

Tipping points door methaan

Van Groenland tot Groningen

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



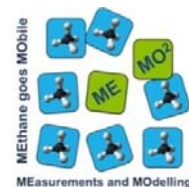
©

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
De 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: Waar komt al dat methaan vandaan?	14
Hoofdstuk 4: Hoeveel methaan hadden we vroeger?	17
Hoofdstuk 5: Microorganismen verzetten veel werk	20
Hoofdstuk 6: Meten aan methaan	22
Hoofdstuk 7 Extra onderwerpen.....	31
Afsluitende opdracht II: Onze toekomst met methaan	32
Beoordeling	33

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 	
Aandachtspunten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methaan als broeikasgas ▪ Vorming van methaan, op grote en kleine schaal ▪ Wetenschappers bezig met methaan
Denkvaardigheid (uit de gereviseerde taxonomie van Bloom)	<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
Begrippen	<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 9 moet goed gekeurd worden door de docent)		
4	Verwerking theoretische basis	Doorwerken Hoofdstuk 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 20 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 kunnen wij met het blote oog zien, maar er zijn nog veel meer verschillende stralen. Sommige gassen in onze atmosfeer kaatsen straling van bepaalde energieën weer naar de Aarde terug. Dit zijn onder andere de veelvoorkomende gassen zuurstof, ozon, waterdamp en koolstofdioxide.

Alleen de stralen met ongeveer 0,1eV aan energie kunnen de Aarde ontsnappen. Helaas zijn dit precies de stralen die door methaan tegen worden gehouden. 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 in opwarming van de Aarde.

Opdracht 2 Infographic

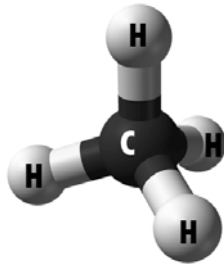
Maak in een tweetal een infographic (een informatieve tekening met zo min mogelijk woorden) bij de bovenstaande tekst.

Opdracht 3

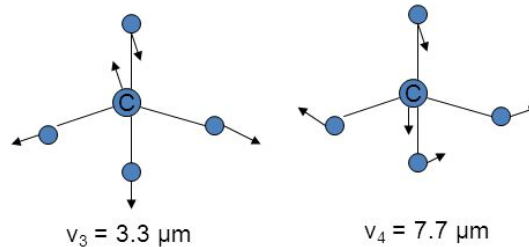
Noem minstens vijf gevolgen van het opwarmen van de Aarde (opzoeken mag).

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). 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.



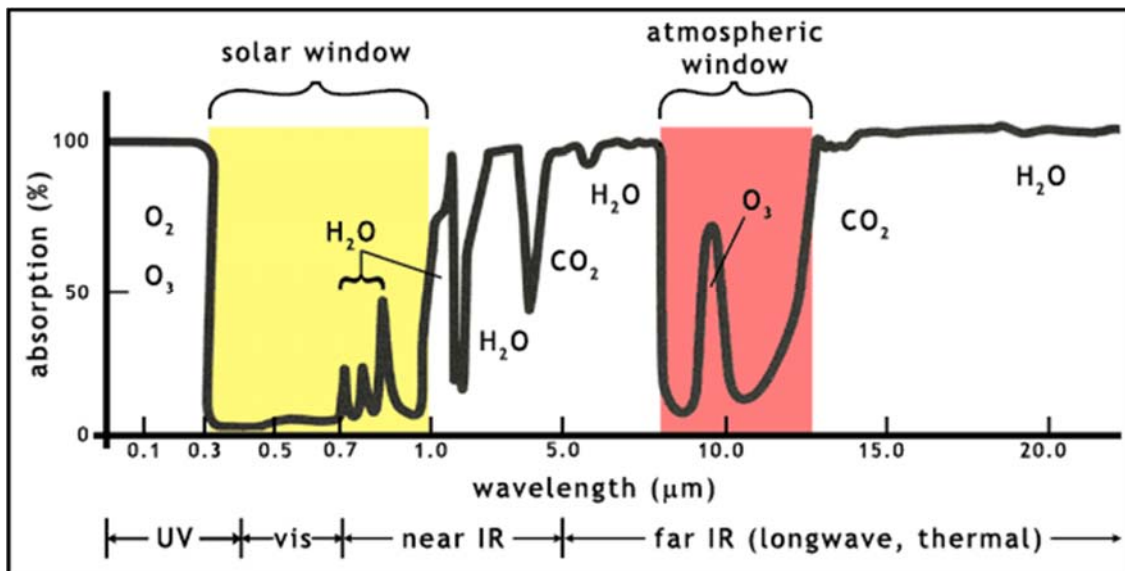
Figuur 1 molecuulstructuur van methaan
(bron: Gris Anik)



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 straling van de Aarde die normaal niet door de atmosfeer terug gekaatst wordt (zie Figuur 3). Doordat methaan de hoger-energetische straling weerkaatst, oftewel de straling met meer energie en dus meer warmte, heeft het een sterker broeikaseffect 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 broeikaseffect niet moeten onderschatten.



Figuur 3 Absorptie 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

- a. 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'.
- b. 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/.

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

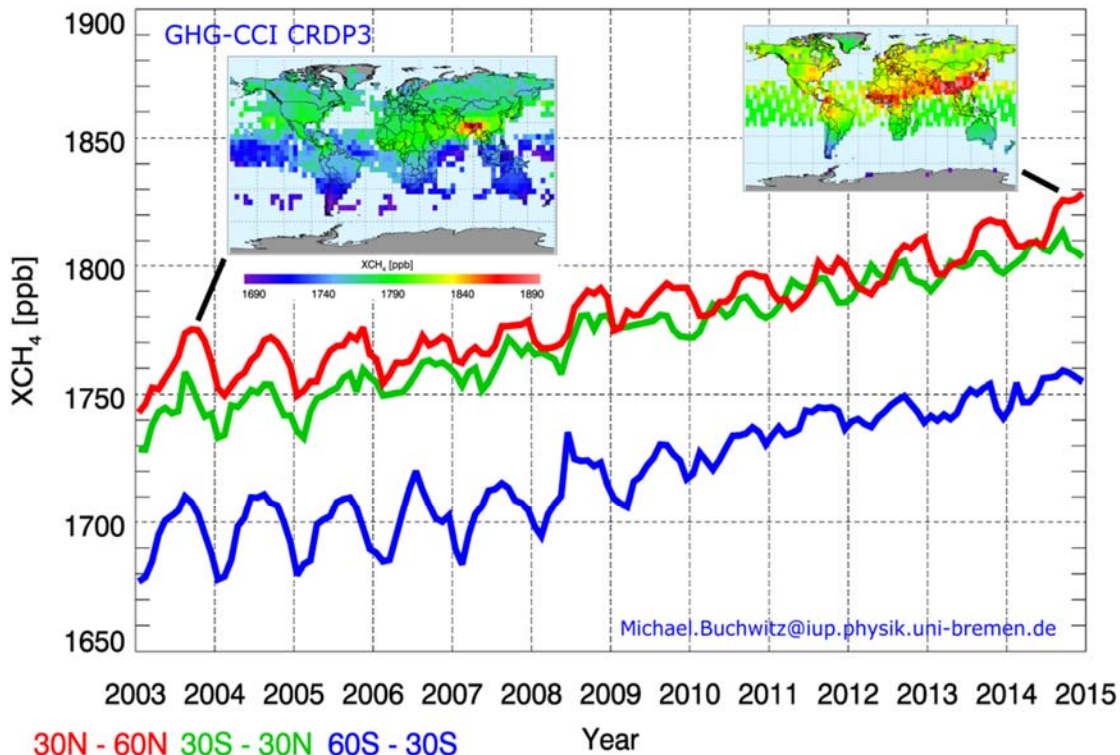
- c. Hoeveel energie bevat een door methaan uitgezonden foton met een golflengte van 3,3 µm?
- d. En een door CO₂ uitgezonden foton met een golflengte van 15 µm?
- e. Welk foton heeft meer energie? Hoeveel keer meer?

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.

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 4. 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 4 Methaanconcentraties in 'parts per billion' gedurende 12 jaar op het noordelijk halfrond (rood), rond de evenaar (groen) en op het zuidelijk halfrond (blauw). Kaart in het klein: methaanconcentraties in 2003 en in 2014, blauw: lage concentratie, rood: hoge concentratie, groen: daartussen.

Opdracht 5

- Wat betekent ppb? Hoeveel is één ppb? Zoek dit eventueel op.
- Waarom liggen de concentraties op het zuidelijk halfrond (blauw) lager?
- Vanaf welk jaar zie je de methaan concentratie overduidelijk oplopen?
- Waardoor worden de fluctuaties binnen een jaar veroorzaakt?
- Waardoor zijn deze fluctuaties van de groene lijn minder dan van de blauwe en rode lijn?

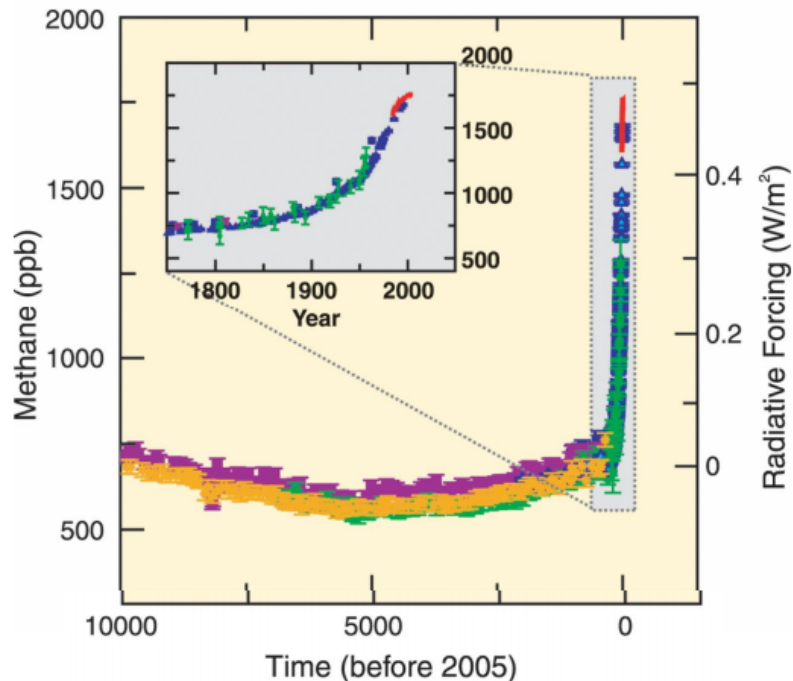
Opdracht 6 Internet

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.

Hoofdstuk 3: Waar komt al dat methaan vandaan?

Uit luchtbelletjes die zijn vastgelegd in ijsboorkernen kunnen we opmaken dat de methaanconcentratie tot het jaar 1800 rond de 750 ppb lag, en daarna enorm snel toenam, zie onderstaand figuur.



Figuur 5 Methaan concentratie gedurende de afgelopen 10.000 jaren, bepaald uit ijsboorkernen en later atmosferische metingen. Van: het IPCC-rapport uit 2007.

Opdracht 7

- Wat was er rond het jaar 1800 aan de hand op Aarde? Denk aan je geschiedenislessen.
- Waardoor nam de concentratie methaan toe rond 1800?

Maar hoe weet men eigenlijk hoe oud de methaanbelletjes in de ijsboorkern zijn? Er zijn verschillende manieren om een ijskern te dateren. Een veelgebruikte manier is datering met behulp van elektrische geleiding. Van een ijskern kan de elektrische geleiding worden gemeten. Daar waar de geleiding heel goed is zitten ionen (geladen atomen) in karakteristieke stoflagen. De stoflagen zijn door grote vulkaanuitbarstingen gedeponneerd. Van veel vulkaanuitbarstingen is een jaartal bekend, en dus ook van luchtbellens in de buurt van de bijbehorende stoflaag. Nadelen van deze dateringsmethode zijn dat het soms moeilijk is te reconstrueren welke piek bij welke vulkaan hoort, en dat de methode niet heel ver terug gaat in de tijd.



Figuur 6 Impressie van het boren naar ijs. (Foto: Ted Scambos, National Snow and Ice Data Center)

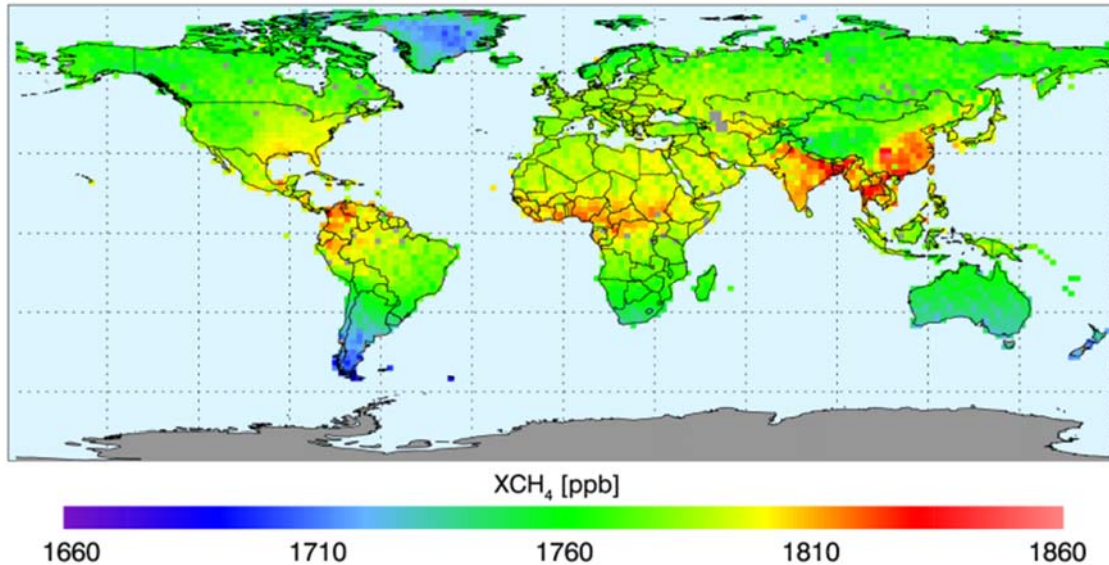
Een andere, eenvoudige, manier van dateren is het tellen van jaarlagen, analoog aan jaarringen van een boom. De zichtbare jaarlagen zijn een gevolg van de verschillende dichtheden van zomer en wintersneeuw, wat resulteert in een verschillende hoeveelheid en verdeling van de luchtbelletjes. Echter, de luchtbelletjes hebben een andere leeftijd dan het omringende ijs. Het duurt namelijk enige tijd voordat de luchtbelletjes compleet van de atmosfeer zijn afgesloten.

De diepte waarop de luchtbelletjes compleet worden afgesloten van de atmosfeer is bij de firn-ijs overgang, vaak enkele tientallen meters diep. Zolang de belletjes nog niet afgesloten zijn kan hun samenstelling veranderen door uitwisseling met de atmosfeer. In het binnenland van Antarctica kan dit verschil in leeftijd van ijs en lucht oplopen tot enkele duizenden jaren. De methode van dateren met behulp van jaarlagen, is dus niet heel nauwkeurig.

Opdracht 8

- L eg in eigen woorden uit wat firn is.
- Welke factoren bepalen hoe een ijslaag groeit over de tijd?
- Leg uit waarom het ijs van een boorkern ouder is dan het gas in de luchtbell en in diezelfde boorkern.
- Hoe beïnvloeden de factoren die je bij 'b' genoemd hebt het verschil in leeftijd tussen ijs en luchtbelletjes in dezelfde boorkern? Wanneer wordt het leeftijdsverschil groter?

Zoals 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 7 Gemodelleerde methaanconcentraties wereldwijd in 2010-2011, verwerkt door de European Space Agency en de universiteit Bremen.

Opdracht 9

Go/ No Go

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

- Welke gebieden produceren volgens bovenstaand figuur veel methaan? Gebruik eventueel een atlas (een kleur noemen is namelijk niet genoeg).
- 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!

Hoofdstuk 4: Hoeveel methaan hadden we vroeger?

Hoe kan het nu dat rijstvelden zoveel methaan produceren? En waar zien we dit nog meer terugkomen? We komen zo op het productieproces, maar daarvoor kijken we eerst even thuis, in Groningen, op de vuilnisbelt en in ons drinkwater.



Figuur 8 Oorspronkelijk is 'dit gas' geurloos, maar vanwege onze veiligheid is een geurstofje toegevoegd. Foto: Norasit Kaewsai

Opdracht 10 Internet

- Waar worden de huidige aardbevingen in Noord Groningen door veroorzaakt?
- Waar in je huis wordt methaan voor gebruikt? Noem twee voorbeelden.
- Hoe zou je je huis kunnen aanpassen om niet afhankelijk te zijn van dit 'methaan'?
- Bekijk deze kaart en ga na waarom vooral noord Groningen getroffen wordt door aardbevingen.

https://theodora.com/pipelines/europe_oil_gas_and_products_pipelines.html

Om de juiste steensoorten voor een gasveld boven elkaar te krijgen, is precies de goede opeenvolging van omstandigheden nodig. Onderop moet een laag oude plantenresten onder hoge druk en temperatuur worden omgezet in gas (of olie). Daarboven moet een steensoort komen te liggen waarin voldoende ruimte zit voor het ontstane gas, zoals zandsteen. En bovenop moet een slecht doorlaatbaar afsluitingsgesteente komen te liggen, zodat het gas niet kan ontsnappen.

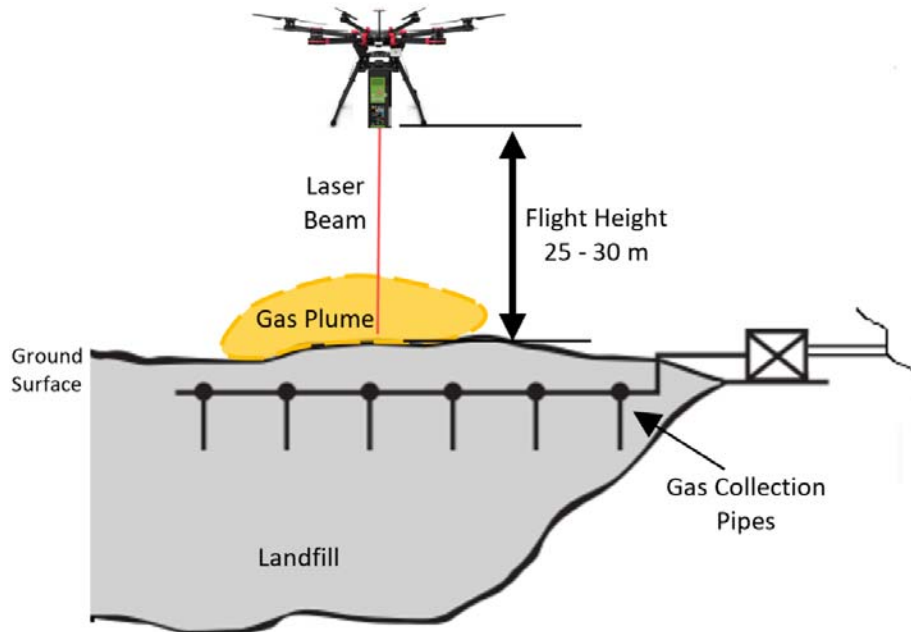
In de geschiedenis van Groningen is dit het geval. In het Carboon (300 miljoen jaar geleden) was Groningen afwisselend een moerasbos of ondiepe zee. Vervolgens werd Nederland een gortdroge woestijn en werd zand vanuit de hoger gelegen Ardennen naar noord Nederland geblazen. Daarna overstroomde het land en kwam weer droog te liggen, waarbij de verdampde zee een ondoorlaatbare zoutkorst achter liet. Deze zoutlaag bleef ondanks allerlei aardkorstbewegingen liggen in het gebied dat we nu Groningen noemen. Haal je het gas toch handmatig uit het zandsteen, dan zakken de holtes een beetje in en ontstaan er aardbevingen.

Om te bepalen waar veel methaan wordt geproduceerd wordt veel gebruik gemaakt van 'remote sensing'.

Opdracht 11

Wat is de letterlijke vertaling van 'remote sensing'? En wat zal er hier mee bedoeld worden?

Voorbeelden van remote sensing zijn metingen vanuit vliegtuigen, satellieten, luchtballonnen, schepen, en tegenwoordig ook metingen vanuit drones. Met behulp van meetinstrumenten die onder aan de drone bevestigd zijn, zie Figuur 9, kan bijvoorbeeld handmatig gecontroleerd worden of al het methaangas dat in een vuilnisbelt ontstaat wel afgevangen wordt, of dat er nog methaan ontsnapt.



Figuur 9 Voorbeeld van remote sensing boven een vuilnisbelt (landfill) (figuur 2 in het artikel 'Low-Altitude Aerial Methane Concentration Mapping' door B.J. Emran, 2017)

Opdracht 12

Vraag aan je docent of je deze opdracht mag maken.

Bedenk en schrijf op hoe dit meetinstrument met behulp van straling kan 'zien' of er veel van een bepaald gas boven de vuilnisbelt hangt of niet (blader eventueel terug naar hoofdstuk 1).

Opdracht 13 Video

Bekijk de 8-minuten durende TED-talk van Fred Krupp in 2018 over het plan van de Environmental Defense Fund (EDF, een milieubeschermende non-profitorganisatie).

- Wat is/was de EDF in 2021 van plan?
- Wat wil de EDF hiermee bereiken?
- Hoe is dit gunstig voor ons milieu/klimaat?



Figuur 10 Luchtfoto van de modderpoel die gevormd werd door de ondergrondse blow-out bij een gasboring (SLN-02) in 1965. Aan de rand van de krater zijn nog een aantal weggezakte vrachtwagens zichtbaar. (Foto: Streekeigen Sleen).

Opdracht 14 Artikel

Vraag aan je docent of zoek zelf dit artikel op: 'Gasveld in Drenthe lekt al 52 jaar methaan' van Nemo Kennislink. Lees dit artikel.

- Wat gebeurde er precies in 1965, en hoe kwam dat?
- Waardoor lekt er nu nog steeds methaan in het grondwater daar?
- Is dat lekken nu gevaarlijk? Waarom wel/niet?

Opdracht 15 Video

- Bekijk het filmpje 'methane gas in tap water' en/of het filmpje 'Light Your Water On Fire from Gas Drilling'.
- Herformuleer, indien nodig, je antwoorden bij de vorige opdracht over of en waarom methaan lekkages gevaarlijk zijn.

Hoofdstuk 5: Micro-organismen verzetten veel werk

Gestorven planten en dieren worden in de natuur afgebroken door allerlei organismen (organisme betekent 'levend wezen'). Een groot deel van deze afbraak kun je je voorstellen als omgekeerde fotosynthese, waarvoor dus zuurstof nodig is, en waarbij de suikers uiteindelijk weer worden omgezet naar CO_2 en H_2O .

Miljoenen jaren geleden werden door veranderingen in het klimaat rottende dieren en planten plotseling afgesloten van zuurstof door dikke lagen woestijnzand en zeeklei. Als er geen zuurstof is slaan micro-organismen, namelijk speciale bacteriën en archaea (bacterie-achtigen), hun slag; ze eten de plantensuikers en dierlijke vetten en eiwitten en breken dat af tot onder andere CO_2 en methaan! Als deze gassen vervolgens worden afgesloten door keiharde bodemlagen zoals in Groningen dan blijven ze bewaard. Tegenwoordig worden deze zogenoemde 'fossiele brandstoffen' uit de bodem geboord, in een veel rapper tempo dan dat de gassen gevormd werden.

De speciale bacteriën en archaea die alleen zuurstofloos werken worden overigens ook toegepast in rioolwaterzuiveringsinstallaties en composteerbedrijven om zo poep en gft om te zetten in biogas, waar je vervolgens weer heerlijke spaghetti op kunt koken!

Opdracht 16

- a) Noem vier vormen van fossiele brandstof.
- b) Waarom veroorzaakt het biogas dat ontstaat in composteerbedrijven geen milieu- en/of klimaatprobleem?

Vliegtuigmaatschappijen bieden bij aankoop van je ticket aan om, tegen betaling, bomen te planten ter compensatie van de CO_2 -uitstoot van je vlucht.

- c) Lossen ze hiermee het milieuprobleem door fossiele brandstoffen op?

Opdracht 17 Video

Bekijk het bewijs voor het ontstaan van zeer energierijk gas als plantenresten onder ijs zuurstofloos afbreken. Zoek daarvoor in YouTube op de termen 'exploding under-ice methane gas' en bekijk het filmpje dat je met deze termen vindt.

Opdracht 18 Experiment

Leuker dan een filmpje kijken is zelf doen. Vraag aan je docent of je verzorger thuis of je onderstaande proef (in tweetallen) mag doen.

Materiaal:

klein blokje verse gist

buisje met suiker

plastic flesje met kleine dop

lauwwarm water

ballon

Werkwijze:

Doe de suiker en het gist met het warme water in het flesje.

Schud goed, met dop!

Intussen maakt de ander de ballon soepel door deze een aantal keren op te blazen en weer leeg te laten lopen.

Haal na goed schudden de dop van het flesje en sluit de lege ballon aan op het flesje.

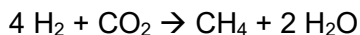
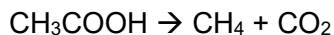
Schrijf op wat je ziet, en waardoor dit volgens jou komt.

Opdracht 19 Experiment

Laat je docent een ballon vullen met aardgas, methaan dus, en kijk wat er gebeurt als je docent het gas laat ontsnappen en aansteekt.

Bovengenoemde speciale archaea, die afgebroken plantenresten zonder atmosferische zuurstof omzetten naar methaan, waren een van de eerste bacteriën op Aarde; methanogenen. Ze ontstonden zo'n 3.800.000.000 jaar geleden en zijn specialisten in fermentatie. Hoe warmer, hoe beter ze het materiaal afbreken.

Bij de afbraak van polysachariden (soorten suikers) uit organisch materiaal ontstaan eerst azijnzuur, vetzuren, waterstof en alcoholen die vervolgens verder gefermenteerd worden tot CO₂ en methaan volgens:



Opdracht 20

Go/ No Go

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

- Noem twee voorbeelden van bewuste gisting om een voedingsmiddel te produceren.
- Bedenk nu zelf waarom rijstvelden een grote bron voor methaan zijn.
- Bedenk nu zelf waarom in de tropen veel methaan gevormd wordt.
- Wat verandert er in de plantenafbraak als een stuk veen opdroogt?
- Wat is een bijkomend nadeel van dit droogleggen?

Hoofdstuk 6: Meten aan methaan

Opdracht 21 Video

Bekijk het filmpje op YouTube 'Methane Bubbles to the Surface of an Arctic Lake'

In bovengenoemd filmpje zie je het continue ontsnappen van methaangas. Dit gas is op de bodem van het meer geproduceerd door archaea en bacteriën, die daar door dooi ineens plantenmateriaal kunnen afbreken. Het is te verwachten dat dit fenomeen steeds vaker te zien zal zijn met de toekomstige temperatuurstijging. Wetenschappers weten dit echter nog niet zeker. Er zijn namelijk ook bacteriën en archaea die het vrijgekomen methaan juist weer zonder atmosferische zuurstof kunnen omzetten in CO₂. Als deze CO₂ dan vervolgens door bijvoorbeeld veenmos gebruikt wordt om te groeien, ontstaan er helemaal geen luchtbelletjes! Ook is toename niet gegarandeerd omdat door een neerslagtekort de zuurstofloze laag met methaanproductie veel dunner zal worden.

Zo'n 50% van alle in de bodem opgeslagen koolstof zit in permafrost; grond die het hele jaar door bevroren blijft (1330-1580 Pg koolstof (C)). Je kunt je wel voorstellen dat een kleine temperatuurverandering grote gevolgen kan hebben voor de samenstelling en de activiteit van bacteriën in de gebieden met permafrost.

Opdracht 22

- a) Hoeveel kg is 1500 Pg?
- b) Waar op Aarde zal de meeste permafrost voorkomen?

Om duidelijkheid te krijgen over wat er met de methaanproductie gebeurt als de temperatuur op Aarde stijgt, werken wetenschappers over de hele wereld samen. Ze hebben een aantal zeer uitgebreide computermodellen gemaakt, waarmee kan worden nagebootst wat er met onze Aarde gebeurt als bijvoorbeeld de temperatuur verandert. In deze modellen wordt gerekend aan allerlei processen in de bodem, het water en in de atmosfeer. Hoe beter die processen worden beschreven in het model, hoe betrouwbaarder de uitkomsten van het model.

Om bijvoorbeeld de methaanproductie en -afbraak in de bodem te kunnen beschrijven in het model, moeten we exact weten hoe deze productie afhangt van de plaats op Aarde, van water, zuurstof, temperatuur, zuurtegraad etc. Omdat de omstandigheden overal weer anders zijn, moet de methaanproductie in permafrost op heel veel plaatsen gemeten worden, zoals bijvoorbeeld in Alaska, Canada, Siberië, Rusland.

Helaas krijgen wetenschappers niet zo vaak toestemming om in het Russische Siberië metingen te verrichten, maar in Alaska wordt gelukkig zeer veel aan methaan gemeten, en ook in Canada worden gegevens verzameld over het gedrag

van bacteriën in permafrost. Het transport van methaan in de lucht wordt daar op verschillende plaatsen gemeten. Zo ook in de buurt van andere methaanbronnen zoals smeltwater onder gletsjers, koeien, vuilnis en gasboringen. Hieronder volgen enkele voorbeelden van wetenschappers en hun onderzoek.

6.1 Michiel aan de Radboud Universiteit in Nijmegen

Michiel heeft methanogene archaea verzameld, en onderzoekt wat er met een microbiële gemeenschap gebeurt als bepaalde stoffen worden toegevoegd, weggehaald, of als de temperatuur wordt verhoogd. Met behulp van een hele dure machine, de zogenaamde 'Sequencer' kan hij uit DNA-reeksen bepalen welke en hoeveel bacteriën en archaea er vóór zijn proef zijn, en hoeveel er van elk soort ná de proef aanwezig zijn.



Figuur 11 Michiel en collega's in overleg in het lab van de Radboud Universiteit Nijmegen

In één van zijn proeven heeft hij onderzocht of de groei van zijn microben bij een temperatuurverhoging afhangt van de stof acetaat. Acetaat komt namelijk vrij bij de afbraak van organisch materiaal, en als blijkt dat dit gevormde acetaat de micro-organismen veel actiever maakt, dan breekt het materiaal steeds sneller af met steeds meer gasvorming en mogelijk een kantelpunt als gevolg. Tijdens de proef heeft hij bijna een jaar lang, dag in dag uit (dus ook in het weekend!), de groei en het voedsel van de bacteriën en archaea in de gaten gehouden.

Opdracht 23 Excel

Vraag aan je docent of je deze opdracht mag maken.

Gebruik Excel om de bijgevoegde data van Michiel zijn onderzoek grafisch weer te geven;

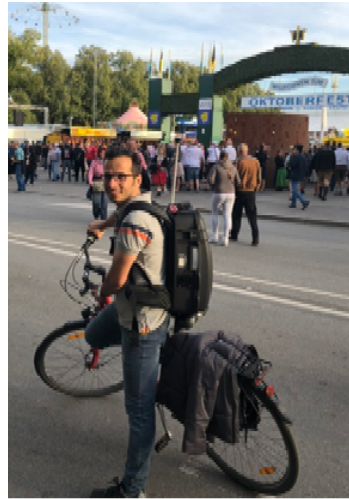
- open het bestand 'methane_measurements_for_students'
- Reken de uitkomsten van de gaschromatograaf om naar methaanpercentages met behulp van de calibratiegegevens
- Doe dit voor de 'controle' data, én voor de data 'met acetaat'
- Maak van de 'controle' data een grafiek van de methaanconcentraties tegen de tijd
- Voeg in die grafiek de data 'met acetaat' toe
- Label de twee verschillende datareeksen met een passende naam, zodat je ziet welke datapunten bij welke microbenbehandeling hoort
- Denk aan de juiste grootheden en eenheden bij de assen!

Gebruik je grafiek om onderstaande vragen te beantwoorden.

- a) Wat is het nut van de datareeks 'controle 4 °C' als je eigenlijk wilt kijken naar de activiteit van de microben die extra acetaat krijgen?
- b) Wat zegt de richtingscoëfficiënt oftewel de helling en steilheid van de grafiek?
- c) Wat zie je na zo'n 75 dagen gebeuren met de verschillende gemeenschappen?
- d) Wat zie je na zo'n 150 dagen gebeuren met de verschillende gemeenschappen?
- e) Wat concludeer je uit dit onderzoek van Michiel?
- f) Wat zou je conclusie kunnen betekenen voor het wereldmethaanprobleem?

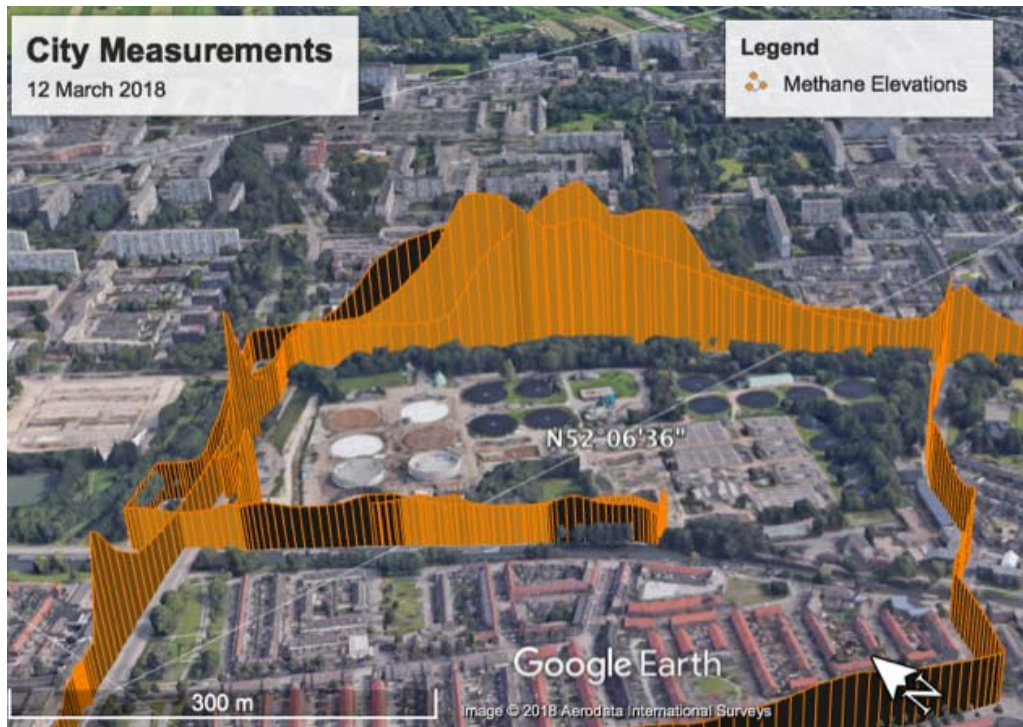
6.2 Hossein aan de Universiteit Utrecht

Hossein heeft met collega's methaanconcentraties gemeten in veel steden zoals Londen, Utrecht en München (zie Figuur 12 en Figuur 13). Dit deed hij met een Picarro; een meetinstrument dat je vrij eenvoudig kunt meenemen om op veel locaties te kunnen meten.



Figuur 12 Methaanconcentraties meten in Utrecht en Hamburg (foto's: Hossein Maazallahi)

Het meten van gasconcentraties gebeurt vaak met behulp van een lichtstraal. Zoals eerder aan bod kwam, absorbeert elk molecuul een andere stralingsfrequentie. Door stralen door het gas te sturen die passen bij het molecuul methaan, en te meten hoeveel daarvan niet door het gas heen komt, kun je supersnel de concentratie methaan bepalen.



Figuur 13 Methaan concentraties in Utrecht op 12 Maart 2018; hoe hoger de bruine piek, hoe hoger de gemeten concentratie daar (illustratie: Hossein Maazallahi).

Opdracht 24 Internet

- Gasconcentraties worden op Hawaii gemeten. Waarom was dat ook al weer?
- Wat voor installatie herken je in Figuur 13?
- Wat valt je op aan de metingen in dit stadsdeel van Utrecht?
- Wat zal de windrichting die dag geweest zijn en waarom?
- Controleer je antwoord met behulp van de site van het KNMI; zoek op hun website naar 'Nederland nu', dan 'Klimatologie', en vervolgens 'metingen en waarnemingen'. Weerstation 'de Bilt' ligt vlakbij Utrecht.
Hints: let op de oriëntatie van bovenstaande kaart, en waar komt de wind vandaan bij een 'westenwind'?

6.3 Malika aan de Universiteit Utrecht

Malika kan aan een methaanmolecuul zien waar het vandaan komt! Zoals je vanuit scheikunde en natuurkunde weet, bestaat een atoom uit protonen, neutronen en elektronen. Het aantal protonen geeft aan om welk element het gaat.

Opdracht 25

- a) Hoeveel elektronen heeft een waterstofatoom?
- b) Hoeveel neutronen heeft een waterstofatoom?
- c) Welke atoomkernonderdelen zorgen voornamelijk voor de massa? En welke voor de lading?

Er bestaan isotopen van waterstof; deuterium en tritium, met respectievelijk één en twee neutronen, waardoor het massagetal twee en drie wordt. Sommige isotopen zijn stabiel, terwijl andere radioactief zijn en door het uitzenden van deeltjes vervallen naar een meer stabiele vorm. De meeste elementen hebben één stabiele isotoop die in de natuur het meest voorkomt, dan soms nog een stabiele isotoop en één of meerdere radioactieve isotopen.

Sommige micro-organismen zijn selectief in welke vorm van zuurstof ze bijvoorbeeld gebruiken; O-16 of juist liever O-18?

Zo kan methaan, CH₄, op verschillende manieren voorkomen; met C-12 of C-13 en met H-1 of H-3. Methaan afkomstig van aardolie of de vuilnisbelt heeft vaak meer van het isotoop C-13 dan natuurlijke methaangasbronnen zoals koeien.

Malika meet daarom niet alleen de methaanconcentratie, maar ook hoeveel van elk isotoop aanwezig is. Dit is niet eenvoudig. Ze moet hiervoor buisjes lucht verzamelen, en in Duitsland kan ze deze laten analyseren met behulp van spectroscopen. In metingen aan de kust in Groningen kan ze terugvinden of de boorplatformen in de Noordzee gas lekken, of dat het gemeten methaan van het vee uit de buurt afkomstig is. Ook doet ze metingen op het dak van een universiteit in Polen in de buurt van een kolenmijn, om te kijken hoeveel methaan uit deze kolenmijnen ontsnapt. Omdat ze het nemen van luchtmonsters op afstand wil besturen, zijn ze twee weken bezig geweest met de installatie van allerlei apparatuur op het dak!

Opdracht 26 Schets

Beschrijf, met behulp van een schets, hoe een massaspectrometer kan tellen hoeveel van elk van de verschillende methaanmoleculen in een luchtmonster aanwezig is. Je mag daarbij boeken en internet gebruiken.

Maak je schets en uitleg geschikt voor een leerling die deze opdracht niet uitvoert, deze leerling moet zonder mondelinge toelichting van jou begrijpen hoe een massaspectrometer werkt.

6.4 Anja aan de Wageningen Universiteit

In de toendra van Alaska, vlakbij waar de hoofdrolspeler van het boek en de film 'Into the Wild' uiteindelijk sterft, onderzoeken wetenschappers van de universiteit in Arizona op verschillende manieren methaanprocessen. Niet alleen met hoge torens waarin op verschillende hoogten gasanalyse-apparaten hangen zoals de eerdergenoemde Picarro, maar ook met zogeheten chamber-metingen. Bij chamber metingen zetten onderzoekers een afgesloten doorzichtige en geventileerde bak bovenop de bodem, om daarin te meten welke gassen daar in concentratie toe- of afnemen.

Opdracht 27 Artikel

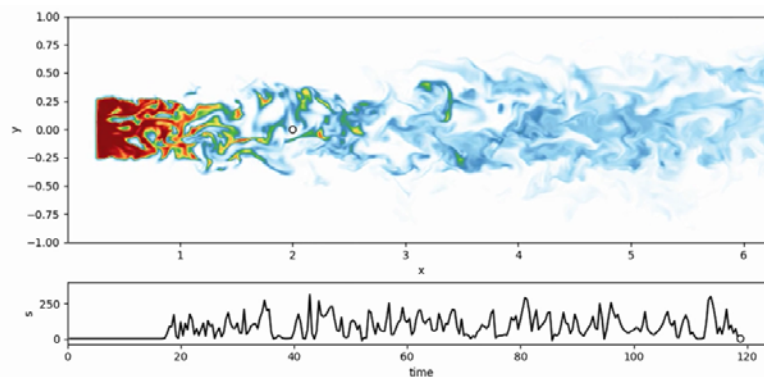
Zoek het methaanonderzoek 'understanding-high-latitude-methane-in-a-warming-climate' van de EOS (Earth & Space Science News)

Koppel de foto's van het artikel aan bovengenoemde meetmethoden.

Ook vliegen wetenschappers met op afstand bestuurbare vliegtuigjes en drones met speciale instrumenten aan boord over het landoppervlak om zo te meten aan methaantransport. Want zoals uit de vorige onderzoeken bleek, verschilt de methaanconcentratie soms zeer sterk. Je wilt dus zeker weten dat de gemeten methaanconcentraties en -transporten representatief zijn voor het hele gebied.

Vliegtuigmetingen, torenmetingen en chamber-metingen worden met elkaar vergeleken om plaatselijke verschillen in methaanproductie goed in onze modellen te kunnen beschrijven.

Behalve lokale verschillen in productie, is ook de verspreiding van het methaan na productie van belang. Anja beschrijft in haar modellen zeer nauwkeurig hoe deze verspreiding afhankelijk is van de weersomstandigheden.



Figuur 14 *Verspreiding van methaan vanaf locatie $x=0, y=0$ in de x -richting. Onder: methaanconcentratie op locatie $x=2, y=0$ vanaf het tijdstip $t=0$.*

Opdracht 28

In het voorbeeld in Figuur 14 zien we dat de methaanconcentratie op één locatie sterk in de tijd varieert. Hoe zou je uit deze modelgegevens toch één waarde voor de methaanconcentratie op die locatie kunnen geven?

6.5 Ove aan de Vrije Universiteit in Amsterdam

In het najaar van 2016 maakte Ove voor zijn onderzoek wel een hele spannende reis. Hij boorde met een collega grondmonsters uit de bodem van ‘thermokarst-meren’ in de Siberische Noordpool. Deze meren liggen in een gebied dat het hele jaar rond bevroren is; permafrost genoemd. De meren worden gevoed door smeltwater van elders, en hebben doordat ze zeer diep zijn een temperatuur net boven het vriespunt. De grond rondom deze ‘thermokarst-meren’ smelt daardoor ook een beetje.

Ove is benieuwd naar de micro-organismen in de ontdooide bodem van deze meren. Breken ze veel plantenmateriaal af? En komt daar veel methaan bij vrij? Wat als er in de toekomst veel meer van die meren ontstaan? Hij bezocht een zeer groot en klimaatgevoelig gebied, dat bij kleine veranderingen grote gevolgen voor ons klimaat kan veroorzaken.



Figuur 15: Ove aan het werk in Siberië in November 2016 (foto: Ove Meisel)

Opdracht 29

Aan welk kantelpunt zou het vrijkomen van methaan door het smelten van de meren uit Ove's veldwerkgebied kunnen bijdragen?

6.6 Koeienboeren

Microbiologen van de universiteit Wageningen doen onderzoek naar de magen van koeien. Nu hoor ik je denken; wat heeft dat met methaan te maken? Het antwoord: een heleboel! 25% van de methaanuitstoot door menselijk handelen komt namelijk door de veeteelt. Koeien zijn heel goed in het afbreken van plantenmateriaal tot suikers, dankzij de micro-organismen in hun maag. Daar komt zoals je eerder geleerd hebt het gas methaan bij vrij, dat vooral via de bek de koe verlaat.



Figuur 16 Koe waarvan 'maaggas' in een speciale ballon wordt opgeslagen (bron: Inta Informa)

Door deze afbraak in de koeienmaag zeer nauwkeurig te bekijken hopen onderzoekers te ontdekken hoe ze deze processen kunnen beïnvloeden. Ze kijken daarbij ook naar het vormen van de micro-organismen na geboorte van het kalf en naar de verschillen tussen koeienrassen. Wetenschappers hopen dat met betaalbare aanpassingen minder methaan gevormd wordt terwijl de koe nog evenveel melk produceert of vlees aanmaakt.

Opdracht 30

Geruchten gaan over oregano of zeewier als extra voer voor koeien, zodat koeien minder methaan 'uitstoten'.

- a) Zoek op het internet op of wetenschappers dit intussen hebben bewezen, of dat ze iets anders gevonden hebben. Wees kritisch; zijn er wetenschappers aan het woord of is het een populair geschreven artikel, of gaat het zelfs om fake news? (Hint; in het Engels zoeken levert vaak veel meer zoekresultaten op, of zoek op het project 'Koeien en Kansen')
- b) Hoe zouden deze producten de methaanproductie in de maag beïnvloeden?

Hoofdstuk 7 Extra onderwerpen

Opdracht 31 'Buitenaards leven'

Zoek uit en schrijf kort op waarom het ontdekken van methaan op een planeet een teken van leven kan zijn.

Opdracht 32 'Radicalen'

Zoek uit en schrijf kort op of en hoe methaan weer kan worden omgezet in het minder heftige broeikasgas CO₂.

Opdracht 33 Video 'Permafrost'

Kijk naar het 20 minuten durende "W5: What happens when the permafrost thaws?", over een lokale bevolking in Canada waar ze nu al enorm last hebben van het ontdooien van permafrost.

Extra/Alternatief: lees het artikel 'Siberië zakt weg door smelten permafrost'.

Opdracht 34 Blogs van wetenschappers

Lees blogs van methaan-wetenschappers op <https://h2020-memo2.eu/category/blog/> en op <http://tippingpointahead.nl/blogs/>

Opdracht 35 Uitjes met of zonder de klas

Bezoek laboratoria op bijvoorbeeld de open dag van Universiteit Utrecht, de Vrije Universiteit Amsterdam of de Wageningen Universiteit, of vraag de vakgroep microbiologie van de Radboud Universiteit in Nijmegen voor een rondleiding in het lab om bacteriën en archaea aan het werk zien. Of leer meer over micro-organismen in Micropia bij dierentuin Artis in Amsterdam, zie Figuur 17.



Figuur 17 Micropia, in dierentuin Artis in Amsterdam

Afsluitende opdracht II: Onze toekomst met methaan

De eindopdracht van deze module luidt als volgt:

Vat het methaanprobleem samen. Presenteer je oplossingsplan op papier en/of voor een publiek; wat zou jij willen doen aan het methaanprobleem als je €100.000.000 zou krijgen?

Wat zou je nog willen uitzoeken? Wat zou je aanschaffen? Wat wil je veranderen? Hoe zorg je daarvoor? Zijn er methaanbronnen bij jou in de buurt? Wat vind je belangrijk? Hoeveel kost dat ongeveer? Maak een overzicht van al je verwachte kosten. En zorg voor een sterke onderbouwing. Waarom wil je juist daar geld aan besteden? Welke opties zijn er nog meer, en waarom is deze de beste?

Beoordeling

Beoordelings model	Tipping Points, Methaan	Namen:					
Onderdeel	Te denken valt aan	score					
Het proces richting het eindproduct	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zijn de opdrachten gemaakt? ▪ Is er geconcentreerd gewerkt? ▪ Is er goed samengewerkt? ▪ In welke mate werd de module zelfstandig doorlopen? 	4	8	16	24	32	40
Infographic	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Is er een data-analyse aan voorafgegaan? ▪ Is de infographic overzichtelijk? ▪ Wordt er in de juiste mate gebruik gemaakt van tekst en cijfers? ▪ Is de infographic visueel aantrekkelijk? ▪ Wordt er op een juiste manier gebruik gemaakt van kaart /dwarsdoorsnede/grafiek 	2	4	8	12	16	20
Eindproduct	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Is het methaanprobleem bondig en correct samengevat? ▪ Is de oplossing duidelijk gepresenteerd, geschikt voor de doelgroep? ▪ Bevat het voorstel een uitgebreide en realistische begroting? ▪ Worden de voorstellen volledig onderbouwd? ▪ Is er voldoende research gedaan? (uit de modulen en uit andere bronnen) 	4	8	16	24	32	40
TOTAALSCORE							
Feedback Beoordelaar/ docent	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
Feedback lIn / peer-beoordelaar	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
Leerpunten van de leerling zelf	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						

