

Tipping points door methaan

Van Groenland tot Groningen

dr. ir. Anneke van de Boer (NESSC / Universiteit Utrecht)

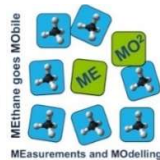


© Met inhoudelijke hulp van Michiel in 't Zandt.

Deze module is eigendom van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG) en het Nederlands Earth System Science Centre.

Gebruik van deze module is toegestaan aan scholen of instellingen onder vermelding van de auteurs en de hieronder weergegeven instellingen.

Foto voorzijde: Polesnoy - Fotolia



Tipping points door methaan

van Groningen tot Groenland

Deze module is gecertificeerd door het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG). De module maakt onderdeel uit van Geo Future School.

Anneke van de Boer (NESSC) @2019
Contact: info@nessc.nl



Geo Future School

Geo Future School is een onderwijsstroom die toekomstgericht onderwijs biedt op het raakvlak van bèta en gamma. Centraal binnen Geo Future School staan de grote vraagstukken van de 21e eeuw rondom thema's als energie, water, voedsel, veiligheid, verstedelijking, klimaat, gezondheid, duurzaamheid en globalisering. Geo-informatie en geodesign worden gebruikt om oplossingen te formuleren voor deze vraagstukken die de hele aarde aangaan.

Binnen de onderwijsstroom nemen de Geo Future School modules een belangrijke plaats in. Deze modules bestaan uit lessenseries van circa 8 tot 14 lessen rondom een thema. Elke module bevat vijf vaste onderdelen. Het begint met een startopdracht die zich dicht bij de belevingswereld van jongeren afspeelt. Er is een deel theorie dat wordt afgewisseld met go/no go opdrachten en een praktisch onderdeel, zoals een veldwerk, een onderzoek of een ontwerpopdracht. Centraal in de module staat de eindopdracht waarin leerlingen hun eigen creativiteit ten volle kunnen inzetten. De module wordt afgesloten met een presentatie van de eindopdracht.

Er is een opbouw in denkvaardigheden. In de startopdracht gaat het vooral om het activeren van voorkennis, in de theorie ligt de nadruk op begrijpen en toepassen, bij het praktische onderdeel op analyseren en evalueren en in de eindopdracht ligt de nadruk op creëren.

De modules worden gemaakt door docenten uit het voortgezet onderwijs in samenwerking met een bedrijf of instelling. Het gaat dus om levensechte en actuele vraagstukken. De leerlingen kunnen een groot deel van de tijd in hun eigen tempo werken en in de eindopdracht kunnen ze hun eigen accenten leggen.

Geo Future School brengt bedrijven, instellingen en onderwijs samen. Het maakt onderwijs relevant, praktijkgericht, uitdagend en vooral toekomstgericht.

Inhoudsopgave

Inleiding	4
Curriculum	5
Afsluitende opdracht I	6
De opbouw van de module.....	7
Startopdracht	8
Hoofdstuk 1: Waarom kijken we naar methaan?	9
Hoofdstuk 2: Waar vinden we methaan?.....	12
Hoofdstuk 3: Hoeveel methaan hadden we vroeger?	14
Hoofdstuk 4: Waar komt dat methaan precies vandaan?	16
Hoofdstuk 5: Micro-organismen verzetten veel werk	19
Hoofdstuk 6: Meten aan methaan	21
Hoofdstuk 7 Extra onderwerpen	30
Afsluitende opdracht II: Onze toekomst met methaan	31
Beoordeling.....	32

Inleiding

Klimaatverandering; je hebt er sowieso mee te maken. Misschien heb je wel zonnepanelen op je dak thuis, of een windmolen in de achtertuin. En je kent vast wel iemand met een elektrische auto. Moderne huizen hebben geen gasaansluiting meer voor hun kookstel en verwarming. Er komen steeds meer winkels die alleen lokale producten verkopen, in zo min mogelijk verpakkingsmateriaal. Je moet thuis waarschijnlijk je plastic afval scheiden. En je kent vast wel iemand die uit milieuoverwegingen geen of minder vlees eet.

Klimaatverandering komt dan ook vaak in het nieuws voorbij. Houden landen zich aan de beloftes die in het klimaatakkoord in 2015 in Parijs staan? Doet Amerika nog mee? En China en Rusland? Hoeveel graden gaat de temperatuur nu stijgen? En wat gebeurt er met de ijskappen, het koraal en onze zeespiegel? Moeten we toch weer aan de kernenergie?

Al deze voorbeelden gaan uiteindelijk over het beperken van de uitstoot van broeikasgassen in onze atmosfeer. Vaak wordt hierbij meteen de link gelegd met het broeikasgas koolstofdioxide, CO₂. De concentratie CO₂ is de laatste 100 jaren inderdaad enorm gestegen en heeft op dit moment het grootste aandeel in het opwarmen van onze aarde. Maar we moeten de nummer 2 niet vergeten; methaan. Methaan is een ontzettend krachtig broeikasgas, maar krijgt nog relatief weinig aandacht.

In deze module leer je daarom alles over methaan. Je komt er in de eerste hoofdstukken achter wat methaan precies is, waarom het zo'n krachtig broeikasgas is, waar het vooral vandaan komt, hoe het daar 'gemaakt' wordt, en hoeveel last we er al van hebben. Er zit veel afwisseling in de opdrachten. Veel antwoorden op de vragen in dit boekje moet je wel nog zelf op het internet vinden. Daarom is af en toe nakijken verstandig!

In hoofdstuk 6 leer je wat wetenschappers proberen uit te zoeken en op te lossen, en aan het eind van deze module doe jij zelf, met klasgenoten, een voorstel om een deel van het methaanprobleem op te lossen. Wie weet gaan onderzoekers of politici echt aan de slag met jullie ideeën! Vervolgens bevat hoofdstuk 7 nog een aantal extra onderwerpen, tips voor uitjes, en opdrachten voor meer diepgang met betrekking tot methaan.

Curriculum

<p>Aan het einde van deze module kan de leerling</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Beschrijven hoe en waar methaan gevormd wordt. ▪ Het belang uitleggen van kennis over methaan ▪ Vertellen en opzoeken waar nog onderzoek naar gedaan wordt, betreffende methaan en het klimaat ▪ Een voorstel doen om invloed uit te oefenen op de methaanconcentratie 	
<p>Aandachtspunten</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methaan als broeikasgas ▪ Vorming van methaan, op grote en kleine schaal ▪ Wetenschappers bezig met methaan
<p>Denkvaardigheid (uit de gereviseerde taxonomie van Bloom)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Begrippen onthouden ▪ Grafieken, vergelijkingen en wetenschappelijke contexten begrijpen ▪ Begrippen, grafieken en vergelijkingen toepassen ▪ Bepaalde chemische en natuurkundige processen analyseren ▪ Systeem evalueren op tipping point-kenmerken ▪ Een oplossing creëren voor het klimaat gerelateerde methaanprobleem ▪ Het opzoeken en beoordelen van bronnen op het internet
<p>Begrippen</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Absorptie van straling door moleculen ▪ Interpretatie van satellietdata en concentratiemetingen, in ppb ▪ Analyse van ijsboorkernen ▪ Fossiele brandstoffen ▪ Remote sensing, o.a. drones ▪ Microorganismen, archaea, methanogenen ▪ Chemische afbraak en fermentatie ▪ Modellen en experimenten ▪ Isotopen ▪ Instrumenten voor gasanalyse ▪ Permafrost ▪ Klimaatgevoelig gebied ▪ Koeienmaag

Afsluitende opdracht I

Aan het eind van deze module krijg je honderd miljoen euro om het methaanprobleem, of een gedeelte van het probleem, op te lossen. Je presenteert je werk aan klasgenoten, dit mag in allerlei vormen. Maar daarvoor moet je natuurlijk eerst weten wat voor problemen er op Aarde met methaan zijn. Veel plezier met het doornemen van deze module!

De opbouw van de module

Let op!

- Onderstaande planning is sterk afhankelijk van de achtergrondkennis en de zelfstandigheid van de betreffende leerling.
- Een belangrijke vaardigheid voor het doorwerken van deze module is het zelf opzoeken en op kwaliteit beoordelen van informatiebronnen op het internet.
- Laat de leerling vaak tussendoor nakijken om zelfbedachte en gevonden antwoorden te controleren.
- Hoofdstuk 7 is bedoeld ter verdieping voor de extra snelle en/of geïnteresseerde leerling en is niet meegenomen in onderstaande planning.

Les	Activiteit	Uitwerking
1	Introductie van de eindopdracht	Inleiding zelfstandig lezen, startopdracht in viertallen maken, 5min.-filmpje 'Hoeveel methaan kan de Aarde aan?', starten met het lezen en maken van Hoofdstuk 1.
2 3	Verwerking theoretische basis	Afronden Hoofdstuk 1 met het maken van een infographic en het vinden van online gasconcentraties. Doorwerken Hoofdstuk 2 inclusief het uitzoeken van de werking van een satelliet. Doorwerken Hoofdstuk 3.
Go / no go (opdracht 8 moet goed gekeurd worden door de docent)		
4	Verwerking theoretische basis	Doorwerken Hoofdstuk 3 en 4 inclusief video's, een artikel en het uitzoeken van de werking van een instrument om gasconcentraties te meten.
5	Verwerking theoretische basis	Doorwerken Hoofdstuk 5 met behulp van een video en twee experimenten.
Go - no go (opdracht 21 moet goed gekeurd worden door de docent)		
6	Verwerking theoretische basis	Introductie van Hoofdstuk 6 doornemen en video bekijken. De onderzoeksopdracht in Excel van Paragraaf 6.1 maken.
7	Verwerking theoretische basis	Paragraaf 6.2 tot en met 6.6 doornemen, inclusief link naar de site van het KNMI, het maken van een schets van een massa-spectrometer en het screenen een artikel.
8,9,10	Eindopdracht	Het methaanprobleem samenvatten en een voorstel van een oplossing presenteren. Daarbij gebruik makend van andere bronnen dan deze module, de plannen sterk onderbouwen, met een realistische begroting.
Presentatie van de eindopdracht		

Startopdracht

Maak in een groep van vier leerlingen een grote tekening over methaan op een A-3-vel. Woorden zijn toegestaan, maar probeer zoveel mogelijk je tekening te gebruiken om het te verduidelijken. Wat weten jullie al over methaan, wat vraag je je af? Denk aan wat je al eens gehoord hebt thuis, op tv, of op school bij aardrijkskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie... en weet je of er methaan in school is? Vraag eens rond! Gebruik verder lekker veel kleur, succes!

Hoofdstuk 1: Waarom kijken we naar methaan?

Opdracht 1 Video

Kijk nu eerst thuis of op school, alleen of met de klas, het filmpje van Tipping Point Ahead 'Hoeveel methaan kan de Aarde aan?'

De Aarde warmt op door de Zon. Vervolgens raakt de Aarde haar warmte weer kwijt door deze uit te stralen naar de ruimte. Deze stralen bevatten verschillende hoeveelheden energie. Lichtstralen die oorspronkelijk van de zon komen kunnen wij met het blote oog zien, maar er zijn nog veel meer verschillende stralen. Sommige gassen in onze atmosfeer zenden straling van bepaalde energieën weer naar de Aarde terug. Dit zijn onder andere de veelvoorkomende gassen zuurstof, ozon, waterdamp en koolstofdioxide. Zonder deze gassen zou het -18°C op Aarde zijn!

Alleen de stralen met golflengtes tussen ongeveer 8 en 13 μm kunnen van de Aarde ontsnappen. Deze stralen hebben een energie tussen de 0,16 en 0,10 eV, waarbij straling van grotere golflengten volgens natuurkundige wetten minder energie bevat. Helaas houdt methaan stralen tegen van rond de 8 μm . Mede hierdoor draagt ook methaan veel bij aan de opwarming van onze Aarde, het is zelfs de nummer twee in opwarming van de Aarde. Na koolstofdioxide en methaan is lachgas de nummer drie.

Opdracht 2 Infographic

Maak in een tweetal een infographic (een informatieve tekening met zo min mogelijk woorden) bij de bovenstaande tekst.

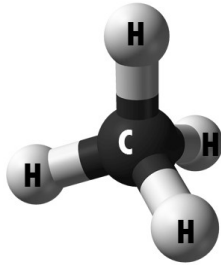
Opdracht 3

Noem minstens vijf gevolgen van het opwarmen van de Aarde (opzoeken mag). Leg elk gevolg in één zin uit.

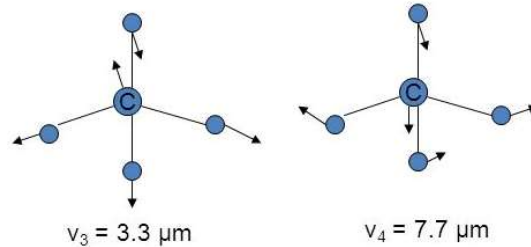
Elk molecuul absorbeert straling met verschillende golflengten. Bij elke golflengte hoort vervolgens weer een andere energiehoeveelheid. Met ons blote oog kunnen wij alleen straling waarnemen met golflengten in het golflengtebereik 'zichtbaar licht'. Welke straling een molecuul absorbeert, hangt af van zijn unieke molecuulstructuur (zie Figuur 1) en de daarbij horende vibraties en rotaties (zie Figuur 2).

Alleen voor 5^e en 6^e klas met NA en/of SK:

Door deze bewegingen verandert namelijk de locatie van het aangrijpingspunt van de positieve waterstofladingen ten opzichte van het aangrijpingspunt van de koolstoflading; er is een dipoolmoment dat afhangt van de bewegingen. Hierdoor hangt de eigenfrequentie van het molecuul af van vibraties en rotaties, en daarmee ook de golflengte en energie van straling welke het molecuul absorbeert.



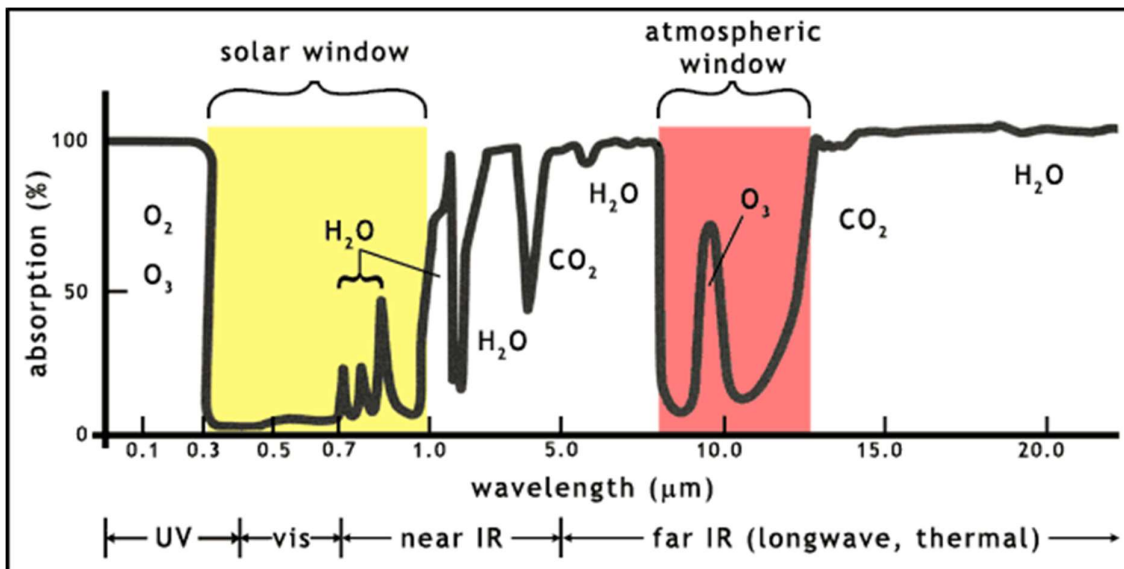
Figuur 1 *molecuulstructuur van methaan*
(bron: Gris Anik)



Figuur 2 *mogelijke vibratierichtingen en bijbehorende frequenties* (bron: Ivy Lee)

Een methaan molecuul (CH_4) absorbeert infrarode straling met de exacte golflengten $3.3 \mu\text{m}$ en $7.7 \mu\text{m}$. Laatstgenoemde golflengte zit aan de rand van het 'atmospheric window'. Dit is de warmtestraling van de Aarde die normaal kan ontsnappen en dus niet door de atmosfeer teruggezonden wordt (zie Figuur 3). Koolstofdioxide absorbeert vooral straling rond de $15 \mu\text{m}$. Doordat methaan de hoger-energetische straling terug zendt, oftewel de straling met meer energie en dus meer warmte, heeft methaan een sterker broeikas effect dan koolstofdioxide.

Wetenschappers hebben vastgesteld dat één molecuul methaan in de komende honderd jaar 28x zo veel warmte in de atmosfeer houdt als één molecuul koolstofdioxide. In wetenschappelijke taal: methaan heeft een 'global warming potential' (GWP) van 28 en koolstofdioxide een GWP van 1. Dit betekent dat ondanks het feit dat er 200x meer koolstofdioxidemoleculen dan methaanmoleculen in onze atmosfeer zitten, we de bijdrage van methaan aan het broeikas effect niet moeten onderschatten.



Figuur 3 *Absorptie (tegenhouden) van inkomende zonnestraling (solar window) en uitgaande aardstraling (atmospheric window) door zuurstof (O_2), ozon (O_3), waterdamp (H_2O) en koolstofdioxide (CO_2). (aangepast figuur van R.P. Turco en C. Sagan, 2002, p334)*

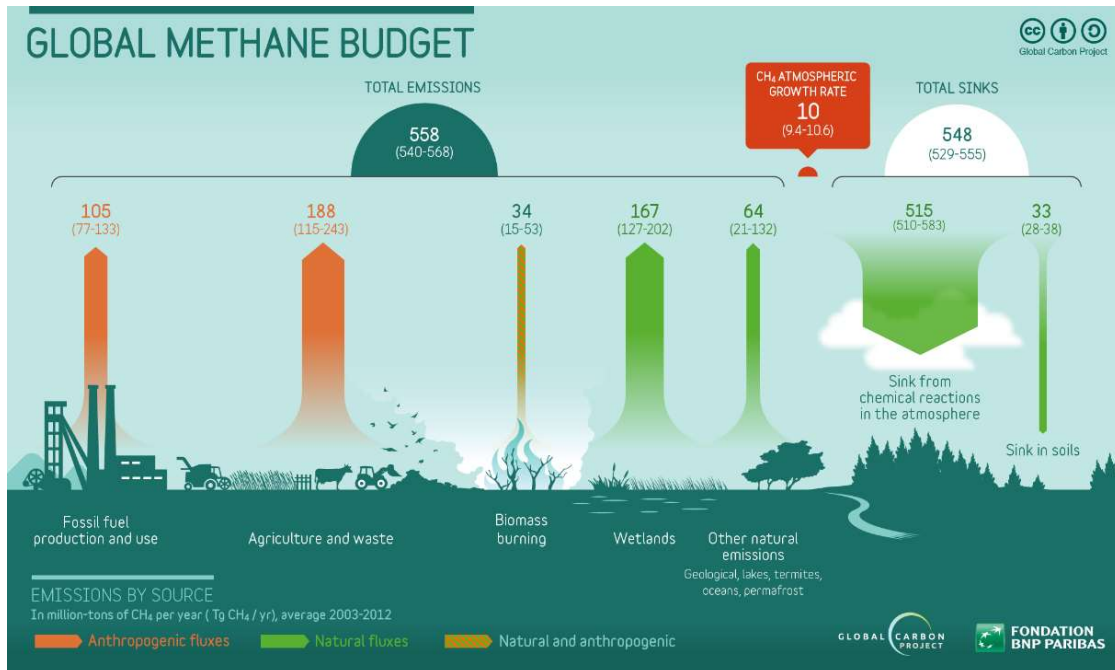
Opdracht 4 Internet

- Ondanks de hoge vulkanische activiteit gebruiken wetenschappers de broeikasgasconcentraties op Hawaii voor hun onderzoek, waarom is dit? Hint: bekijk in Google Maps de ligging van weerstation 'Mauna Loa'.
- Zoek de actuele concentraties koolstofdioxide (CO₂) en methaan in onze atmosfeer op. Klopt de genoemde verhouding van 200? Hint: <https://www.co2.earth/> en https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/.
- Wordt het zogenoemde 'atmospheric window', het rode deel in figuur 3, nauwer of breder door meer methaan in onze atmosfeer?
- Leg uit waarom methaan weinig bijdraagt aan de absorbtie van straling van 3,3 µm.

Alleen voor 5^e en 6^e klas met NA:

- Hoeveel energie bevat een door methaan uitgezonden foton met een golflengte van 7,7 µm?
- En een door CO₂ uitgezonden foton met een golflengte van 15 µm?
- Welk foton heeft meer energie? Hoeveel keer meer?

Je kunt je voorstellen dat een kleine verandering in methaanconcentratie in de lucht van grote invloed is op de opwarming van onze Aarde. Om in te schatten hoeveel atmosferisch methaan er de komende jaren bijkomt, bekijken we in deze module verschillende processen waarbij methaan vrijkomt of juist wordt vastgelegd. In Figuur 4 zie je alvast wat de belangrijkste bronnen en afvoer van methaan zijn, en of ze direct door menselijk handelen veroorzaakt worden (in rood) of niet (groen).



Figuur 4 Balans van methaan in de atmosfeer in miljoenen ton per jaar. Pijlen omhoog: uitstoot. Pijlen omlaag: opname en/of afbraak. Rood: door menselijk handelen. Groen: natuurlijk proces.

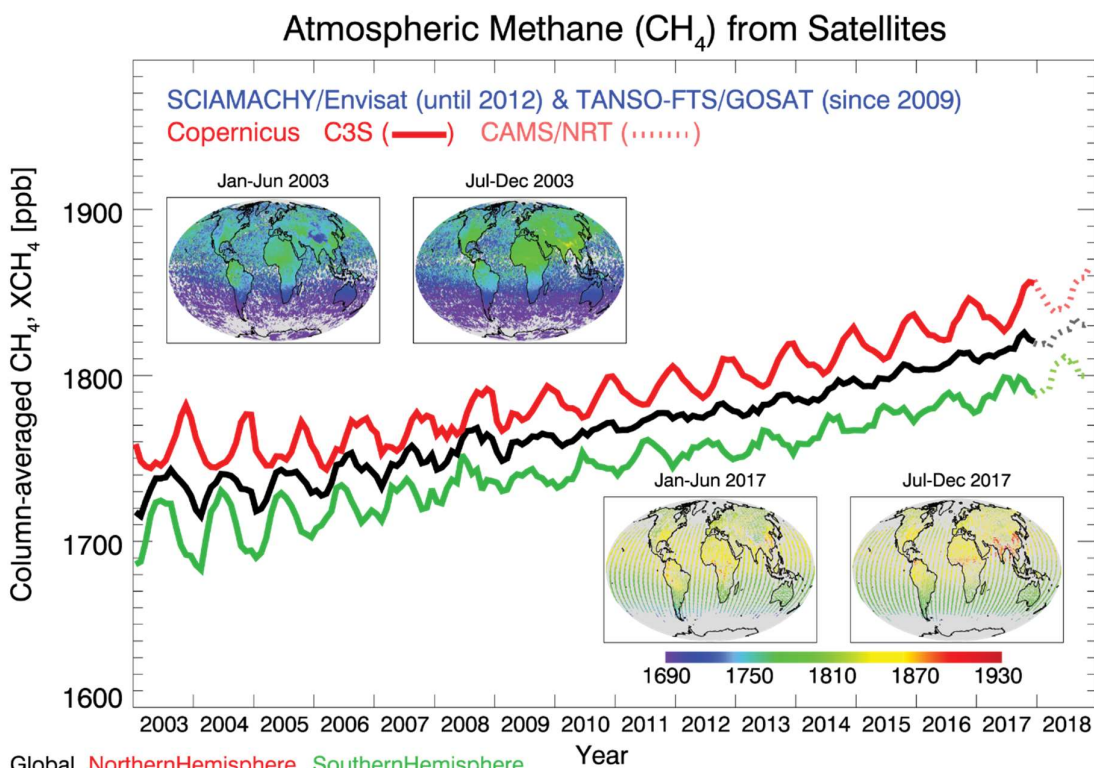
Opdracht 5

Leg uit, zijn de bronnen en afvoer in evenwicht volgens Figuur 4?

Hoofdstuk 2: Waar vinden we methaan?

Met behulp van de satellieten Envisat (Europees) en GOSAT (Japans) kunnen wetenschappers al een tijdje de hoeveelheid methaan in de atmosfeer overal op Aarde bepalen, zie Figuur 5. Helaas zijn deze bepalingen veel minder nauwkeurig dan metingen op Aarde zelf, maar ga maar eens na hoeveel meetinstrumenten je op Aarde moet installeren om een kaart van bijvoorbeeld methaanconcentraties of methaantransport van de hele wereld te maken!

Zie één van de resultaten van satellietbepalingen in onderstaand figuur.



Figuur 5 Methaanconcentraties in 'parts per billion' gedurende 15 jaar op het noordelijk halfrond (rood) en op het zuidelijk halfrond (groen). Kaart in het klein: methaanconcentraties in 2003 en in 2017, blauw: lage concentratie, rood: hoge concentratie, groen: daartussen.

Opdracht 6

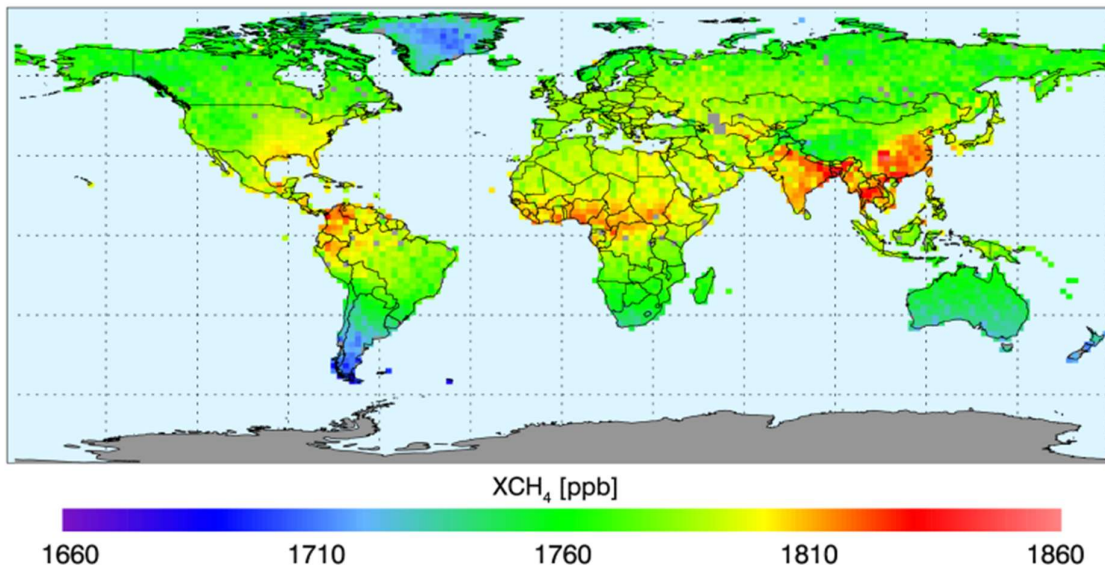
- Wat betekent ppb? Hoeveel is één ppb? Zoek dit eventueel op.
- Waarom liggen de concentraties op het zuidelijk halfrond (groen) lager?
- Vanaf welk jaar zie je de methaan concentratie op het noordelijk halfrond overduidelijk oplopen?
- Waardoor worden de fluctuaties binnen een jaar veroorzaakt?

Opdracht 7 Internet

Zoek iets op over de werking van satellieten en leg dit in eigen woorden uit aan (één van je) klasgenoten. Dit mag gaan over de lancering, hoe het kan dat de satelliet in een baan rond de Aarde blijft bewegen, wat een satelliet precies meet/observeert, hoe daaruit de methaanconcentraties te bepalen zijn, etc. (als je niets kunt vinden, zoek dan naar het instrument 'Tropomi')

Schrijf in een paar zinnen en/of tekeningen je uitleg op en geef aan wat je klasgenoot hiervan wel en niet begreep.

Zoals ook in onderstaand figuur te zien is, verschilt de methaan-concentratie niet alleen per jaar en per getijde, maar ook per werelddeel. Rijstteelt zorgt bijvoorbeeld voor veel methaanproductie. En met een alsmaar groeiende wereldbevolking moet er steeds meer eten geproduceerd worden.



Figuur 6 Gemodelleerde methaanconcentraties wereldwijd in 2010-2011, verwerkt door de European Space Agency en de universiteit Bremen.

Opdracht 8

Go/ No Go

Deze opdracht moet door je docent goedgekeurd worden, voordat je verder kunt.

- a. Welke gebieden produceren volgens bovenstaand figuur veel methaan? Gebruik eventueel een atlas (een kleur noemen is namelijk niet genoeg).
- b. Bedenk per locatie een oorzaak voor de vele methaanvorming en kijk deze na door verschillende 'processes' te bekijken op de website van het Amerikaanse instituut NOAA op <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/carbontracker-ch4/fluxmaps.php>
- c. Bedenk drie voorstellen om te voorkomen dat de methaanconcentratie de komende jaren verder stijgt. Het hoeft nog niet te bestaan; bedenk hoe het in de toekomst zal zijn!