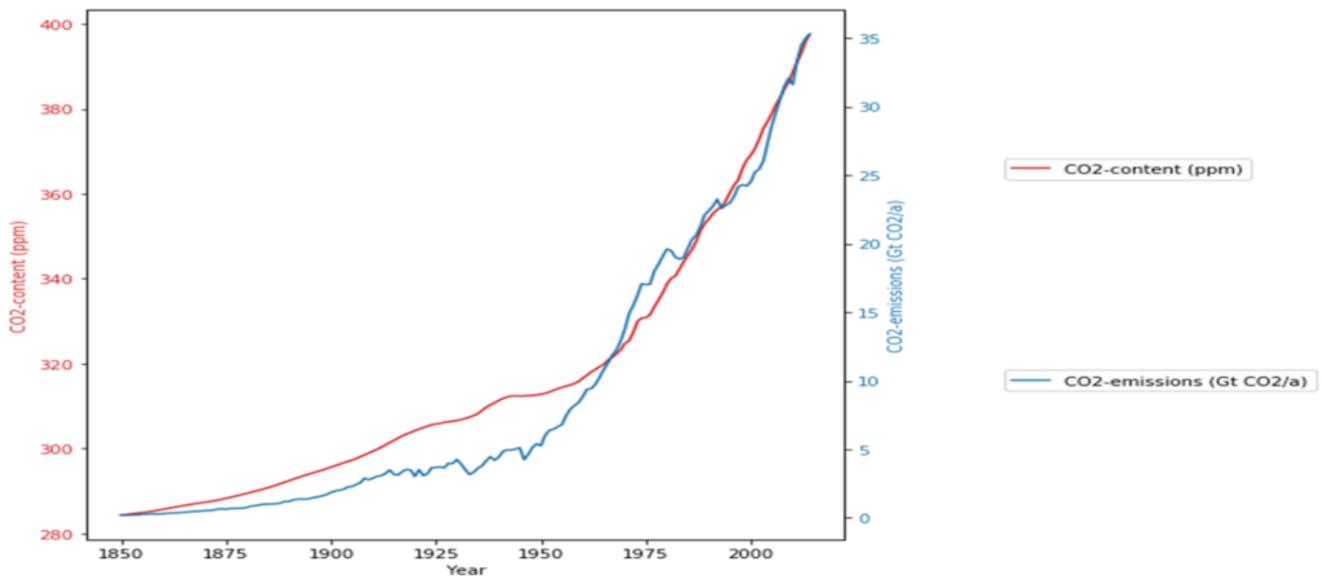


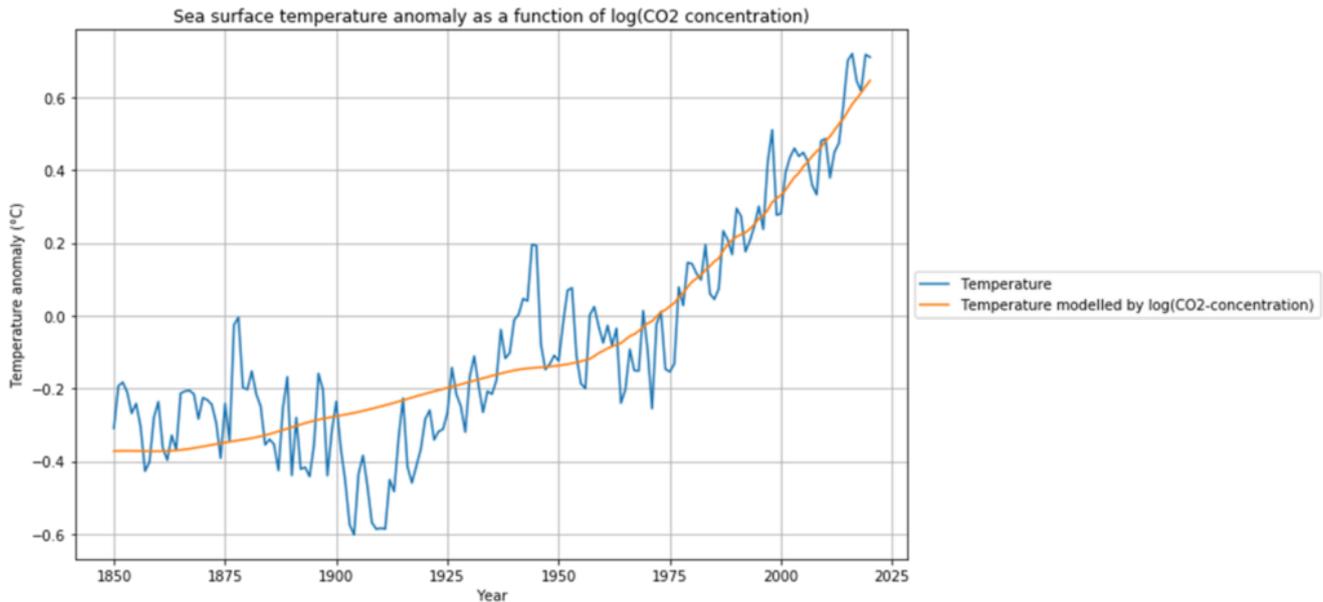
Der Tanz ums Kohlendioxid – Mythen und Fakten

CO₂-Emissionen und CO₂-Konzentration



Seit Beginn der Industrialisierung sind die jährlichen Emissionen auf mittlerweile etwa 35 Gt CO₂ pro Jahr angestiegen, was eine Erhöhung der Konzentration von ursprünglich 280 ppm auf jetzt 410 ppm bewirkt hat. Es ist allerdings nicht ganz offensichtlich, wie der genaue Zusammenhang zwischen Emissionen und Konzentration ist.

CO₂-Konzentration und Mittel-Temperatur



Seit dem Beginn der Industrialisierung hat nicht nur die CO₂-Konzentration zugenommen, sondern auch die Welt-Durchschnittstemperatur.

Der Temperaturverlauf von 1900 bis 1970 zeigt aber, dass es keinen engen Zusammenhang mit der Zunahme des CO₂-Konzentration gibt, und dass es mindestens noch einen weiteren Einflussfaktor für die Zu- bzw. Abnahme der Temperatur gibt. Erst ab 1975 nehmen beide Größen in ähnlicher Weise zu. Für die weitere Diskussion wird angenommen, dass hypothetisch mit der CO₂-Konzentration die Welt-Mitteltemperatur vorhergesagt werden kann, obwohl die Temperaturerhöhung der letzten 40 Jahre maßgeblich auf die verringerte Wolkenbedeckung zurückzuführen ist.

Demzufolge ist die Temperatur seit Beginn der Industrialisierung um etwa 1° C angestiegen, bei einem Anstieg der CO₂-Konzentration um 130 ppm. Daraus kann man aus der zukünftigen CO₂-Konzentration eine Obergrenze eines künftigen Temperaturanstiegs berechnen.

Gängige Behauptungen zu CO₂ und Klima

Die Diskussion um Klima und Energiewende wird von diesen Behauptungen bestimmt:

- Die CO₂ Emissionen steigen immer weiter an.

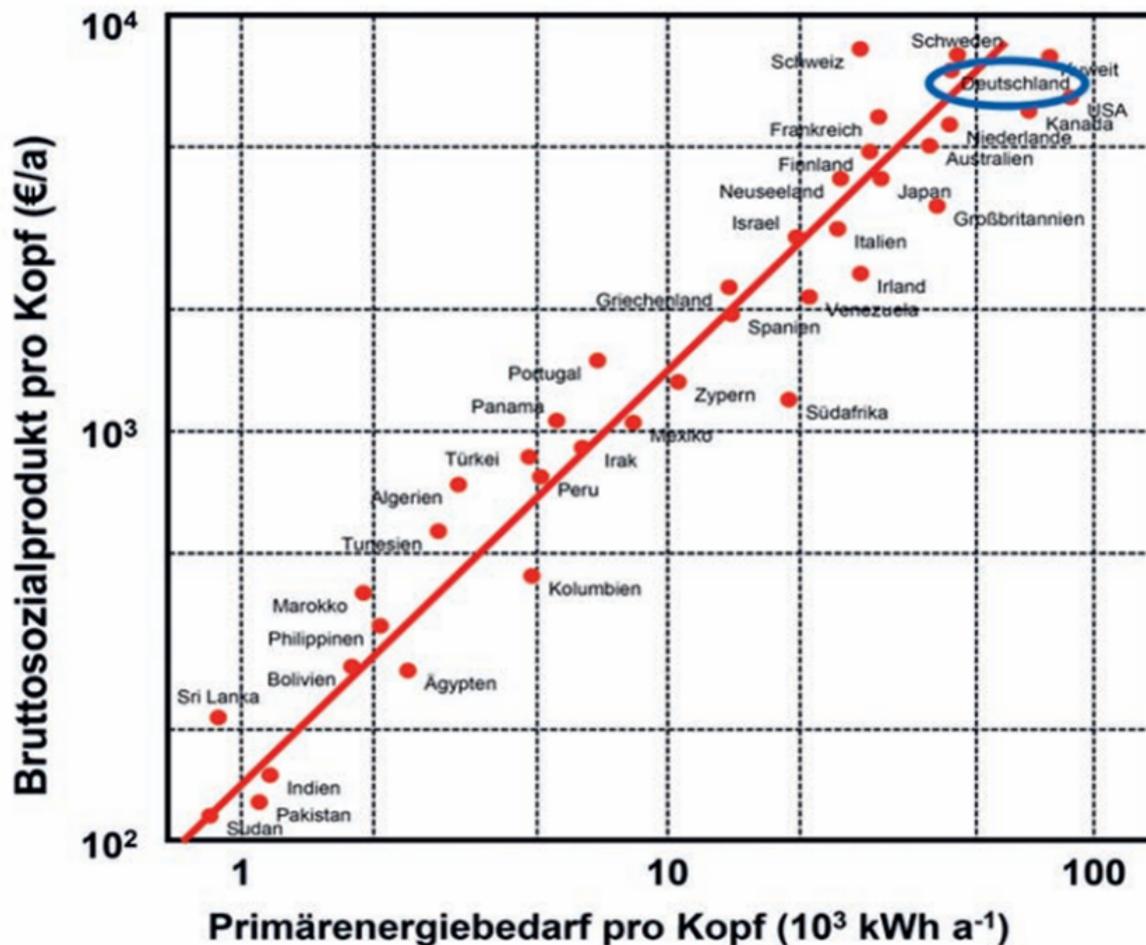
- Von den Emissionen bleibt ein Teil für immer in der Atmosphäre.
- Deswegen steigt auch die CO₂ Konzentration immer weiter an.
- Mit der CO₂ Konzentration steigt die Temperatur immer weiter an.
- Nur durch radikale „Nullemissionen“ kann die Welt gerettet werden.

Fakten und Antworten

Diese Behauptungen werden in die folgenden Ausführungen aufgrund folgender Fakten und Zusammenhänge relativiert:

- Preiswerte Energie ist die Grundlage unseres Lebens und Wohlstandes.
- Energie bleibt auf absehbare Zeit mit Emissionen verbunden.
- Die Zeit des weltweiten Emissionsanstiegs ist bereits vorbei.
- Emissionen und CO₂ Konzentration hängen auf einfache Weise zusammen.
- Der Anstieg der CO₂-Konzentration endet in diesem Jahrhundert.
- Die erwartete Temperaturerhöhung bleibt bei dem propagierten 1,5 Grad Ziel.
- Eine weitere kostspielige Reduzierung der CO₂ Emissionen ist nicht erforderlich

Wohlstand und Energieverbrauch



Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wohlstand ist sehr eng.

Es ist viel über die Entkopplung von Wirtschaftswachstum von der Energie gesprochen worden. Vermeintlich ist diese Entkopplung in einigen Industrieländern gelungen.

Das ist aber ein Fehlschluss: In diesen Ländern (z.B. Großbritannien, Deutschland) ist die energieintensive Industrie abgebaut worden und in die Schwellenländer wie China und Indien oder nach Osteuropa verlegt worden.

Alles was viel Energie braucht, insbesondere die Herstellung der Komponenten „erneuerbarer“ Energie wie Solarmodule oder Li-Ionen Akkus, wandert aus den hochentwickelten Ländern ab.

Durch Effizienzverbesserungen ist tatsächlich eine gewisse Senkung des Energieverbrauchs möglich, dies wird seit Jahrzehnten auf vielfältige Weise angewandt.

Aber in erster Linie ist eine Wohlstandsverbesserung strikt

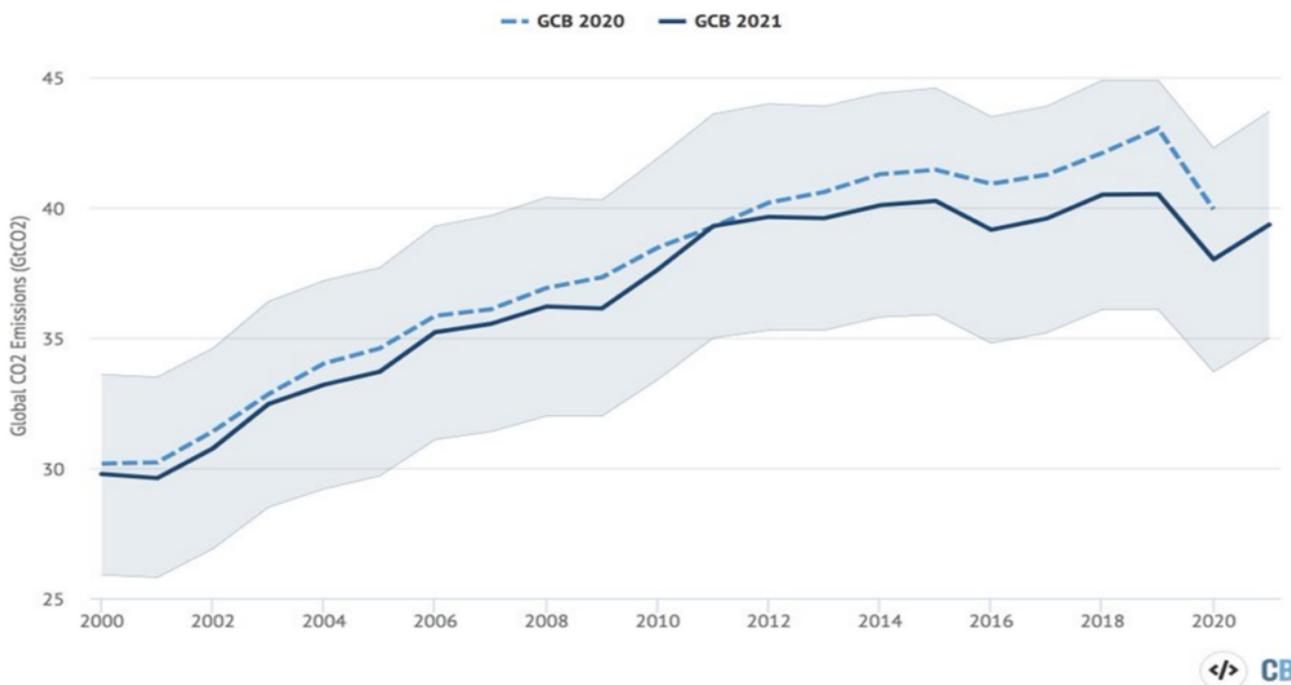
mit Energieeinsatz verbunden:

- Heizung der ganzen Wohnung statt eines einzigen Zimmers
- Tägliche Dusche statt einmal in der Woche baden
- Nutzung von Geräten wie Waschmaschine, Spülmaschine, Fernseher
- Mobilität durch eigenes Fahrzeug, Bahn, Flugzeug.
- Nutzung von Wirtschaftsgütern.
- Arbeit mit dem Computer, Mobiltelefon.
- Infrastruktur des Internet und Mobiltelefonnetze.
- Gut bezahlte Arbeit.

Dadurch dass die Primärenergie zu 80% fossil ist, sind CO₂-Emissionen ein Maß für den Wohlstand

Genauerer Blick auf CO₂-Emissionen

Recent global CO2 emissions revised notably downward

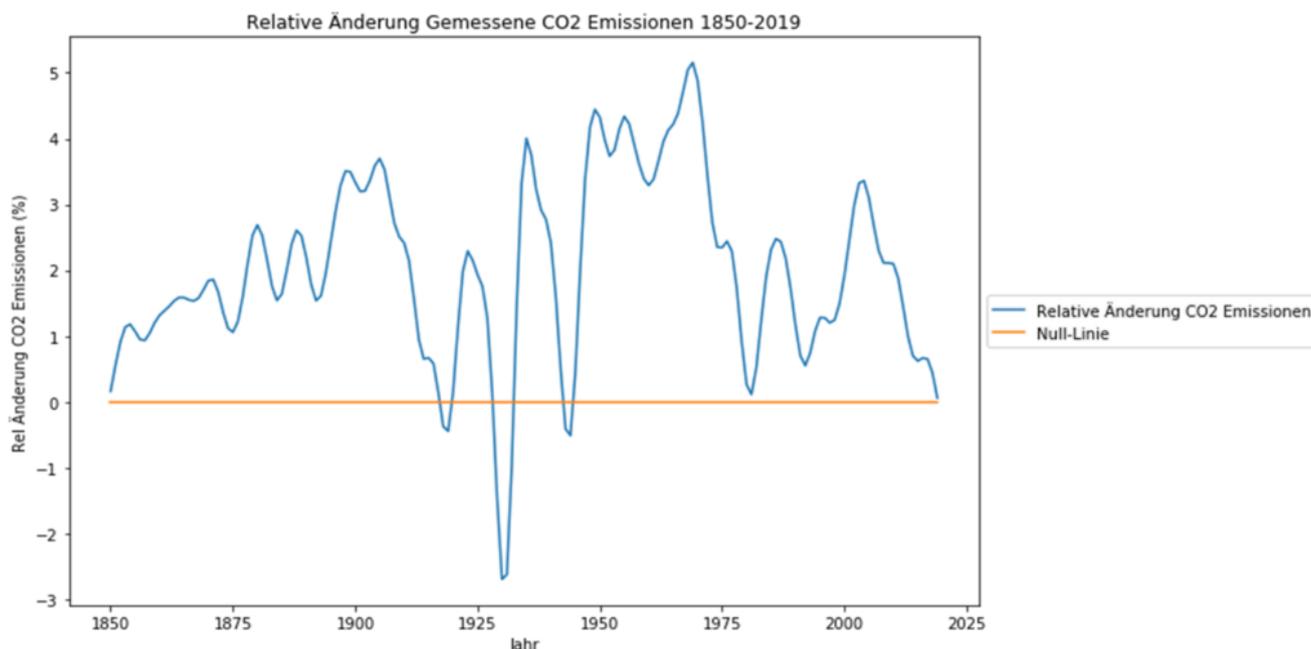


Neuere Publikationen haben ergeben, dass das Maximum der CO₂-Emissionen im Rahmen der Meßgenauigkeit bereits im Jahre 2010 erreicht war.

Spätestens im Jahre 2019 war das globale Maximum der CO₂-Emissionen überschritten. Damit war das erste Kriterium des Pariser Klimaabkommens de facto weltweit bereits zum Zeitpunkt

der Veröffentlichung des Dokuments 2015 erreicht: „Die Länder müssen den Zustand maximaler Emissionen möglichst bald erreichen“.

Relatives Wachstum der CO₂-Emissionen

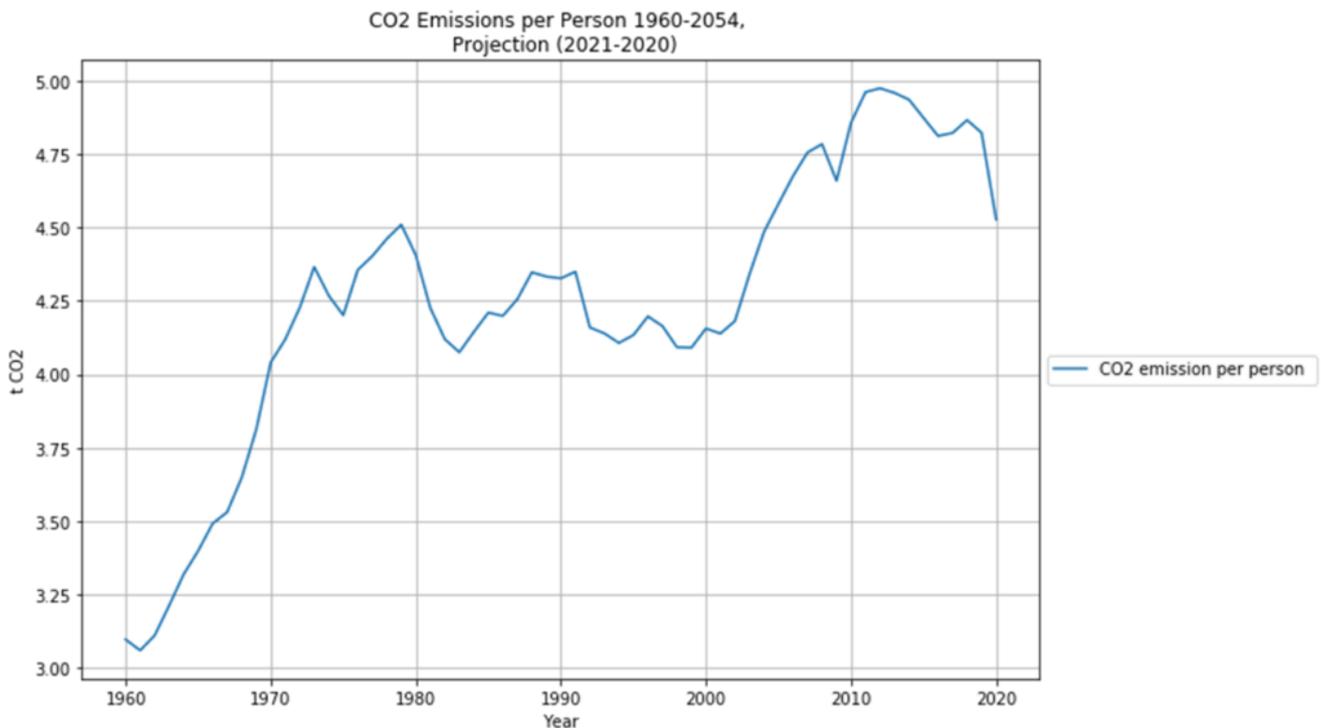


Ausgehend von dem Tiefpunkt nach dem 2. Weltkrieg – um etwa 1950 beginnt ein über 2 Jahrzehnte währendes 4% jährliches Wachstum der weltweiten Emissionen bzw. Energieverbrauchs, mit dem Höhepunkt im Jahre 1970. Diese Zeit nannte man in Deutschland „Wirtschaftswunder“.

Interessanterweise geht dann das Wachstum des Energieverbrauchs bereits in den 2 Jahren vor der Ölkrise zurück. Wer sich genauer mit Energiefragen beschäftigt, weiß, dass 1970 das Jahr der maximalen Erdölförderung in den USA war. Von da an begann Energie teurer zu werden. In der Folge der Ölkrise und die Energieverteuerung und den daraus folgenden Verwerfungen der Wirtschaft geht das Wachstum des Energieverbrauchs fast auf 0 zurück, steigt nach 1978 durch die aufsteigenden Schwellenländer und dann in den 90-er Jahren nach dem Zusammenbruch des Kommunismus den Aufstieg auch der Entwicklungsländer nochmal stark an bis zum Maximum von etwa 3% im Jahre 2003.

Seit 2003 geht der Anstieg stetig zurück und kreuzt zwischen 2018 und 2019 die Nulllinie. Das bedeutet, dass die maximale fossile Energieerzeugung im Jahre 2018 oder 2019 war. In den hier verwendeten Zahlen sind die Korrekturen der neuesten Publikationen noch nicht berücksichtigt.

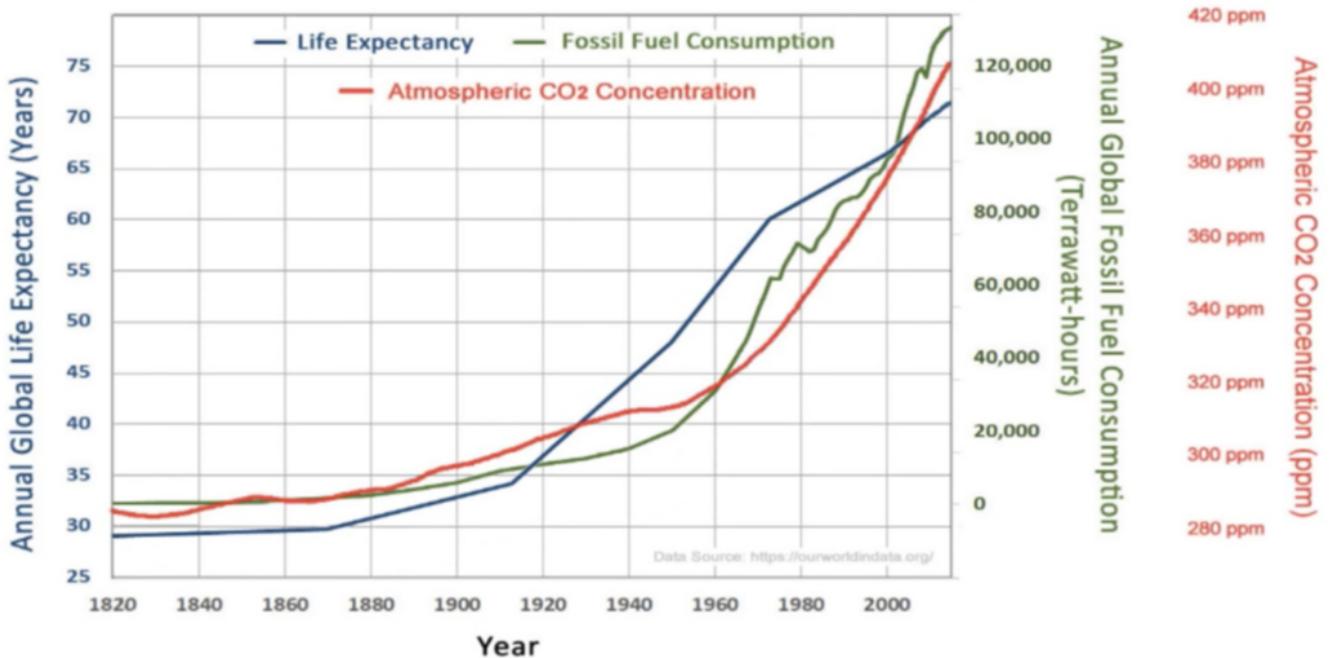
Emissionen pro Person



Eine aufschlussreiche Sicht ergibt sich, wenn wir die weltweite Emissionen pro Person betrachten. Nach dem rasanten Anstieg in den Sechziger Jahren wird 1970 ein leicht fallendes Plateau bei etwas über 4 t CO₂ pro Jahr erreicht. Dieses Plateau ist leicht mit dem Wohlstand der Industrieländer zu identifizieren, und der leichte Abfall vor 2000 mit der technologiebedingten Effizienzverbesserung.

Ab dem Jahre 2000 nehmen bis zum Jahre 2010 die durchschnittlichen Emissionen nochmal deutlich zu und fallen dann, am deutlichsten im Corona-Jahr 2020. Diese Erhöhung des Energieverbrauchs steht dafür, dass in den Schwellen- und Entwicklungsländern die Lebensqualität deutlich zugenommen hat und sich die Anzahl der Ärmsten seit 1990 in weniger als 25 Jahren halbiert hat.

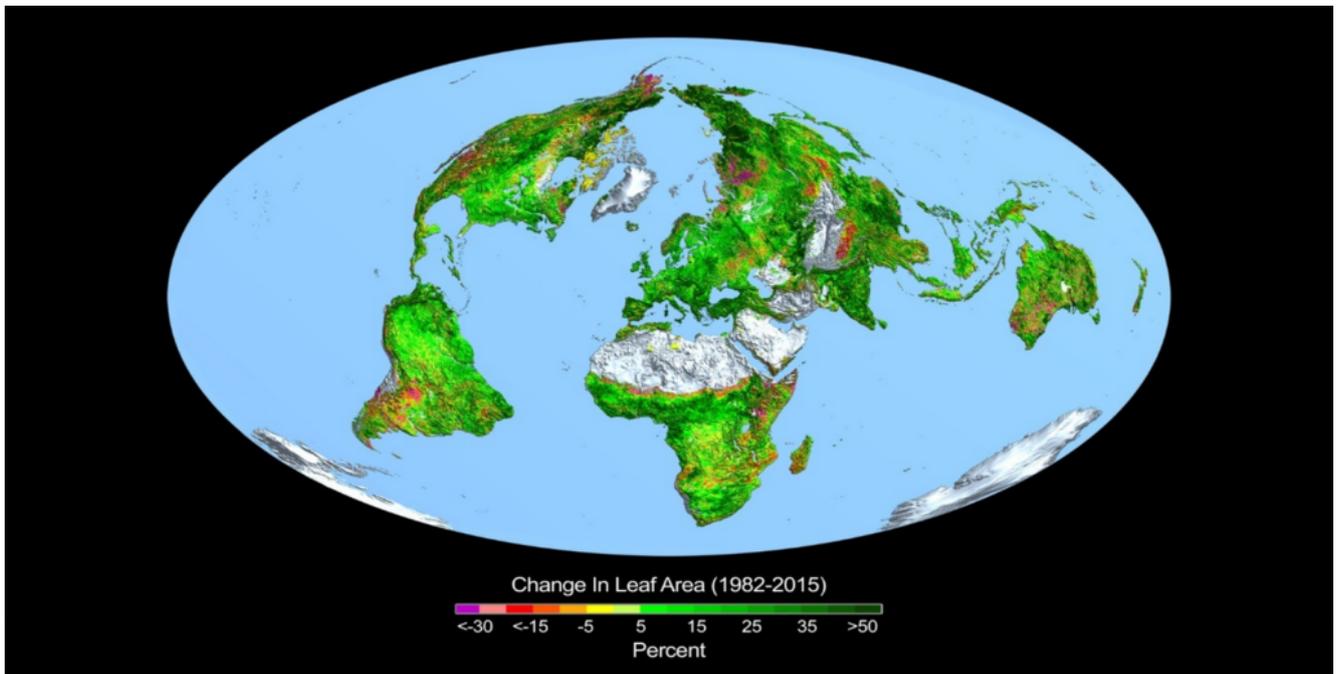
CO₂ Emissionen und Lebenserwartung



Insbesondere hat die weltweite Lebenserwartung seit 1920 von 35 Jahren und seit 1975 von 60 Jahren bis heute auf 70 Jahre zugenommen.

Erst durch die Verfügbarkeit von Energie können die hygienischen und Ernährungsbedingungen geschaffen werden, die das Sterben von Kindern verhindern und so das Ansteigen der Lebenserwartung ermöglichten.

CO₂-Konzentration und Begrünung



Durch den Anstieg der CO₂-Konzentration hat in den letzten 40 Jahren die Begrünung der Erde deutlich zugenommen, weil Pflanzen mit einem höheren CO₂-Gehalt in der Atmosphäre besser gedeihen und weniger Wasser benötigen.

Nachweislich ist der größte Teil dieser Begrünung auf die Zunahme von CO₂ zurückzuführen.

Wir halten fest:

Das Gedeihen unseres Lebens und unser Wohlstand ist untrennbar mit dem Energieverbrauch verbunden. Wenig Energie heißt Armut und Not, viel Energie heißt Wohlstand und Wohlbefinden.

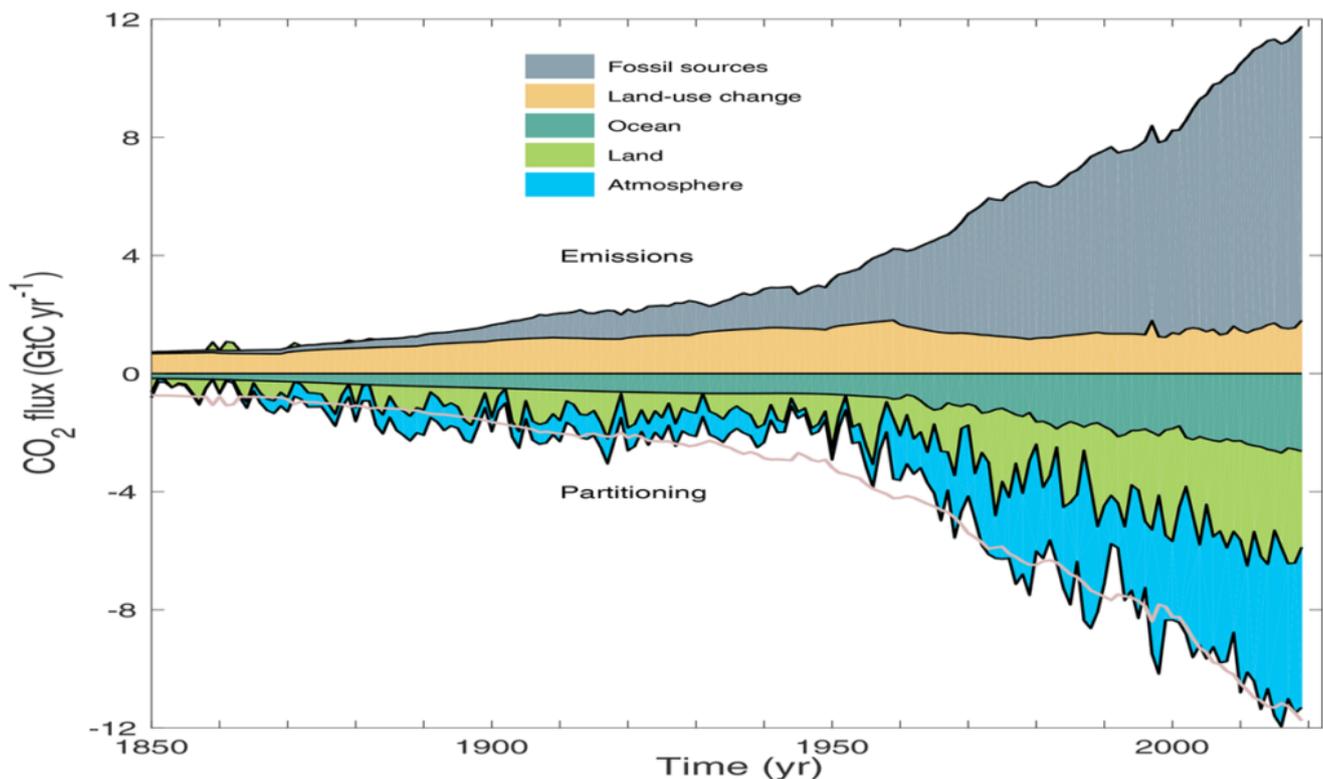
Stand heute stammen über 80% unseres Energieverbrauchs aus fossilen Quellen: Kohle, Erdöl und Erdgas.

Durch Effizienzverbesserungen lässt sich Energie in bescheidenem Umfang einsparen, sodass man langfristig einen leichten Rückgang des Energieverbrauchs pro Person ohne Einschränkung des Wohlstandes erwarten kann.

Das Maximum der weltweiten Emissionen ist überschritten, es sind – nicht zuletzt durch die steigenden Energiepreise – keine weiteren Steigerungen der Emissionen zu erwarten.

Um ein besseres Verständnis zu bekommen, welche CO₂-Konzentrationen wir erwarten können, wollen wir den Zusammenhang zwischen Emissionen und CO₂-Konzentration betrachten, um daraus die zukünftige Entwicklung zuverlässig vorhersagen zu können.

CO₂ Haushalt der Erde



Wir haben (im oberen Teil des Diagramms die Emissionen, die von fossilen Brennstoffen und von Veränderungen der Landnutzung (Abholzung, Verstädterung, etc.) herrühren. Diese fassen wir zu den Emissionen pro Jahr $E(J)$ zusammen.

Im unteren Teil haben wir die sogenannten Senken, wo CO₂ absorbiert wird, sei es im Ozean, sei es in der Biosphäre auf dem Land. Der Rest verbleibt in der Atmosphäre.

Nicht dargestellt sind hier die Anteile des natürlichen Kreislaufs von CO₂ mit den natürlichen Emissionen und den dazugehörigen natürlichen Absorptionen.

Bilanzgleichung des atmosphärischen CO₂

$$G(J) = C(J) - C(J-1) = E(J) + N(J) - A(J)$$

$G(J)$: Wachstum CO₂-Konzentration im Jahr J

C(J): CO₂-Konzentration im Jahr J

E(J): Anthropogene Emissionen im Jahr J

N(J): Natürliche Emissionen im Jahr J

A(J): Absorptionen im Jahre J

Der Anstieg der atmosphärischen Konzentration G(J), die Differenz der CO₂-Konzentration zum Vorjahr, ergibt sich aus den anthropogenen Emissionen E(J) und den natürlichen Emissionen N(J), vermindert um die Absorptionen in die Ozeane und die Biosphäre.

Das ist wie bei der Bilanz eines Bankkontos, wo sich der Gewinn des Jahres J G(J) aus der Summe der Einnahmen E(J) + N(J), vermindert um die Ausgaben A(J) ergibt.

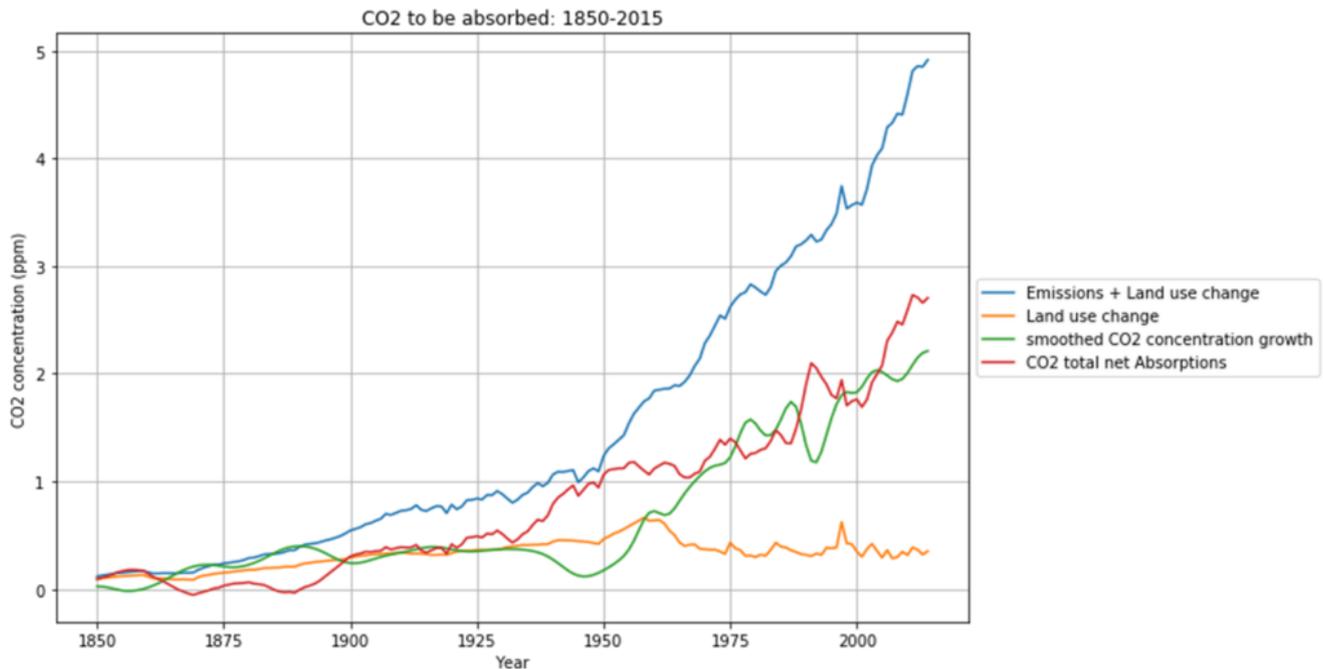
Die Bilanzgleichung gilt auch in vorindustrieller Zeit. Die anthropogenen Emissionen E(J) sind 0, die CO₂-Konzentration bleibt konstant, also ist auch G(J) = 0, und ohne außergewöhnliche Ereignisse wie Vulkanausbrüche sind die natürlichen Emissionen gleich groß wie die Absorptionen.

Üblicherweise wird, um den Zusammenhang zwischen Emissionen und CO₂-Konzentration zu erforschen, die Frage gestellt „Wieviel CO₂ bleibt in der Atmosphäre?“, und durch Erforschung der Absorptionsmechanismen der Biosphäre und der Ozeane eine Schätzung des atmosphärischen Anteils vorgenommen.

Wir wollen einen anderen Ansatz verfolgen und verändern die Fragestellung.

Wieviel CO₂ bleibt nicht in der Atmosphäre?

$$E(J) - G(J) = A(J) - N(J)$$



Die entscheidende Überlegung hier ist, dass wir statt der sonst üblichen Frage

„Wieviel CO2 bleibt in der Atmosphäre?“

die gleichwertige, aber sehr viel zielführendere Frage stellen

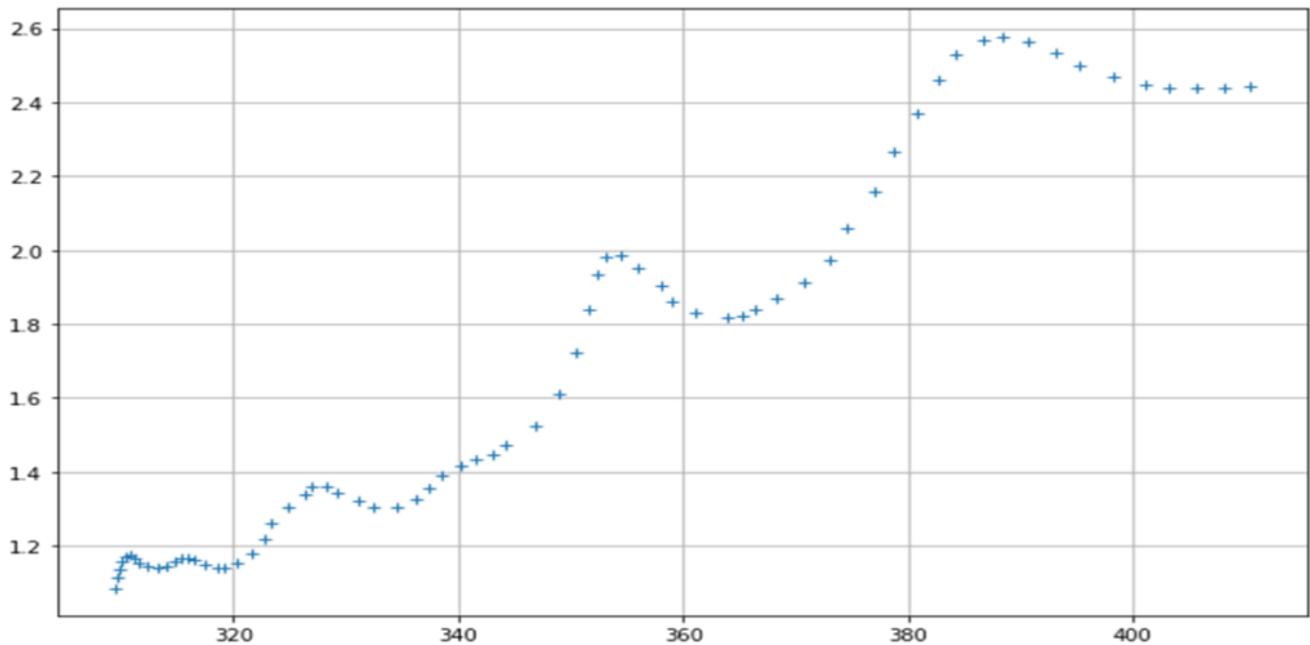
„Wieviel CO2 bleibt nicht in der Atmosphäre?“,

denn durch die regelmäßigen genauen Messungen der CO₂-Konzentration wissen wir genau, wieviel CO₂ jedes Jahr in der Atmosphäre verbleibt, und wir können daraus die Summe der von Ozeanen und Biosphäre aufgenommene Menge an CO₂, vermindert um die natürlichen Emissionen, leicht berechnen

Die natürlichen Emissionen kennen wir nicht, wir nehmen an, dass sie sich innerhalb des betrachteten Zeitraums nicht systematisch verändern, also etwa konstant bleiben.

In der vorindustriellen Zeit, ohne anthropogene Emissionen und bei gleichbleibender CO₂-Konzentration, halten sich Absorption und natürliche Emissionen grade die Waage.

Absorption und CO₂-Konzentration



Modell: $A(J) - N(J) = 1/60 * (C(J-1) - 245)$

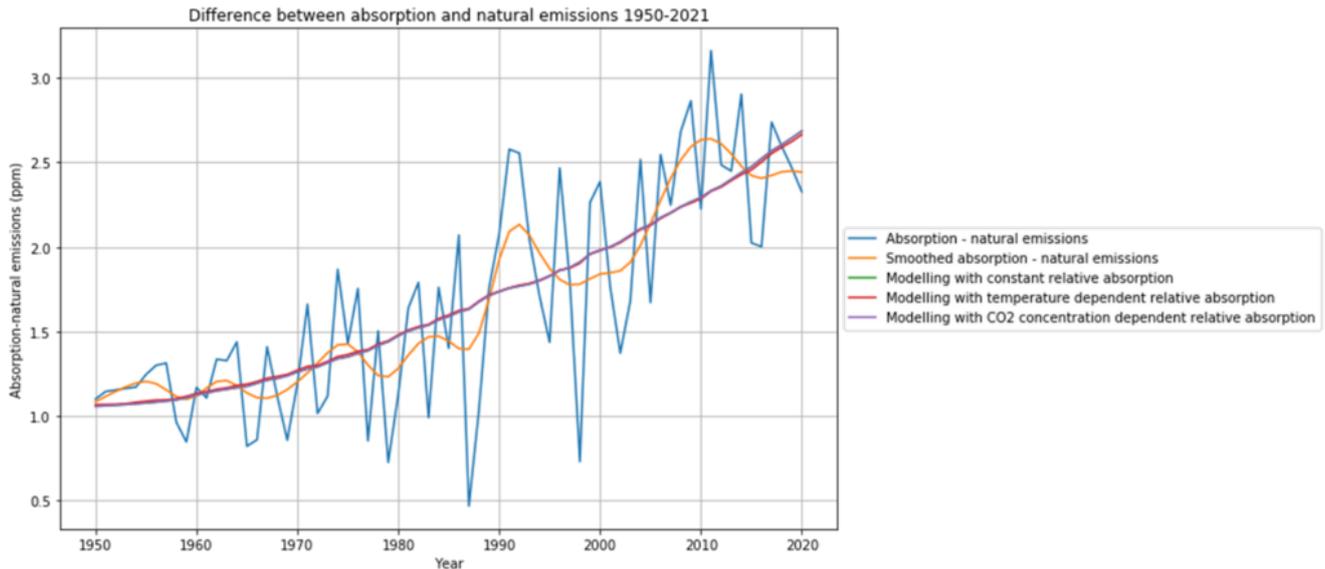
Wenn wir die relative Absorption gegen die CO₂-Konzentration in der gleichen Maßeinheit (ppm) auftragen, sieht man, dass die Werte ungefähr auf einer Geraden liegen. Das heißt, dass die Absorption in der Biosphäre und den Ozeanen mit wachsender CO₂-Konzentration zunimmt. Das ist verständlich, denn alle Diffusionsprozesse sind ebenso wie die Photosynthese proportional zur Konzentration.

Die Steigung der Ausgleichsgeraden ist $(2.6 - 1.1) / (400 - 310) = 1.5 / 90 = 1/60$.

Die relative Absorption θ würde etwa bei 245 ppm erreicht.

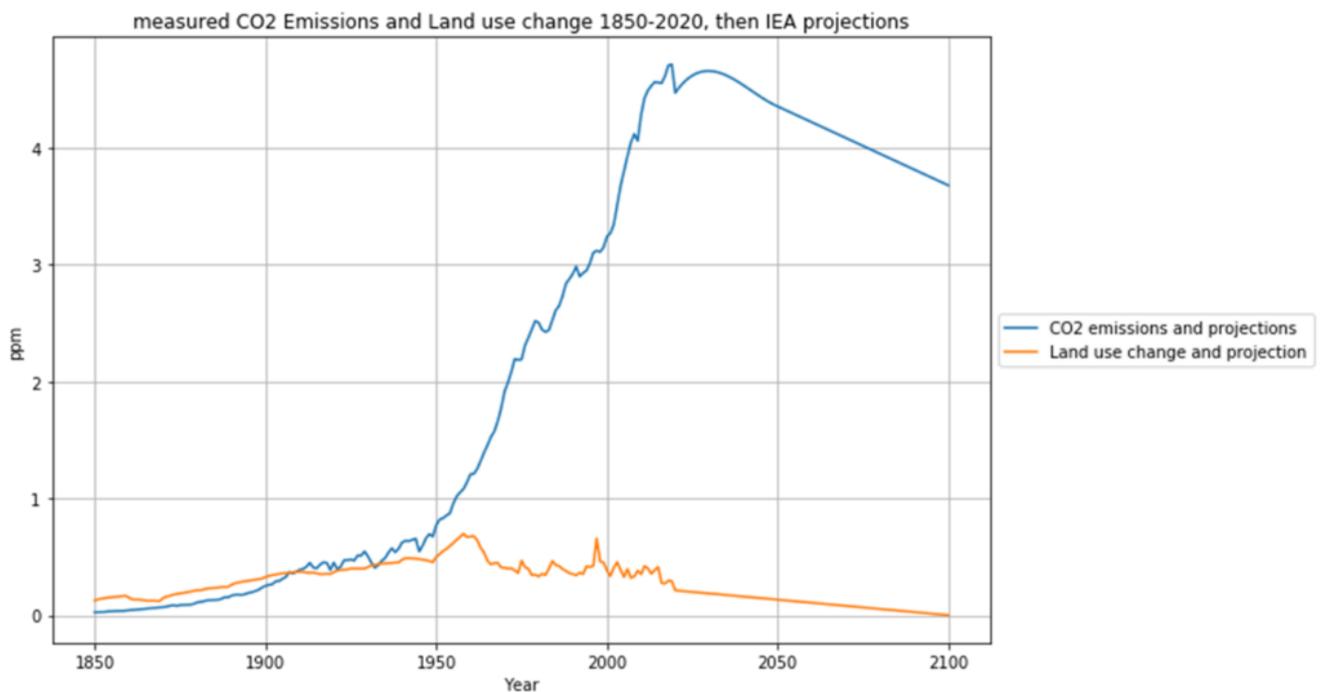
Damit bekommen wir ein einfaches Modell für den Zusammenhang zwischen Emissionen und CO₂-Konzentration, das wir für Prognosen verwenden können.

Überprüfung des Modells



Die gemessenen relativen Absorptionen werden von dem Modell hervorragend erklärt.

Künftige Emissionen – nach IEA-Prognose

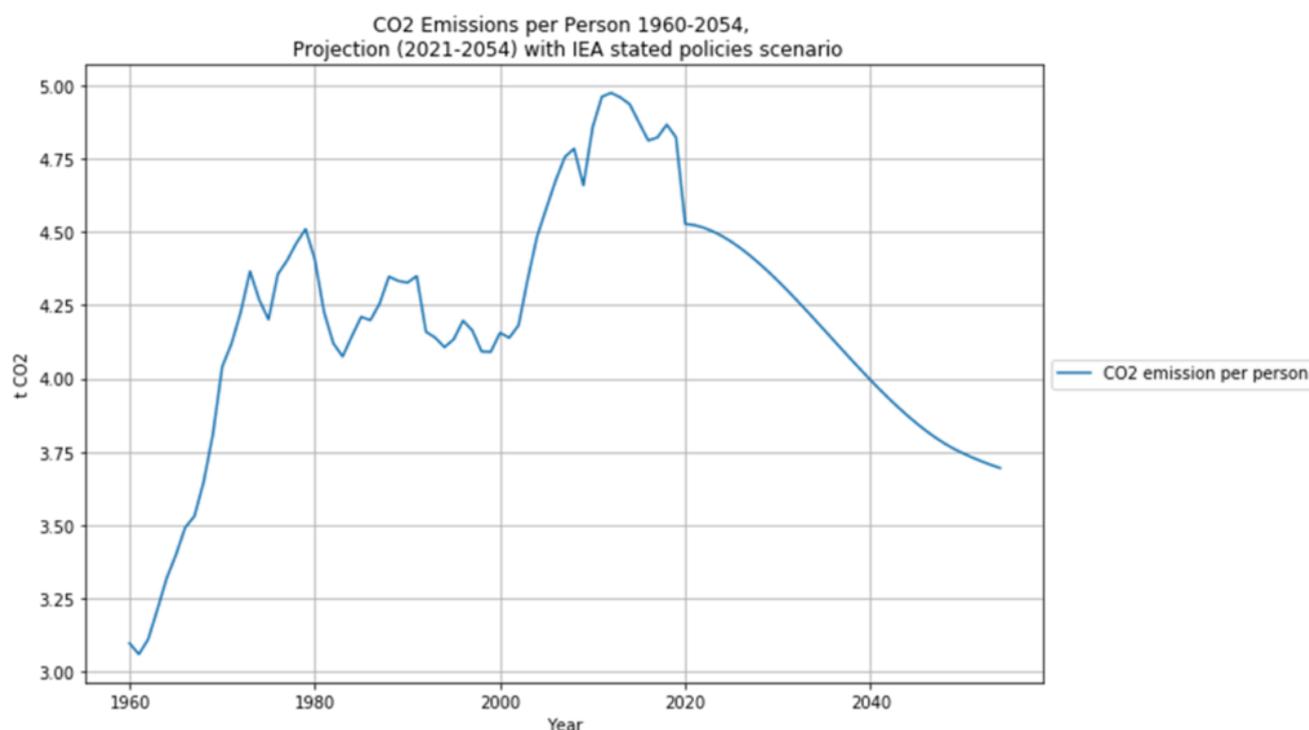


Die Internationale Energie-Agentur IEA hat mehrere Zukunftsszenarien des weltweiten Energieverbrauchs bis 2050 entworfen.

Das sog. „Stated Policies“ Szenario geht davon aus, dass weltweit die Emissionen nicht drastisch gesenkt werden, sondern dass im wesentlichen die bisherige Praxis beibehalten wird. Dies bedeutet, dass zunächst die weltweiten Emissionen

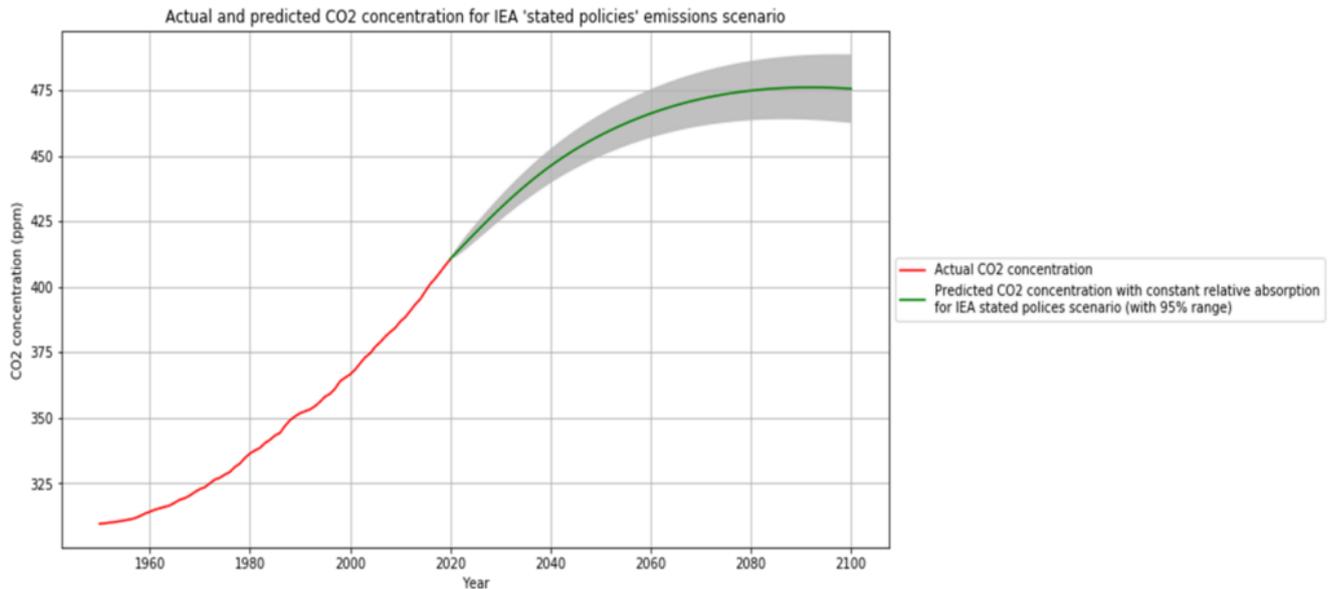
konstant bleiben und im Rahmen normaler Effizienzverbesserungen geringer werden. Bei den Jahren 2050-2100 werden die Trends fortgeschrieben. Bei den Emissionen durch Landverbrauch wird ab 2020 der bisherige leicht fallende Trend bis 2100 fortgeschrieben, mit der Annahme, dass die Menschheit weiterhin bemüht bleibt und Fortschritte macht, die Ökologie zu erhalten.

Künftige Emissionen pro Person



Diese Sicht zeigt den dramatischen Einschnitt auf den persönlichen Energieverbrauch durch die Corona-Einschränkungen. Da die Weltbevölkerung bis etwa 2060 auf dann 9 Milliarden anwächst, ist der persönliche Rückgang der Emissionen deutlicher als der globale. Das zeigt, dass bereits die stabile Begrenzung der Emissionen auf einen global konstanten Wert, ohne neue Armut zu schaffen, eine große Herausforderung darstellt, die bereits 10 Jahre lang erfolgreich gemeistert wurde.

Künftige CO₂-Konzentration



Mit dem „Stated Policies“ Szenario der IEA ergibt sich gegen Ende des Jahrhunderts (also etwa 2080) ein Gleichgewicht zwischen Emissionen und Absorptionen, bei einer CO₂-Konzentration von 475 ppm. Das ist die viel beschworene Netto-Null-Bedingung, wo genauso viel CO₂ absorbiert wird wie emittiert wird.

Die Konzentration von 475 ppm sind 65 ppm mehr als heute, und damit 50% mehr als seit dem Beginn der Industrialisierung bis heute.

Künftige Erwärmung?

Konservative Annahme:

Erwärmung der letzten 170 Jahre war ausschließlich CO₂-bedingt.

Vergangenheit: Erhöhung um 130 ppm => 1 Grad

Zukunft: Erhöhung um 65 ppm => 0.5 Grad

Demzufolge bleibt die Temperaturerhöhung bei dem künftigen Maximalgehalt von 475 ppm bei maximal 1.5 Grad über dem vorindustriellen Niveau.

Pariser Klimaabkommen automatisch erfüllt

Das Erreichen der Temperaturerhöhung von 1.5° C gegenüber dem

vorindustriellen Niveau – ohne weitere spezielle Maßnahmen zur Senkung der Emissionen – entspricht genau den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens:

„...um ein Gleichgewicht zwischen den anthropogenen Emissionen durch Quellen und Absorptionen durch Treibhausgas-Senken in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts zu erreichen.“