 526 TWh. Davon mussten 1.376 PJ also 73% importiert werden.

Weltweit verbrauchen wir jährlich 107.000 TWh =  $107 \cdot 10^{15}$  kWh Primärenergie. Das ist etwa so viel, als würde man alle 4-5 Sekunden eine Hiroshima-Bombe zünden.

Einen Energieeinheiten-Konverter finden Sie hier:

<https://www.volker-quaschnig.de/datserv/energierechner/index.php>

## 2. Hauptsatz der Wärmelehre

Für dieses wichtige Gesetz gibt es verschiedene Formulierungen. Eine davon ist: Man kann Wärmeenergie nicht vollständig in mechanische Energie umwandeln. Oder etwas präziser: Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine kann einen bestimmten Wert nicht überschreiten. Und dieser Wert ist leider miserabel. Eine Verbrennungsmotor kommt auf einen Wirkungsgrad von 30 - 40%. Da ist für die Ingenieure nicht mehr zu holen. Der Rest wird als Wärme an die Umgebung abgegeben.

Das ist auch das Problem bei thermischen Kraftwerken. Sie können nur 30 - 40% der zugeführten Wärmeenergie in elektrische Energie umwandeln.

### Leistung

Was ich (zu) oft erlebe: Viele Menschen und leider auch solche die in Fragen der Energie (politische) Entscheidungen treffen oder mitdiskutieren, kennen den Unterschied zwischen Energie und Leistung nicht. Das merkt man daran, dass sie die Einheiten kW und kWh nicht richtig verwenden.

Kurzfassung (so sollte es sein): Wenn die Einheit mit einer Stunde (h) endet, dann handelt es sich um Energie, wenn sie mit Watt (W) endet, dann handelt sich um Leistung.

Leistung ist als Arbeit (und das ist physikalisch ein Synonym für Energie) pro Zeit. Die Einheit der Leistung ist 1 Watt oder in üblichen Größenordnungen für Geräte, Motoren, Stromerzeuger etc. kW, MW, GW. Die maximale Leistung des Lünerseewerkes ist 280 MW. Ein typisches Windrad hat eine Leistung von 3 MW. Am 1. August 2023 um 9:30 war die Leistung aller Windräder in Österreich 202 MW von theoretisch möglichen 3,27 GW.

Energie ist Leistung x Zeit.

D.h., wenn die 5 Generatoren im Lünerseewerk 24 Stunden mit maximaler Leistung laufen, dann erzeugen sie eine Energie von  $280 \text{ MW} \times 24 \text{ h} = 6.720 \text{ MWh}$ .

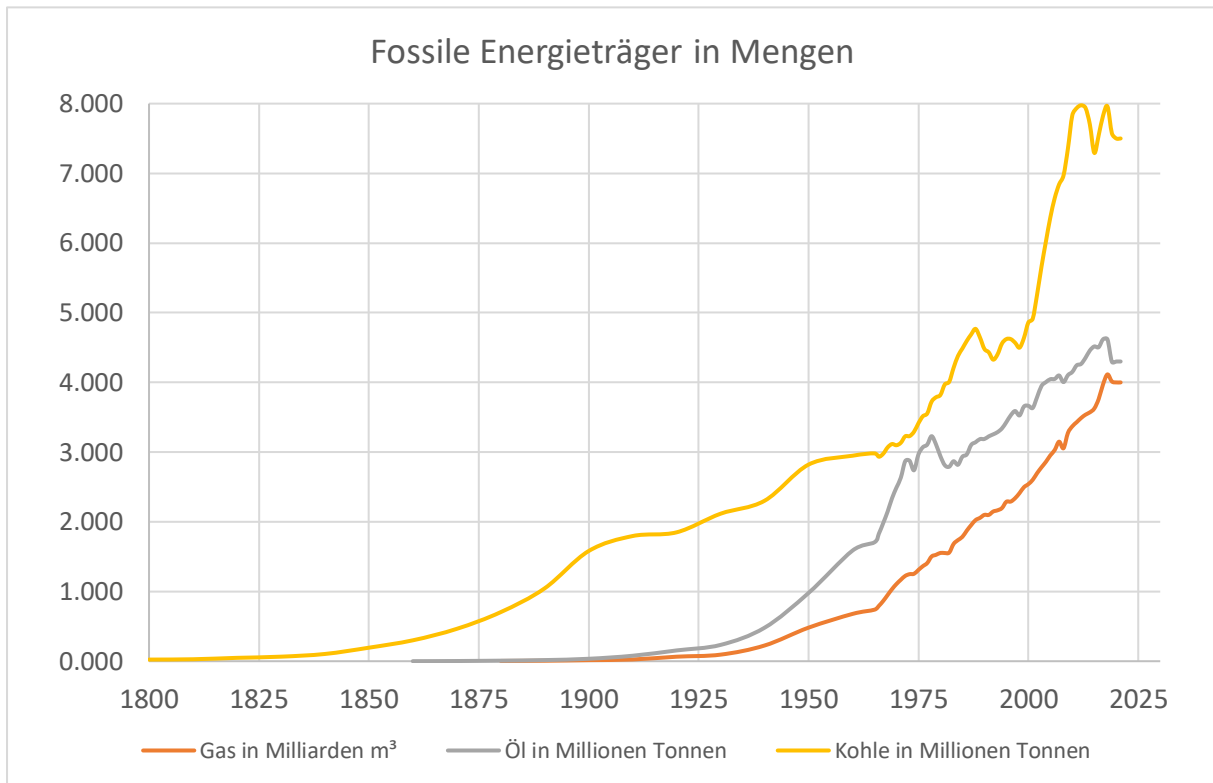
Beim Elektro-Auto steckt die Energie in der wieder aufladbaren Batterie. Aus dem Prospekt für den Renault Zoe EV50 110hp: Leistung: 80 kW (108 PS), Stromverbrauch (eigentlich müsste es Energieverbrauch heißen): 17,3 - 19,1 kWh / 100 km, Batterie: 52 kWh, Reichweite: bis zu 395 km

Ein Auto mit Benzinmotor mit einem Verbrauch von 7 Liter / 100 km verbraucht fast 60 kWh / 100 km, das ist mehr als das 3-fache des E-Autos. Das liegt eben am 2. Hauptsatz. Elektromotoren haben einen Wirkungsgrad im Bereich von 90%.

Verwendete Symbole: Punkt als 1000er Trennzeichen, Beistrich als Dezimaltrennzeichen

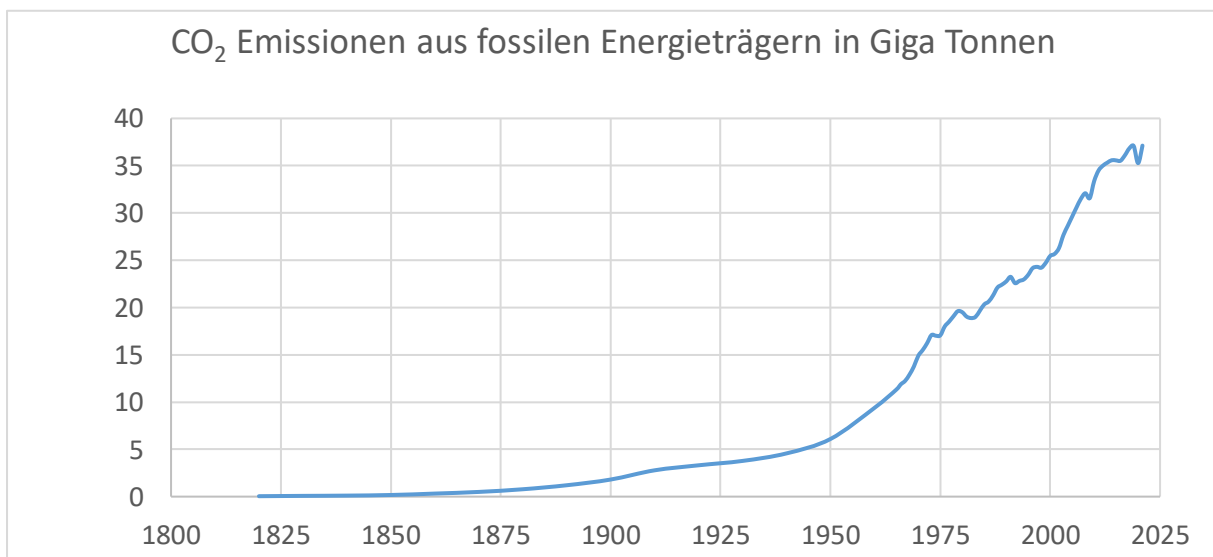
## Produktion und Verbrauch fossiler Brennstoffe

Seit dem Jahr 1800 haben wir weltweit ca. 133 Billionen ( $133 \cdot 10^{12}$ ) m<sup>3</sup> Gas, 200 Milliarden Tonnen Öl und 310 Milliarden Tonnen Kohle gefördert, fast zur Gänze verbrannt und in Wärme umgewandelt und damit ca. 1.500 Gt ( $1,5 \cdot 10^{12}$  kg) CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre abgegeben.



Die insgesamt bisher verbrauchte Energie dieser Brennstoffe ist ca. 5,3 Millionen TWh.

## CO<sub>2</sub>-Emissionen

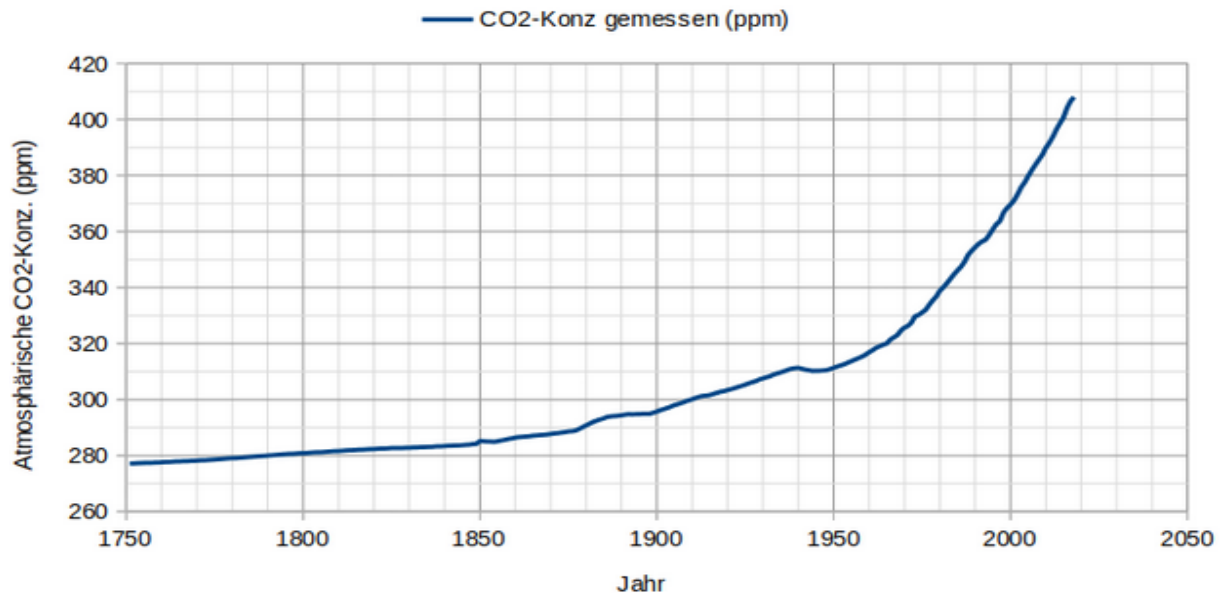


Nicht überraschend gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen dem Verbrauch an fossilen Brennstoffen und den zugehörigen Emissionen. Und es wird ja niemand glauben, dass wir jährlich 35 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre schicken können und die merkt davon nichts.

Berücksichtigt man die anderen Treibhausgase, so waren es 2019 weltweit 59 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

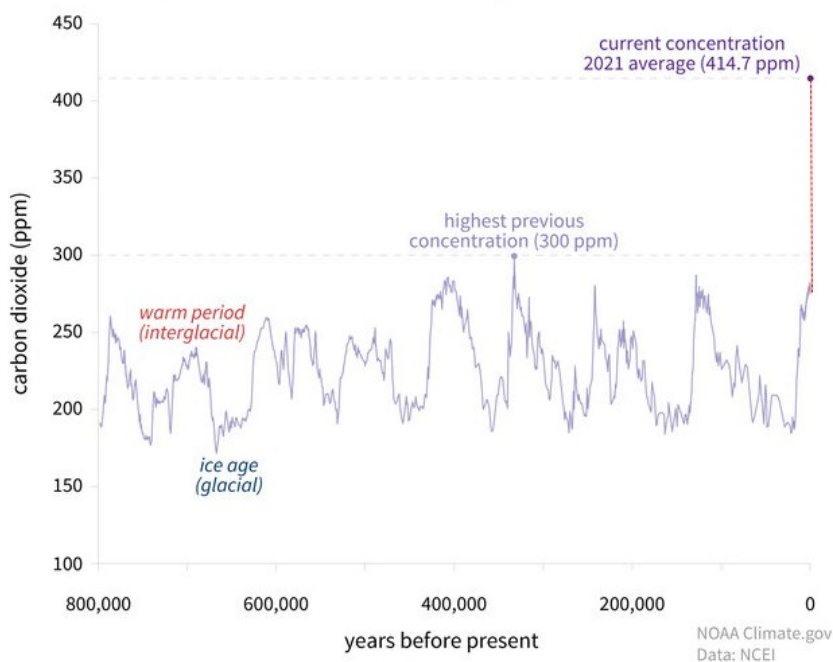
## Die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Atmosphäre

Seit Beginn der Industrialisierung hat die CO<sub>2</sub> Konzentration in der Luft von ca. 280 ppm auf 410 ppm zugenommen.



Nun hat es auch früher Schwankungen in der CO<sub>2</sub> Konzentration gegeben. Bis 1900 war die Konzentration aber in den letzten 800.000 Jahren nie höher als 300 ppm.

## CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS

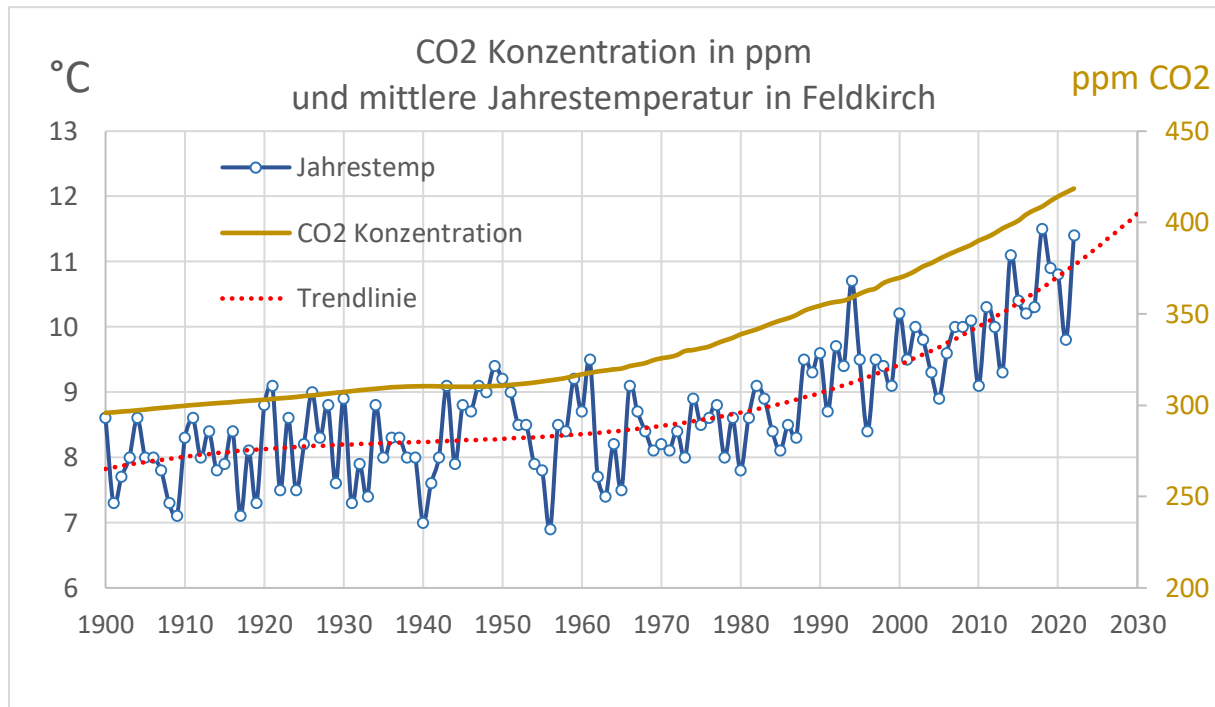


Quelle: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

## CO<sub>2</sub> und Temperatur

Die Wirkungsweise der Treibhausgase für den Wärmehaushalt (einfallende Wärme durch die Sonne und Abgabe der Wärme in das Weltall (in Form von Strahlung) ist jedem Physiker bekannt.

Aber im Grunde muss ich all das nicht wissen, sondern z.B. nur den Zusammenhang zwischen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Luft und der mittleren Jahrestemperatur in Feldkirch anschauen.



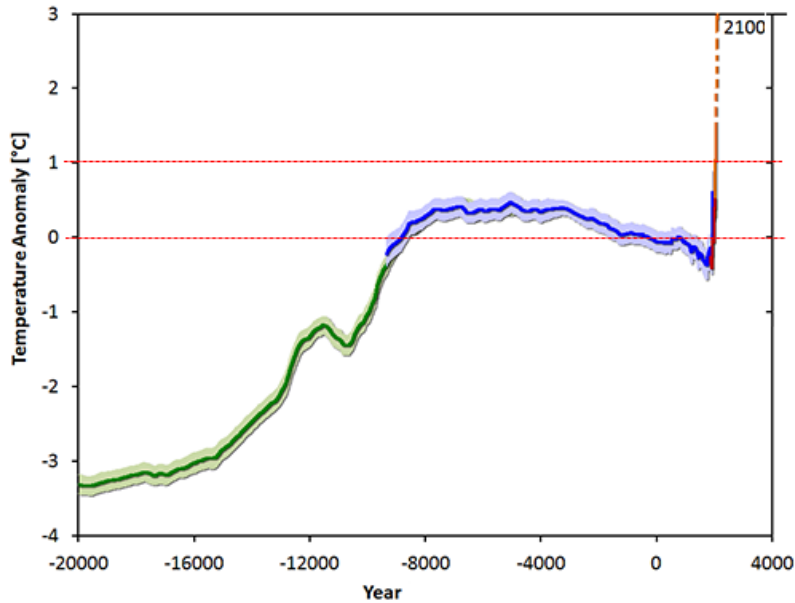
Das wird doch wohl kein Zufall sein. Dass die beiden Kurven (die Trendlinie und die CO<sub>2</sub> Konzentration) fast parallel laufen liegt auch an der Skalierung.

Zum Einwand, diese Schwankungen im CO<sub>2</sub>-Gehalt und bei der Temperatur hätte es schon immer gegeben. Man kann sich auch über lange Zeiträume die mittlere Oberflächentemperatur auf der Erde anschauen.

In den letzten 10.000 Jahren war die Temperatur erstaunlich stabil. Sie hat sich in dieser Phase nur um ca. +/- 0,5 °C verändert. Davor war es auch einmal deutlich kälter. In etwa 10.000 Jahren hat sich die Temperatur um etwa 4° erhöht. Zuletzt hat sich die Temperatur in weniger als 100 Jahren um 1° erhöht, in Feldkirch schon um etwa 3°.

Was vor Millionen von Jahren war, ist irrelevant. Damals lebten auf der Erde keine Menschen. Und offensichtlich konnten sie sich erst entwickeln und einen passenden Lebensraum finden, als die Temperatur über 10.000 Jahre lang mit für uns günstigen Werten nahezu stabil war.

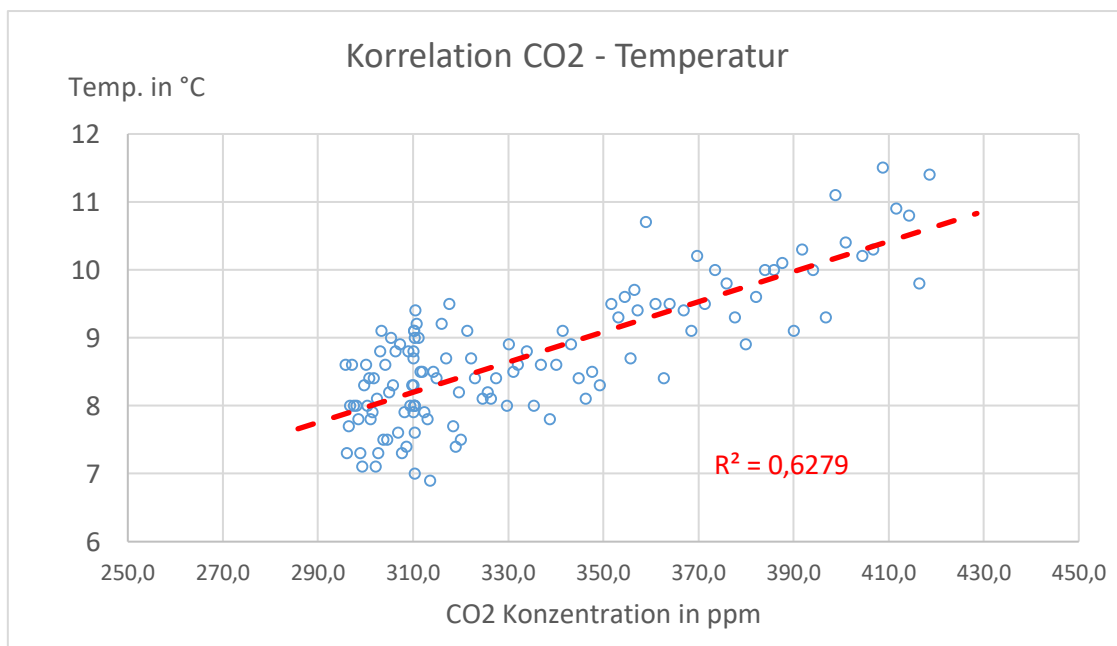
Klimatische Änderungen mit einer solchen Geschwindigkeit wie heute gab es in der Geschichte der Erde nur nach außergewöhnlichen Ereignissen wie massiven Vulkanausbrüchen oder dem Einschlag von riesigen Meteoriten.



Quelle: <https://skepticalscience.com/marcott-hockey-stick-real-skepticism.html>

### Korrelationsanalyse

Oft vermutet man in den Naturwissenschaften einen Zusammenhang zwischen zwei Größen. Ob es diesen Zusammenhang gibt, kann man mit einer Korrelationsanalyse prüfen. Dazu trägt man in einem Diagramm in x-Richtung die eine Größe auf und in y-Richtung die andere Größe auf:



Dann berechnet man nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate, die schon Gauss kannte, eine Kurve, welche die geringsten Abweichungen von den Messwerten hat. Vermutet man einen direkten, linearen Zusammenhang, so wählt man eine Gerade (lineare Regression). Ein Nebenresultat ist der Regressionskoeffizient R. Besteht ein perfekter direkt proportionaler Zusammenhang, so ist  $R = 1$ . Ist  $R = -1$ , so besteht ein perfekter umgekehrt proportionaler Zusammenhang. Geht R gegen 0, so besteht kein Zusammenhang.

Jetzt weiß man, ob es einen Zusammenhang zwischen den beiden Größen gibt. Gibt es einen Zusammenhang, dann versucht man herauszufinden, warum das so ist.

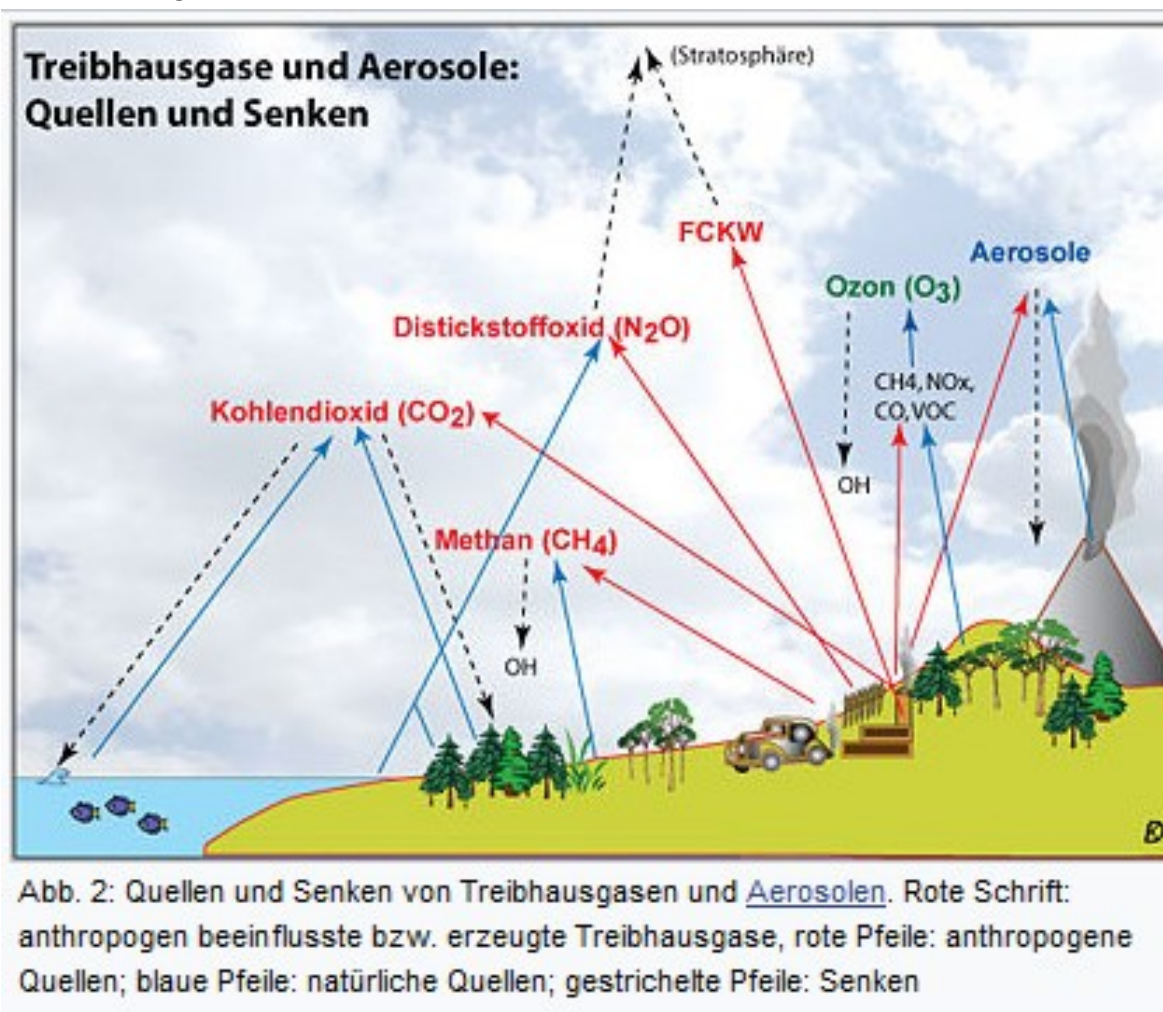
## Treibhausgase

### Weitere Treibhausgase

Es ist ja nicht nur das CO<sub>2</sub> ein Treibhausgas. Die Umweltbehörden und die Klimawissenschaft beobachtet und erforscht weitere Gase wie Methan, Lachgas und fluorierte Gase. Zur Berechnung der THG Emissionen werden die Werte aller Gase in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Methan ist z.B. 25 mal so wirksam wie CO<sub>2</sub>. Berücksichtigt man alle Treibhausgase, so liegt der Wert der weltweiten Emissionen derzeit bei ca. 59 Gt (Gigatonnen) CO<sub>2</sub>-eq

### THG Quellen und Senken

In den letzten 10.000 Jahren war offensichtlich ein sehr stabiles Gleichgewicht von Quellen (Freisetzung) und Senken (Aufnahme) von Treibhausgasen gegeben. Denn sonst wäre die Temperatur nicht so stabil gewesen.



Quelle: <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase>

Das alles wird in den Studien und Prognosen der Klimaforscher berücksichtigt. Dazu kommt die Landnutzung: Verschwinden Regenwälder, Moore oder ändert sich die Nutzung von Flächen, so ändert sich das System von Quellen und Senken.

## Zusammenfassung

Ich habe hier Daten aus Quellen zusammengestellt, an denen ich nicht den geringsten Zweifel habe.

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-natural-gas-production-by-region-1973-2020>

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-oil-supply-and-demand-1971-2020>

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/world-total-coal-production-1971-2020>

<https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

[https://www.engineeringtoolbox.com/fossil-fuels-energy-content-d\\_1298.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fossil-fuels-energy-content-d_1298.html)

<https://ourworldindata.org/co2-emissions#co2-emissions-by-region>

<https://www.umweltbundesamt.at/klima/treibhausgase>

<https://www.umweltbundesamt.at/news230503-1>

Beginnt man auf den Seiten der Wissenschaft zu recherchieren, die Publikationen zu studieren, dann sieht man auch, wie sehr hier die Regeln wissenschaftlicher Arbeit (Zitieren, Quellenangaben) beachtet werden. Ich hatte schon mehrmals die Gelegenheit, die österreichische Klimawissenschaftlerin Helga Kromp-Kolb in Vorträgen zu erleben und mich auch mit ihr zu unterhalten. An der Gewissenhaftigkeit ihrer Arbeit oder an ihrer Anständigkeit und Unbestechlichkeit habe ich nicht den geringsten Zweifel.

Oder es wäre doch verrückt anzunehmen, die 500 Expertinnen des Umweltbundesamtes würden, von wem auch immer gleichgeschaltet, nicht einfach solide Arbeit verrichten und publizieren.

Als Buch zum Klimawandel kann ich das Buch des Meteorologen und Moderators Marcus Wadsak (ISBN 978-3-99100-303-8, Braumüller) empfehlen. Das kann man in einem Tag lesen.

Was Nobelpreisträger antreibt, an den Ursachen des Klimawandels zu zweifeln, ist mir ein Rätsel. Im Falle des Herrn Clauser würde ich vermuten:

Er kommt aus einem Gebiet der Physik, das mit der praktischen Welt nichts zu tun hat. Den Nobelpreis bekommt man meist Jahrzehnte nach den Leistungen, die man mit dem Preis würdigt. Vielleicht ist er auch nur noch bei 20% seiner damaligen Intelligenz.

Und seine Aussage, dass wir beim Verzicht auf fossile Brennstoffe oder Kernenergie den Wohlstand der Menschheit riskieren, ist richtig. Aber ohne diesen Verzicht riskieren wir das Überleben der Menschheit.

<https://tkp.at/2023/07/12/physik-nobelpreistraeger-john-clauser-keine-klima-krise/>

Und tkp.at scheint mir nach einem ersten Blick kein „Mainstream-Medium zu sein.

*Denn davon bin ich überzeugt. Mit dem jetzigen Wohlstand = Energieverbrauch für alle Menschen haben wir keine Chance. Mit dem Wohlstand um 1970 haben wir eine Chance. Und ich frage mich, was hat uns damals (da war ich 17) gefehlt? Gar nichts!*