

# Data van het TROPOMI-instrument gebruiken om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren



**Hanna van Duivenvoorde, Otto Geerlings, Pepijn van Wees  
en Stefan Mos**

**15 Juni 2022, Amsterdam**

**5V Technasium, team 2**



# Informatie

## Auteurs

Hanna van Duivenvoorde (16 jaar), klas 5V4, waarnemend leider

Otto Geerlings (16 jaar), klas 5V3, teamleider

Pepijn van Wees (17 jaar), klas 5V3

Stefan Mos (16 jaar), klas 5V3

## Relevante contactgegevens

G. van Soelen, Docent O&O  
gvansoelen@calandlyceum.nl

D. Lembekker, Docent O&O  
dlembekker@calandlyceum.nl

Dr. R. Voors, Functional Specialist Remote Sensing  
R.Voors@airbusDS.nl

## De opdrachtgever

De opdrachtgever voor dit project is Airbus Defence & Space. Ons contactpersoon binnen Airbus is Dr. Robert Voors. Hij werkte onder andere aan de detectoren van het TROPOMI-instrument en werkt nu aan het verwerken van de data die wordt teruggestuurd van verschillende satellieten, waaronder de Sentinel 5P-satelliet, en het onderzoeken van toekomstige missies.

## Data

Dit project loopt van 12 januari 2022 tot 21 juni 2022.

# Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport “Data van het TROPOMI-instrument gebruiken om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren”.

Het onderzoek voor dit onderzoeksverslag naar het TROPOMI-instrument is uitgevoerd bij het vak O&O. Dit eindrapport is geschreven als afsluiting voor het project dat wij hebben mogen doen voor Airbus Defence & Space. Van januari 2022 tot en met juni 2022 zijn wij bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van het onderzoeksverslag.

Samen in een team van vier en met de opdrachtgever, Dr. Robert Voors, hebben wij de onderzoeksvraag voor dit onderzoeksverslag bedacht. Door het doen van dit onderzoek hebben wij een poging gedaan tot het zo goed mogelijk beantwoorden van deze onderzoeksvraag.

Tijdens dit onderzoeksproject stonden onze begeleiders vanuit onze school, Gerard van Soelen en Dion Lembekker, altijd voor ons klaar. Ook de opdrachtgever, Dr. Robert Voors, heeft ons geholpen en steeds onze vragen beantwoord waardoor wij verder konden met ons onderzoek. Wij willen graag onze begeleiders en de opdrachtgever bedanken voor de fijne begeleiding en hun ondersteuning tijdens dit project.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Hanna van Duivenvoorde  
Otto Geerlings  
Stefan Mos  
Pepijn van Wees

Amsterdam, 15 juni 2022

## **Samenvatting**

We hebben van Airbus Defence and Space de opdracht gekregen om te onderzoeken hoe de data van het TROPOMI-instrument gebruikt kan worden om de methaanuitstoot in Nederland te meten. Om deze vraag te kunnen beantwoorden hebben we de data van het TROPOMI-instrument over de methaanuitstoot gekregen. In dit eindrapport hebben we alles beschreven wat we dit project hebben gedaan, van hoe we het hebben aangepakt tot wat we hebben bereikt en van onze hypothesen tot onze conclusies. Ook hebben we uitgebreid beschreven hoe we de data van het TROPOMI-instrument hebben geanalyseerd en verwerkt tot ons uiteindelijke resultaat.

# Inhoudsopgave

<b>Informatie</b>	<b>2</b>
Auteurs	2
Relevante contactgegevens	2
De opdrachtgever	2
Data	2
<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inhoudsopgave</b>	<b>5</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>8</b>
<b>2. Opdrachtgever</b>	<b>9</b>
<b>3. Opdracht</b>	<b>10</b>
§3.0.1 Logboek	10
§3.0.2 Groepssite	10
§3.0.3 Planning	10
§3.1 Vooronderzoek	10
§3.2 Onderzoek afbakenen	11
§3.3 Onderzoek voorbereiden	11
§3.4 Onderzoek uitvoeren	11
§3.5 Afronding opdracht	11
<b>4. Onderzoeksvraag</b>	<b>12</b>
§4.1 Hoofdvraag	12
§4.2 Deelvragen	12
<b>5. Hypothesen</b>	<b>13</b>
§5.1 Hypothese	13
§5.2 Deelhypothesen	13
§5.2.1 Deelvraag 1	13
§5.2.2 Deelvraag 2	13
§5.2.3 Deelvraag 3	14
<b>6. Voorbereiding</b>	<b>15</b>
§6.1 Logboek	15
§6.2 Groepssite	15
§6.3 Planning	15

<b>7. Vooronderzoek</b>	<b>16</b>
§7.1 Ontstaan van methaan	16
§7.1.1 Veeteelt	16
§7.1.2 Moerassen	17
§7.1.3 Fossiele brandstoffen	17
§7.2 Methaanuitstoot in Nederland	17
§7.3 Invloed van het klimaat	17
§7.4 Slecht voor het milieu	17
§7.5 Nuttig gebruik	18
§7.6 Het TROPOMI-instrument	19
§7.7 Werking van het TROPOMI-instrument	20
§7.8 Impact van TROPOMI op de mens	21
<b>8. Onderzoek afbakenen</b>	<b>22</b>
§8.1 Data	22
§8.2 Stof	22
§8.3 Tijd	22
§8.4 Gebied	23
§8.5 Bron	23
<b>9. Onderzoek voorbereiden</b>	<b>24</b>
§9.1 Soort onderzoek	24
§9.2 Dataverzameling	24
§9.3 Data Omschrijving	24
§9.4 Data-analyse	24
§9.5 Werkplan	25
§9.5.1 Data verzamelen	25
§9.5.2 Programma	25
§9.5.2.1 Bibliotheken importeren	25
§9.5.2.2 Definieer constanten en variabelen	25
§9.5.2.3 Initialiseer het excel-document	25
§9.5.2.4 Open de dataset en krijg de losse onderdelen	25
§9.5.2.5 Neem het goede deel van de data	26
§9.5.2.6 Zet de data in een betere volgorde	26
§9.5.2.7 Analyseer elke dag	26
§9.5.2.8 Excel-document opslaan	26
§9.5.3 Excel	26
§9.5.4 Grafieken	26

<b>10. Resultaten</b>	<b>27</b>
§10.1 Aantal dagen tussen twee metingen	27
§10.2 Percentage punten waar een meting is gedaan	29
§10.3 Verschil tussen gemiddelde aantal punten van het gebied en het aantal gemeten punten	31
§10.4 Laagste, hoogste en gemiddelde meting	33
§10.5 Verschil tussen laagste en gemiddelde meting	35
§10.6 Verschil tussen hoogste en gemiddelde meting	37
§10.7 Verschil tussen hoogste en laagste meting	39
<b>11. Conclusie</b>	<b>41</b>
§11.1 Hoofdvraag	41
§11.2 Deelvragen	41
§11.2.1 Deelvraag 1	41
§11.2.2 Deelvraag 2	42
§11.2.3 Deelvraag 3	43
<b>12. Discussie</b>	<b>44</b>
§12.1 Ontbrekende data	44
§12.2 Nauwkeurigheid van het programma	44
§12.3 Nauwkeurigheid van het TROPOMI-instrument	44
§12.4 Mogelijke vervolgonderzoeken	45
§12.4.1 Meer databronnen	45
§12.4.2 Meer stoffen	45
§12.4.3 Meer gebieden	45
§12.4.4 Langere periode	45
<b>13. Literatuurlijst</b>	<b>46</b>
<b>14. Bijlagen</b>	<b>48</b>
§14.1 Planning	48
§14.2 Logboek	50
§14.3 Python-code	56
§14.4 Meetgebieden	63

# 1. Inleiding

Methaan ( $\text{CH}_4$ ) is samen met andere broeikasgassen als koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) en lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) een grote oorzaak van de opwarming van de aarde. Om de herkomst en groei van deze broeikasgassen te bepalen heeft ESA in samenwerking met Airbus Defence & Space een reeks satellieten gebouwd die het afgelopen decennium de luchtkwaliteit in kaart hebben gebracht. Onze opdracht gaat over de Sentinel 5P-satelliet met aan boord het TROPOMI-instrument die verschillende gassen in de atmosfeer kan detecteren. Met behulp van deze satellieten hopen wetenschappers deze broeikasgassen in kaart te kunnen brengen (ESA, z.d.). Hoewel het een korte levensduur heeft, is methaan wel een heel sterk broeikasgas en daarom is het belangrijk om de oorzaken en beweging van methaan in kaart te brengen zodat er een oplossing kan worden gevonden voor al het overtollige methaan. (EPA, 2022)

Als hoofdvraag voor dit project hebben we gekozen voor de vraag: "Hoe kan de data van het TROPOMI-instrument worden gebruikt om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren?"

Om onze hoofdvraag te helpen beantwoorden hebben we ook nog een aantal deelvragen opgesteld. Onze eerste deelvraag is de vraag: "Welke methaanbronnen stoten de meeste methaan uit in Nederland?"

Onze tweede deelvraag die we hebben opgesteld is de vraag: "Wat is er te doen om de uitstoot van methaan in Nederland in de toekomst te verminderen?"

De derde en laatste deelvraag die we hebben bedacht is de vraag: "Op welke manieren is het instrument te verbeteren zodat deze beter methaan kan detecteren?"

Deze vragen hebben we in dit project beantwoord. Hoe we deze vragen hebben aangepakt en opgelost hebben we uitgebreid in dit eindverslag beschreven.



## 2. Opdrachtgever

Onze opdrachtgever is Airbus Defence and Space. Zij werken elke dag aan de grenzen van technologie in één van de meest uitdagende industrieën ter wereld, namelijk de ruimtevaart. Airbus haar satelliet instrumenten behoren tot de beste ter wereld. Die maken missies mogelijk die essentieel zijn voor ons dagelijks leven op aarde. Airbus Defence and Space Nederland levert essentiële bijdrage aan de internationale ruimtevaartindustrie op de huidige operationele gebieden van zonnepanelen, Launching Structures, instrumenten en andere systemen.

Ons contactpersoon is Dr Robert Voors. Hij is een Remote sensing Specialist bij Airbus Defence and Space. Meneer Voors doet onderzoek in lucht- en ruimtevaarttechniek, optical engineering en astrofysica. Voor het TROPOMI was hij als technisch adviseur verbonden aan de detectiesystemen en het testen van verschillende instrumenteigenschappen. Nu werkt hij vooral aan het analyseren van data die terugkomt vanuit missies zoals TROPOMI en het onderzoek doen naar nieuwe missies.



*Figuur 1: Dr. Robert Voors*

## 3. Opdracht

De opdracht die wij voor Airbus Defence & Space hebben gedaan is het onderzoeken hoe de data van het TROPOMI-instrument kan worden gebruikt om methaanbronnen in Nederland te detecteren. Dit is uitgewerkt tot een onderzoeksopdracht met een hoofdvraag en drie deelvragen. De aanpak is uitgeschreven in een stappenplan van 5 deliverables en drie voorbereidende deliverables.

### §3.0.1 Logboek

Tijdens dit project hebben wij een logboek bijgehouden. In dit logboek staat wie wanneer waaraan heeft gewerkt. Hierdoor kunnen wij terugkijken op het project en zien wanneer er aanpassingen zijn gedaan aan verschillende onderdelen.

### §3.0.2 Groepssite

Voor dit project is ook een groepssite gemaakt. Op deze site zijn de voortgang van het project en de deliverables van het project te zien. Daarnaast staat er op de groepssite alle informatie die niet of deels in het eindrapport zijn voorgekomen, zoals de tabellen waarvan de grafieken zijn gemaakt bij resultaten.

### §3.0.3 Planning

Hier maakten wij een duidelijke planning waarin staat wie op welk moment aan welke deliverable werkt. Er zijn ook dagen zonder les, deadlines en contactmomenten met de opdrachtgever meegenomen in de planning. Het plan van aanpak werd opgeleverd op woensdag 16 maart 2022. Het eindverslag wordt opgeleverd op woensdag 21 juni 2022.

Deliverable	Verantwoordelijke	Streefdeadline
Planning	Otto	18 februari 2022
1: vooronderzoek	Pepijn	14 maart 2022
2: onderzoek afbakenen	Stefan	16 maart 2022
3: onderzoek voorbereiden	Stefan	21 maart 2022
4: onderzoek uitvoeren	Hanna	25 mei 2022
5: afronding opdracht	Otto	21 juni 2022

## §3.1 Vooronderzoek

Tijdens het vooronderzoek hebben wij minstens 8 vragen gesteld over verschillende soorten methaan en gerelateerde onderwerpen. Wij beschreven in een document welke soorten methaan het meeste voorkomen in Nederland, waar die stoffen vandaan komen, wat de gevolgen van deze stoffen zijn en wat eventueel nuttige toepassingen van deze stoffen kunnen zijn. Deze deliverable hoort bij de stappen 1 en 2 van de onderzoekscyclus.

## **§3.2 Onderzoek afbakenen**

Daarna schrijven wij een onderzoeksopzet. Hierin maken wij ook duidelijk naar welke aspecten zal worden gekeken tijdens het onderzoek. Dit verwerken wij dan in een overzichtelijk document. Wij kijken hier ook naar welke bron(nen) wij gaan gebruiken en hoe wij deze gaan analyseren. Het afbakenen van het onderzoek is deel van stap 3 van de onderzoeksproces

## **§3.3 Onderzoek voorbereiden**

Hier hebben wij het onderzoek voorbereid. Wij hebben een uitgebreid stap-voor-stap werkplan geschreven. Hierin staat hoe wij het onderzoek van plan waren uit te voeren. We beschreven onder andere welke gegevens wij van plan waren te gebruiken, hoe deze verwerkt moesten worden en op welke manier we dit vervolgens wilden opleveren. Deze deliverable hoort bij stap 3 van de onderzoeksproces.

## **§3.4 Onderzoek uitvoeren**

Hier hebben wij het onderzoek uitgevoerd aan de hand van het werkplan. We gaven antwoorden op alle hoofd- en deelvragen en hebben alle bevindingen verwerkt in een onderzoeksrapport. Er is in een document duidelijk beschreven wat de antwoorden op de hoofd- en deelvragen zijn. Het uitvoeren van het onderzoek is deel van stap 4 van de onderzoeksproces.

## **§3.5 Afronding opdracht**

Als afronding van de opdracht hebben wij voor de opdrachtgever een eindrapport geschreven. Hierin staan de antwoorden op de onderzoeksvragen en hoe wij tot deze conclusies zijn gekomen. Dit document leest u nu.

## 4. Onderzoeksvraag

Voor een groot onderzoeksproject is het belangrijk dat er verschillende onderzoeksvragen zijn, deze zijn nodig om het project overzichtelijk te maken en te houden. Van deze onderzoeksvragen is er één de hoofdvraag, en de rest zijn de deelvragen.

### §4.1 Hoofdvraag

De hoofdvraag voor dit project was: “Hoe kan de data van het TROPOMI-instrument worden gebruikt om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren?”

### §4.2 Deelvragen

Voor dit project hebben we ook meerdere deelvragen opgesteld. Deze deelvragen staan hieronder geformuleerd.

1. Welke methaanbronnen stoten de meeste methaan uit in Nederland?
2. Wat is er te doen om de uitstoot van methaan in Nederland in de toekomst te verminderen?
3. Op welke manieren is het instrument te verbeteren zodat deze beter methaan kan detecteren?

## 5. Hypothesen

De hypothese is een verwachting uitkomst voor je hoofd en deelvragen die van te voren worden opgesteld. Het is belangrijk om een hypothese op te stellen voor de onderzoeksvragen omdat het er voor zorgt dat er een begin en een richting is voor het onderzoek. Het is later in het onderzoek natuurlijk altijd nog mogelijk om af te wijken van de richting van de hypothese.

### §5.1 Hypothese

Onze hoofdvraag is: “Hoe kan de data van het TROPOMI-instrument worden gebruikt om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren?” Wij verwachten dat de data van het TROPOMI-instrument gebruikt kan worden om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren door in de data van het TROPOMI op zoek te gaan naar plaatsen waar veel methaan wordt uitgestoten. Vervolgens kan er dan worden gekeken naar mogelijke methaanbronnen in dat gebied.

### §5.2 Deelhypothesen

We hebben ook hypothesen opgesteld voor onze deelvragen. Het is belangrijk dat er onderscheid wordt gemaakt tussen de hoofdvraag en de deelvragen. Dit zorgt er namelijk voor dat er wel meerdere dingen kunnen onderzocht maar het voorkomt dat het overzicht wordt verloren. De hypothesen voor onze deelvragen staan hieronder.

#### §5.2.1 Deelvraag 1

Onze eerste deelvraag was: “Welke methaanbronnen stoten de meeste methaan uit in Nederland?” Wij verwachten dat de grootste uitstoot bron van methaan in Nederland de veeteelt is. Dit denken wij omdat Nederland relatief veel vee heeft in vergelijking met andere landen (KVG, 2020). Bovendien ontstaat er in vergelijking met andere industrieën veel methaan in de veeteelt (Eurostat, z.d.).

#### §5.2.2 Deelvraag 2

Onze tweede deelvraag was: “Wat is er te doen om de uitstoot van methaan in Nederland in de toekomst te verminderen?” Wij verwachten dat de beste manier om de methaanuitstoot in Nederland in de toekomst te verminderen is door de uitstoot in de veeteelt aan te pakken. Dit kan door grote maatregelen te nemen zoals het inkrimpen van de veestapel, maar het kan ook door efficiënter met het methaan om te gaan. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld door methaan op te vangen of het voor iets nuttigs te gebruiken.

### **§5.2.3 Deelvraag 3**

Onze derde deelvraag was: “Op welke manieren is het instrument te verbeteren zodat deze beter methaan kan detecteren?” Wij verwachten dat het TROPOMI-instrument moeite heeft met het meten van methaan in de atmosfeer omdat er iets fout gaat bij het detecteren van de golflengte die gebruikt wordt bij het detecteren van methaan. We vermoeden dat dit komt doordat er tussen de methaanmoleculen en de satelliet iets gebeurt met de golven waardoor ze terug worden gekaatst richting de aarde of waardoor de golflengte verandert wordt waardoor hij hem niet meer kan detecteren.

## 6. Voorbereiding

Voordat we echt aan het project konden beginnen hebben we drie voorbereidende deliverables gemaakt. Het logboek en de groepssite houden we het hele project bij. Het hebben van een planning helpt ons met het uitvoeren van het project en ervoor zorgen dat alles op tijd af is.

### §6.1 Logboek

Voor de eerste voorbereidende deliverable houden wij een logboek bij. In dit logboek staat wie wanneer waaraan heeft gewerkt. Hierdoor kunnen wij terugkijken op het project en zien wanneer er aanpassingen zijn gedaan aan verschillende onderdelen. Het logboek is te zien in bijlage 2.

### §6.2 Groepssite

Op de groepssite staan alle deliverables die we dit project hebben gemaakt. Deze site hebben we tijdens het project bijgehouden. De website is te bezoeken via de onderstaande link: <https://sites.google.com/view/groepswebsite-keuzeproject-2/>

### §6.3 Planning

In deze voorbereidende deliverable hebben wij een planning gemaakt. Deze planning is te vinden in de bijlage 1. Een korte versie met de streefdeadlines en de echte datum waarop de is hieronder te zien.

<b>Deliverable</b>	<b>Verantwoordelijke</b>	<b>Streefdeadline</b>	<b>Werkelijke einddatum</b>
Planning	Otto	18 februari 2022	18 februari 2022
1: vooronderzoek	Pepijn	14 maart 2022	14 maart 2022
2: onderzoek afbakenen	Stefan	16 maart 2022	14 maart 2022
3: onderzoek voorbereiden	Stefan	21 maart 2022	18 maart 2022
4: onderzoek uitvoeren	Hanna	25 mei 2022	16 mei 2022
5: afronding opdracht	Otto	21 juni 2022	14 juni 2022

## 7. Vooronderzoek

Methaan is de eenvoudigste en kleinste koolwaterstof en behoort tot de groep der alkanen. Het bezit een tetraëdrische moleculaire geometrie, oftewel het centrale atoom, C-atomen, wordt omringt door 4 atomen, H-atomen. Ook is het een apolair molecuul en zijn de C-H-bindingen niet makkelijk te polariseren.

### §7.1 Ontstaan van methaan

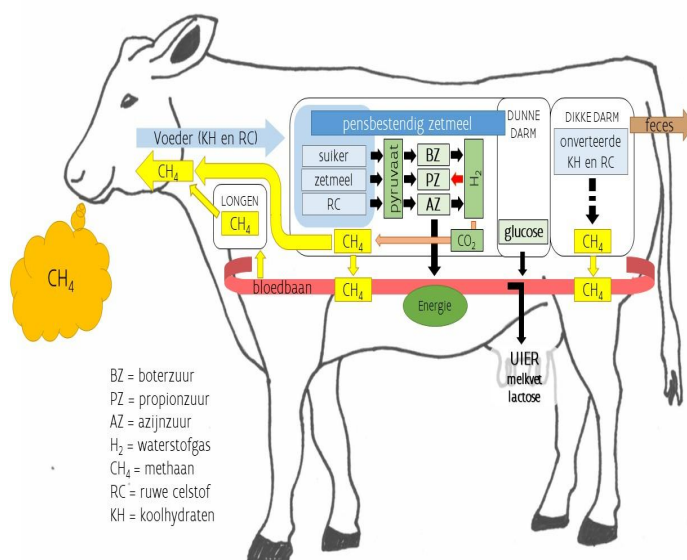
Methaan ontstaat onder andere bij de afbraak van organische stoffen door bacteriën onder anaerobe (zonder zuurstof) omstandigheden. Dit komt veelal in moerasbossen voor. Ook door onder andere de afbraak van dode plantenwortels in zuurstofarme grond ontstaat methaan. Er ontstaat ook methaan bij bosbranden door verhitting van organische stoffen. Een andere belangrijke bron van het stijgende methaangehalte is de rijstteelt. Dit komt doordat er zich methaan producerende bacteriën bevinden in de ondergelopen bodems van de rijstvelden.

#### §7.1.1 Veeteelt

De belangrijkste bron van het stijgende methaangehalte zijn de rundveehouderijen. De belangrijkste bron van methaanuitstoot in Nederland zijn ook de rundveehouderijen.

Per dag stoot een koe iets minder dan 400 gram methaan uit. Per jaar stoot een gemiddelde melkkoe in Nederland dan dus ongeveer 125 kilo methaan uit. In Nederland zijn er ongeveer 4 miljoen koeien. Als je dus even snel rekent is de jaarlijkse methaanuitstoot door koeien in Nederland dus 500 miljoen kilo methaan.

Maar de vraag is hoe methaan ontstaat door een koe. Koeien hebben 4 magen. Koeien eten voedsel maar kauwen niet. In plaats van dat ze kauwen slikken ze het in één keer door. Het komt dan in als eerst hun grootste maag, de pens, terecht. In de pens zitten miljarden Micro-organismen die het voer omzetten in bruikbare nutriënten voor de koe, maar die bacteriën zorgen ook voor het ontstaan van methaangas. Dit komt dan vrij via de bek of de neusgaten van de koe. Dit gebeurt ook in de vierde maag van een koe maar in plaats van dat hij het dan uit boert komt het methaangas dan vrij door middel van een scheet of ontlasting. Dit gebeurt alleen minder vaak dan dat hij (het uit) boert dus het zijn vooral de boeren van de koeien die veel methaangas naar buiten brengen.



Figuur 2: omzet processen van voedsel naar methaan binnen in een koe



Volgens deskundige rundveevoeding Jan Dijkstra is er één manier om de menukaart aan te passen die zorgt voor een vermindering van methaan en ammoniak. Zo is volgens hem snijmaïs laag in eiwit. Het levert zetmeel dat gedeeltelijk de pens passeert (dus minder methaan) en in de dunne darm wordt omgezet in glucose, energie voor de koe.

### **§7.1.2 Moerassen**

In de natuur komt ook veel methaanuitstoot voor, vooral in natte gebieden zoals moerassen en veen en wordt daarom ook wel 'moerasgas' genoemd. Dit gebeurt veel in het buitenland. Zoals tropisch moerasland bij de Amazone, Nijl en Congorivier; de toendra in Rusland en moerassen van mos in Canada. Moerassen stoten ongeveer 200 miljoen ton methaan uit per jaar.

### **§7.1.3 Fossiele brandstoffen**

Volgens sommige onderzoekers is de productie van aardgas over de hele wereld nog steeds de belangrijkste oorzaak van de stijging van de methaanuitstoot. Tot op zekere hoogte komt methaan vrij bij elke winning van fossiele brandstoffen: steenkool, olie of gas. In 2018 bracht NASA een rapport uit dat aantoonde dat fossiele brandstoffen verantwoordelijk zijn voor twee derde van de toename van methaan in de atmosfeer.

## **§7.2 Methaanuitstoot in Nederland**

Volgens cijfers van de WUR (Wageningen University & Research) is 70 procent van alle methaan die wordt geproduceerd in Nederland afkomstig uit de veehouderij. De overige uitstoot komt van afvalverwerking en gaslekken.

## **§7.3 Invloed van het klimaat**

Door de hoeveel uitstoot die steeds groter wordt veranderd onder andere ook het klimaat. Het wordt steeds warmer op aarde en dit heeft weer invloed op de hoeveelheid methaanuitstoot. Zo zorgt de opwarming van de aarde ervoor dat de permafrost ontdooit, maar permafrost is een belangrijk reservoir van broeikasgassen als CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas. Deze gassen liggen al duizenden jaren opgeslagen in de toendra, en komen door het ontdooien ervan vrij. Vervolgens verspreiden deze broeikasgassen zich over de atmosfeer en versterken het broeikaseffect en daarmee de mondiale opwarming.

## **§7.4 Slecht voor het milieu**

Methaan is een heel sterk broeikasgas. Doordat de uitstoot van methaan toeneemt is er een toename van methaan in de atmosfeer. Dit leidt dus tot een toename van het broeikaseffect van de atmosfeer. Dit is schadelijk voor het milieu. Het zorgt voor de opwarming van de aarde. En stijging van temperatuur kan leiden tot het ontdooien van de permafrost. Dit zou dan weer leiden tot het vrijkomen van grote hoeveelheden methaan, en een nog verdere toename van het versterkt broeikaseffect.

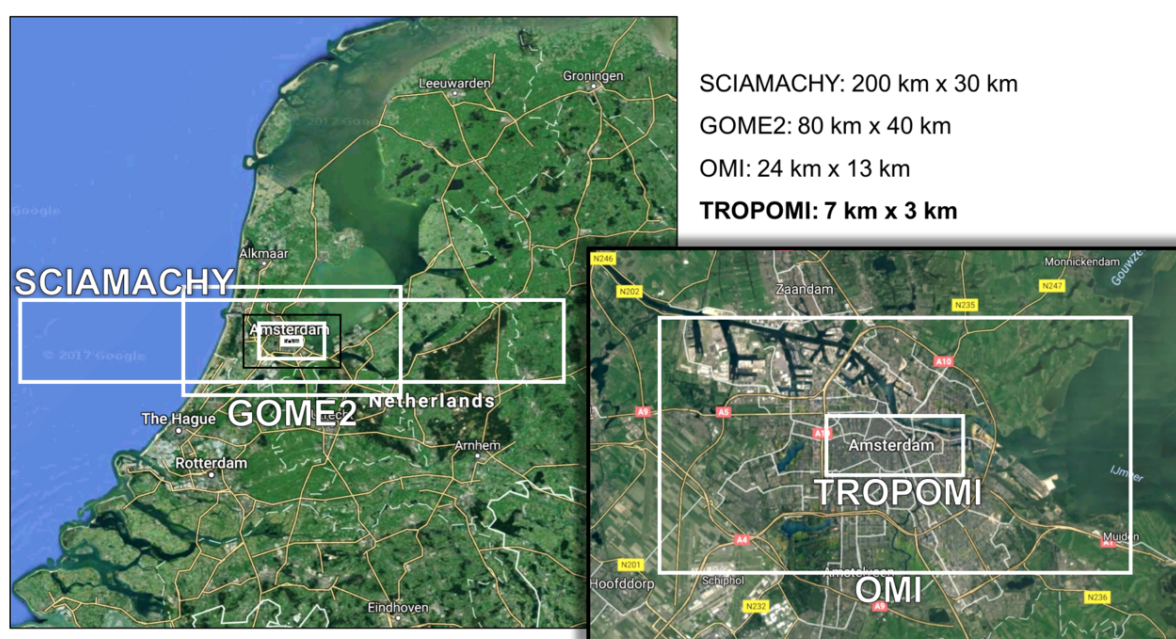
## §7.5 Nuttig gebruik

Tot nu toe is er geen direct toepasbare chemie bekend die methaan rechtstreeks kan omzetten in waardevolle chemicaliën. Dat komt door de bouw van het molecuul. Methaan is namelijk apolair, waardoor de C-H-bindingen niet gemakkelijk te polariseren zijn. Ook heeft het zowel een hoog ionisatiepotentiaal, dit is de elektrische potentiaal die nodig is om een vrij atoom in een vacuüm een elektron te doen verliezen.

Methaan is wel een belangrijke bron van waterstof en sommige organische chemicaliën. Methaan reageert bij hoge temperaturen om koolmonoxide en waterstof op te leveren. De waterstof wordt gebruikt bij de vervaardiging van ammoniak voor meststoffen en explosieven. Andere chemicaliën die zijn afgeleid van methaan zijn onder meer methanol, chloroform, tetrachloorkoolstof en nitromethaan. De onvolledige verbranding van methaan levert roet op, dat veel wordt gebruikt als versterkingsmiddel in rubber dat weer wordt gebruikt voor autobanden.

## §7.6 Het TROPOMI-instrument

Het TROPOMI-instrument is een meetinstrument aan boord van de Sentinel 5P-satelliet, deze satelliet is een satelliet in de reeks van Sentinel satellieten. Het doel van deze satelliet en het TROPOMI-instrument is om meer inzicht te krijgen in de levensduur en verspreiding van gassen als methaan en ozon, en data verschaffen waardoor er betere inschattingen kunnen worden gemaakt over wat er op langere termijn met de luchtkwaliteit in de troposfeer zal gebeuren. Het is niet de eerste satelliet in de ruimte met deze taak, voor de Sentinel 5P-satelliet zijn er al verschillende satellieten met dezelfde taak gelanceerd. Het TROPOMI-instrument kan de luchtkwaliteit met een pixelgrootte van 7 km bij 3,5 km aangeven. Dat is aanzienlijk beter dan zijn voorgangers. Deze precisie heeft echter ook een nadeel, want meer precisie betekent ook meer data die verwerkt moet worden. (Julien Chimot, 2017)

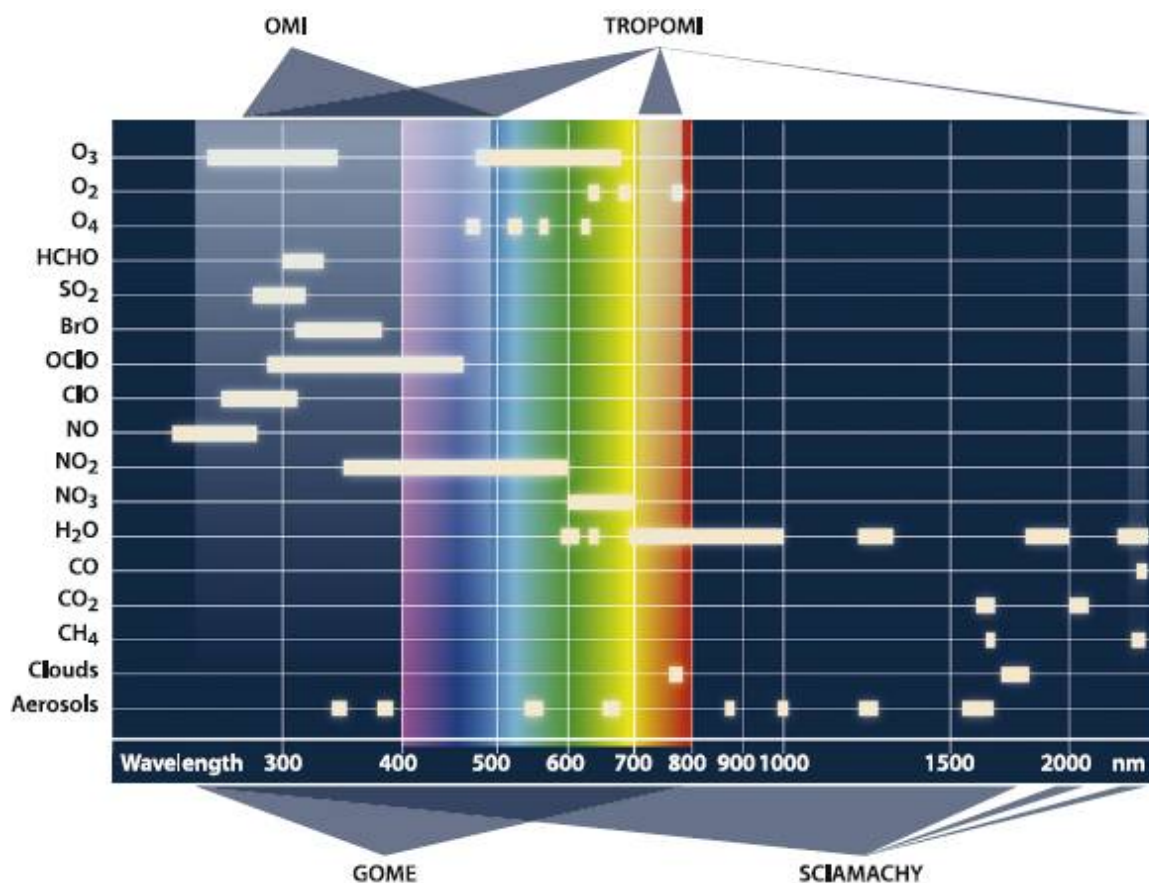


Figuren 3: De oppervlakte die een meting representeert van het SCIAMACHY, GOME2, OMI en het TROPOMI (Bron: <https://wordpress71133.wordpress.com/tropospheric-monitoring-instrument-tropomi/>)

TROPOMI is een samenwerking tussen Airbus, KNMI, SRON en TNO, in opdracht van het NSO en ESA. Airbus Defence & Space Nederland was hoofdaannemer voor het ontwerp en de bouw van het instrument. Het instrument geeft een gebied van de aarde op een tweedimensionale detector weer gedurende een periode van 1 seconde waarin de satelliet ongeveer 7 km verplaatst. Door deze verplaatsing ontstaat er een meetstrook. Deze strook heeft afmetingen van circa 2600 km in de richting over de baan van de satelliet en 7 km in de breedte. Na de meting van 1 seconde wordt een nieuwe meting gestart, waardoor het instrument de aarde scant terwijl de satelliet beweegt. Het licht dat wordt gedetecteerd door het TROPOMI-instrument wordt gescheiden in de verschillende golflengten met behulp van roosters spectrometers. TROPOMI heeft vier verschillende detectoren voor de verschillende spectrale banden. (Julien Chimot, 2017)

## §7.7 Werking van het TROPOMI-instrument

Het TROPOMI-instrument is in een aantal opzichten beter dan zijn voorganger het OMI. Zo kan het TROPOMI in tegenstelling tot het OMI wel golflengtes meten die behoren tot het Near InfraRed (NIR) en SHort-Wave InfraRed (SWIR). Hierdoor kan het TROPOMI in tegenstelling tot het OMI wel methaan (CH<sub>4</sub>) en koolstofmonoxide (CO) meten. (Julien Chimot, 2017)



Figuren 4: Het bereik van het SCIAMACHY, GOME2, OMI en het TROPOMI op het spectrum (Veefkind et al., 2012).

Het TROPOMI meet de aanwezigheid van deze gassen met behulp van golflengtes. Dit werkt door golven in de richting van de aarde te sturen, deze golflengtes zijn dan aangepast op het gas dat gemeten wordt. Om methaan te meten moet er een golflengte van 1653 nm gebruikt worden, omdat deze golflengte alleen geabsorbeerd wordt door methaan en niet door andere gassen zoals waterdamp. Het TROPOMI meet meerdere gassen tegelijk dus hij stuurt ook meerdere golven met verschillende lengtes die aangepast zijn op de gassen die gemeten moeten worden. Daarmee meet het TROPOMI dus de aanwezigheid van verschillende gassen in de troposfeer. (Anritsu America, z.d.)

## §7.8 Impact van TROPOMI op de mens

De kwaliteit van de lucht is natuurlijk erg belangrijk voor de mens, in directe zin omdat het de lucht is die we inademen, maar het is indirect ook belangrijk voor de mens kijk maar naar de klimaatverandering. Met een scanbreedte van 2600 km brengt de Sentinel 5P-satelliet dagelijks de hele planeet in kaart hierbij brengt hij belangrijke gassen in de atmosfeer in beeld zoals de schadelijk gassen NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCHO, CO en O<sub>3</sub> die de luchtkwaliteit verslechteren. Daarnaast heb je ook nog broeikasgassen zoals koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) die mede verantwoordelijk zijn voor het verstek broeikaseffect en daarmee de klimaatverandering. Door deze gassen te monitoren kunnen de grote bronnen van deze uitstoot aangewezen worden en kunnen er ook voorspellingen gedaan worden waardoor het probleem van klimaatverandering beter ingeschat en aangepakt kan worden. Ook zijn er aantal specifieke problemen die door de Sentinel 5P-satelliet verminderd of verholpen kunnen worden. Zo kan het TROPOMI bijvoorbeeld vulkanische activiteiten monitoren en hij kan een waarschuwing geven wanneer er hoge niveaus van UV-straling gemeten worden, te hoge niveaus van UV-straling kunnen namelijk leiden tot huidbeschadiging. Ook kan het gas formaldehyde in kaart worden gebracht, dit gas ontstaat bij de houtverwerkende industrieën en door bosbranden. Dit gas kan de huid irriteren en de gezondheid aantasten. Daarnaast zullen wetenschappers de gegevens ook gebruiken om onze kennis te vergroten van belangrijke processen in de atmosfeer die verband houden met het klimaat en met de vorming van gaten in de ozonlaag. (ESA, z.d.)

## 8. Onderzoek afbakenen

Het is belangrijk dat je bepaald wat je wel en niet gaat meenemen in je onderzoek voor je begint met je onderzoek. Dit doe je om te voorkomen dat je te veel en breed gaat onderzoek waardoor het onderzoek te algemeen wordt. De afbakeningen die wij voor dit onderzoek hebben opgesteld hebben we hieronder beschreven.

### §8.1 Data

Voor dit project hebben we veel data van onze opdrachtgever gekregen. Deze data bestaat uit metingen van het TROPOMI-instrument. Met deze data gaan wij ons richten op de methaanuitstoot en op de manieren waarop wij de sensor voor methaanuitstoot kunnen verbeteren.

### §8.2 Stof

Het TROPOMI-instrument meet veel verschillende broeikasgassen. Tijdens ons onderzoek zullen wij ons alleen richten op de metingen van de uitstoot van Methaan. Als we dit niet doen, wordt ons onderzoek veel te groot en onoverzichtelijk.

### §8.3 Tijd

Voor dit project gebruiken wij de data van het TROPOMI-instrument op de Sentinel 5P-satelliet deze zijn verzameld tijdens de afgelopen 3 jaar. Als we data van voor deze tijd gebruiken, is dat van voordat de satelliet was gelanceerd. Omdat wij dit willen vermijden, gebruiken wij alleen de data die van 28-11-2018 tot 6-03-2022 zijn verzameld.

## §8.4 Gebied

We hebben de metingen van het TROPOMI-instrument gekregen van over de hele wereld. Dit zijn er veel te veel om in zo een korte tijd goed te kunnen analyseren daarom zullen wij ons voor dit project alleen focussen op de metingen van de lucht boven Nederland en omstreken. Elke pixel die de satelliet weergeeft is 7 km bij 3,5 km. Als we een te klein gebied kiezen, zijn er te weinig pixels om te analyseren waardoor het onderzoek niet goed kan worden uitgevoerd door gebrek aan informatie. Als we een te groot gebied kiezen wordt het onderzoek te globaal. We wilden in ieder geval alle metingen boven Nederland meenemen, maar omdat Nederland niet bepaald een perfect vierkant is heeft dit tot gevolg dat we ook delen van België en Duitsland meenemen in onze analyse. Om precies te zijn nemen we een gebied tussen de breedtegraden (3.323474 en 7.316484) en tussen de lengtegraden (50.730877 en 53.521409). Dit gebied wordt in de onderstaande afbeelding weergegeven. Om de gegevens te kunnen vergelijken om problemen met de sensor te vinden kunnen we dit gebied ook vergelijken met andere gebieden.



Figuur 5: Het gebruikt meetgebied van Nederland

## §8.5 Bron

Het TROPOMI-instrument maakt bij het meten van methaan geen onderscheid tussen verschillende uitstoot bronnen. Wij zullen tijdens dit onderzoek dan ook geen specifieke methaan bronnen onderzoeken, maar we zullen kijken naar hoeveel methaan er in een bepaald gebied wordt uitgestoot. Het onderzoek doen naar een specifieke bron van methaan uitstoot is een compleet ander onderzoek dan het onderzoek dat wij doen.

## 9. Onderzoek voorbereiden

In de onderzoeksopzet beschrijven wij wat voor soort onderzoek we gaan uitvoeren tijdens dit project en wat voor soort data wij hiervoor gaan gebruiken. We bespreken ook hoe wij deze data willen gaan verkrijgen en wat voor analyse wij willen doen met de data.

### §9.1 Soort onderzoek

Het soort onderzoek dat wij gaan uitvoeren is een beschrijvend onderzoek. Hierbij is data verzameld die kan worden verwerkt. Hierna kunnen wij uit de resultaten een conclusie trekken. De data die wij gaan gebruiken krijgen wij van onze opdrachtgever Airbus Defense and Space. Deze data komt van het TROPOMI-instrument op de Sentinel 5P-satelliet. Met behulp van deze gegevens zoeken wij een antwoord op de onderzoeksvraag. Dit verwerken wij dan in een eindrapport.

### §9.2 Dataverzameling

De data die wij gaan gebruiken komt van het TROPOMI-instrument op de Sentinel 5P-satelliet. Deze satelliet zit in een baan om de aarde op een hoogte van 824 km en maakt elke 101 minuten een omwenteling. Op deze satelliet zit het TROPOMI-instrument bevestigd die een aantal stoffen in de atmosfeer in kaart brengt.

### §9.3 Data Omschrijving

TROPOMI meet veel verschillende dingen. Dit zijn onder andere ozon, stikstofdioxide, zwaveldioxide, koolmonoxide, methaan en aerosolen. Voor het onderzoek zullen wij de data gebruiken die TROPOMI kan leveren over de methaanconcentraties boven Nederland.

### §9.4 Data-analyse

De hoofdvraag voor dit project is “Hoe kan de data van het TROPOMI-instrument worden gebruikt om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren?” Met de data van het TROPOMI-instrument die wij krijgen zullen wij dit onderzoeken. Wij zullen dit doen door de data van het TROPOMI-instrument te vergelijken met met de aannemelijke methaanbronnen in Nederland door middel van een Python-programma.



## §9.5 Werkplan

In het werkplan beschrijven wij welke stappen we moeten ondernemen om het onderzoek goed uit te voeren.

### §9.5.1 Data verzamelen

Om te beginnen moet de nodige data verkregen worden. De data die wij gaan gebruiken voor het onderzoek krijgen wij van onze opdrachtgever, Airbus Defence & Space.

### §9.5.2 Programma

Om het analyseren van de data deels te automatiseren maken wij een programma in Python. Dit programma kan veel taken automatisch uitvoeren waardoor het preciezer en sneller gedaan kan worden. Dit programma is te zien in deliverable 3.

#### §9.5.2.1 Bibliotheken importeren

Als eerste worden de nodige bibliotheken geïmporteerd. Hierdoor kunnen we gebruik maken van code die door andere geschreven is en hoeven wij dus minder zelf te schrijven. Door deze code te gebruiken is de kans dat we iets verkeerd doen ook minder groot omdat de code al is gemaakt door mensen die daar veel beter in zijn dan wij.

```
4 # importeer libraries voor data-analyse
5 import numpy as np
6 from os import getcwd
7 from netCDF4 import Dataset
8 from math import isnan
9 from PIL import Image
10 from openpyxl import Workbook
11
```

Figuur 6: gedeelte van code gebruikt voor dit project

#### §9.5.2.2 Definieer constanten en variabelen

Hier definiëren wij meerdere constanten en variabelen die nodig zijn voor het uitvoeren voor het programma. Constanten worden gebruikt voor dingen zoals de plek en de naam van de dataset. Door dit zo op te slaan kunnen we dit makkelijk veranderen zonder dit overal te hoeven aan te passen.

#### §9.5.2.3 Initialiseer het excel-document

In deze stap wordt het excel-document gemaakt en worden de titels van de kolommen ingevuld. Door dit aan het begin al te doen hoeven we minder energie te gebruiken voor het elke keer updaten van deze kolommen.

#### §9.5.2.4 Open de dataset en krijg de losse onderdelen

Hier openen we de dataset en halen we de nodige onderdelen hieruit. De onderdelen die wij gebruiken zijn: "Latitude", "Longitude" en "Time". We halen ook het product "methane\_mixing\_ratio\_corrected\_filtered" uit het netCDF4-document.

### **§9.5.2.5 Neem het goede deel van de data**

In deze stap wordt alleen de data gebruikt zoals dat is gedefinieerd in Deliverable 2 (onderzoek afbakenen). Hierdoor kan het programma sneller uitvoeren omdat er geen tijd wordt gebruikt voor het analyseren van onnodige data. Hier wordt ook de maximale en minimale waarde berekend om plaatjes te kunnen maken om te kijken of het programma goed werkt.

### **§9.5.2.6 Zet de data in een betere volgorde**

De data zit standaard in een “volgorde” die niet handig is. Deze volgorde is [dag][lat][lon]. Om het sneller te kunnen analyseren is het beter om het in de [lat][lon][dag]-volgorde te zetten.

### **§9.5.2.7 Analyseer elke dag**

Hier worden de gegevens zo geanalyseerd dat we de nodige informatie uit de dataset krijgen. Deze data zetten we allemaal regel voor regel in een excel-document, zodat we dit later kunnen analyseren.

### **§9.5.2.8 Excel-document opslaan**

In de laatste stap van het programma slaan we het excel-document op zodat we dit verder kunnen analyseren in Excel of Google Spreadsheets.

## **§9.5.3 Excel**

Nadat het programma klaar is met uitvoeren openen wij de excel-documenten in Google Spreadsheets. Hier voegen wij extra kolommen toe voor dingen die makkelijker te doen zijn in Spreadsheets. Een voorbeeld hiervoor is bijvoorbeeld de dag van de meting in de vorm JJJJ-Mm-Dd.

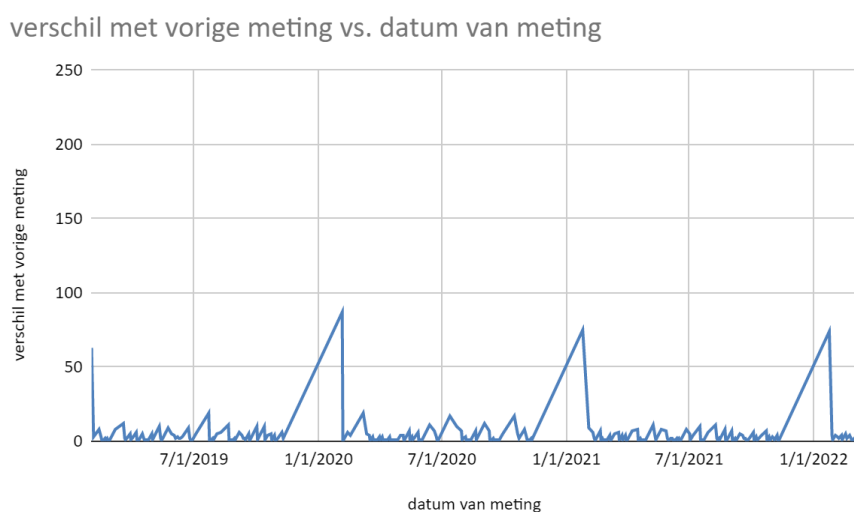
## **§9.5.4 Grafieken**

Hierna visualiseren wij de data uit de excel-documenten door er bijvoorbeeld grafieken van te maken. Naast grafieken kunnen we de data ook gebruiken om samenvattende tabellen en/of boxplots te maken.

## 10. Resultaten

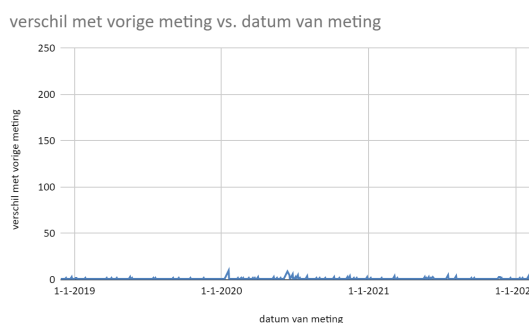
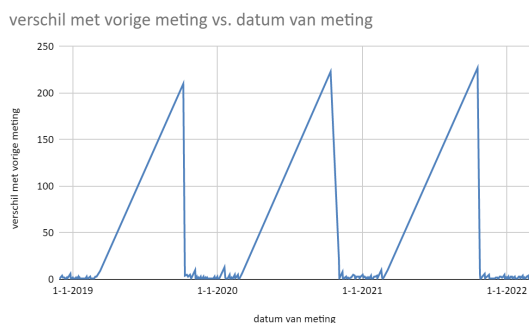
Volgens het werkplan moet alle data geanalyseerd worden. In dit hoofdstuk staat deze analyse. Omdat het niet in alle gevallen mogelijk is om de ruwe data in het eindrapport te zetten staat deze op onze groepssite. De grafieken hieronder zijn gemaakt met deze data. Alle grafieken met dezelfde waardes hebben op de verticale as dezelfde schaal. Hierdoor kunnen deze beter worden vergeleken met elkaar en kan er makkelijker een conclusie worden getrokken.

### §10.1 Aantal dagen tussen twee metingen

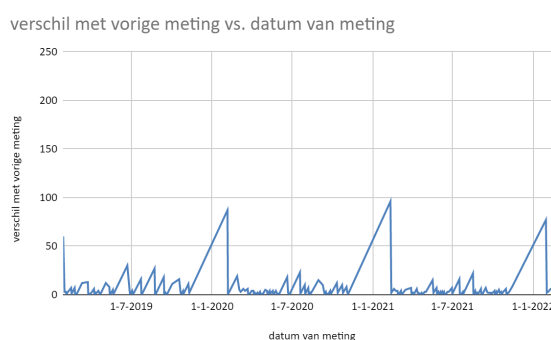
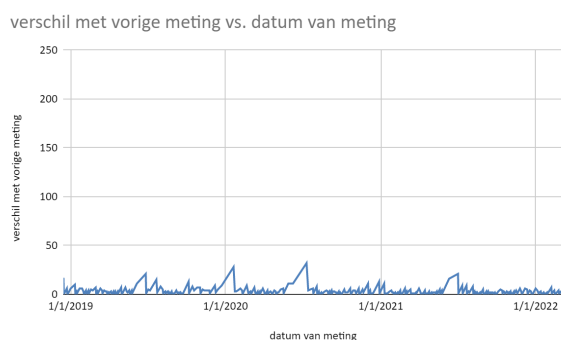


Figuren 7: Grafiek van aantal dagen verschil tussen 2 metingen in Nederland.

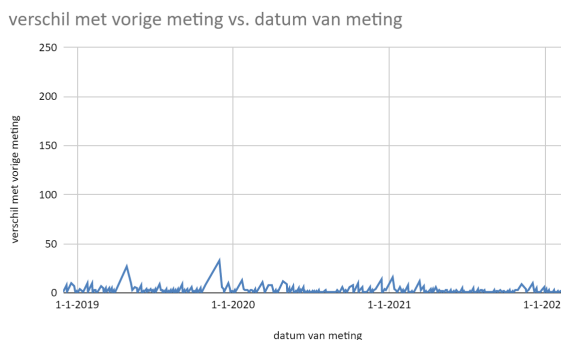
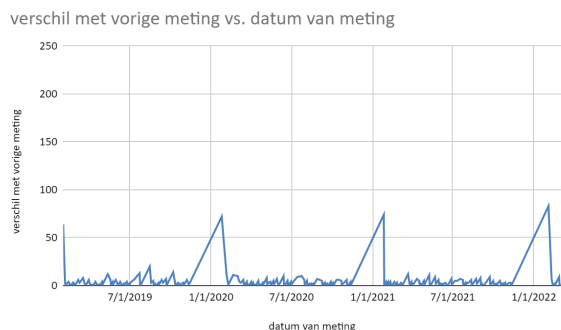
Hier is te zien dat elk jaar rond de winter er een periode is van ongeveer 75 dagen waarin de satelliet geen data ontvangt. Deze periode is te zien aan de pieken in de grafiek. Om te kijken of dit een algemeen probleem is, hebben we op verschillende plekken in de wereld hetzelfde gemeten om dit te vergelijken met de grafiek van Nederland. De gebieden die we hiervoor gaan meten zijn delen van Duitsland, de Zuidpool, de Sahara, Corsica, Engeland en Nieuw-Zeeland. Deze gebieden hebben we gekozen omdat elk gebied een unieke factor heeft waarmee we verschillende oorzaken voor dit probleem kunnen uitsluiten. Een lijst van deze gebieden en de grenzen die gebruikt zijn voor het programma zijn te vinden in bijlagen 4. Zo wordt Corsica omringt door alleen maar water, ligt de Sahara op de evenaar, is de Zuidpool erg koud, gebruiken we Engeland met hetzelfde klimaat als controle om te kijken of het niet aan het gebied van Nederland ligt, ligt Nieuw-Zeeland aan de andere kant van de wereld en wordt het gebied van Duitsland niet omringd door water.



Figuren 8 & 9 Grafiek van aantal dagen verschil tussen 2 metingen na elkaar. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.



Figuren 10 & 11: Grafiek van aantal dagen verschil tussen 2 metingen na elkaar. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.

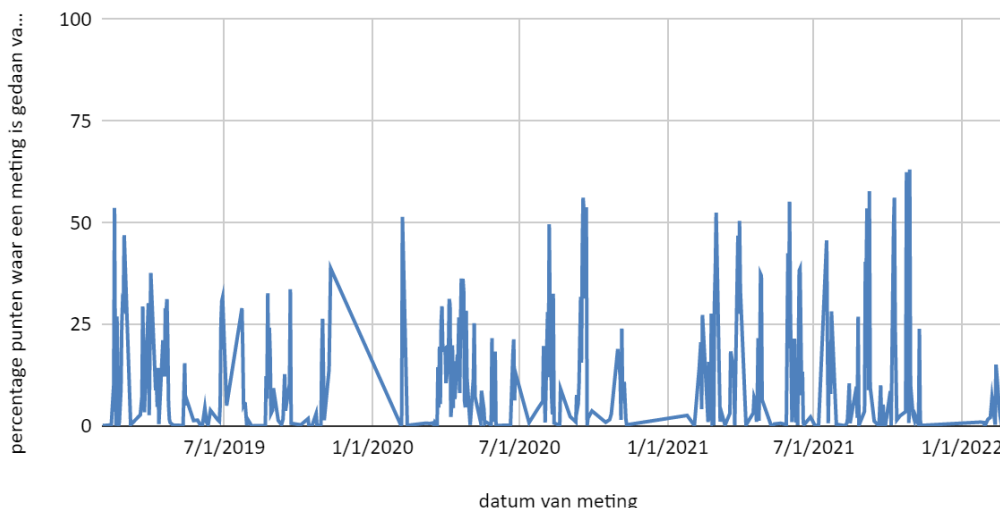


Figuren 12 & 13: Grafiek van aantal dagen verschil tussen 2 metingen na elkaar. Links Duitsland en rechts Corsica.

Er is te zien dat elke grafiek pieken bevat, maar niet van dezelfde grootte en ook niet even veel. Zo heeft de zuidpool duidelijk het meeste aantal dagen tussen 2 metingen heeft. De Sahara heeft het tegenovergestelde, het maximaal aantal dagen tussen 2 metingen daar is 10 dagen.

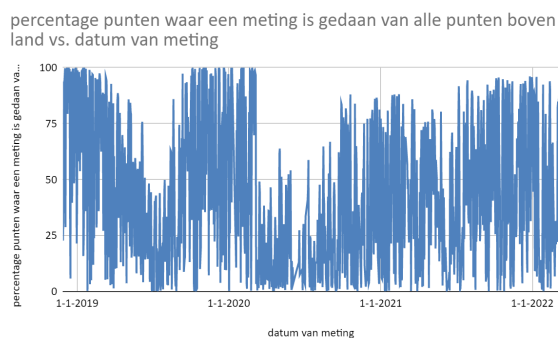
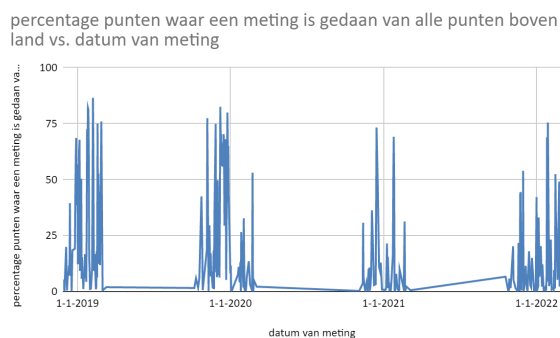
## §10.2 Percentage punten waar een meting is gedaan

percentage punten waar een meting is gedaan van alle punten boven land vs. datum van meting



*Figuur 14: Grafiek van percentage punten die zijn gemeten van alle punten die zouden moeten worden gemeten.*

In deze grafiek valt er een te zien dat er elk jaar rond de winter een laag percentage is van het aantal punten waar een meting is gedaan. Deze dalen duren ongeveer 75 dagen en vervolgens gaat de grafiek weer plots omhoog. Hieronder zijn de grafieken te zien van de andere meetpunten.

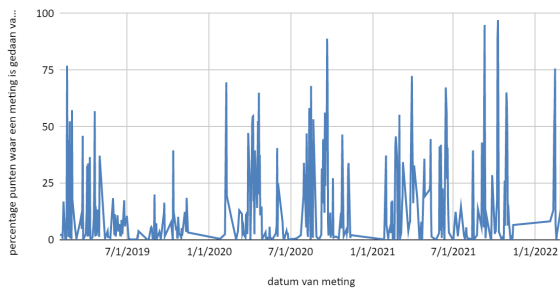


*Figuren 15 & 16: Grafiek van percentage punten boven land waar een meting is gedaan. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.*

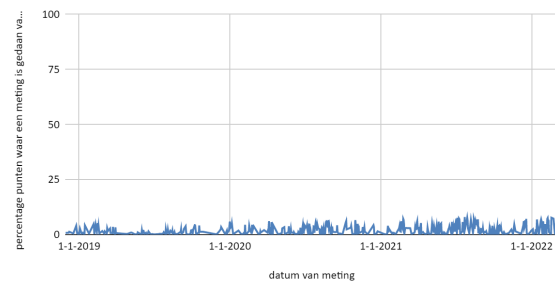


*Figuren 17 & 18: Grafiek van percentage punten boven land waar een meting is gedaan. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.*

percentage punten waar een meting is gedaan van alle punten boven land vs. datum van meting



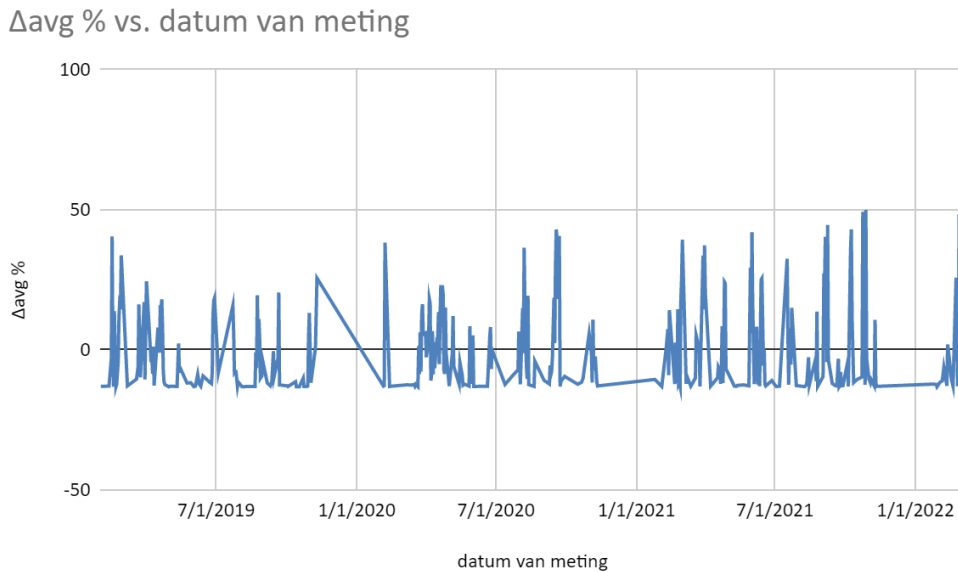
percentage punten waar een meting is gedaan van alle punten boven land vs. datum van meting



Figuren 19 & 20: Grafiek van percentage punten boven land waar een meting is gedaan. Links Duitsland en rechts Corsica.

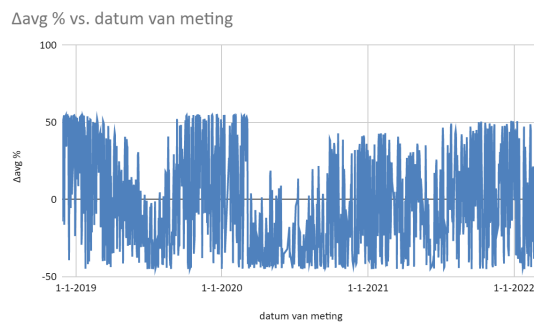
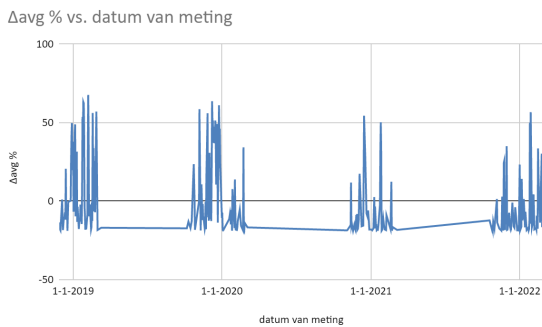
Zoals er te zien is zijn niet alle grafieken hetzelfde en heeft ook niet elke grafiek een dal rond de winter. Sommige grafieken hebben hogere pieken dan anderen. Op de Zuidpool is er een tijdje dat er geen metingen hebben plaatsgevonden en in de Sahara zijn er juist hogere en veel voorkomende pieken. Dit komt ook overeen met de eerste grafiek.

## §10.3 Verschil tussen gemiddelde aantal punten van het gebied en het aantal gemeten punten

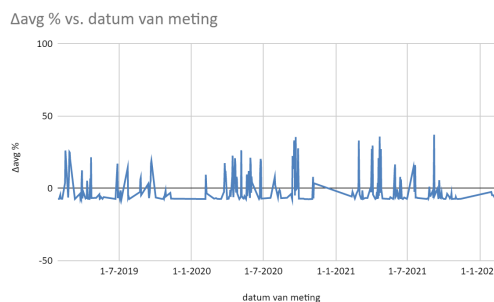
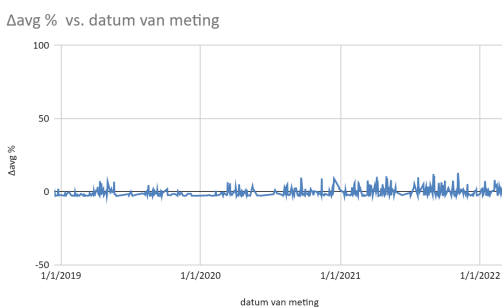


Figuur 21: Grafiek van Verschil tussen gemiddelde aantal punten van het gebied en het aantal gemeten punten, Nederland.

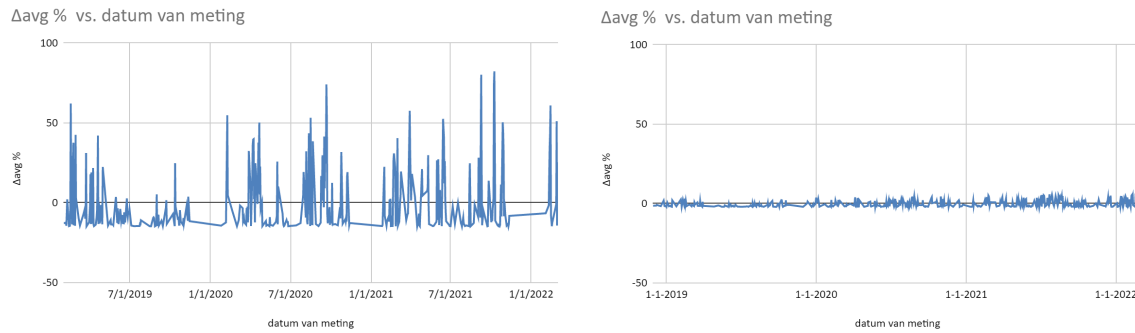
Er valt te zien in de grafiek dat er veel pieken en dalen zijn die elkaar snel opvolgen en dat wederom rond winter het een lange tijd een laag aantal blijft. Hieronder vallen de grafieken van de andere meetpunten van over de wereld te zien.



Figuren 22 & 23: Grafiek van verschil in percentage tussen hoeveelheid punten boven land waar is gemeten op 1 moment en het gemiddelde over alle metingen. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.



Figuren 24 & 25: Grafiek van verschil in percentage tussen hoeveelheid punten boven land waar is gemeten op 1 moment en het gemiddelde over alle metingen. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.



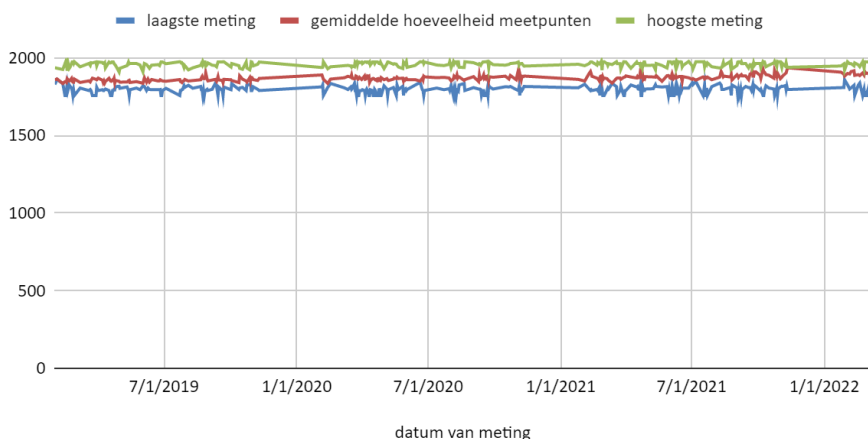
*Figuren 26 & 27: Grafiek van verschil in percentage tussen hoeveelheid punten boven land waar is gemeten op 1 moment en het gemiddelde over alle metingen. Links Duitsland en rechts Corsica.*

Hier valt te zien dat elke grafiek toppen en dalen heeft, maar niet allemaal even groot of even vaak. Wel worden er bij veel grafieken ook de dalen rond de wintertijd gedetecteerd. Bij de Sahara valt er te zien dat er een groot verschil zit tussen het gemiddelde en de meting op één bepaald moment. Bij Corsica daarentegen is er juist een heel klein verschil, net zoals bij Nieuw-Zeeland.



## §10.4 Laagste, hoogste en gemiddelde meting

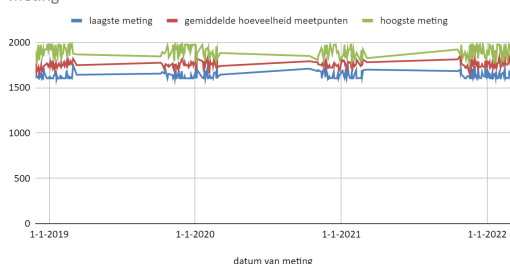
laagste meting, gemiddelde hoeveelheid meetpunten and hoogste meting



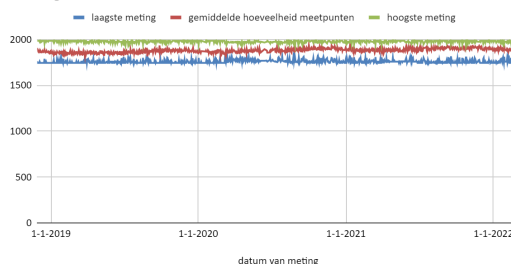
Figuur 28: Laagste, hoogste en gemiddelde meting, Nederland.

Hierboven ziet u de grafiek van Nederland met de laagste, hoogste en het gemiddelde meting van alle metingen. Hieronder vallen de grafieken van de andere meetpunten van de wereld te zien met hun laagste, hoogste en gemiddelde meting.

laagste meting, gemiddelde hoeveelheid meetpunten and hoogste meting

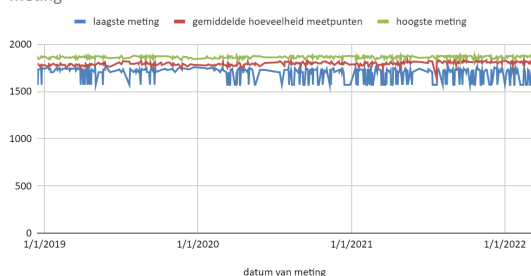


laagste meting, gemiddelde hoeveelheid meetpunten and hoogste meting

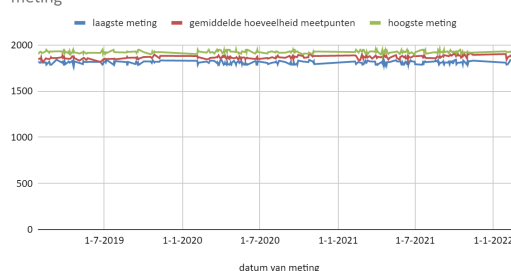


Figuren 29 & 30: Laagste, hoogste en gemiddelde van alle metingen. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.

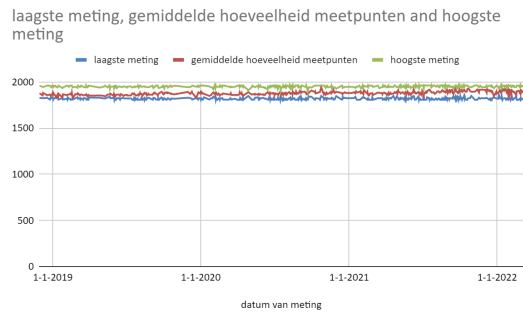
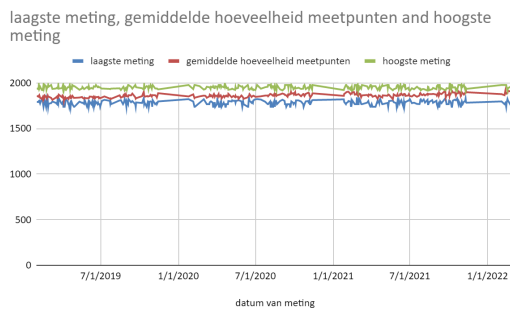
laagste meting, gemiddelde hoeveelheid meetpunten and hoogste meting



laagste meting, gemiddelde hoeveelheid meetpunten and hoogste meting



Figuren 31 & 32: Laagste, hoogste en gemiddelde van alle metingen. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.

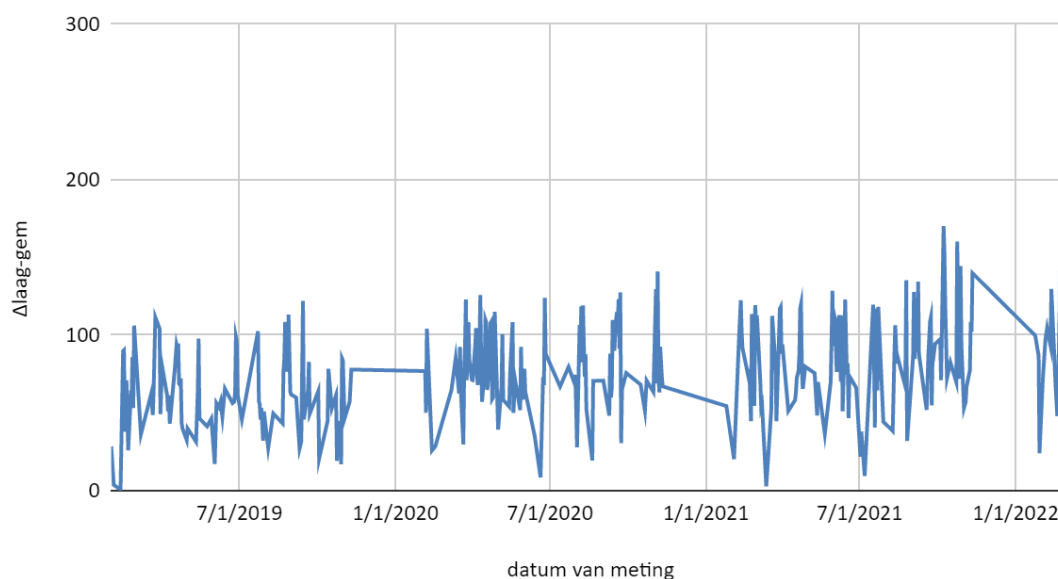


Figuren 33 & 34: Laagste, hoogste en gemiddelde van alle metingen. Links Duitsland en recht Corsica.

Deze grafieken van verschillende punten over de wereld hebben veel in vergelijking met de grafiek van Nederland met hun hoogste, laagste en gemiddelde meting. Bij sommigen grafieken is er een groter verschil tussen de hoogste en laagste meting dan bij anderen, maar over het algemeen zitten de grafieken allemaal dicht bij elkaar.

## §10.5 Verschil tussen laagste en gemiddelde meting

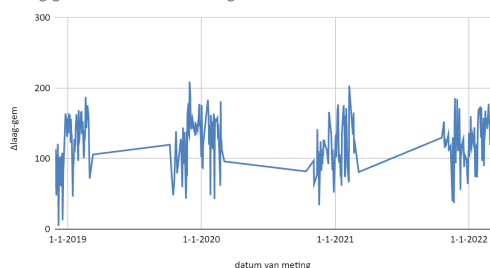
Δlaag-gem vs. datum van meting



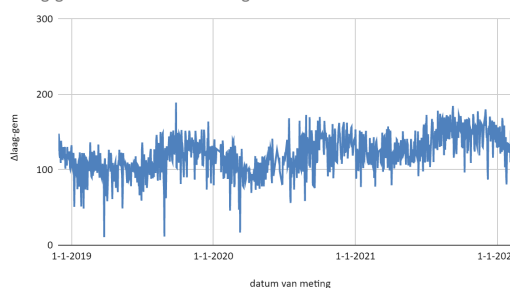
Figuur 35: Verschil tussen laagste en gemiddelde meting, Nederland.

Hierboven valt het verschil tussen de laagste meting en het gemiddelde van alle metingen te zien. Hieronder ziet u dezelfde grafieken maar dan van de andere meetpunten over de wereld.

Δlaag-gem vs. datum van meting

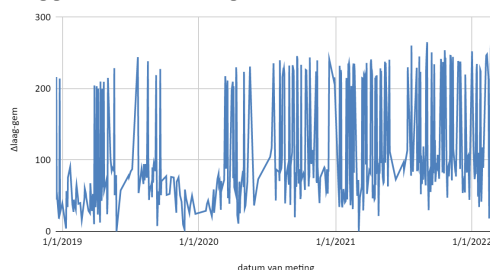


Δlaag-gem vs. datum van meting

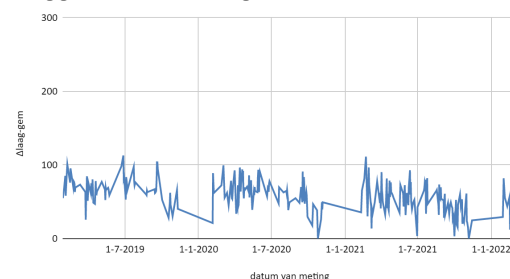


Figuren 36 & 37: Verschil tussen de laagste en de gemiddelde meting. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.

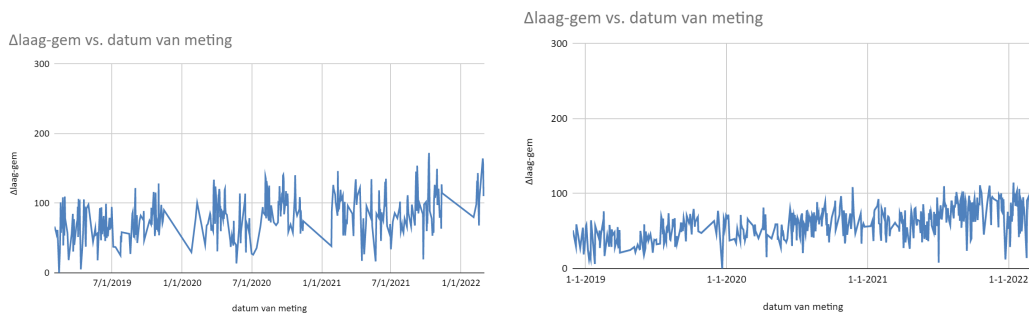
Δlaag-gem vs. datum van meting



Δlaag-gem vs. datum van meting



Figuren 38 & 39: Verschil tussen de laagste en de gemiddelde meting. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.

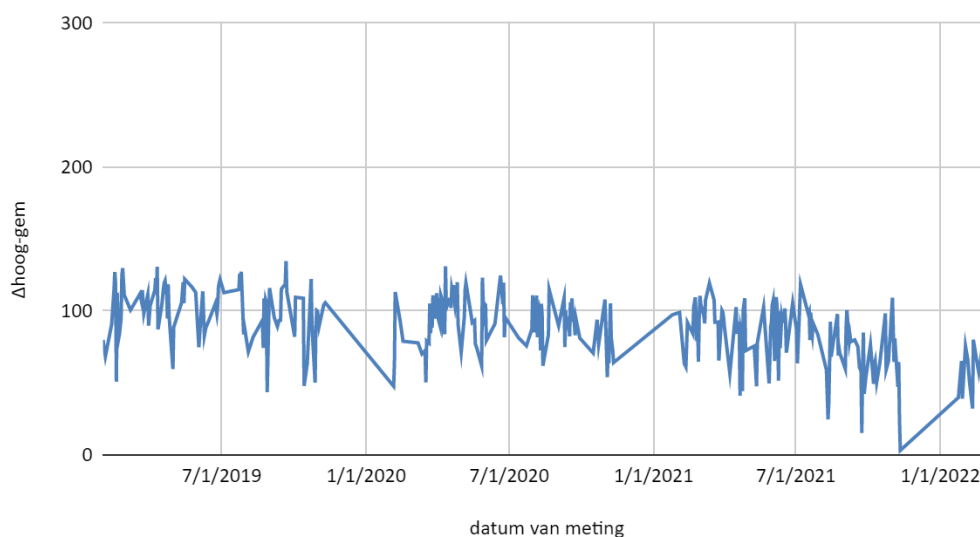


Figuren 40 & 41: Verschil tussen de laagste en de gemiddelde meting. Links Duitsland en rechts Corsica.

Er valt hier te zien dat niet elk meetpunt een even groot verschil heeft tussen de laagste en de gemiddelde meting. Hier valt er te zien dat er vooral bij Nieuw-Zeeland een groot verschil is tussen de laagste meting en het gemiddelde. Bij Corsica en Engeland is dit verschil dan weer relatief laag in vergelijking met de andere gebieden.

## §10.6 Verschil tussen hoogste en gemiddelde meting

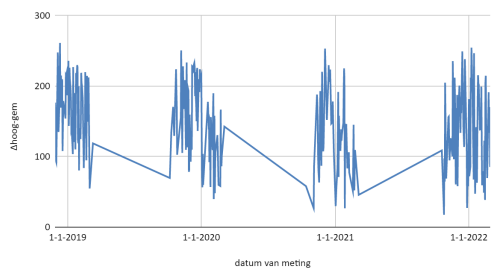
Δhoog-gem vs. datum van meting



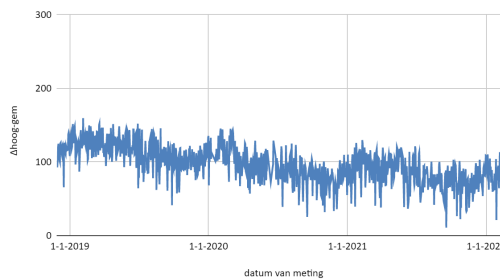
*Figuur 42: Verschil tussen hoogste en gemiddelde meting, Nederland.*

Hierboven valt het verschil te zien tussen de hoogste meting en de het gemiddelde van alle metingen van Nederland tegenover de datum van de meting. Hieronder zijn dezelfde grafieken te zien maar dan van andere meetpunten op andere plekken in de wereld.

Δhoog-gem vs. datum van meting

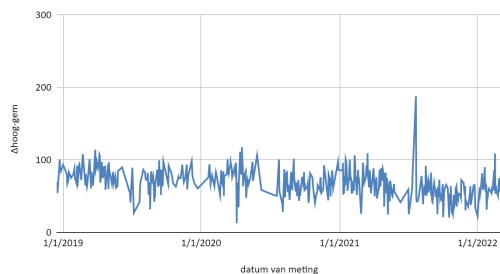


Δhoog-gem vs. datum van meting

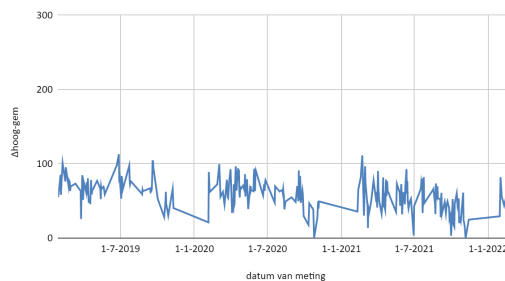


*Figuren 43 & 44: Verschil tussen de hoogste en de gemiddelde meting. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.*

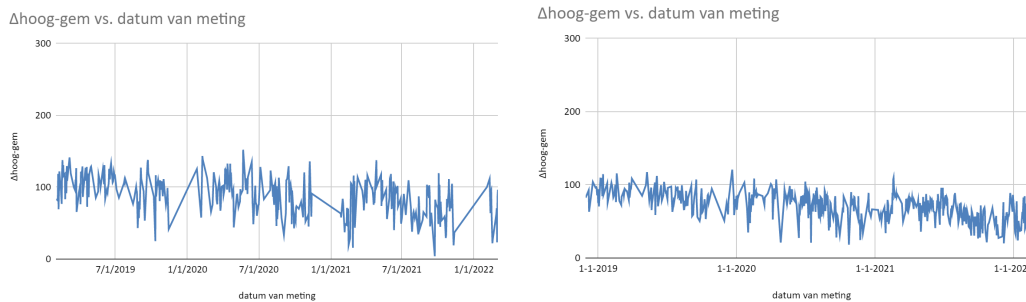
Δhoog-gem vs. datum van meting



Δlaag-gem vs. datum van meting



*Figuren 45 & 46: Verschil tussen de laagste en de gemiddelde meting. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.*

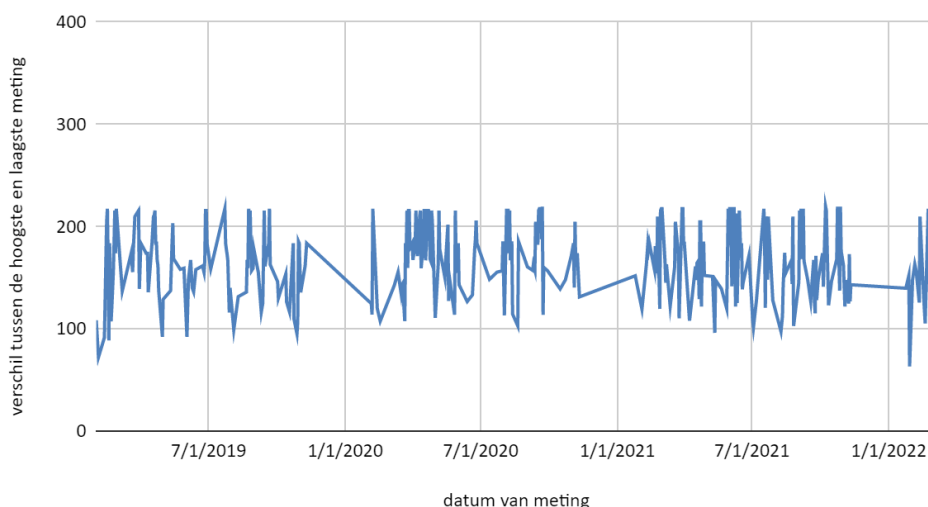


Figuren 47 & 48: Verschil tussen de laagste en de gemiddelde meting. Links Duitsland en rechts Corsica.

Hier valt te zien dat er niet op alle meetpunten hetzelfde verschil zit tussen de hoogste en de gemiddelde meting. Bij het verschil tussen de hoogste meting en het gemiddelde van alle metingen heeft de Zuidpool de hoogste pieken. Dit is anders als bij de grafiek van het verschil tussen de laagste meting en het gemiddelde, daar had Nieuw-Zeeland hoge pieken en nu zijn die relatief gezien laag. Net zoals bij het verschil tussen de laagste meting en het gemiddelde hebben Engeland en Corsica de laagste pieken van alle gebieden.

## §10.7 Verschil tussen hoogste en laagste meting

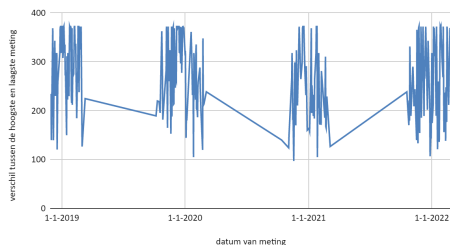
verschil tussen de hoogste en laagste meting vs. datum van meting



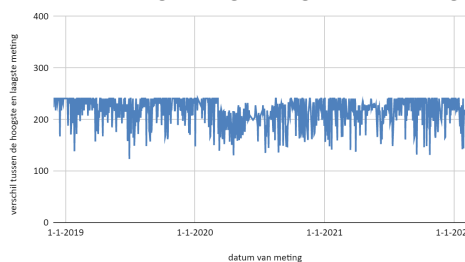
Figuur 49: Verschil tussen hoogste en laagste meting, Nederland.

Hierboven valt de grafiek te zien van het verschil tussen de hoogste en de laagste meting ten opzichte van de datum van de meting. Hieronder vallen er dezelfde grafieken te zien maar dan van andere meetpunten op de wereld.

verschil tussen de hoogste en laagste meting vs. datum van meting

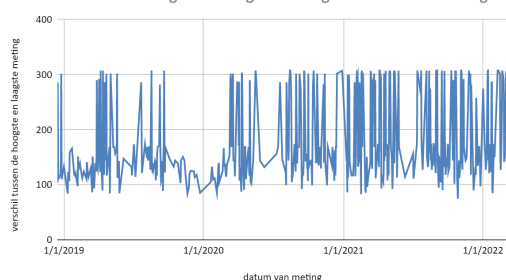


verschil tussen de hoogste en laagste meting vs. datum van meting

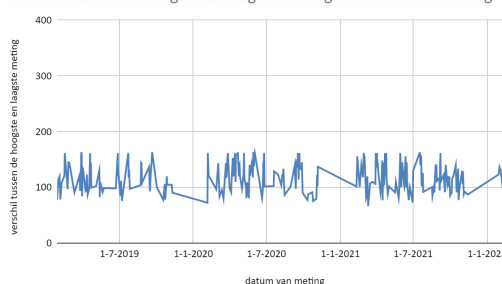


Figuren 50 & 51: Verschil tussen de hoogste en de laagste meting. Links de Zuidpool en rechts de Sahara.

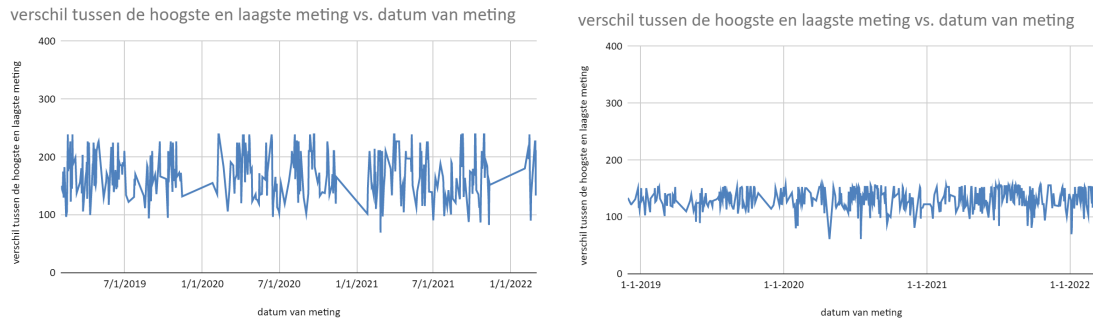
verschil tussen de hoogste en laagste meting vs. datum van meting



verschil tussen de hoogste en laagste meting vs. datum van meting



Figuren 52 & 53: Verschil tussen de hoogste en de laagste meting. Links Nieuw-Zeeland en rechts Engeland.



Figuren 54 & 55: Verschil tussen de hoogste en de laagste meting. Links Duitsland en rechts Corsica.

Hier valt te zien dat niet overal het verschil tussen de hoogste en laagste meting even groot is. Ook valt er in de meeste grafieken te zien dat er dalen zijn rond de wintertijd. Bij deze grafieken hebben de Zuidpool en Nieuw-Zeeland de hoogste pieken. Dit komt omdat zij ook de grafieken waren met de hoogste pieken bij het verschil tussen de laagste en hoogste meting en het gemiddelde. Engeland en Corsica hebben het kleinste verschil tussen hun laagste en hoogste meting en dit is logisch, want zij hadden ook het laagste verschil tussen de laagste en hoogste meting en het gemiddelde.



# 11. Conclusie

In dit hoofdstuk gaan we onze onderzoeksvragen beantwoorden aan de hand van de resultaten van het onderzoek.

## §11.1 Hoofdvraag

De onderzoeksvraag van dit project was: “Hoe kan de data van het TROPOMI-instrument worden gebruikt om verschillende methaanbronnen in Nederland te detecteren?” De hypothese was dat het mogelijk was om met de data van het TROPOMI-instrument te kijken naar plekken op de kaart waar meer CH<sub>4</sub> wordt uitgestoten dan andere plekken. Na het uitvoeren van het onderzoek en het schrijven van een programma voor het analyseren van de gegevens blijkt dat het mogelijk is om te zien hoeveel uitstoot er op een bepaalde plek is, maar dat het heel moeilijk is om te weten waar of door wie dit methaan is uitgestoten.

Het programma wat geschreven is kan vrij duidelijk zien en aangeven waar er methaan gemeten is. Dit kan door het in een tabel zetten van de data uit te dataset, of het genereren van afbeeldingen die de methaanconcentraties weergeven. Om verder onderzoek te doen heeft het gebruiken van data als afbeeldingen niet de voorkeur omdat hier niet nauwkeurig de data uit te halen is.

## §11.2 Deelvragen

In onze hypothese hebben we onze onderzoeksvraag opgesplitst in drie deelvragen. Deze deelvragen zullen we hieronder beantwoorden aan de hand van ons onderzoek. Hieronder staan de uitgewerkte conclusies van de deelvragen.

### §11.2.1 Deelvraag 1

Onze eerste deelvraag van dit project was: “Welke methaanbronnen stoten de meeste methaan uit in Nederland?” De hypothese was dat wij verwachten dat de grootste uitstoot bron van methaan in Nederland de veeteelt is. Dit denken wij omdat Nederland relatief veel vee heeft in vergelijking met andere landen. Bovendien ontstaat er in vergelijking met andere industrieën veel methaan in de veeteelt. Zoals u in ons onderzoek heeft gelezen komt twee derde van de methaanemissie in Nederland uit de veehouderij. Dit is dan dus ook de grootste bron van methaanuitstoot in Nederland. Onze verwachting dat de grootste uitstoot bron van methaan in Nederland de veeteelt klopt dus.

## §11.2.2 Deelvraag 2

De tweede deelvraag was: “Wat is er te doen om de uitstoot van methaan in Nederland in de toekomst te verminderen?” Onze hypothese was dat het inkrimpen van de veestapel en het efficiënter omgaan met methaan de beste manier is om methaanuitstoot te verminderen.

Uit ons ons literatuuronderzoek (te lezen in hoofdstuk 7) is gebleken dat de veehouderij de grootste methaanuitstoot veroorzaakt in Nederland. Om de methaanuitstoot in Nederland te verminderen is het aanpakken van de veehouderij dus een goed beginpunt. Dit is mogelijk door bijvoorbeeld het menu van de koe te veranderen wat zorgt voor een vermindering van methaan en ammoniak. Zo is er volgens deskundige rundveevoeding Jan Dijkstra één manier om de menukaart aan te passen snijmaïs laag in eiwit. Het levert zetmeel dat gedeeltelijk de pens passeert (dus minder methaan) en in de dunne darm wordt omgezet in glucose, energie voor de koe.

Het is ook mogelijk al bestaand methaan als bron van waterstof te gebruiken voor nuttige toepassingen, zoals het maken van ammoniak en methanol. Zo reageert methaan bij hoge temperaturen om koolmonoxide en waterstof op te leveren. De waterstof wordt gebruikt bij de vervaardiging van ammoniak voor meststoffen en explosieven

### §11.2.3 Deelvraag 3

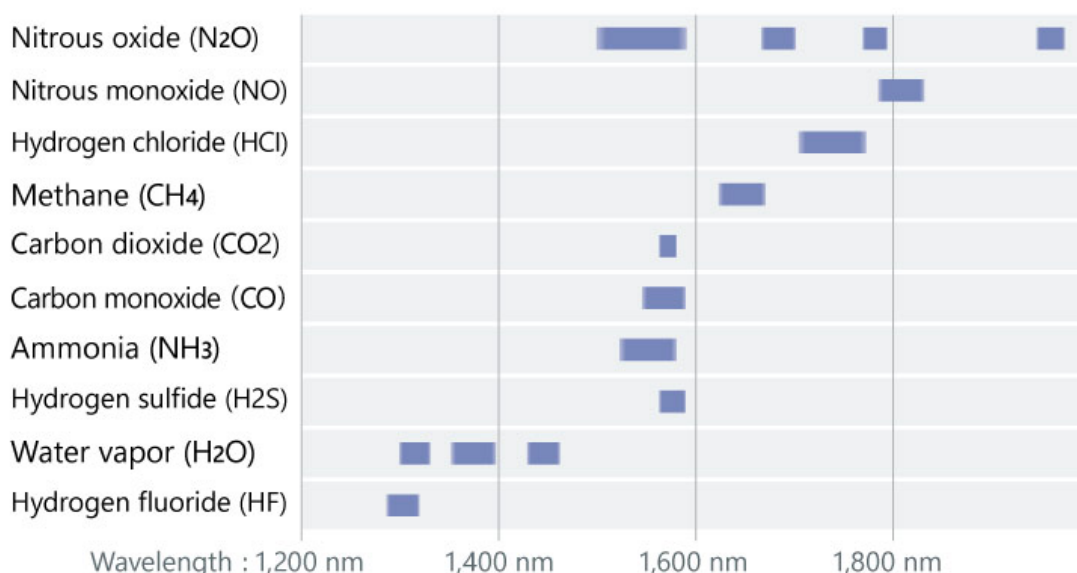
Onze derde deelvraag was: “Op welke manieren is het instrument te verbeteren zodat deze beter methaan kan detecteren?” De hypothese was dat het TROPOMI-instrument moeite heeft met het meten van methaan in de atmosfeer omdat er iets fout gaat bij het detecteren van de golflengtes waar methaan is waar te nemen.

Over deze deelvraag hebben wij geen waterdicht antwoord kunnen vinden. We zijn wel op een mogelijk antwoord gekomen. Doordat het TROPOMI-instrument drie sensoren heeft voor het meten van het licht uit de telescoop-module die samen niet perfect alle golflengtes kunnen meten zijn er golflengtes die niet goed gemeten kunnen worden. De golflengtes die wel gemeten kunnen worden zijn:

- tussen 270 nanometer en 495 nanometer,
- tussen 675 nanometer en 775 nanometer en
- tussen 2305 nanometer en 2385 nanometer.

Doordat methaan het beste te meten is op een golflengte van 1653 nanometer kan dit de reden zijn waarom methaan niet goed te meten is door het TROPOMI-instrument.

De reden waarom wij hier niet 100% zeker van zijn is dat dit nog steeds niet duidelijk een verklaring geeft voor het feit dat er grote perioden zijn van missende data in de winter. Het is ons wel opgevallen dat de frequentie en de lengte van de perioden van missende data voor de gebieden op dezelfde breedtegraad ongeveer dezelfde is. Ook wordt de lengte van de periode van missende data steeds korter naarmate de breedtegraad kleiner wordt. Dit is alleen niet overal het geval. Nieuw Zeeland heeft bijvoorbeeld meer perioden dan Nederland en Duitsland. Hoort volgens de theorie dat de periode van missende data te maken heeft de absolute waarde breedtegraad niet zo te zijn.



Figuren 56: het spectrum met de golflengtes waarbij bepaalde gassen gedetecteerd kunnen worden.

## 12. Discussie

Niet alles in dit onderzoek is perfect verlopen. In dit hoofdstuk zijn meerdere punten besproken waar de mogelijkheid bestaat dat het onderzoek minder goed is gegaan dan wenselijk.

### §12.1 Ontbrekende data

Het eerste punt van aandacht is de ontbrekende data in de winters. Dit is niet in elk gebied het geval, en het is ons niet helemaal duidelijk waarom. In Nederland zijn deze perioden heel duidelijk de winters, maar op andere plekken zijn de lengte en de frequentie van deze perioden niet per sé gelijk aan de winters. Een voorbeeld hiervan is Nieuw-Zeeland. Er zijn bij Nieuw-Zeeland meer hoge pieken dan winters en dat zou kunnen betekenen dat deze onderbreking van data gedurende verschillende periodes niet een makkelijke verklaring heeft dat het te maken heeft met dat het winter is.

Doordat er data ontbreekt hebben we minder data gehad om het onderzoek mee uit te voeren. Hierdoor kunnen de resultaten mogelijk beïnvloed zijn.

### §12.2 Nauwkeurigheid van het programma

Het tweede punt van aandacht is de nauwkeurigheid van het programma. Het is dus een mogelijkheid dat er ergens tijdens het process van het ontwerpen van het programma een paar fouten zijn gemaakt waardoor er verkeerde interpretaties zijn ontstaan bij de resultaten en dus de uiteindelijke conclusie.

We hebben geprobeerd om deze fouten te minimaliseren, maar het blijft menselijk om ergens een fout te maken tijdens het ontwerpen van een ingewikkeld programma zoals deze.

### §12.3 Nauwkeurigheid van het TROPOMI-instrument

Het derde punt van aandacht is de nauwkeurigheid van de satelliet. Wij denken en hopen natuurlijk dat sensoren en mechanismen honderd procent correct zijn, maar dit is helaas niet altijd het geval. Er is dus een waarschijnlijke mogelijkheid dat een van de sensoren van de satelliet of iets tijdens het proces van verwerken en opsturen van de data er een fout is gemaakt door een programma. Hierdoor kan er dus data verkeerd geïnterpreteerd zijn en kan ook mede de resultaten en de uiteindelijke conclusie negatief zijn beïnvloed.

Gelukkig is TROPOMI een uiterst nauwkeurig instrument. De kans dat hier een grote onnauwkeurigheid in zat wordt daarom ook als zeer klein ingeschat. Maar er is natuurlijk altijd een kans dat er hierdoor een negatieve effect ontstaat op de uitvoering van het project. In verhouding met de andere onnauwkeurigheden in dit onderzoek denken wij dat de onnauwkeurigheid van het TROPOMI-instrument verwaarloosbaar is.

## **§12.4 Mogelijke vervolgonderzoeken**

Wij hebben dit onderzoek natuurlijk klein gehouden vanwege dat we niet heel lang hadden en zodat we genoeg data hadden om een goed project te kunnen uitvoeren. Als we langer de tijd krijgen kunnen we veel meer en beter onderzoeken dan dit project. Mogelijke vervolgonderzoeken zijn hieronder te zien.

### **§12.4.1 Meer databronnen**

Meerdere satellieten kunnen gebruiken voor ons onderzoek om de data van de verschillende satellieten kunnen vergelijken en zo een beter beeld kunnen krijgen van verschillende concentraties stoffen.

### **§12.4.2 Meer stoffen**

Tijdens dit onderzoek hebben we ons volledig gefocused op de concentratie methaan in bepaalde gebieden, maar met meer middelen en tijd kunnen we ons veel meer verdiepen in alle andere broeikasgassen zoals koolstofdioxide, stikstof en meer. Deze stoffen zijn op lange termijn net zo belangrijk als methaan om te onderzoeken zodat we precies weten wat er aan de hand is met het versterkt broeikaseffect.

### **§12.4.3 Meer gebieden**

Ons onderzoek zou ook kunnen worden uitgebreid door meer gebieden te onderzoeken. Wij hebben tijdens ons onderzoek maar een klein aantal gebieden van de wereld gebruikt om te onderzoeken, maar als we meer gebieden onderzoeken worden onze resultaten zeer waarschijnlijk nauwkeuriger en specifieker. Ook zouden er verschillende delen van de wereld kunnen worden onderzocht als deelvragen zoals kijken hoe hoog de concentratie is van Europa, Noord-Amerika of van alleen landen als China en Rusland.

### **§12.4.4 Langere periode**

Dit onderzoek heeft alleen de data gebruikt tussen 28-11-2018 en 6-03-2022 omdat de data van deze satelliet daarvoor niet beschikbaar is. Dit is omdat de satelliet hiervoor nog niet operationeel was. Door data van een andere databron te gebruiken is het waarschijnlijk mogelijk een onderzoek te doen over een langere periode.

## 13. Literatuurlijst

1. Bintanja, R. (2020, 23 juni). *KNMI - De permafrost ontdooit*. KNMI. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/de-permafrost-ontdooit>
2. Davies, R., & Worrall, F. (2019, 15 augustus). *Methane emissions spike: natural gas production, fracking and agriculture – is one the main culprit?* The Conversation. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://theconversation.com/methane-emissions-spike-natural-gas-production-fracking-and-agriculture-is-one-the-main-culprit-121868>
3. Hadley, C. (2019, 2 maart). *Uses of Methane Natural Gas*. Sciencing. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://sciencing.com/uses-methane-natural-gas-6134860.html>
4. KVG N Factsheet Methaanemissies. (2020, 16 maart). KVG N. [https://www.onsaardgas.nl/wp-content/uploads/2020/05/2020-03-16-KVG N-Factsheet-Methaanemissies\\_korte-versie.pdf](https://www.onsaardgas.nl/wp-content/uploads/2020/05/2020-03-16-KVG N-Factsheet-Methaanemissies_korte-versie.pdf)
5. Kunstbus. (2017, 27 september). *methaan*. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.kunstbus.nl/cultuur/methaan.html>
6. Measuring Gas with Light (Methane Gas Sensing). (z.d.). Anritsu America. <https://www.anritsu.com/en-us/sensing-devices/guide/gas-sensing>
7. Overview of Greenhouse Gases. (2022, 16 mei). US EPA. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
8. Rasmussen, C. (2018, 3 januari). *NASA-led Study Solves a Methane Puzzle*. NASA. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-led-study-solves-a-methane-puzzle/>
9. Sentinel-5P - user guide - Introduction. (z.d.). ESA. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-5p-tropomi>
10. Sentinel-5P operations. (z.d.). ESA. [https://www.esa.int/Enabling\\_Support/Operations/Sentinel-5P\\_operations](https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Sentinel-5P_operations)
11. Statistics Explained. (z.d.). Eurostat. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_livestock\\_patterns](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_livestock_patterns)
12. The Editors of Encyclopaedia Britannica. (z.d.). *methane | Definition, Properties, Uses, & Facts*. Encyclopedia Britannica. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.britannica.com/science/methane>
13. TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI). (2017, december 20). Homepage Julien Chimot: A Journey in Earth Observation Satellite Science. <https://wordpress71133.wordpress.com/tropospheric-monitoring-instrument-tropomi/>
14. Universiteit van Amsterdam. (2020, 20 januari). *Op weg naar nieuwe chemie voor het benutten van methaan als grondstof voor hoogwaardige chemicaliën - HIMS*. Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences - University of Amsterdam. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://hims.uva.nl/shared/subsites/van-t-hoff-institute-for-molecular-sciences/nl/nieuws/2020/01/op-weg-naar-nieuwe-chemie-voor-het-benutten-van-methaan-als-grondstof-voor-hoogwaardige-chemicalien.html?cb>

15. Voor de wereld van morgen. (2016, 28 januari). *Van gras tot boer tot scheet: het verteringsproces van een koe*. Geraadpleegd op 14 juni 2022, van <https://www.voordewereldvanmorgen.nl/artikelen/van-gras-tot-boer-tot-scheet-het-verteringsproces-van-een-koe>
16. Sleutelen aan koeiendieet voor minder methaan en stikstof. (z.d.). Wageningen University & Research. Geraadpleegd op 15 juni 2022, van <https://www.wur.nl/nl/artikel/Sleutelen-aan-koeiendieet-voor-minder-methaan-en-stikstof.htm>

## 14. Bijlagen

In dit hoofdstuk staan de bijlagen van dit eindrapport.

### §14.1 Planning

Datum	Otto (Leider)	Hanna (WL)	Deadlines
12-1	Opdrachtgevers zoeken	Groepssite (paginas aanmaken)	
17-1	Layout PvA		Lesuitval i.v.m Quarantaine
19-1	Planning maken	Bespreking project	
24-1	PvA: Deliverables 1-3	PvA: Aanleiding & Relevantie (situatie)	
26-1	Toetsweek	Toetsweek	Toetsweek
31-1			Toetsweek
2-2			Toetsweek
7-2	PvA: Deliverables 4-5	PvA: Aanleiding & Relevantie (situatie)	
9-2	PvA: Onderzoeksopzet	PvA: Aanleiding & Relevantie (doelstelling)	
14-2	PvA: Informatie, concept-literatuurlijst + bijlagen	PvA: Aanleiding & Relevantie (doelstelling)	
16-2	PvA doorlopen	Uitloop PvA	16-2: Deadline CONCEPT PvA
21-2	Voorjaarsvakantie	Voorjaarsvakantie	Voorjaarsvakantie
23-2			Voorjaarsvakantie
28-2	Feedback PvA verwerken	Groepssite (bijwerken)	
2-3	Feedback PvA verwerken	Groepssite (bijwerken)	
7-3	D3: Onderzoek voorbereiden	D1: Vooronderzoek	Inleveren CONCEPT PvA (op papier)
9-3	D3: Onderzoek voorbereiden	D1: Vooronderzoek	
14-3	D3: Onderzoek voorbereiden	D2: Onderzoek afbakenen	14-3: Deadline vooronderzoek
16-3	Uitloop PvA	Uitloop PvA	16-3: Deadline onderzoek afbakenen
21-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	16-3: Deadline definitieve PvA
23-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	21-3: Deadline onderzoek voorbereiden
28-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
30-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
4-4	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
6-4	Toetsweek	Toetsweek	Toetsweek
11-4			Toetsweek
13-4			Toetsweek
18-4	2e paasdag	2e paasdag	2e paasdag
20-4	Palweek	Palweek	Palweek
25-4	Meivakantie	Meivakantie	Meivakantie
27-4			Meivakantie
2-5			Meivakantie
4-5			Meivakantie
9-5	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
11-5	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
16-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
18-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
23-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
25-5	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	25-5: Deadline onderzoek uitvoeren
30-5	Feedback eindrapport verwerken	Feedback eindrapport verwerken	25-5: Deadline CONCEPT eindrapport
1-6	Feedback eindrapport verwerken	Feedback eindrapport verwerken	
6-6	2e pinksterdag	2e pinksterdag	2e pinksterdag
8-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	
13-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	
15-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	15-6: Deadline definitieve eindrapport
20-6	Voorbereiden Technasiumparade	Voorbereiden Technasiumparade	
22-6	Technasiumparade	Technasiumparade	Technasiumparade
27-6	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken
29-6	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken



Datum	Stefan	Pepijn	Deadlines
12-1	Logboek opzetten	Drive-map opzetten	
17-1	Layout PvA		Lesuitval i.v.m Quarantaine
19-1	Layout PvA	Planning maken	
24-1	PvA: Theoretisch kader	PvA: Aanleiding & Relevantie (Aannames & Risicos)	
26-1	Toetsweek	Toetsweek	Toetsweek
31-1			Toetsweek
2-2			Toetsweek
7-2	PvA: Theoretisch kader	PvA: Aanleiding & Relevantie (Aannames & Risicos)	
9-2	PvA: Inleiding	PvA: Onderzoeksopzet	
14-2	PvA: Voorwoord	PvA: Samenvatting	
16-2	Uitloop PvA	Uitloop PvA	16-2: Deadline CONCEPT PvA
21-2	Voorjaarsvakantie	Voorjaarsvakantie	Voorjaarsvakantie
23-2			Voorjaarsvakantie
28-2	Feedback PvA verwerken	Feedback PvA verwerken	
2-3	Feedback PvA verwerken	Feedback PvA verwerken	
7-3	D2: Onderzoek afbakenen	D1: Vooronderzoek	Inleveren CONCEPT PvA (op papier)
9-3	D2: Onderzoek afbakenen	D1: Vooronderzoek	
14-3	D3: Onderzoek voorbereiden	D1: Vooronderzoek	14-3: Deadline vooronderzoek
16-3	Uitloop PvA	Uitloop PvA	16-3: Deadline onderzoek afbakenen
21-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	16-3: Deadline definitieve PvA
23-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	21-3: Deadline onderzoek voorbereiden
28-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
30-3	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
4-4	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
6-4	Toetsweek	Toetsweek	Toetsweek
11-4			Toetsweek
13-4			Toetsweek
18-4	2e paasdag	2e paasdag	2e paasdag
20-4	Palweek	Palweek	Palweek
25-4	Meivakantie	Meivakantie	Meivakantie
27-4			Meivakantie
2-5			Meivakantie
4-5			Meivakantie
9-5	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
11-5	D4: Onderzoek uitvoeren	D4: Onderzoek uitvoeren	
16-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
18-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
23-5	Eindrapport maken	Eindrapport maken	
25-5	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	25-5: Deadline onderzoek uitvoeren
30-5	Feedback eindrapport verwerken	Feedback eindrapport verwerken	25-5: Deadline CONCEPT eindrapport
1-6	Feedback eindrapport verwerken	Feedback eindrapport verwerken	
6-6	2e pinksterdag	2e pinksterdag	2e pinksterdag
8-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	
13-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	
15-6	Uitloop eindrapport	Uitloop eindrapport	15-6: Deadline definitieve eindrapport
20-6	Vorbereiden Technasiumparade	Vorbereiden Technasiumparade	
22-6	Technasiumparade	Technasiumparade	Technasiumparade
27-6	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken
29-6	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken	Groepsgesprekken

## §14.2 Logboek

Datum	Otto	Hanna
	Lijst gemaakt met interessante bedrijven/organisaties.	
	Lijst gemaakt van manieren waarop we contact op kunnen nemen met de interessante bedrijven/organisaties.	
7-1-2022	Mail verstuurd naar Vandersat.	
8-1-2022	Mail verstuurd naar Airbus Defence & Space.	
9-1-2022	Contact gezocht met LVNL.	
	Communicatie met Airbus Defense & Space.	
10-1-2022	Contactgegevens Airbus Defense & Space bijgewerkt.	
	Presentaties "smoelenboek"	Presentaties "smoelenboek"
	Begonnen met maken planning, data met vakanties erin gezet.	
	Samen met Stefan begonnen aan de opzet van het Plan van Aanpak.	
12-1-2022	Mail verstuurd naar LVNL.	Groepssite aangemaakt
	Communicatie met LVNL.	
13-1-2022	Verder gewerkt aan de opzet van het Plan van Aanpak.	Verder gewerkt aan Plan van Aanpak.
15-1-2022	Communicatie met Airbus Defense & Space.	
18-1-2022	Communicatie met Airbus Defense & Space.	
	Gewerkt aan PvA (deliverables)	Gewerkt aan PvA (voorpagina)
	Iedereen verantwoordelijk gemaakt voor een of meer deliverables.	Planning besproken
	Samen met Pepijn planning gemaakt	
19-1-2022	Algemene informatie project besproken	Algemene informatie project besproken
24-1-2022	Gewerkt aan PvA (deliverables 1-3)	
7-2-2022	Gewerkt aan PvA (deliverables 3-5)	Gewerkt aan PvA (aanleiding en relevantie, situatie)
	Scrumboard beplakken met post-its	Gewerkt aan PvA (aanleiding en relevantie, situatie)
	Gewerkt aan PvA (checken/bespreken situatie)	
9-2-2022	Gewerkt aan PvA (checken/bespreken theoretisch kader)	Scrumboard beplakken met post-its
	Punten aan taken gegeven voor scrumboard	Gewerkt aan PvA (bronnen)
	Gewerkt aan PvA (checken/bespreken doelstelling)	Gewerkt aan PvA (inleiding)
	Gewerkt aan PvA (checken/bespreken inleiding (opdrachtgever))	
14-2-2022	Gewerkt aan PvA (onderzoeksopzet)	Overleg gehad over onderzoeksvragen

Datum	Stefan	Pepijn
7-1-2022		
8-1-2022		
9-1-2022		
10-1-2022		
	Presentaties "smoelenboek"	
	Logboek aangemaakt.	
12-1-2022	Samen met Otto gewerkt aan de opzet van het Plan van Aanpak.	Presentaties "smoelenboek"
13-1-2022		
15-1-2022		
18-1-2022		
	Planning besproken	Samen met Otto gewerkt aan planning
19-1-2022	Algemene informatie project besproken	Algemene informatie project besproken
24-1-2022	Gewerkt aan PvA (theoretisch kader)	Gewerkt aan PvA (aannames en risico's)
7-2-2022	Gewerkt aan PvA (theoretisch kader)	
9-2-2022	Gewerkt aan PvA (theoretisch kader)	Gewerkt aan PvA (aannames en risico's)
	Punten aan taken gegeven voor scrumboard	Gewerkt aan PvA (onderzoeksopzet)
	Overleg gehad over onderzoeksvragen	Gewerkt aan PvA (samenvatting)
14-2-2022	Gewerkt aan PvA (inleiding)	Overleg gehad over onderzoeksvragen
		Gewerkt aan PvA (samenvatting)
		Gewerkt aan PvA (onderzoeksopzet)
18-2-2022	Gewerkt aan PvA (Theoretisch kader checken en verbeteren)	PvA doorgelopen voor laatste foutjes
28-2-2022		Gesprek voor feedback PvA
2-3-2022		Eigen tekstje schrijven groepssite
		Brainstormen vragen vooronderzoek
7-3-2022		Begonnen aan vooronderzoek
9-3-2022	Feedback verwerken PvA	Meeluisteren gesprek voor feedback PvA (online)
11-3-2022		Feedback verwerken PvA

Datum	Otto	Hanna
18-2-2022	Gewerkt aan PvA (bijlagen)	Gewerkt aan PvA (bronnen)
	Gewerkt aan PvA (onderzoeksopzet)	
	Gewerkt aan PvA (deliverables)	
	Gewerkt aan PvA (bronnen)	
	Gewerkt aan planning	
	Communicatie met Airbus Defence & Space	
28-2-2022	Gesprek voor feedback PvA	Gesprek voor feedback PvA
	Scrumboard bijwerken met Hanna	Scrumboard bijwerken met Otto
2-3-2022	Communicatie met Airbus Defence & Space: Voors is op vakantie t/m 7 maart	Groepssite bijwerken
	Scrumboard digitaliseren en bijwerken voor nieuwe sprint	
	Eigen tekstje schrijven groepssite	
7-3-2022	Brainstormen vragen vooronderzoek	Brainstormen vragen vooronderzoek
	Communicatie met Airbus Defence & Space	
	Uitprinten Plan van Aanpak voor feedbackronde docenten	
9-3-2022	Gesprek voor feedback PvA	
	Feedback verwerken PvA	
11-3-2022	Communicatie met Airbus Defence & Space	
13-3-2022	Feedback verwerken PvA	
	Beginnen met programma (openen NetCDF-data)	
	Bespreken onderzoek afbakenen	
14-3-2022	Begonnen met test-programma voor NetCDF-bestanden openen	Vooronderzoek
	Feedback verwerken PvA	
	Communicatie met Airbus Defence & Space	
	Onderzoek voorbereiden	
15-3-2022	Feedback verwerken PvA (aannames & risico's)	
	Gewerkt aan test-programma NetCDF4	
16-3-2022	PvA helemaal lezen en controleren	Vooronderzoek afmaken
	Werken aan test-programma NetCDF4	
22-3-2022	Numpy-probleem uitleesprogramma opgelost.	
	Gewerkt aan werkplan	
23-3-2022	Verder gewerkt aan programma	
	Communicatie met Airbus Defence & Space	
28-3-2022	Verder gewerkt aan het programma	
30-3-2022	Verder gewerkt aan het programma	vooronderzoek afmaken
4-4-2022	Verder gewerkt aan het programma	groepswebsite bijgewerkt
3-5-2022	Verder gewerkt aan het programma	

Datum	Stefan	Pepijn
	Onderzoek afbakenen	
13-3-2022	Feedback ontvangen	
		Feedback verwerken PvA
14-3-2022	Feedback verwerken PvA	Scrumboard bijwerken
15-3-2022		Feedback verwerken PvA (aannames & risico's)
	PvA helemaal lezen en controleren	
16-3-2022	Laatste feedback verwerken	Vooronderzoek afmaken
22-3-2022		
23-3-2022	geholpen met werken aan het programma	onderzoek gedaan naar elektromagnetische golven
28-3-2022	geholpen met werken aan het programma	onderzoek gedaan naar elektromagnetische golven
30-3-2022	onderzoek afbakenen	onderzoek afbakenen
4-4-2022	onderzoek afbakenen	onderzoek afbakenen
3-5-2022		
9-5-2022		
11-5-2022		vergelijkingsgebieden bepaald
16-5-2022	Onderzoek doen naar de sensor	vergelijkingsgebieden bepaald
		gegevens in tabellen zetten
18-5-2022	gegevens in tabellen zetten	vergelijkings gebieden bepaald
	onderzoek afbakenen	
23-5-2022	grafieken analyseren	Gewerkt aan het eindrapport
25-5-2022	Gewerkt aan het eindrapport (D4)	Gewerkt aan het eindrapport (D2)

Datum	Otto	Hanna
9-5-2022	Programma afmaken	
	code gebruiken om gebieden te analyseren	
11-5-2022		mogelijke problemen uitdenken
16-5-2022	code gebruiken om gebieden te analyseren	gebieden geanalyseerd
18-5-2022	mogelijke problemen uitdenken	mogelijke problemen uitdenken
23-5-2022	Gewerkt aan het eindrapport	
25-5-2022	Gewerkt aan het eindrapport (D3)	Gewerkt aan het eindrapport (D1)

Datum	Otto	Hanna
26-5-2022	Begonnen met plan technasiumparade	
	Gewerkt aan het eindrapport	
	Gewerkt aan plan technasiumparade	
30-5-2022	Algemene bepreking technasiumparade	Algemene bepreking technasiumparade
	Bespreking presentatie technasiumparade	Bespreking presentatie technasiumparade
	Contact met Airbus Defence & Space	Vooronderzoek goed formatteren voor het eindrapport
1-6-2022	Feedback verwerken eindrapport	
	Gewerkt aan groepssite	
6-6-2022	Gewerkt aan eindrapport	
7-6-2022	Gewerkt aan groepssite	
	Taken verdelen eindrapport	
	Vorbereiding Technasiumparade	Vooronderzoek goed formatteren voor het eindrapport
8-6-2022	Gewerkt aan het eindrapport	
10-6-2022	Groepssite	Voorwoord schrijven
11-6-2022	Informatiepagina	Vooronderzoek goed formatteren
12-6-2022	Contact met Airbus Defence & Space	Conclusie
13-6-2022	Werk van Stefan en Pepijn checken	Informatiepagina
Datum	Stefan	Pepijn
26-5-2022		
30-5-2022	Online meegedacht over technasiumparade	Algemene bepreking technasiumparade
	Bespreking presentatie technasiumparade	Bespreking presentatie technasiumparade
1-6-2022	Grafieken analyseren	Overige stukjes eindrapport schrijven
6-6-2022		
7-6-2022	Grafieken analyseren	
8-6-2022	Grafieken analyseren	gewerkt aan eindrapport (hypothese)
10-6-2022	Grafieken analyseren	afgemaakt eindrapport (hypothese)
11-6-2022	Grafieken analyseren	gewerkt aan eindrapport (inleiding)
12-6-2022	Grafieken analyseren (af)	gewerkt aan eindrapport (samenvatting)
13-6-2022	Groepssite stukje schrijven	afgemaakt eindrapport (inleiding)

<b>Datum</b>	<b>Otto</b>	<b>Hanna</b>
14-6-2022	Groepssite	Vooronderzoek
	Eindrapport	Conclusie
	Onderzoek afbakenen	
	Vooronderzoek	
	Conclusie	
14-6-2022	Discussie	Bronnen
	Conclusie	Conclusie
	Opdracht	Vooronderzoek
15-6-2022	Alles doorlezen	Alles doorlezen
<b>Datum</b>	<b>Stefan</b>	<b>Pepijn</b>
	Resultaten	
	Discussie	
14-6-2022	Bijlagen	Vooronderzoek
15-6-2022	Alles doorlezen	Groepssite

## §14.3 Python-code

```
# importeer libraries voor data-analyse
import numpy as np
from os import getcwd
from netCDF4 import Dataset
from math import isnan
from PIL import Image
from openpyxl import Workbook

# maak constanten met de plek van de dataset en de naam van het product
DATALOCATIE = "Documents\\cube_ch4_filtered\\cube_ch4_filtered.nc"
PRODUCTNAME = "methane_mixing_ratio_corrected_filtered"
HOEVEELHEID_DAGEN = 1195

# maak variabelen die nodig zijn voor het uitvoeren van het programma
hoogste_waarde = 0
dag_van_hoogste = 0
laagste_waarde = 20000000 # belachelijk hoog
meeste_meetwaarden = 0
dag_van_meeste_meetwaarden = 2000000 # een waarde die niet eens bestaat
dag_van_laagste = 200000 # een waarde die niet eens bestaat
rij = 1 # de rij moet bij 1 beginnen zodat de header niet zal worden overschreven

# initialiseer een excel-document
workbook = Workbook()
sheet = workbook.active

# vul de header van het excel-document met de titels voor de kolommen
sheet["A1"] = "i (dag sinds 28-11-2018)"
sheet["B1"] = "datum van meting" # leeg houden, later invullen in excel
sheet["C1"] = "verschil met vorige meting" # leeg houden, later invullen in excel
sheet["D1"] = "punten waar een meting is gedaan"
sheet["E1"] = "percentage punten waar een meting is gedaan van alle punten boven
land"
sheet["F1"] = "laagste meting"
sheet["G1"] = "gemiddelde hoeveelheid meetpunten"
sheet["H1"] = "hoogste meting"
sheet["I1"] = "verschil tussen de hoogste en laagste meting"
sheet["J1"] = "timeUnits" # leeg houden, later invullen in excel

# zoek de plek waar de dataset staat op de computer
datamap = getcwd()
datamap = datamap.split("\\")
datamap = datamap[:3]
locatie = ""
for folder in datamap:
    locatie += folder
    locatie += "\\\"
locatie += DATALOCATIE
```



```
# krijg losse onderdelen van de dataset
data = Dataset(locatie)
latVar = data["Latitude"]
lonVar = data["Longitude"]
timeVar = data["Time"]
timeUnits = data["Time"].units

tmpGrp = data.groups["PRODUCT"]
dataVar = tmpGrp.variables[PRODUCTNAME]

# print de algemene informatie.
print("\nlatVar: ")
print(latVar)
print("\nlonVar:")
print(lonVar)
print("\ntimeVar:")
print(timeVar)
print("\ntimeUnits:")
print(timeUnits)
print("\nproduct:")
print(dataVar)
print("\nCubeUnits:")
print(dataVar.units)

# define het gebied voor de analyse
latmax = 24.411718
latmin = 19.621186
lonmax = 116.391966
lonmin = 108.398956

# maak de coordbox en print het
coordbox = {'latmax': latmax, 'latmin': latmin, 'lonmin': lonmin, 'lonmax': lonmax}
print(coordbox)

# bereken de ranges voor de onderdelen
lat_idx = (np.where((latVar[:] >= latmin) & (latVar[:] <= latmax)))
lon_idx = (np.where((lonVar[:] >= lonmin) & (lonVar[:] <= lonmax)))
lat_mm = (np.min(lat_idx), np.max(lat_idx))
lon_mm = (np.min(lon_idx), np.max(lon_idx))
timeIDXstart = 0
timeIDXend = len(timeVar)

# data uit de dataVar halen en in een nieuwe array zetten.
cube =
np.asarray(dataVar[timeIDXstart:timeIDXend,lat_mm[0]:lat_mm[1],lon_mm[0]:lon_mm[1]]
)

# maximaal aantal lats om scheefheden in de data te voorkomen:
max_lats = 0
```

```

for dag in range(len(cube)):
    if len(cube[dag]) > max_lats:
        max_lats = len(cube[dag])

# maximaal aantal lons om scheefheden in de data te voorkomen:
max_lons = 0
for dag in range(len(cube)):
    for lat in range(len(cube[dag])):
        if len(cube[dag][lat]) > max_lons:
            max_lons = len(cube[dag][lat])

# maak een nieuwe lege array voor de data in de 'goede volgorde'
nieuwe_data = [[] for _ in range(max_lons)] for __ in range(max_lats)]

# loop om data in de 'goede volgorde te zetten'
for dag in range(len(cube)):
    for lats in range(len(cube[dag])):
        for lons in range(len(cube[dag][lats])):
            waarde = cube[dag][lats][lons]
            if not isnan(waarde):
                nieuwe_data[lats][lons][dag] = waarde

# definieer functies
def map_waarden(inputwaarde, inmin, inmax, uitmin, uitmax):
    """Functie om waarden uit een bepaalde range aan een andere range te mappen"""
    getal = uitmin + ((inputwaarde - inmin) / (inmax - inmin)) * (uitmax -
uitmin)
    if getal > 255:
        getal = 255
    return getal

def gemiddelde(lijst):
    """Functie om een gemiddelde van een bepaalde lijst te krijgen"""
    if len(lijst) > 0:
        avg = sum(lijst)/len(lijst)
    else:
        avg = 0
    return avg

def pixels_die_gemeten_zijn(gekozen_dag):
    """Functie om de hoeveelheid pixels te krijgen die te meten waren op een
bepaalde dag"""
    totale_pixels = 0
    for lat in nieuwe_data:
        for lon in lat:
            try:
                print(lon)
                # om te kijken of de key gekozen_dag bestaat, dit gaat fout als de
key niet bestaat
                if lon[gekozen_dag] != -1:

```

```

        totale_pixels += 1
    except KeyError:
        totale_pixels += 0
return totale_pixels

def maak_plaatje(meetsoort, gekozen_dag):
    """Procedure om een plaatje te tekenen met de data van de dataset"""
    # variabelen maken die nodig zijn voor het uitvoeren van deze procedure
    zeepixels = 0
    vergrotings_factor = 8
    plaatjelist = [[] for __ in range(max_lats)]

    for lat in nieuwe_data:
        for lon in lat:
            if meetsoort == "meethoeveelheid":
                if len(lon.values()) > 0: # hoeveelheid metingen
                    kleurentuple = (
                        0,
                        int(map_waarden(len(lon.values()),
                                      laagste_waarde, hoogste_waarde, 0, 955)),
                        0)
                else:
                    kleurentuple = (0,0,255) # als er geen metingen zijn op die
plek

            elif meetsoort == "avg_waarden":
                if len(lon.values()) > 0: # gemiddelde waarde
                    kleurentuple = (
                        int(map_waarden(gemiddelde(list(lon.values())),
                                      laagste_waarde, hoogste_waarde, 0, 255)),
                        0,
                        0)
                else:
                    kleurentuple = (0,0,255) # als er geen metingen zijn op die
plek

            elif meetsoort == "waardenverschil":
                if len(lon.values()) > 0: # minimale waarde
                    kleurentuple = (
                        int(map_waarden(min(list(lon.values())),
                                      laagste_waarde, hoogste_waarde, 255, 0)),
                        int(map_waarden(max(list(lon.values())),
                                      laagste_waarde, hoogste_waarde, 0, 255)),
                        0)
                else:
                    kleurentuple = (0,0,255) # als er geen metingen zijn op die
plek

            elif meetsoort == "minwaarden":
                if len(lon.values()) > 0: # minimale waarde, omgekeerd
                    kleurentuple = (
                        int(map_waarden(min(list(lon.values())),
                                      laagste_waarde, hoogste_waarde, 255, 0)),

```

```

        0,
        0)
    else:
        kleurentuple = (0,0,255) # als er geen metingen zijn op die
plek
elif meetsoort == "maxwaarden":
    if len(lon.values()) > 0: # maximale waarde
        kleurentuple = (
            int(map_waarden(max(list(lon.values()))),
                laagste_waarde, hoogste_waarde, 0, 255)),
            0,
            0)
    else:
        kleurentuple = (0,0,255) # als er geen metingen zijn op die
plek

        zeepixels += 1
elif meetsoort == "bepaaldedag":
    if len(lon.values()) > 0: # waarde van bepaalde dag
        try:
            kleurentuple = (
                int(map_waarden(lon[gekozen_dag],
                    laagste_waarde, hoogste_waarde, 255, 0)),
                    0,
                    0)
        except KeyError: # als er geen metingen zijn op die plek op
die dag
            kleurentuple = (0,255,0)
    else:
        kleurentuple = (0,0,255) # als er helemaal geen metingen zijn
op die plek

    # voeg deze ronde toe aan de list voor het plaatje
    plaatjelist[nieuwe_data.index(lat)].append(kleurentuple)

# maak het plaatje
array = np.array(plaatjelist, dtype=np.uint8)
plaatje = Image.fromarray(array)

# plaatje beter scalen zodat het beter te zien is
width = plaatje.size[0]
height = plaatje.size[1]
print(f"Formaat: {width} (width), {height} (height)")
resizetuple = (width*vergrotings_factor, height*vergrotings_factor)
plaatje = plaatje.resize(resizetuple, resample = Image.NEAREST)

# plaatje een naam geven en dan opslaan
if meetsoort == "bepaaldedag":
    plaatjesnaam = f"{meetsoort}_{gekozen_dag}.png"
else:
    plaatjesnaam = f"{meetsoort}.png"
plaatje.save(plaatjesnaam)

```

```

def log_data_in_excel(gekozen_dag, sheet, excel_rij):
    """Functie om data van een bepaalde dag in het excel-document te zetten."""
    # variabelen maken die nodig zijn voor het uitvoeren van deze functie
    hoeveelheid_metingen = 0
    hoeveelheid_nan_zee = 0
    hoeveelheid_nan_land = 0
    totaal_methaan = 0
    maximale_waarden = []
    minimale_waarden = []
    ook_lege_punten_meenemen = False

    # loop door alle meetpunten om data te verzamelen
    for lat in nieuwe_data:
        for lon in lat:
            if len(lon.values()) > 0: # voor als er metingen zijn op deze plek op
                deze dag
                    try:
                        totaal_methaan += lon[gekozen_dag]
                        hoeveelheid_metingen += 1
                        maximale_waarden.append(max(lon.values()))
                        minimale_waarden.append(min(lon.values()))
                    except KeyError: # als er geen metingen zijn op deze dag
                        hoeveelheid_nan_land += 1
                    else: # als er geen metingen zijn op deze plek
                        hoeveelheid_nan_zee += 1

            try: # bereken het gemiddelde
                gemiddelde_hoeveelheid = totaal_methaan/hoeveelheid_metingen
            except ZeroDivisionError: # als er een error komt omdat je niet door 0 kan
                delen
                    gemiddelde_hoeveelheid = 0

    alle_metingen = hoeveelheid_metingen+hoeveelheid_nan_land+hoeveelheid_nan_zee
    percentage_gelukte_metingen = hoeveelheid_metingen/alle_metingen*100

    if hoeveelheid_metingen > 0: # als er metingen zijn geweest (en dus niet alles
    0 is)
        excel_rij += 1
        sheet[f"A{excel_rij}"] = gekozen_dag
        sheet[f"D{excel_rij}"] = hoeveelheid_metingen
        sheet[f"E{excel_rij}"] = percentage_gelukte_metingen
        sheet[f"F{excel_rij}"] = min(minimale_waarden)
        sheet[f"G{excel_rij}"] = gemiddelde_hoeveelheid
        sheet[f"H{excel_rij}"] = max(maximale_waarden)
        sheet[f"I{excel_rij}"] = max(maximale_waarden) - min(minimale_waarden)
    elif ook_lege_punten_meenemen: # als alle punten moeten worden meegenomen (ook
    lege punten)
        sheet[f"A{excel_rij}"] = gekozen_dag
        sheet[f"D{excel_rij}"] = hoeveelheid_metingen

```

```
sheet[f"E{excel_rij}"] = percentage_gelukte_metingen
sheet[f"F{excel_rij}"] = 0
sheet[f"G{excel_rij}"] = gemiddelde_hoeveelheid
sheet[f"H{excel_rij}"] = 0
sheet[f"I{excel_rij}"] = 0
return excel_rij

# loop om de hoogste & laagste waarde te vinden (en de dag waarop deze zijn)
for lat in nieuwe_data:
    for lon in lat:
        for methaan in lon.values():
            if methaan > hoogste_waarde:
                hoogste_waarde = methaan
                dag_van_hoogste =
list(lon.keys())[list(lon.values()).index(methaan)]
            if methaan < laagste_waarde:
                laagste_waarde = methaan
                dag_van_laagste =
list(lon.keys())[list(lon.values()).index(methaan)]

# vul het excel-document met de data van de dataset
for i in range(HOEVEELHEID_DAGEN):
    rij = log_data_in_excel(i, sheet, rij)

# maak een paar plaatjes over het doelgebied
maak_plaatje("maxwaarden", 1)
maak_plaatje("minwaarden", 1)
maak_plaatje("meethoeveelheid", 1)

# sla het excel-document op en dataset sluiten
workbook.save(filename="data.xlsx")
data.close()
```

## §14.4 Meetgebieden

### §14.4.1 Coördinaten Nieuw Zeeland:

latmax = -43.531119  
latmin = -46.321651  
lonmax = 173.370183  
lonmin = 169.377173

### §14.4.2 Coördinaten Nederland:

latmax = 53.521409  
latmin = 50.730877  
lonmax = 7.316484  
lonmin = 3.323474

### §14.4.3 Coördinaten Duitsland:

latmax = 53.521409  
latmin = 50.730877  
lonmax = 17.316484  
lonmin = 13.323474

### §14.4.4 Coördinaten Corsica:

latmax = 41.532302  
latmin = 38.741770  
lonmax = 11.587315  
lonmin = 7.594305

### §14.4.5 Coördinaten Zuid-Pool:

latmax = -71.335832  
latmin = -74.126364  
lonmax = -62.5038  
lonmin = -66.496810

### §14.4.6 Coördinaten Sahara:

latmax = 26.167277  
latmin = 23.376745  
lonmax = -10.31269  
lonmin = -14.305700

### §14.4.7 Coördinaten Engeland:

latmax = 53.521409  
latmin = 50.730877  
lonmax = -1.786062  
lonmin = -5.779072