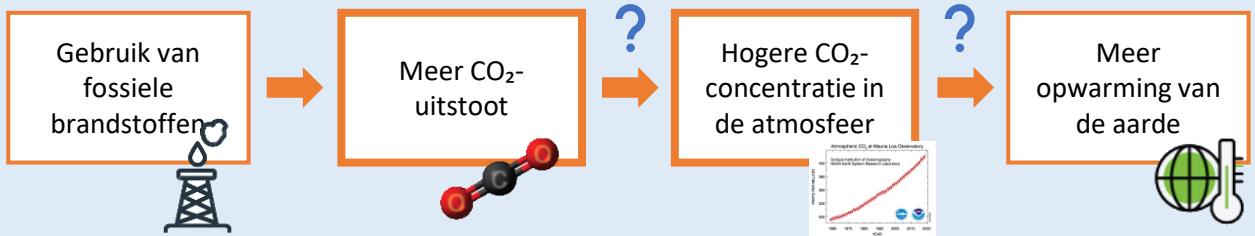


Waarom stijgt de CO₂-concentratie in de atmosfeer?

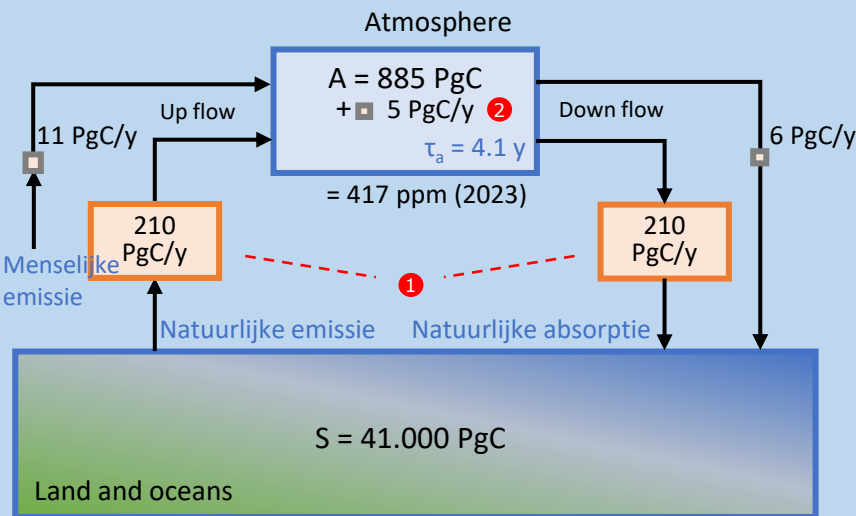
15 minuten lezen

Dit is wat de meeste mensen denken



Zijn menselijke emissies de echte oorzaak van de stijgende CO₂-concentratie in de atmosfeer?

Aannames om menselijke CO₂ de schuld te geven



Bron: Global Carbon Budget 2023

Mondiale koolstofbudget

- De natuurlijke stromen zijn zonder menselijke verstoring **perfect in balans**. De verblijftijd van CO₂ is ongeveer 4,1 jaar (d.w.z. de gemiddelde tijd dat CO₂ in de atmosfeer blijft).
- Bijna de helft van de **menselijke CO₂ hoopt zich op** in de atmosfeer en is de enige oorzaak van de jaarlijkse CO₂-stijging. Het blijft bijna **voor zeer lange tijd** in de atmosfeer (>100.000 in plaats van 4,1 jaar). Bron: IPCC-AR5

Ijskerngegevens

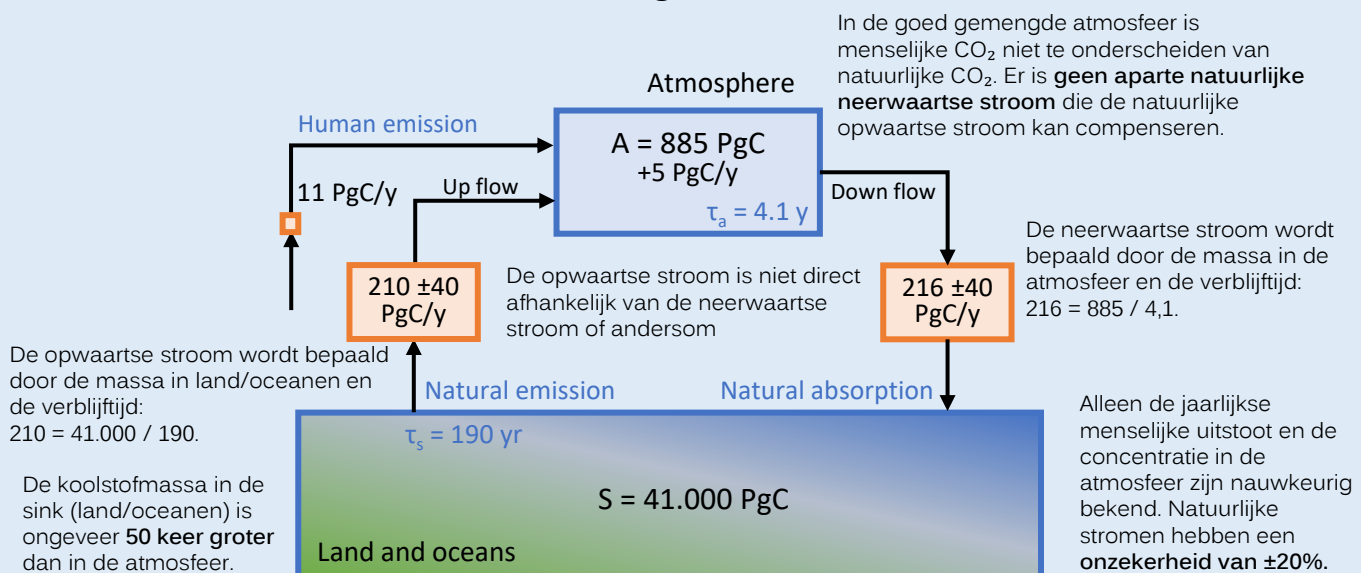
- De **ijskerngegevens** van Antarctica suggereren dat de CO₂-niveaus in de afgelopen 800.000 jaar **veel lager** waren (<300 ppmv) dan het huidige niveau

1 ppm = 1 deel per miljoen

1 ppm = 2,12 PgC = 2,12 Petagram Koolstof

1 Petagram = 1 Gigaton = 1 miljard ton

Het Global Carbon Budget: dit weten we



De aannames om menselijke CO₂ de schuld te geven zijn onjuist

1 Zijn de natuurlijke stromen perfect in balans?

- Het grootste deel van de CO₂ wordt op land en in zee **omgezet** in andere koolstofverbindingen, zoals koolhydraten, (bi)carbonaten, calciumcarbonaten, enz.
- De fysische, chemische en biologische processen die bepalen hoeveel koolstof daarbij wordt opgeslagen of vrijgegeven, zijn **complex en chaotisch**.
- De hoeveelheid koolstof op land en in zee is **erg groot** in vergelijking met de atmosfeer.
- Een kleine **onbalans**, zelfs over vele jaren, is heel goed mogelijk en zou geen merkbare impact hebben op de reservoirs in land en zee.
- Door hun **grote onzekerheid** weten we niet of de op- en neergaande stromen gelijk zijn.
- Hoewel de natuur netto CO₂ opneemt, kan het nog steeds de reden zijn voor de waargenomen CO₂-stijging.

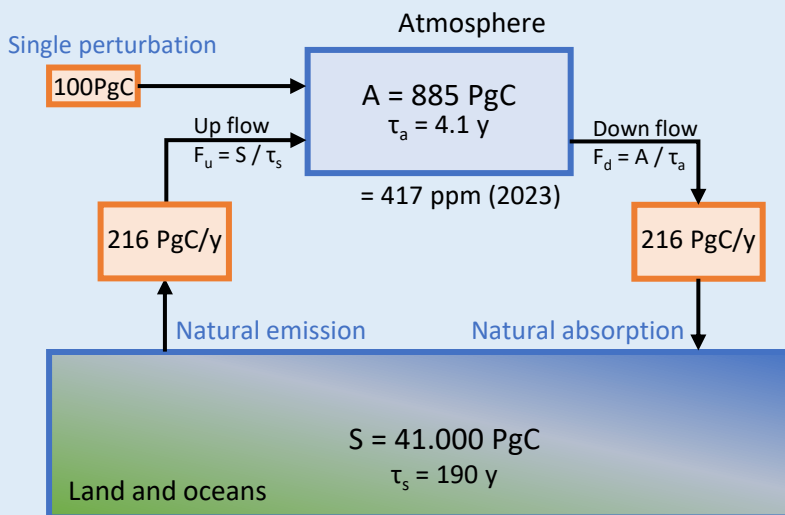
→ We kunnen niet concluderen dat de natuurlijke stromen (up/down) in balans zijn

2 Cumuleert menselijke CO₂ in de atmosfeer door een veel langere verblijftijd?

- De oppervlaktelaag van de oceanen en andere wateren is **niet verzadigd** met CO₂. Door de **Wet van Henry** zal een hogere concentratie dan normaal dus leiden tot meer opname in de oceanen.
- De afvoer van koolstof uit de oppervlaktelaag naar de diepere lagen is **niet beperkt**.
 - Door de hogere CO₂-concentratie is de **biologische pomp** (opslag van koolstof) sterk toegenomen (Steele, 2017).
 - De uitwisseling van koolstof van en naar de diepere oceaanelagen is ongeveer 270 PgC/j, dus ~100 keer meer dan de netto uitwisseling tussen lucht en zee, waardoor er geen verzadiging optreedt (Levy, 2013).
- Sinds 1750 zijn de natuurlijke emissies met 40 PgC/j toegenomen, dus 3,5 keer de menselijke emissies, met slechts een kleine verandering in de verblijftijd.

→ De oceanen en andere wateren kunnen het relatief kleine overschot aan CO₂ gemakkelijk opnemen, wat een lange verblijftijd onzinnig maakt.

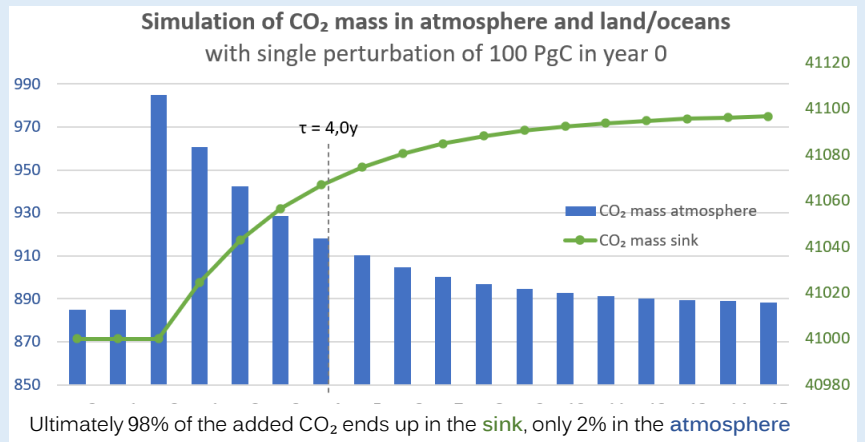
Wat gebeurt er in het geval van een verstoring?



Simulatie van een eenmalige verstoring

- Stel je voor dat de up- en down-stream in balans zijn.
- Op een bepaald moment wordt er 100 PgC aan de atmosfeer toegevoegd.
- De massa in de atmosfeer neemt dan toe tot 985 PgC.
- De neerwaartse stroom is evenredig met de massa en zal dus toenemen tot 240 PgC/jr (= 985 / 4,1).
- Dit vermindert de massa in de atmosfeer en verhoogt de massa in het land/zee-reservoir.
- In de Excel-tabel wordt een berekening per jaar gegeven.
- De massa in de atmosfeer neemt af tot bijna het oude niveau (2% blijft na 10 jaar over), blauwe balken in de grafiek.
- Het grootste deel van de toegevoegde CO₂ (98%) komt terecht in land en zee, groene lijn.
- De adjustment tijd (= tijd om opnieuw in evenwicht te komen) is 4,0 jaar, iets korter dan de verblijftijd.

year	Pert.	A	S	Fu	Fd	Fd-Fu
-2		885	41000	216,0	216,0	0,00
-1		885	41000	216,0	216,0	0,00
0	100	985	41000	216,0	240,4	24,40
1		961	41024	216,1	234,4	18,32
2		942	41043	216,2	229,9	13,75
3		929	41056	216,3	226,6	10,32
4		918	41067	216,3	224,1	7,75
5		910	41075	216,4	222,2	5,82
6		905	41080	216,4	220,8	4,37
7		900	41085	216,4	219,7	3,28
8		897	41088	216,4	218,9	2,46
9		895	41090	216,4	218,3	1,85
10		893	41092	216,4	217,8	1,39
11		891	41094	216,5	217,5	1,04
12		890	41095	216,5	217,2	0,78
13		889	41096	216,5	217,0	0,59
14		889	41096	216,5	216,9	0,44
15		888	41097	216,5	216,8	0,33



Menselijke CO₂ hoopt zich niet op in de atmosfeer

De tijd om opnieuw in evenwicht te komen na een verstoring is korter dan de verblijftijd

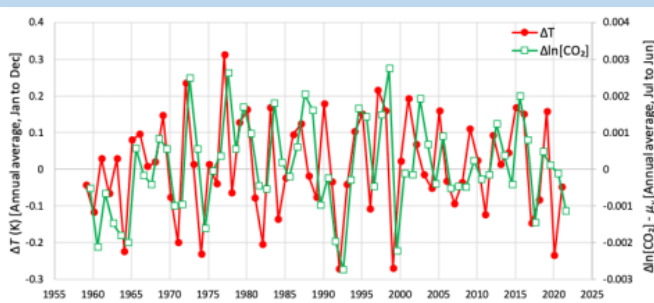
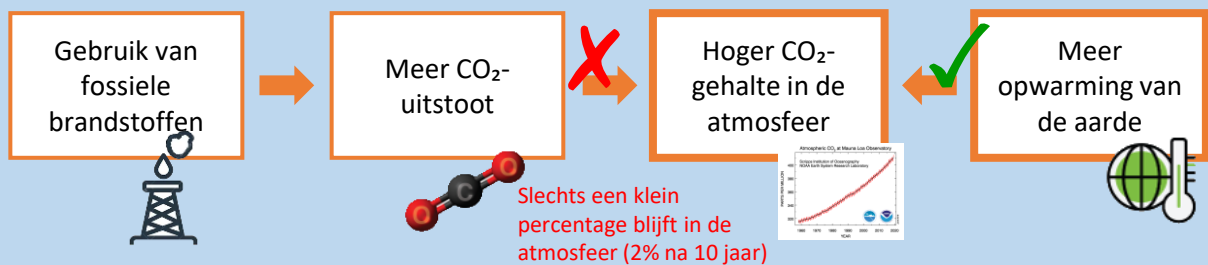
- Stallinga (2023) laat zien dat de 'adjustment tijd' **altijd korter** is dan de verblijftijden.
- De extra CO₂ wordt verdeeld over de atmosfeer en land/oceaan **naar rato van de grootte van de reservoirs**. In dit geval absorberen land en oceaan ongeveer 50 keer meer dan de atmosfeer.

Slechts een klein percentage van menselijk CO₂ blijft in de atmosfeer

- Sinds 1750 heeft de mens ongeveer 700 PgC uitgestoten (incl. verandering in landgebruik). Van alle CO₂ die tot 10 jaar geleden is uitgestoten, is nog maar 2% in de atmosfeer. Van de laatste 10 jaar is dat nog een groter deel.
 - Als we de menselijke uitstoot op het huidige niveau stabiliseren, wordt ongeveer 7% van de CO₂ in de atmosfeer door de mens veroorzaakt.
 - Als we vandaag zouden stoppen met uitstoten (net zero), zal de menselijke bijdrage snel dalen tot **minder dan 2%**.

Source: Stallinga 2023 + [excelberekening](#)

Temperatuur is een veel waarschijnlijker oorzaak



Changes in T are always followed by changes in CO₂.

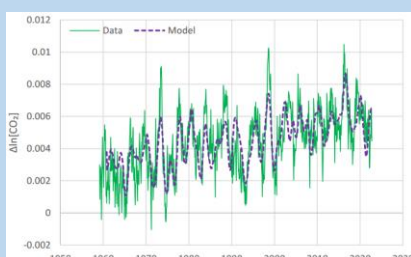
Source: Koutsoyiannis 2023

Temperatuurverandering is een veel waarschijnlijker oorzaak voor de CO₂ verandering

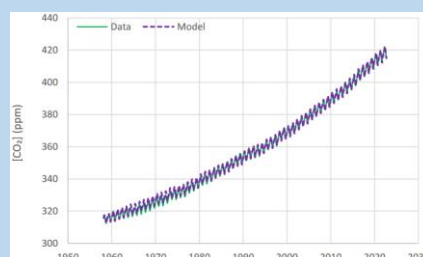
- Er is een significante correlatie tussen veranderingen in T en CO₂, **waarbij CO₂ achterblijft bij T**.
- Koutsoyiannis (2023) onderzocht het causale verband op basis van nauwkeurig gemeten gegevens: *"Veranderingen in CO₂-concentratie kunnen geen oorzaak zijn van temperatuurveranderingen. Integendeel, temperatuurverandering is een potentiële oorzaak van CO₂-verandering op alle tijdschalen."*
- Temperatuur is een belangrijke factor in de **Wet van Henry**. Dus, voor de oceanen en andere wateren: Hogere temperatuur → minder oplosbaarheid in water → meer emissie / minder opname.
- Bodemademhaling is **exponentieel gerelateerd** aan temperatuur (Lee 2011). De temperatuurstijging is >25% in de afgelopen 50 jaar (Zhang 2016).

Op basis van lineaire regressie kan de CO₂-toename volledig worden verklaard uit temperatuur variaties

Verandering in CO₂ gemodelleerd met temperatuurdata (R² = 55%)



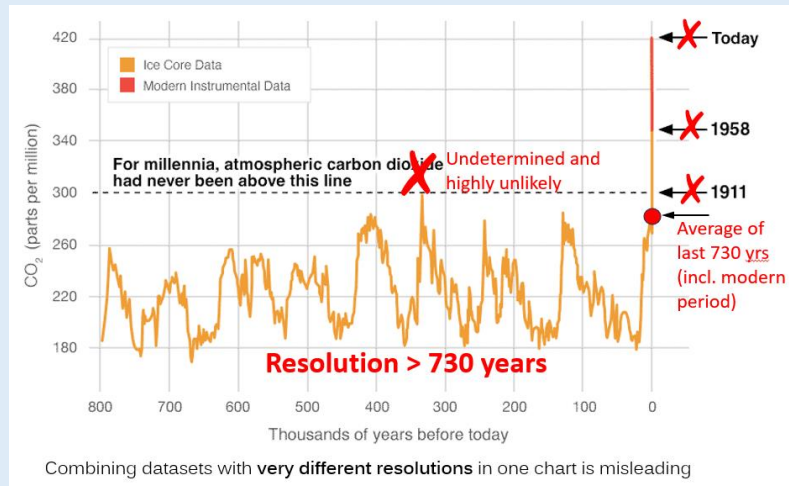
Source: Koutsoyiannis 2023



CO₂-concentratie gemodelleerd met temperatuurdata (R² = 99.9%)

3 IJskerngegevens sluiten een natuurlijke oorzaak niet uit

- Het grootste deel van de CO₂ **lost op in het water en ijs** in de vele jaren voordat de luchtbellen in het ijs volledig gesloten zijn. De absolute waarde van de gemeten concentratie is dus een fractie van de oorspronkelijke waarde. (Jaworowski 1992).
- Reconstructies van ijskernen in de afgelopen 800.000 jaar geven een **zeer afgevlakte weergave**. Eén enkele waarneming in een ijslaag vertegenwoordigt een periode van gemiddeld 730 jaar, met pieken tot meer dan 5000 jaar. Korte fluctuaties (<5000 jaar) zijn, zelfs bij veel hogere concentraties, dus niet zichtbaar.
- Andere waarnemingen die (veel) hogere historische CO₂-waarden en/of meer variatie laten zien, zijn grotendeels buiten beschouwing gelaten: directe wetenschappelijke metingen in de periode vóór 1959, CO₂-ijskernreconstructies in Groenland, ijskernmetingen van vóór 1985 en CO₂-proxies van huidmondjes van planten.



Source original chart: [Nasa 2023](#)

Conclusies

Menselijk CO₂ hoopt zich niet op in de atmosfeer

- We kunnen niet concluderen dat de natuurlijke stromen in balans zijn:
- De verwijdering van koolstof uit de oppervlaktelaag naar de diepere lagen is niet beperkt, waardoor de oppervlaktelaag niet verzadigd is. Een lange verblijftijd voor een relatief klein overschot aan CO₂ is daarmee onzinnig.
- Het overgrote deel van de door de mens uitgestoten CO₂ komt in relatief korte tijd (~10 jaar) in de oceanen terecht.

Temperatuur als oorzaak voor de stijgende CO₂ is veel waarschijnlijker

- Een hogere temperatuur veroorzaakt meer uitstoot uit oceanen en bodem.
- De CO₂-stijging kan volledig worden verklaard uit de gemeten temperatuurschommelingen.

IJskerngegevens sluiten een natuurlijke oorzaak niet uit

Referenties

- Friedlingstein, P. et al. (2023) 'Global Carbon Budget 2023', *Earth System Science Data*, 15(12), pp. 5301–5369. Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-15-5301-2023>.
- Harde, H. (2019) 'What Humans Contribute to Atmospheric CO₂: Comparison of Carbon Cycle Models with Observations', *Earth Sciences*, 8(3), p. 139. Available at: <https://doi.org/10.11648/j.earth.20190803.13>.
- Haverd, V. et al. (2020) 'Higher than expected CO₂ fertilization inferred from leaf to global observations', *Global Change Biology*, 26(4), pp. 2390–2402. Available at: <https://doi.org/10.1111/gcb.14950>.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (ed.) (2014) *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st edn. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (ipcc) (2023) *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st edn. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Jaworowski, Z., Segalstad, T.V. and Ono, N. (1992) 'Do glaciers tell a true atmospheric CO₂ story?', *Science of The Total Environment*, 114, pp. 227–284. Available at: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(92\)90428-U](https://doi.org/10.1016/0048-9697(92)90428-U).
- Koutsoyiannis, D. et al. (2023) 'On Hens, Eggs, Temperatures and CO₂: Causal Links in Earth's Atmosphere', *Sci*, 5(3), p. 35. Available at: <https://doi.org/10.3390/sci5030035>.
- Lee, J.-S. (2011) 'Monitoring soil respiration using an automatic operating chamber in a Gwangneung temperate deciduous forest', *Journal of Ecology and Environment*, 34, pp. 411–423. Available at: <https://doi.org/10.5141/iefb.2011.043>.
- Levy, M. et al. (2013) 'Physical pathways for carbon transfers between the surface mixed layer and the ocean interior: PHYSICAL CARBON FLUXES', *Global Biogeochemical Cycles*, 27(4), pp. 1001–1012. Available at: <https://doi.org/10.1002/gbc.20092>.
- Stallinga, P. (2023) 'Residence Time vs. Adjustment Time of Carbon Dioxide in the Atmosphere', *Entropy*, 25(2), p. 384. Available at: <https://doi.org/10.3390/e25020384>.
- Tamarin, T. (2024) 'Henry's Law', *Henry's Law*, 2 January. Available at: <https://henryslaw.org/>.
- Zhang, H. et al. (2016) 'Rising soil temperature in China and its potential ecological impact', *Scientific Reports*, 6(1), p. 35530. Available at: <https://doi.org/10.1038/srep35530>.
- Excel calculations: <https://1drv.ms/x/s!AsUNkFGC-8d6IM4WzT-Fg6YgaWT2vw?e=NSRuhW>