CO2 Grenzwert in der Atmosphäre in Abhängigkeit von seiner Lebensdauer

Dr. Rainer Link, Physiker

Das von den Menschen anthropogen in die Atmosphäre im Wesentlichen durch Verbrennung fossiler Rohstoffe emittierte CO2 wird nach einer bestimmten Zeit durch Vegetation und Ozeane wieder aufgenommen. Die typische Angabe für die Verweilzeit ist die Lebensdauer, die Zeit in der die Konzentration um einen Faktor 1/e=0,3679 abgenommen hat.
Die Veränderung der Konzentration von CO2 wird beschrieben einmal durch diese Abnahme, die wie bei all diesen Vorgängen exponentiell verläuft und zum anderen der anthropogenen Emission pro Zeiteinheit in die Atmosphäre.

$$dC(t)/dt = - C(t)/tau + dE/dt \qquad (1)$$

Dabei ist tau die Lebensdauer von CO2 in der Atmosphäre und C(t) die von den Menschen (anthropogen) hervorgerufene zeitabhängige Konzentration. dC(t)/dt ist ihre zeitliche Veränderung.
-C(t)/tau ist die Abnahme der anthropogen verursachten Konzentrationsänderung von CO2 und dE(t)/dt der pro Zeiteinheit in die Atmosphäre emittierte Betrag.

Es werden hier nur die durch den Menschen verursachten Anteile berücksichtigt, die sich zusätzlich zur vorindustriellen Konzentration in Höhe von ca. 280 ppmV CO2 addieren. Dabei ist davon ausgegangen, dass die vorindustrielle Konzentration einem Gleichgewichtszustand entsprach, in dem der natürliche Austausch von CO2 in der Atmosphäre im Wesentlichen mit der Vegetation und den Ozeanen erfolgte.

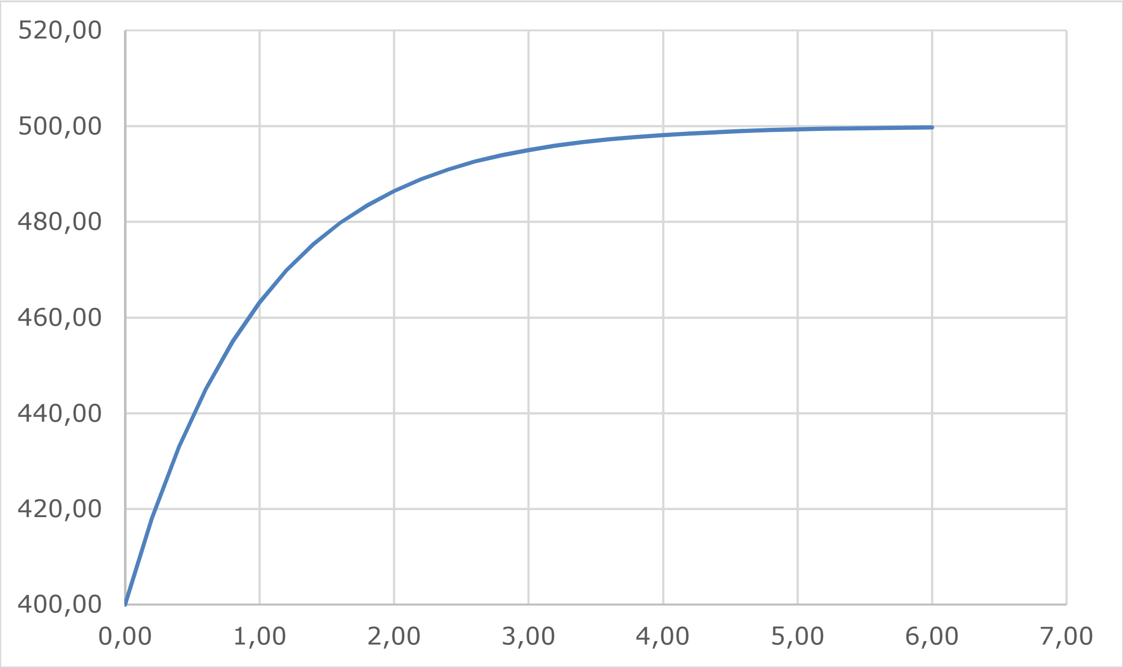
Die Lösung der Differentialgleichung (1) wird vereinfacht, wenn man annimmt, dass die anthropogene Emission pro Zeiteinheit konstant gleich $dE/dt=E_c$ ist, ebenso wie die Lebensdauer tau. Natürlich ist dies eine Näherung, die jedoch das Verhalten der Konzentration und wie man sehen wird, den Grenzwert qualitativ gut beschreibt.

Die Lösung der Gleichung (1) lautet:

$$C(t)=tau*E_c*(1-e^{-t/tau}) \qquad (2)$$

Die Emission $E_c(t)$ von CO2 in die Atmosphäre beträgt seit Jahren 4,4 ppmV/Jahr.
Das IPCC gibt in seinem fünften Sachstandsbericht Werte für tau zwischen 30 und 100 Jahren an.
Der wahrscheinlichste Wert für Tau beträgt 50 Jahre.

In der folgenden Graphik ist die Situation C(t) in ppmV als Funktion der Zeit t in Einheiten der Lebensdauer tau für die Werte E_c=4,4 ppmV/Jahr, tau =50 Jahre dargestellt, ausgehend von der Konzentration 400 ppmV, die bis 2018 gemessen wurde.



Der zugehörige Grenzwert beträgt 500 ppmV an Konzentration von CO2, wenn die Lebensdauer bei 50 Jahren bleibt und die anthropogene Emission von 4,4 ppmV/Jahr nicht vergrößert wird.
Dieser Zustand 500 ppmV wird voraussichtlich nicht einmal erreicht. Die fossilen Reserven an Brennstoffen betragen nur etwa 1250 Gt Kohlenstoff, die allemal bis zur Erreichung des Grenzwertes verbraucht sind.

Entsprechende Grenzwerte lassen sich mit einer einfachen Excel Tabelle auch für andere Lebensdauern z. B. tau = 30 und 80 Jahre berechnen.

Lebensdauer in Jahren	30	50	80
Grenzwert in ppmV	420	500	630

Bei einer Lebensdauer von 80 Jahren wird der Grenzwert von 630 ppmV, auf Grund der endlichen fossilen Reserven nicht erreicht werden können.

In der nächsten Tabelle wird für den wahrscheinlichsten Wert der Lebensdauer von 50 Jahren mit dem Grenzwert 500 ppmV, gemäß der von allen Klimawissenschaftlern anerkannten Gleichung (3) für die global gemittelte

Temperaturänderung dT als Funktion der Konzentration von CO2 in der Atmosphäre angegeben. Den bei Verdopplung der Konzentration erreichten Temperaturwert nennt man die Sensitivität von CO2. Damit können die damit verbundenen heutigen Temperaturwerte und die bei Erreichen des Grenzwertes einfach berechnet.

$$dT=f*\ln(C(t)/280) \qquad (3)$$

Dazu wird zunächst der Wert für f aus der heutigen globalen Temperaturänderung dT(2018) seit vorindustriellem Wert und der heutigen Konzentration C(2018) bestimmt. Der so ermittelte Wert für f beinhaltet auch alle Rückkopplungen, die durch CO2 erfolgten, wie die Wasserdampfverstärkung und andere Veränderungen durch die Erhöhung der Co2 Konzentration.
Die heutige globale Temperaturänderung (Temperaturanomalie) beträgt gemessen 1,16 °C. Man geht jedoch davon aus (auch das IPCC), dass nur ca. 50% durch anthropogen emittiertes CO2 verursacht wurden, 50% natürlichen Ursprungs sind. In der Tabelle sind die folgenden Werte für 0,58, 0,8 und 1,16°C durch CO2 verursacht bei einer Lebensdauer von 50 Jahren angegeben.
Damit erhält man die Sensitivität für CO2 bei Verdopplung seiner Konzentration von 280 auf 560 ppmV.
dT (CO2 – Sensitivität) = f * ln(560/280))
Ebenso ergibt sich die Temperaturänderung, die von 280 ppmV bis zum Erreichen des Grenzwertes zu erwarten ist.
dT(Grenzwert) = f* ln(Grenzwert/280)

dT(t=2018)/°C	0,58	0,8	1,16
C(t=2018)/ppmV	400	400	400
f/°C	1,63	2,24	3,25
CO2 – Sensitivität/°C	1,13	1,55	2,25
dT(Grenzwert)/°C	0,94	1,3	1,88
dT(2118)-dT(2018)/°C	0,36	0,5	0,72

Die global gemittelte Temperaturerhöhung bleibt bis zum Erreichen des Grenzwertes von 500 ppmV bei einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren allemal unter der im Übereinkommen von Paris 2015 (COP21) angestrebten 2°C Ziel – selbst wenn man annimmt, dass die bis heute gemessenen 1,16 °C nur auf die Erhöhung der CO2 Konzentration zurückzuführen ist.
Selbst das IPCC geht davon aus, dass mindestens 30% der Temperaturerhöhung natürlichen Ursprungs sein müssen (ergibt ca. 0,8°C).
Damit bleibt man auch bei weiter gleichbleibender Emission unter dem 1,5° C Ziel von COP24 in Katowice 2018.

Rechnung:

$dC(t)/dt = - C(t)/tau + dE/dt$ (1)

C(t): Anthropogen erzeugte CO2 Konzentration in der Atmosphäre

$C(t=0) = 0$

Lebensdauer anthropogenes CO2 in der Atmosphäre

tau = const.

Anthropogene CO2 Emission

$dE(t)/dt = E_c$ =const.

Gleichgewichtskonzentration vorindustriell

$C_{eq}(t) = 280$ ppmV = const.

Gleichung (1) wird zu:

$dC(t)/dt = - (C(t) – tau* E_c)/tau$

Einführung einer neuen Variablen:

$A(t) = C(t)-tau*E_c$

Mit:

$dA(t)/dt = dC(t)/dt$

Folgt für Gleichung (1)

$dA(t)/A(t) = -dt/tau$

Integriert von 0 bis t ergibt:

$ln[(C(t) – tau* E_c)/(C(t=0) – tau*E_c)] = - t/tau$

Exponiert mit natürlichem Logarithmus e^lnx=x

C(t) = tau*Ec*[(1-e^(-(t/tau))] (1)