

Pfff...., gelukkig nog maar ongeveer 0,6 °C te gaan !

Tijdens een zomers warm weekje in augustus komen de verhalen over de door de mens veroorzaakte opwarming net als rond die hete 19 juli van dit jaar, weer in ruime mate aan bod in de media. De kwalijke effecten van CO₂ als broeikasgas zijn er inmiddels wel ingeramd bij het grote publiek, maar het nieuwe gevaar biedt zich aan: Methaan (CH₄). Misschien niet helemaal toevallig, maar het ligt natuurlijk wel weer aan die agrarische sector. En dat versterkt mooi het narratief rond de huidige “stikstofcrisis”. Kortom, boeren moeten nu maar eens inbinden met natuurverpestende, nu ook klimaat opwarmende, en al lang bekritiseerde, dieronvriendelijke activiteiten. Toch? Methaan lijkt plotseling wel het meest “verschrikkelijke” broeikasgas dat we kennen. Wel “25x sterker dan CO₂”, of meer koppen de media zonder enige kennis van zaken. Als ’t maar “erg” klinkt.

Maar, is dat terecht? Tijd voor een simpele berekening van het maximale temperatureffect van al die broeikasgassen in het geval we nu eens zouden besluiten helemaal niets meer te doen om het huidige tempo waarmee we de atmosfeer volpompen met CO₂ en CH₄, af te remmen.

Het IPCC noemt dit het “*business as usual* scenario” met codenaam RCP8.5 [12], waar o.a. ook het KNMI mee rekende toen ze ons een klein jaar geleden angst probeerden aan te jagen met 1,2 m zeespiegelstijging. Dat scenario is echter niet realistisch, zoveel fossiele brandstoffen kunnen we niet eens verstoken. Maar wat is dan wel een realistisch *business as usual* scenario?

Kees le Pair en ik hebben 2 jaar geleden een eenvoudig model opgesteld over hoe de Aarde die extra CO₂ die wij a.g.v. antropogene emissies de atmosfeer in blazen, verdeelt over alle andere opslagreservoirs, zoals de oceanen, gesteentes/grond en biomassa’s [1]. De uitwisseling van CO₂ tussen die diverse reservoirs is een simpel interface proces, bepaald door het verschil in concentratie tussen die reservoirs en het gemak waarmee een CO₂-molecule dat interface kan passeren. Is $N(t)$ de CO₂-concentratie in de atmosfeer en die in een van de andere reservoirs door N_R , dan is $(N(t) - N_R)$ de drijvende kracht van dit proces. De “rate” van het bijbehorende massatransport wordt nu bepaald door $(N(t) - N_R)/\tau_R$. Daarin is $1/\tau_R$ een maat voor de kans waarmee CO₂ het atmosfeer-reservoir interface passeert, vermenigvuldigd met het oppervlak van dat interface. Zo heeft τ_R de dimensie van tijd en heeft ieder reservoir zo z’n eigen specifieke $[N_R, \tau_R]$ combinatie. Als CO₂-moleculen onderscheidbaar zijn en de reservoirs vertonen geen verzadigingsverschijnselen (zien we ook niet in de gemeten data), dan kan mathematisch eenvoudig bewezen worden dat het hele Aardse systeem beschreven kan worden als de atmosfeer plus slechts één (virtueel) reservoir, gekarakteriseerd door $[N_0, \tau_0]$. Dat levert de volgende vergelijking voor de atmosferische CO₂-concentratie $N(t)$:

$$dN(t)/dt = B(t) - (N(t) - N_0)/\tau_0 \quad (1)$$

waarin $B(t)$ onze jaarlijkse, antropogene emissie. Op basis van 60 jaar aan data over die jaarlijkse CO₂-emissies en metingen van $N(t)$ tussen 1960 en 2020 [11], hebben we de bijbehorende waardes $N_0 = 287$ ppm en $\tau_0 = 53,5$ jaar met een hoge nauwkeurigheid kunnen bepalen [1]. Ook anderen komen op dit soort karakteristieke tijden, zij het echter veelal op basis van *curve-fitting* en het gegeven van een pre-industriële CO₂-concentratie van 280 ppm [2].

Het zgn. Bern-model waar het IPCC de toekomstige CO₂-scenario’s mee uitrekent, sommeert de diverse reservoirs niet, maar laat ze werken afhankelijk van de origine van de CO₂-moleculen: snel voor de “natuurlijke” CO₂ of traag, voor de “antropogene” CO₂ met karakteristieke tijden tot bijna 200 jaar toe. Zo blijft de antropogene CO₂ ontzettend lang in de atmosfeer en krijg je dus hele hoge concentraties in 2100. Maar hoe weten ze van elk individueel CO₂-molecule in de atmosfeer waar het vandaan komt, en hoe lang het al in de atmosfeer zit? Kortom, fysisch gezien weinig plausibel [3].

Ik noem ons model wel gekscherend het “lekkende fietsband” model. De analogie moge duidelijk zijn: net als bij het oppompen van een lekke fietsband, pompen we de atmosfeer voortdurend vol met antropogene CO₂ die vervolgens ook continu weer deels weglekt. Zo bepaalt de grootte van dat integrale “lek”, plus de snelheid waarmee we de band proberen op te pompen de maximale druk die kan worden gehaald. Voor de atmosfeer geldt dat net zo. Ook daar is er een maximale CO₂-concentratie N_{MAX} bij een gegeven emissie B_{MAX}, op het moment dat $dN(t)/dt = 0$ in vgl.1, ofwel:

$$N_{MAX} = N_0 + B_{MAX} \cdot \tau_0 \quad [2]$$

Deze vgl.2 bepaalt nu de maximale broeikasgasconcentraties in ieder toekomstscenario, ook die van het IPCC. Met onze, al eerder bepaalde waarden voor N₀ en τ₀, is B_{MAX} nog maar de enige onbekende in vgl.2. En die is, op grond van demografische ontwikkelingen, vrij eenvoudig te voorspellen.

Naar een realistisch CO₂-scenario. Het IPCC “*business as usual*”-scenario RCP8.5 (sinds kort aangeduid als SSP5-8.5) voorspelt een antropogene *forcing* van 8,5 W/m² rond 2100 [12]. Dit is teruggerekend, gelijk aan een concentratie van 1400 ppm aan CO₂-equivalent, meer dan het viervoudige van de pre-industriële waarde van 280 ppm. Dat komt o.a. door die lange verblijftijd van antropogene CO₂ in IPCC’s Bern-modellen. Maar sinds kort realiseert het IPCC zich ook, dat we dat nooit gaan halen (wordt nu gekwalificeerd als zijnde *highly unlikely*), maar iedereen gebruikt dit nog wel in allerlei studies over die, daarom altijd catastrofale effecten van de antropogene opwarming.

Maar wat zijn wel reële broeikasgasniveaus in 2100? Voor ons realistisch *Business as Usual* (BaU) scenario gebruiken we de volgende aannames: 1) het aantal aardbewoners piekt in 2060 bij 10 miljard mensen en daalt daarna licht (recente schattingen); 2) de gemiddelde CO₂-uitstoot per hoofd van de wereldbevolking groeit van 4,7 nu, tot het huidige niveau binnen de EU: 6 tCO₂/jaar. Een prima welvaartsniveau, en het is nog maar de vraag of alle ontwikkelingslanden dat in 2100 al halen. Met τ₀ = 53,5 jaar en N₀ = 287 ppm [1], levert vgl.2 voor dit realistische BaU-scenario, een maximale CO₂-concentratie in 2100: N_{BaU} = 700 ppm. Dit maximum is echter een veel te ruime schatting. Die tijd van 53,5 jaar, is op basis van enkel de fossiele uitstoot, en dat maakt die waarde te hoog [1]. De op één na belangrijkste antropogene CO₂-bijdrage in de uitstoot, die t.g.v. de *Change of Land Use (CLU)*, is in onze analyse (met opzet) niet apart verdisconteerd. Die uitstoot zit daarmee echter wel impliciet in de waarde van τ₀, net als die van eventuele (onbekende) natuurlijke bronnen [1]. Op dit moment is die CLU-bijdrage ongeveer 1/6 van de fossiele uitstoot [5], en daarvoor gecorrigeerd zou dat leiden tot τ₀ ≈ 45 jaar. Maar zonder verandering in de CLU is de bronterm in vgl.2 weer navenant groter en blijft het netto-effect op N_{BaU} beperkt tot een eindniveau van 650 ppm. Echter, in 2100 moet die CLU-bijdrage in principe flink gereduceerd zijn. Verstedelijking, uitbreiding van agrarische grond, etc., nemen sterk af bij een niet groeiende wereldbevolking. In de CLU- schattingen zie je dat effect nu al terug [5]. Met de helft van huidige CLU in 2100, komen we dan op ongeveer 625 ppm. Wat ook niet verwaarloosbaar is, is de eventuele onderrapportage in de huidige emissiecijfers van m.n. ontwikkelingslanden. Overigens, door de EU als “groen” verklaarde CO₂-emissies uit biomassa-centrales, zullen door westerse landen waarschijnlijk ook niet in alle opgaves even correct worden meegenomen. Hoewel laakbaar, is onderrapportage wat mij betreft “heel goed nieuws”. Immers, onderrapportage verkleint de waarde voor τ₀ nog verder, want kennelijk neemt de natuur nu al een relatief groter deel van de antropogene CO₂-uitstoot op, dan we in ons CO₂-budget meenemen [5].

Dat de mondiale CO₂ uitstoot, en daarmee de groei in atmosferische CO₂-concentratie 1:1 gekoppeld is aan de groei van de wereldbevolking over de afgelopen 170 jaar, heeft Willis Eschenbach recentelijk overtuigend laten zien [4]. Hij voorspelt op basis van die analyse een CO₂-concentratie van ongeveer 610-620 ppm rond het jaar 2100.

Een keuze van 650 ppm voor de maximale CO₂-concentratie in 2100 op basis van vgl.2, lijkt dan zeker niet te optimistisch. We komen zelfs vast nog wel zo'n 10-15% lager uit, o.a. met een andere mix aan energieopwekking: meer gasgestookte i.p.v. kolencentrales, kernenergie en uiteraard "renewables" als zon- en windcentrales. China als grootste CO₂-emitter zal het gebruik van kolen tegen 2100 behoorlijk hebben teruggeschroefd. M.i. niet vanwege de CO₂-uitstoot, maar vanwege de luchtvervuiling: op sommige plaatsen is die daar nu al letterlijk "verstikkend". Het CO₂-niveau wordt zo hooguit 2x pre-industrieel i.e. 560 ppm, maar natuurlijk niet helemaal "business as usual" meer.

We houden het voor de "impact" berekeningen verderop, daarom maar op N_{BaU} = 650 ppm.

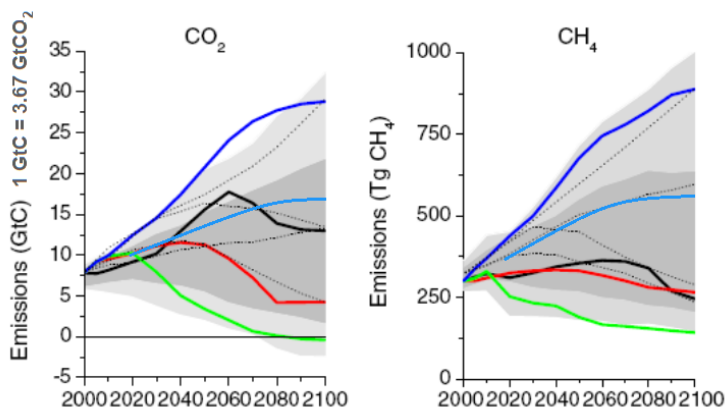
En dan het CH₄-scenario. Ook daar moet het leuke fietsband model van toepassing zijn, alleen kennen we historisch gezien, de brontermen niet zo goed als bij de emissies van CO₂. De recente ontdekking door NASA dat grote vuilnisbelten enorme bronnen van CH₄-emissies zijn, is niet verrassend, maar wel veelzeggend over ons niveau aan kennis. Vandaar dat we de aanname dat het model toepasbaar is op het CH₄-verloop, alleen op geloofwaardigheid kunnen verifiëren met de meest recente gegevens volgens het Global Carbon Project "Global Methane Budget 2020" [6]. Hoewel behept met grote onzekerheidsmarges, leren we daaruit dat de antropogene bijdrage aan Methaan uitstoot (*best estimates 2017*) door de "industrie" 108 TgCH₄/jaar, door de agrarische sector 227 TgCH₄/jaar en door het verbranden van biobrandstoffen nog eens 28 TgCH₄/jaar is. Opgeteld 363 TgCH₄/jaar, naast natuurlijke bronnen van m.n. "natte gronden" van 233 TgCH₄/jaar. Qua "sinks" wordt meer dan 90%, of wel 531 TgCH₄/jaar afgebroken in de atmosfeer door oxidatie van Methaan tot CO₂ en water. Die oxidatie verloopt middels OH-radicalen die zelf een hele korte levensduur hebben (< 1 sec) maar o.i.v. zonlicht continu geproduceerd worden uit andere chemische reacties in de atmosfeer. Er is geen duidelijke bron als oorzaak van de iets snellere CH₄-toename gedurende het laatste decennium, maar er is waarschijnlijk wel een relatie met de geconstateerde afname in de concentratie van OH-radicalen [6]. Echt begrijpen doen we dat niet.

Hoe dan ook, rekenen we die emissie-data om naar concentraties dan kunnen we met vgl.1 bijvoorbeeld de verblijftijd τ_0 bepalen. Met al die gegevens uit 2017 en een omrekeningsfactor van 2,78 TgCH₄/ppb [6], berekenen we op basis van 750 ppb als pre-industriele concentratie, een verandering in de gemeten concentratie van 8 ppb/jaar (gemiddelde over de laatste 10 jaar), een antropogene bron van $363/2,78 = 131$ ppb/jaar en een concentratie van 1840 ppb, een waarde voor $\tau_0 = 8,9$ jaar. Dat lijkt "spot on" met de 9 ± 2 jaar uit de analyse van het Carbon Project [6]. Geen "bewijs", zeker gezien de grote onzekerheden in de data, maar wel "een goede indicatie" dat het leuke fietsband model ook voor Methaan in de atmosfeer redelijk realistische resultaten oplevert.

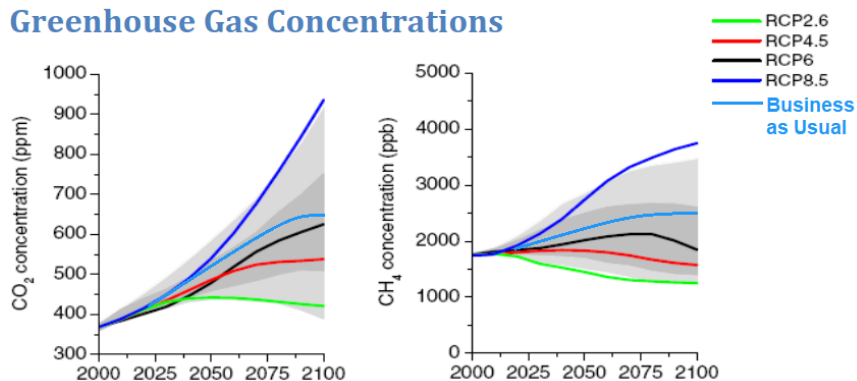
We gebruik voor de berekening van de CH₄-uitstoot in 2100, nu dezelfde koppelingen aan de groei van zowel de wereldbevolking als die in welvaart, zoals hierboven in het CO₂-scenario. De agrarische bijdrage groeit zo naar schatting met de bevolkingsaanwas, plus de helft van de groei in welvaart. Enerzijds zal door effectievere (westerse) productiemethoden de CH₄-uitstoot per capita voor die sector verlagen, maar anderzijds zal bij stijgende welvaart, de totale productie door extra consumptie gaan toenemen. Met de waarheid ergens in het midden, is de bijbehorende groeifactor dan $10/8 \times (0,5 \times (4,7+6)/4,7) = 1,42$. De CH₄-uitstoot groeit dan naar $1,42 \times 227 = 323$ TgCH₄/jaar in 2100. Voor de industriële sector met ongetwijfeld die eerdergenoemde vuilnisbelten daarbij gerekend, geldt de groeicurve van de CO₂-uitstoot: aantal mensen plus welvaartverbetering (= meer afval!), dus een vermenigvuldigingsfactor van $10/8 \times 6/4,7 = 1,60$. Als we het aandeel "biobrandstoffen" voor de eenvoud maar bij "industriële" tellen, levert dat totaal $1,60 \times (108+28) = 218$ TgCH₄/jaar. Tezamen is dat in 2100 een jaarlijkse antropogene Methaan-emissie van afgerond 540 TgCH₄/jaar. Dat is equivalent aan een bijdrage in de atmosfeer van 194 ppb/jaar tegenover de huidige 131 ppb/jaar. Kortom, net als bij de CO₂-emissies een factor 1,5 in toename. Volgens vgl.2 levert dat uiteindelijk een stabiele CH₄-concentratie: $N_{BaU}(CH_4) = 750 + 194 \times 9 = 2500$ ppb in 2100.

Gezien de data, zijn dit schattingen met zeker 10% onzekerheidsmarge in beide richtingen. Het IPCC's RCP8.5/SSP5-8.5 scenario haalt die waarde van 2500 ppb al in het jaar 2030 en lijkt door te groeien naar 3800 ppb in 2100, een verdubbeling van het huidige niveau. Een echt realistische basis onder die getallen ontbreekt [12]. Overigens is 3800 ppb verre van voldoende om die 1400 ppm CO₂-equivalent in RCP8.5 te verklaren; CH₄ is nu ook weer niet zo'n sterk broeikasgas (zie verderop). Onze 2500 ppb is gelukkig qua verhoging t.o.v. pre-industrieel, echter wel identiek aan wat anderen al 16 jaar geleden berekenden op basis van curve fitting aan de historische concentratie-data m.b.v. het Fisher-Pry model [7]. Een originele toepassing van een model voor 'groei + verzadigings'-processen uit heel andere disciplines (o.a. logistiek en product-marketing), dat niet gebonden is aan enig inzicht in de achterliggende oorzaken. Ook de groei van de wereldbevolking is met zo'n model uitstekend te beschrijven, c.q. te voorspellen. Dat het net als het model van Eschenbach [4] bij dit soort processen goed werkt, is in dat licht ook niet al te verrassend.

RCP Emission Trajectories



Greenhouse Gas Concentrations



Dit bovenstaande, en m.i. realistische **Business as Usual** scenario is in nevenstaande figuren opgenomen in de grafische representatie van de diverse IPCC-RCP's als weergegeven in [12]. Daarbij zijn het beginpunt (2022-waardes [5][6] en [11]), en het eindpunt uit de eerdere CO₂- en CH₄-emissie/concentratie-schattingen voor 2100, verbonden door een groeikromme met een verzadiging na 2060. Die zijn niet getekend op basis van een grondige analyse, maar het geschetste verloop geeft toch redelijk de verschillen met het RCP8.5-scenario's weer.

Duidelijk is de absurditeit van RCP8.5; niet alleen t.o.v. mijn BuA-, maar ook t.o.v. andere scenario's. Klimaatmodellen met een toch al veel te hoge klimaatgevoeligheid, berekenen met RCP8.5 voor 2100 dan ook extreem hoge opwarming. In allerlei gevolgstudie die maar al te graag juist dat scenario misbruiken, leidt dat stevast tot de meest angstaanjagende voorspellingen over de gevolgen van klimaatverandering. Maximale media-aandacht verzekerd, zoals bij KNMI's 1,2 m zeespiegelstijging.

Met 650 ppm voor CO₂ en 2500 ppb voor CH₄ in 2100, kunnen we die maximale opwarming die ons nog te wachten staat, ook zelf berekenen. De atmosfeer zal zich immers, qua samenstelling en dus qua antropogene opwarming, stabiliseren op of onder dit "Business as Usual" eindpunt.

Hiervoor gebruiken we het online MODTRAN-klimaatmodel van de University of Chicago [8]. Net als het nu al klassieke werk van Van Wijngaarden en Happer [9] rekt dat op basis van hun spectrale gegevens de *forcing* uit van broeikasgassen in een atmosfeer met een gegeven samenstelling en

verticaal temperatuurverloop. De CO₂- als de CH₄-concentratie zijn vrijelijk te kiezen, bij zowel een vaste waterdampconcentratie, als een constante relatieve vochtigheid. Dat laatste is belangrijk om het effect van de zgn. “*water vapor feedback*” op een correcte wijze mee te nemen. Verder geeft het de mogelijkheid bewolking in te brengen. De grote invloed van bewolking op de stralingsbalans kan ik niet genoeg benadrukken [10]. Van Wijngaarden en Happer [9] beschouwen helaas alleen het “*clear sky*” scenario. Voor die situatie met het (nagenoeg) standaard gemiddelde atmosfeermodel levert MODTRAN dezelfde resultaten als in [9]; een goede check dat het realistische output levert.

Uitgaande van 420 ppm CO₂ en 1900 ppb CH₄ voor de huidige (2022) situatie [11], is het nu tamelijk simpel te berekenen wat de respectievelijke *forcings* van de, te verwachten verandering tussen nu en 2100 zijn, en de daarbij behorende temperatuurverhogingen. Die berekeningen zijn hier gedaan voor de *US Standard Atmosphere* als een goed globaal gemiddelde en *de Stratus/Strato CU Base 0.66km Top 2.0 km* bewolking. Dat laatste is een bewuste keuze uit meerdere bewolkingsmodellen in MODTRAN [8] maar andere bewolkingsmodellen leiden niet tot significant andere getallen of conclusies. Resultaten van deze exercitie zijn samengevat in onderstaande tabel: **ΔF_{TOA} is de forcing a.g.v. de verhoging in de aangegeven concentraties van CO₂ en/of CH₄ op de Top of the Atmosphere hoogte** (TOA is in MODTRAN op 70 km gesteld). **ΔT_s is de temperatuurverhoging op grondniveau** nodig om die forcing ΔF_{TOA} volledig te compenseren (herstel van evenwicht qua in- en uitstraling). *Om nu niet direct beticht te worden van een te lage inschatting van de CH₄-concentratie in 2100 is ook nog de veel hogere waarde van 3000 ppb in de tabel opgenomen. Daarvoor is tegen die tijd 250 ppm Methaan uitstoot nodig i.p.v. die 194 ppb, die eerder al ruim was ingeschat. De antropogene CH₄ uitstoot moet dan wel 1,9x zo groot worden, dus bijna verdubbelen t.o.v. de vergelijkbare uitstoot nu!*

Atmosferische verandering qua broeikasgassen CO ₂ en CH ₄ tussen 2022 en 2100	ΔF_{TOA} [W/m ²]	ΔT_s [°C]
CO ₂ van 420 naar 650 ppm CH ₄ 1900 ppb	1.44	0.50
CH ₄ van 1900 naar 2500 ppb CO ₂ 420 ppm	0.22	0.07
CO₂ van 420 naar 650 ppm CH₄ van 1900 naar 2500 ppb	1.66	0.58
<i>CH₄ van 1900 naar 3000 ppb CO₂ 420 ppm</i>	<i>0.38</i>	<i>0.13</i>
CO₂ van 420 naar 650 ppm CH₄ van 1900 naar 3000 ppb	1.85	0.63

Opm.: Bijdrages van eventuele toenames in stikstofoxides en gechloroerde koolwaterstoffen zijn nog veel kleiner. Voor de eenvoud zijn die verder verwaarloosd; ze veranderen de tabel niet significant.

Wat direct opvalt is dat het effect van meer CO₂ al tamelijk beperkt is. Extra CH₄-uitstoot, tot zelfs 1,9x de huidige antropogene emissie, draagt maar nauwelijks bij aan de temperatuurverhoging. Dat is een gevolg van de overlap met de absorptiebanden van waterdamp en de, bij de huidige concentraties, al verregaande optische “*verzadiging*” in de IR-absorptie van CO₂, en m.n. ook van CH₄. Deze waarden zijn inclusief “*water vapor feedback*” middels de keuze in het model voor een constante relatieve vochtigheid (RH = 1), waarbij de absolute vochtigheid meer dan lineair toeneemt met de temperatuur. En waterdamp is natuurlijk wel veruit het sterkste broeikasgas. Zoals te verwachten, is de in MODTRAN berekende klimaatgevoeligheid $\Delta T/\Delta F$ (dus inclusief *water vapor feedback* !) met 0,35 K/W/m² nagenoeg gelijk aan 0,3 K/W/m², de inverse van de Planck

feedback parameter als zijnde de “natuurlijke” klimaatreactie op TOA-verstoringsen (*forcings*) [9]. Dat is dus heel wat kleiner dan die absurd grote klimaatgevoeligheid van $0,8 \pm 0,3 \text{ K/W/m}^2$ (ECS = 1,5 tot 4,0 K/2xCO₂) uit GCM-klimaatmodellen, op grond waarvan het IPCC haar alarmistische rechtvaardigt.

Als laatste, een opmerking over die 25x (of meer) sterkte van CH₄ als broeikasgas in vergelijking met CO₂. Dat is ook met MODTRAN te checken, en wat blijkt: “het” klopt, het is zelfs zo’n 50x! Tenminste, als je dat vergelijkt bij identieke verhoging in de absolute concentratie, zeg maar per extra molecule. Dat berekenden Van Wijngaarden en Happer ook al [9]. De Methaan-concentratie in de atmosfeer is echter ruim 200x kleiner dan die van CO₂. Een verdubbeling van het huidige CO₂ niveau van 420 naar 840 ppm levert 0,78 °C, de verdubbeling van de huidige concentratie van CH₄ van 1900 naar 3800 ppb “slechts” 0,21 °C, en allebei tegelijk, precies 1 °C. Praktisch bezien, kun je dus beter stellen dat Methaan als broeikasgas 4x zwakker is dan CO₂. Het is dus maar hoe je “het” definieert en wat voor boodschap je het grote publiek graag wilt voorschotelen. Verdere bangmakerij voor die toch al “dodelijke” broeikasgassen, lukt geheel veel beter met een 25x sterkere Methaan. Geen leugen dus, maar is dit “eerlijke” voorlichting? Dat ethische dilemma kennen klimaatalarmisten kennelijk niet.

Overall moet de conclusie van dit essay evenwel duidelijk zijn:

Bij een realistisch “business as usual” scenario qua uitstoot van zowel CO₂ als CH₄, hebben we nog maar $\pm 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$ te gaan a.g.v. de daaraan gerelateerde antropogene opwarming. Rond 2100 komt die nml. ten einde als wij als “soort” met maximaal 10 Miljard mensen zijn “uitgegroeid”. En niet zoals het IPCC ons met hun alarmistische klimaatscenario’s continu probeert aan te praten: “uitgeroeid”.

Ad Huijser, augustus 2022

Referenties:

- [1] C. le Pair en A. Huijser (2020), <http://www.clepair.net/oceanCO2-4.html>
- [2] zie o.a. R. Spencer (2020), <https://www.drroyspencer.com/2020/02/nature-has-been-removing-excess-CO2-4x-faster-than-ipcc-models/>
- [3] W. Eschenbach (2012), <https://wattsupwiththat.com/2012/05/06/the-bern-model-puzzle/>
- [4] W. Eschenbach (2022), <https://wattsupwiththat.com/2022/02/19/humanoids-and-co2-levels/>
- [5] Carbon Budget 2020 en/of 2021, <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/index.htm>
- [6] Methane Budget 2020, <https://www.globalcarbonproject.org/methanebudget/index.htm>
- [7] C.F. Alvim *et al* (2006), http://ecen.com/eee55/eee55e/growth_of%20methane_concentration_in_atmosphere.htm
- [8] <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>
- [9] W.A. van Wijngaarden and W. Happer (2021), *Relative Potency of Greenhouse Molecules*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.16465>
- [10] A. Huijser (2021), <https://www.clepair.net/clouds-AdHuijser.pdf>
- [11] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/weekly.html>
- [12] G. P. Wayne, The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways (pdf) + summary <https://skepticalscience.com/rcp.php?t=3>