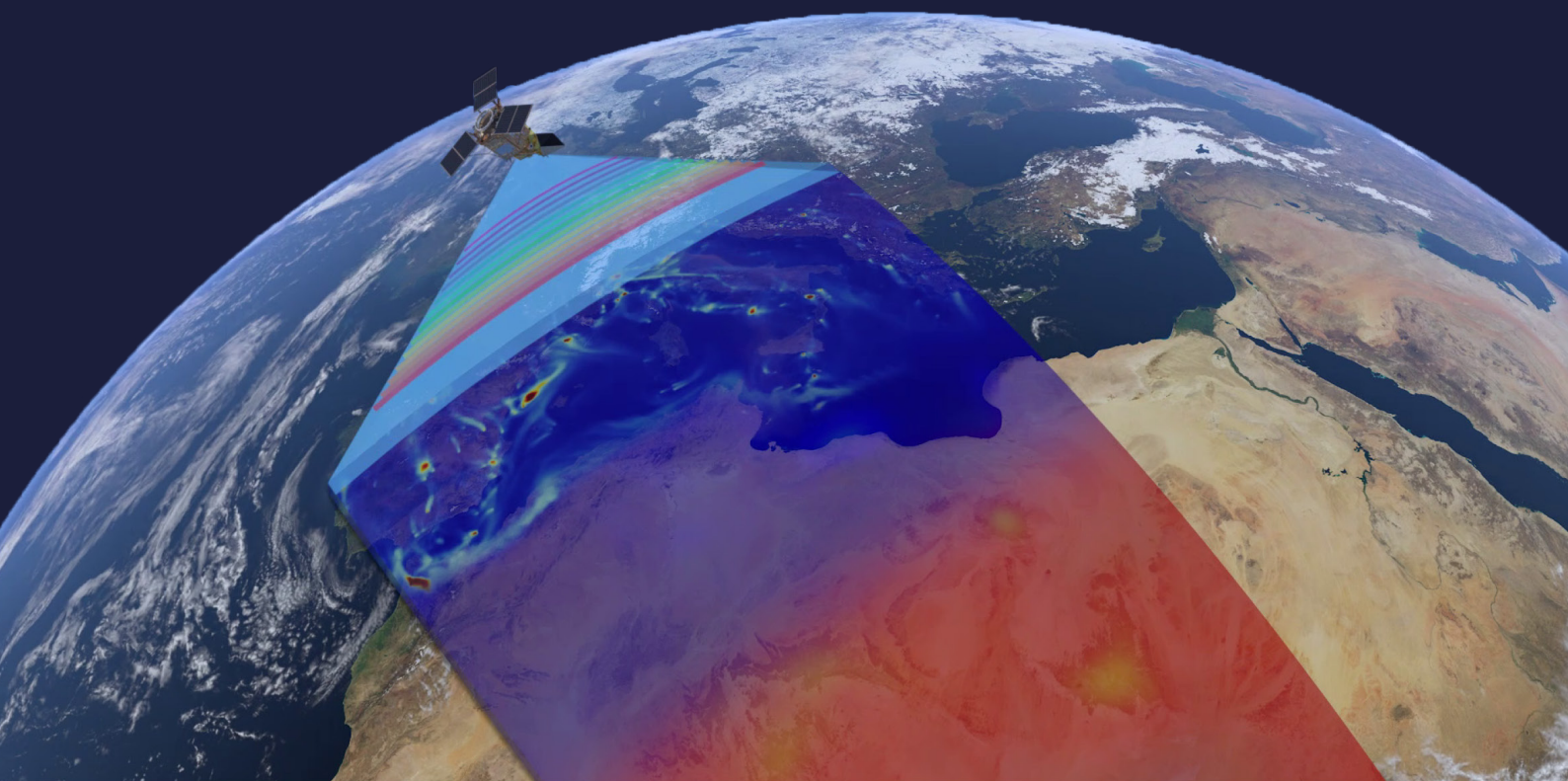


HOE DE LEIDENDE POSITIE VAN NEDERLAND IN HET ONDERZOEK NAAR KLIMAAT EN LUCHTKWALITEIT TE VERSTERKEN



Het Nederlandse Clear Air consortium bundelt de krachten om de leidende positie van Nederland op het gebied van aardobservatie voor klimaat en luchtkwaliteit te behouden en verder uit te bouwen.

HOE DE LEIDENDE POSITIE VAN NEDERLAND IN HET ONDERZOEK NAAR KLIMAAT EN LUCHTKWALITEIT TE VERSTERKEN

Auteurs:

KNMI Pieter Levelt, Rubert Konijn, Pepijn Veeffkind, Frank Helmich
TNO Kees Buijsrogge, Anton Leemhuis
SRON Michael Wise, Aaldert van Amerongen
TU Delft Henri Werij, Jérôme Loicq, Marte Bugel

Het Nederlandse Clear Air consortium bundelt de krachten om de leidende positie van Nederland op het gebied van aardobservatie voor klimaat en luchtkwaliteit te behouden en verder uit te bouwen.

Oktober 2021

SAMENVATTING

Klimaatverandering en luchtvervuiling zijn de belangrijkste mondiale uitdagingen van onze tijd. Dit wordt onderkend door de 195 landen die in 2015 het Klimaatakkoord van Parijs hebben ondertekend en bevestigd door de miljoenen jaarlijkse sterfgevallen als gevolg van luchtvervuiling (WHO, 2018). In deze whitepaper laten KNMI, TNO, SRON en de TU Delft zien hoe **Nederland een sleutelrol kan vervullen** in het leveren van wereldwijde en lokale data om de impact van klimaatverandering te beperken en de luchtkwaliteit te verbeteren en zo de nationale klimaatdoelen en de uitstootverminderingdoelen van de Europese Green Deal te behalen.

Nederland verkeert in de unieke positie te kunnen **profiteren van decennialang excellent onderzoek** op het gebied van ruimte-instrumentatie voor atmosfeerchemie (bijv. OMI, TROPOMI) en een prominente positie in de kleine-satellietindustrie en innovatieve kunstmatige-intelligentietechnieken. **Het samenbrengen van deze expertises maakt het mogelijk de atmosferische wetenschap naar een hoger niveau te tillen en de samenstelling van de aardatmosfeer beter te kunnen voorspellen en beïnvloeden, met directe impact op het maatschappelijk belang en economische groei.**

De vooraanstaande kennisinstellingen KNMI, TNO, SRON en de TU Delft werken, samen met een breed scala aan betrokken partijen, aan een **R&D roadmap** voor aardobservatie met het oog op klimaat en luchtkwaliteit en bundelen hun expertise in **Clear Air**. Dit *centre of excellence* doet wereldwijd toonaangevend onderzoek naar klimaat en luchtkwaliteit, ontwerpt en ontwikkelt innovatieve aardobservatiesystemen, heeft een datacenter op basis van geavanceerde algoritmes en kunstmatige-intelligentietechnieken en levert gebruiksklare data aan wetenschap, overheid en industrie.

Het samenbrengen van de capaciteiten van deze instellingen **opent de weg naar doorbraken in de wetenschap en in de aanpak van mondiale uitdagingen**. Het centrum levert bijdragen aan programma's van de EU en ruimtevaartorganisaties als ESA. Op nationaal niveau focust Clear Air zich op aardobservatie-activiteiten die niet onder de internationale programma's vallen en **voegt het directe waarde toe aan de Nederlandse maatschappij en economie**.

De maatschappelijke en economische waarde van Clear Air bestaat uit:

- Het ondersteunen van Nederland, Europese landen en andere internationale partners bij de **onafhankelijk verificatie van broeikasgasemissies** om de toekomstige **evaluatie van het Parijs-akkoord** mogelijk te maken. Dit gebeurt middels de detectie en identificatie van emissiebronnen op verschillende schalen—van individuele schepen, boerderijen en lekkende gasleidingen tot op landelijk niveau—daarmee een eerlijk speelveld voor emissiereductie realiserend;
- Het ontwikkelen van unieke en innovatieve dataproducten die **helpen bij het beperken en monitoren van emissies die centraal staan in het Nederlandse beleid rond milieu en volksgezondheid**, zoals de uitstoot van ammoniak en stikstofdioxide, die Natura2000-gebieden beschadigen en grote economische implicaties hebben;
- Het stimuleren van het verdienpotentieel van de Nederlandse economie door de Nederlandse ruimtevaart- en hightechsector te versterken, een waardeketen op te richten voor het meten van emissies vanuit de ruimte—een **snelgroeiend exportproduct**—en door te dienen als een **groene aanjager van duurzame economische groei**.

Deze whitepaper dient als een gezamenlijke **visie** voor de toekomst; het bevat verschillende concrete actiepunten die Nederland een **leidende positie zullen bezorgen op de weg naar schone lucht**. Als eerste actiepunt ontwikkelen de consortiumpartners van Clear Air, samen met Nederlandse stakeholders, een R&D roadmap om de gezamenlijke klimaatmissie te verwezenlijken.

VOOROP LOPEN NAAR SCHONE LUCHT

>> Antropogene uitstoot van luchtvervuilende stoffen en broeikasgassen horen bij de grootste uitdagingen van onze tijd.

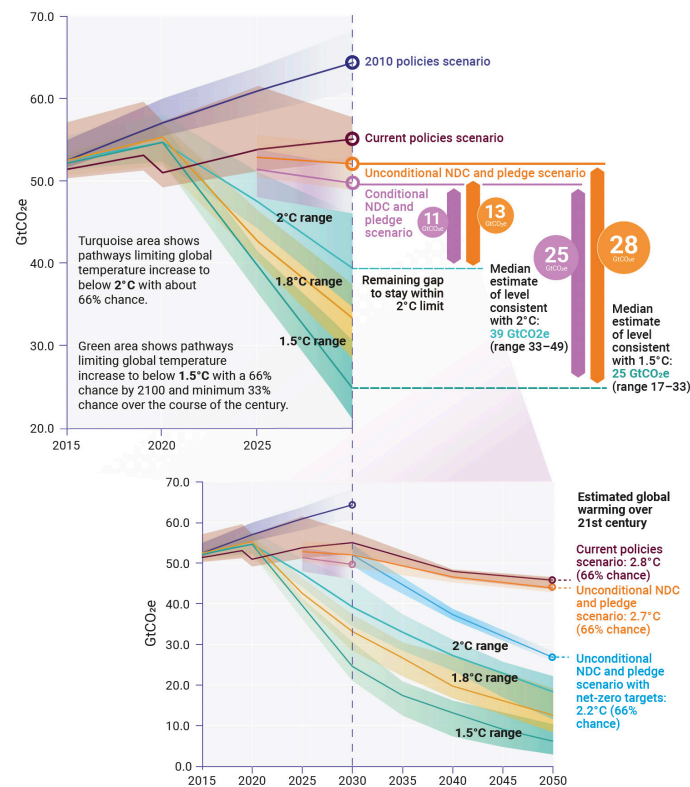
Wetenschappers hebben onder de koepel van de Verenigde Naties samengewerkt aan het kwantificeren van de impact van antropogene uitstoot op klimaat. In zijn laatste evaluatie heeft het IPCC onmiskenbaar aangetoond dat de gevolgen van klimaatverandering wereldwijd en bovendien van ongekende schaal zijn. Klimaatverandering veroorzaakt verschuivende weerpatronen die de voedselproductie bedreigen en een zeespiegelstijging die het risico op overstromingen vergroot, met vluchtelingen- en migratiestromen tot gevolg. Luchtvervuiling veroorzaakt jaarlijks ruim 4 miljoen voortijdige sterfgevallen (2018) en meer dan 90% van de wereldbevolking woont in gebieden waar de luchtkwaliteit onder de WHO-norm ligt. Het ondernemen van actie is urgent vanwege de enorme aantallen verloren levensjaren door luchtvervuiling en de snelgroeiende kloof tussen de daadwerkelijke broeikasgasemissies en de toegestane emissies in de scenario's waarin de opwarming van de aarde tot 2 °C beperkt wordt. Daarom hebben de Verenigde Naties wereldleiders opgeroepen nu op te treden: "We stevenen nog steeds af op een temperatuuroename van tenminste 3 °C in deze eeuw – dat is gevaarlijk ver boven de doelen in het Klimaatakkoord van Parijs om de opwarming van de aarde ruim onder 2 °C te houden en te streven naar 1,5 °C. Om weer op het goede, 2 °C-spoor te komen, zullen we onze uitstoot in 2030 met een derde moeten hebben teruggedrongen. Voor 1,5 °C moeten we die halveren. In plaats daarvan voorziet de huidige fossiele-brandstofprognose een jaarlijkse toename van 2 procent. Dus, met oog op deze simpele feiten is de rode draad glashelder. We liggen mijlenver achter."¹

Dit jaar heeft de Europese Commissie sterk gereageerd door een klimaatwet aan te nemen en door een economische transitie voor te stellen die broeikasgasuitstoot dit decennium met 55% moet terugdringen (vergeleken met de niveaus in 1990) en tot klimaatneutraliteit in 2050. In deze Green Dealtransitie prioriteert Europa ook het terugdringen van luchtvervuiling en de bescherming van biodiversiteit. In aanloop naar de COP26 klimaatconferentie in Glasgow in november dit jaar, hebben leiders van de VS en de EU in navolging van het werk van het UN Environment Programme (UNEP) concrete klimaatactie ondernomen door af te spreken de methaanuitstoot dit decennium met 30% te verminderen. Volgens UNEP zal dit 200.000 voortijdige sterfgevallen door methaangerelateerde ozonvervuiling voorkomen en opwarming met ten minste 0,2 °C verminderen.² Dit is een goed voorbeeld van de manier waarop wetenschap ontwikkeld voor satellietwaarnemingen van de atmosfeer kan worden ingezet ten behoeve van maatschappij en beleid.

Het is nu tijd voor Nederland om via het Clear Air consortium haar leidende positie in klimaatwetenschappen en luchtkwaliteit te versterken.

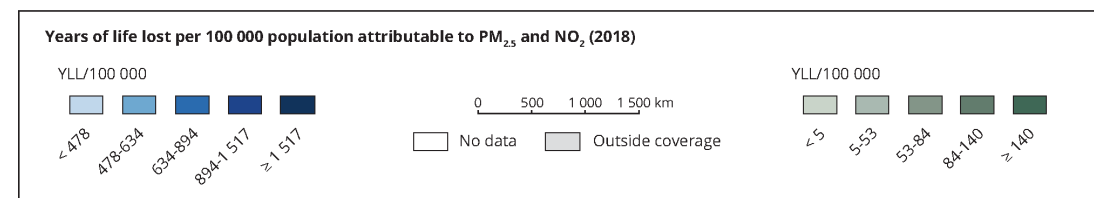
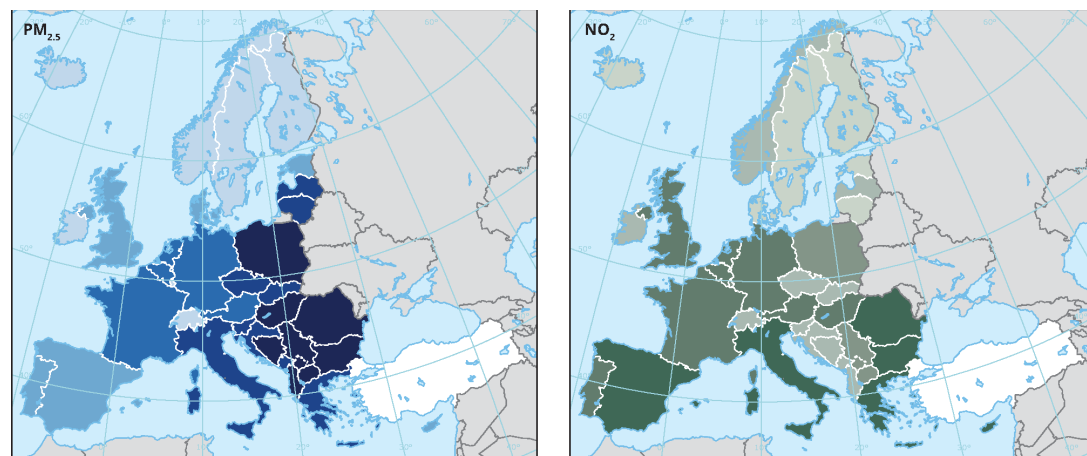
>> Zowel klimaatverandering als luchtvervuiling hebben wereldwijde impact van ongekende omvang.

Wereldwijde broeikasgasemissies onder verschillende scenario's en de emissiekloof in 2030



Bron: UNEP Emissions Gap Report 2021, <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021>

Sterfgevallen door luchtvervuiling in relatie tot fijnstof en stikstofdioxide



Bron: European Environment Agency (EEA), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/years-of-life-lost-per-3>

>> Wetenschappers, beleidsmakers en industrie hebben sterke behoefte aan mondiale, vergelijkbare metingen en analyses om de effectiviteit van internationaal beleid en maatregelen te ondersteunen.

Klimaatverandering en luchtvervuiling zijn beide het gevolg van antropogene emissies. Helaas wordt onze kennis van deze emissies gekenmerkt door veel onzekerheden. De rapportage van jaarlijkse broeikasgasinventarissen is bijvoorbeeld gebaseerd op bottom-up uitstootschattingen, samengesteld op basis van statistische bedrijvigheidsdata en bron- en landspecifieke emissiefactoren. Echter, om **beleidsmaatregelen effectief te doen zijn, is het essentieel dat deze zijn gestoeld op bewijs** en ondersteund worden door waarnemingen die het niveau van de huidige uitstoot laten zien. Op basis daarvan kan worden geïdentificeerd in welke sectoren en geografische gebieden maatregelen genomen kunnen worden, en worden gemonitord wat het effect van de maatregelen is.

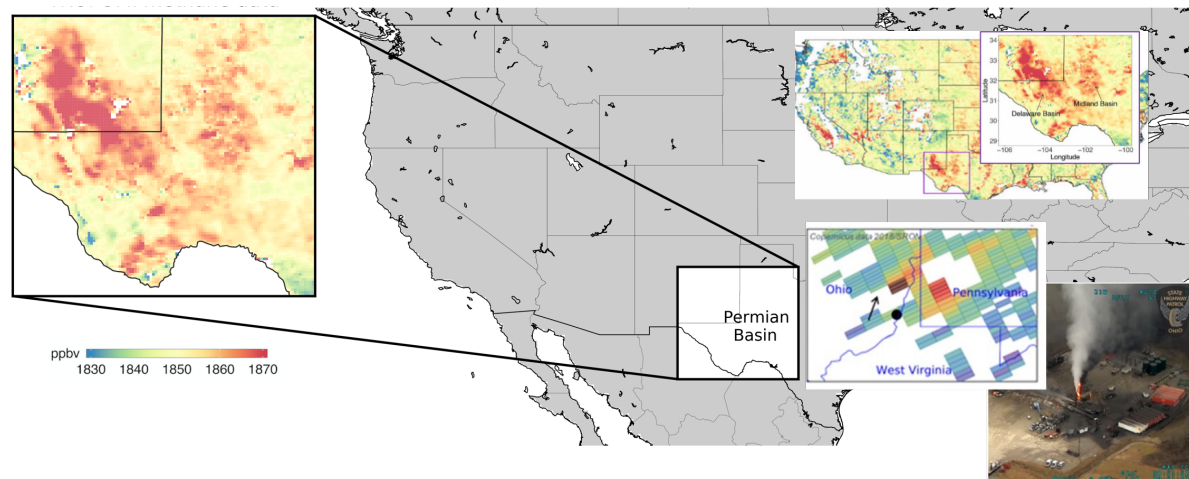
De beschikbaarheid van wereldwijde en onafhankelijke emissiedata met nauwkeurige resolutie is daarom een enorme kans om het realiseren van het Parijs-akkoord en regionaal luchtkwaliteitsbeleid onder de Europese Green Deal te ondersteunen. De volgende wetenschappelijke uitdagingen dienen zich aan:

- **Zorgen voor consistente en nauwkeurige waarnemingen** van uitstoot van broeikasgassen, kortlevende klimaatgassen en aerosolen om beleid te ondersteunen;
- Op basis daarvan, **verbeteren van ons begrip van de wisselwerking tussen luchtkwaliteit en klimaatverandering**, inclusief het verklaren van methaanuitstoot en de vorming van troposferisch ozon en secundaire aerosolen;
- **Meten van luchtvervuiling** op wereldwijde schaal en op wijkniveau;
- Op basis daarvan, **verbeteren van ons begrip van de veranderingen in chemische processen** als gevolg van beleidsmaatregelen, alsook van ons begrip over **chemische cycli in de atmosfeer**, zoals de koolstofcyclus en de stikstofcyclus.

Aardobservatiesatellieten zijn een essentieel hulpmiddel om deze uitdagingen aan te gaan. Satellietinstrumenten en satellietdata leveren **mondiale, consistente, nauwkeurige en vergelijkbare waarnemingen**. Satellietdata bieden unieke informatie over de wereldwijde atmosfeer en de exacte ruimtelijke verspreiding van vervuilende stoffen; cruciaal vanwege het **grensoverschrijdende karakter** van luchtkwaliteit. Bovendien biedt de wereldwijde dekking van satellieten informatie over regio's in de wereld waar geen andere observatie-infrastructuur beschikbaar is. Voorbeeld daarvan is de TROPOMI-detectie van methaanuitstoot in het Amerikaanse Permian Basin, die tweemaal zo hoog bleek te zijn als door de VS was opgegeven. Dit voorbeeld toont hoe satellietgegevens ons **in staat stellen de omvang van het probleem te zien**, wat de determinanten zijn en welke **concrete en gerichte maatregelen** genomen kunnen worden.

Om de impact van klimaatverandering te beperken en luchtkwaliteit te verbeteren moeten we de samenstelling van de aardatmosfeer over de gehele wereld nauwkeurig meten, met een hoge resolutie in ruimte en tijd. Deze informatie kan alleen gerealiseerd worden door innovaties in satelliet-hardware, nieuwe instrumenten, nieuwe waarnemingsstrategieën en innovaties in het vergaren van data en data-analyse.

>> Voorbeelden laten zien hoe satellietdata ons in staat stelt om concrete en doelgerichte maatregelen te nemen.



Monitoring van broeikasgas: schattingen versus metingen

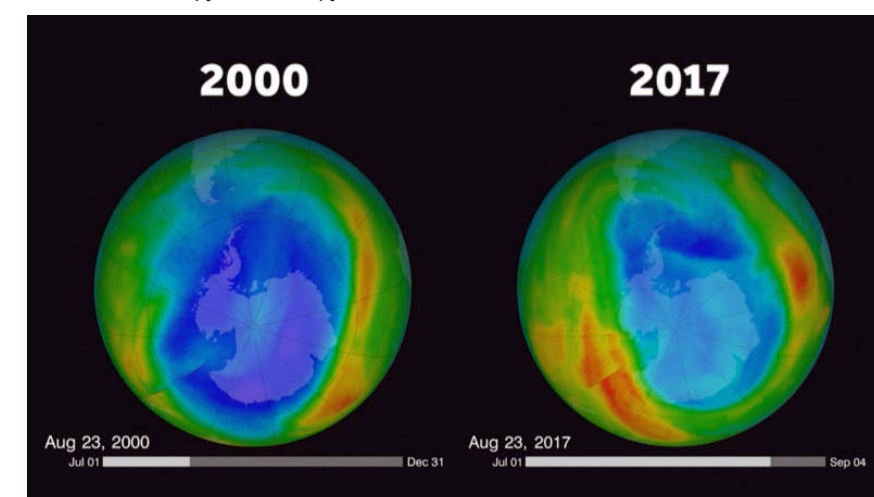
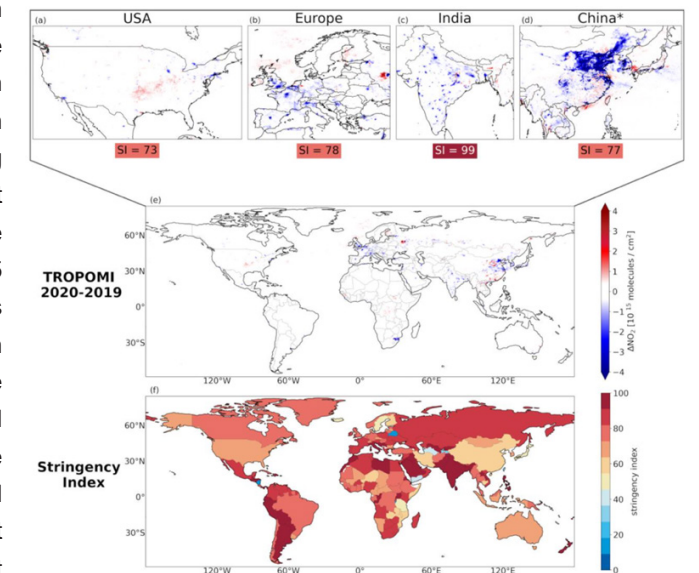
Het broeikasgas methaan is verantwoordelijk voor ongeveer 25% van de opwarming van de aarde. Grote emissiebronnen zijn de veehouderij, de olie- en gasindustrie, stortplaatsen en kolenmijnen. De daadwerkelijke omvang van methaanemissies is onzeker omdat deze wordt geschat in plaats van gemeten. Satellieten zijn steeds beter in staat om onafhankelijke methaanmetingen uit te voeren ter ondersteuning van beleid rond emissiereducties, als onderdeel van het Parijs-akkoord. Op basis van nieuwe metingen van het Nederlandse TROPospheric Monitoring Instrument (TROPOMI), gelanceerd in 2017, ontdekte een internationaal consortium van wetenschappers dat de waargenomen uitstoot boven olie- en gasvelden in het Amerikaanse Permian Basin tweemaal zo hoog was als gemeld. Dankzij dit soort metingen worden olie- en gasbedrijven steeds actiever in het dichten van gaslekken, en overheden die gas aanschaffen worden zich steeds meer bewust van de voetafdruk van de brandstof die ze kopen.³

3 Dix et al, 2020, De Gouw et al., 2020, Zhang et al. 2020, Pandey et al, 2019.

Ozon en het Montreal Protocol: een succesverhaal voor wetenschap & beleid

De aantasting van de ozonlaag was de eerste menselijke bedreiging voor de aardatmosfeer die werd erkend. In de jaren '70 begonnen wetenschappers hun bezorgdheid te uiten over een mogelijke bedreiging van de ozonlaag

vanwege toenemende antropogene uitstoot van chloorfluorkoolwaterstoffen (Cfk's) en andere halonen. Een doorbraak in het publieke debat en in de onderhandelingen werd pas bereikt toen onderzoek hard bewijs leverde dat de aantasting van de ozonlaag een bedreiging vormde voor het milieu en de volksgezondheid. De wetenschappelijke ontdekking van het zogenoemde 'ozongat' in 1985 liet zien dat de afbraak van ozon veel groter was dan de bestaande wetenschappelijke modellen voorspelden. Dit leidde tot een wereldwijde toename in publieke aandacht voor het ozonprobleem, leidend tot een gevoel van urgentie voor een robuuste mondiale politieke oplossing. Het Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, dat in 2019 haar 30e verjaardag vierde, kan zich met recht een van de meest succesvolle internationale verdragen ooit noemen. Sindsdien zijn satellietmetingen gebruikt om de afmetingen van het ozongat te bepalen en te kwantificeren, en om de wereldwijde neergaande trend te meten van ozon als functie van breedtegraad en hoogte. De wetenschap legde zich actief toe op validatie en taxatie van ozon-satellietdata, vastgelegd in de diverse rapporten over de staat van de ozonlaag die uitkwamen sinds de ondertekening van het Montreal Protocol (<https://csl.noaa.gov/assessments/ozone/>). Het verdrag heeft haar oorspronkelijke doel om de stratosferische ozonlaag op de weg naar herstel te brengen, gehaald. Maar het succes van het verdrag voert verder dan dat: het Montreal Protocol heeft meer gedaan tegen klimaatverandering dan welke maatregel dan ook doordat de halogenen die de ozonlaag vernietigen ook een krachtig broeikasgas zijn. Het monitoren van de aardatmosfeer met satellieten heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan dit succesverhaal. Het is duidelijk dat met de huidige crisis rond broeikasgassen effectievere satellietmonitoring een centrale rol speelt: om op een wetenschappelijke manier een gevoel van urgentie te creëren, om verplichtingen van individuele landen te monitoren, om grote emissiebronnen te identificeren en om met onbetwistbare metingen te laten zien hoe we stapje voor stapje vooruit komen door emissies te reduceren.

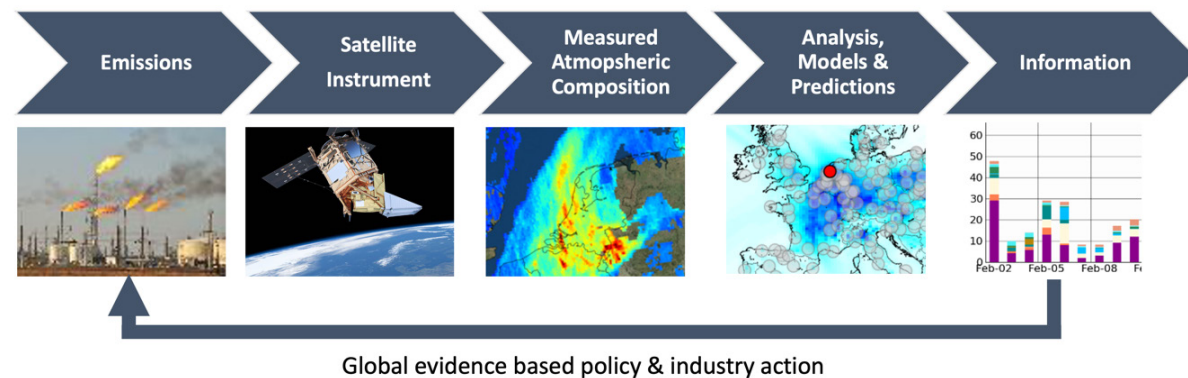


4 Farman, J., Gardiner, B. & Shanklin, J. Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. Nature 315, 207–210 (1985). <https://doi.org/10.1038/315207a0>, Solomon, S., Garcia, R., Rowland, F. et al. On the depletion of Antarctic ozone. Nature 321, 755–758 (1986). <https://doi.org/10.1038/321755a0>

>> De Nederlandse economie profiteert van een sterke Nederlandse aanwezigheid in aardobservatie: kennis en kunde op het gebied van satellietmetingen van uitstoot zorgen voor een gelijk speelveld voor emissiereductie.

In Nederland, in Europa en wereldwijd wordt beleid gemaakt om klimaatneutraal te worden in het tijdvak 2030-2050 middels een handelssysteem voor emissierechten. Als gevolg daarvan hebben **emissies een economische waarde die een significante fractie vormen van de fossiele economie zelf**. Nu de eerste streefdatum van 2030 nadert, zien we de prijs van emissies snel stijgen.⁵ **Verbeteringen in emissie monitoring en -kwantificatie** zullen dit ondersteunen en een eerlijk speelveld mede mogelijk maken. Vanwege hun wereldwijde bereik en hun blikveld vanuit de ruimte, vormen satellieten de sleutel tot betrouwbare en mondiaal gekalibreerde grensoverschrijdende-emissiemetingen tot aan de topplagen van onze atmosfeer en over alle grenzen heen.

Door investeringen van voorgaande kabinetten heeft Nederland een wereldwijd vooraanstaande positie verkregen in het bouwen en gebruiken van geavanceerde satellieten voor het monitoren van emissies, zoals OMI en TROPOMI. Er is een **uitgebreid ecosysteem** opgebouwd van universiteiten, kennisinstututen, innovatieve satellietindustrie en bedrijven die gebruiksklare data genereren met een variëteit aan algoritmes, onder meer op basis van kunstmatige intelligentie. Het realiseren van een **sterke waardeketen door deze partijen te laten samenwerken** om innovaties op het gebied van satelliet-hardware, satellietinstrumenten, meetmethoden, data-ophaalssystemen en data-analyses verder te ontwikkelen, zal de opkomst van de Nederlandse groene economie versnellen.



>> Nederland staat nu en het komende decennium op pole position om de monitoringscapaciteit te creëren die noodzakelijk is om de uitdagingen van klimaatverandering en luchtvervuiling te adresseren. We moeten nu in actie komen om deze positie te benutten en te behouden.

Geen ander land in de wereld is momenteel zo goed uitgerust als Nederland om deze wetenschappelijke en maatschappelijke uitdaging aan te gaan: het aanbieden van wetenschap en technologie voor aardobservatie om de problemen rond klimaatverandering en luchtvervuiling aan te pakken. Nederland bevindt zich in de **unieke positie om een grote rol te spelen, met wereldtop over de gehele waardeketen** van atmosferische wetenschap: uitstoot, modelleren van atmosfeerchemie, verwerking van satellietdata en realisatie van satellietinstrumenten.

- **In de afgelopen decennia heeft Nederland internationaal een leidende rol gespeeld bij het ontwikkelen van aardobservatie voor de atmosfeerwetenschap.** Binnen landelijk gefinancierde programma's zijn state-of-the-art satelliet systemen ontworpen, ontwikkeld, gebouwd en gebruikt door wetenschappers om luchtvervuiling en broeikasgassen te onderzoeken: Sciamachy op ESA's Envisat (2002), OMI op NASA's EOS/AURA (2004), TROPOMI op Copernicus Sentinel 5p (2017) en SPEXone op NASA's PACE missie (2023).
- **Nederland is leidend op het gebied van atmosferische monitoring,** en levert belangrijke bijdragen aan de Europese voorspellingen van luchtkwaliteit, de Copernicus Atmospheric monitoring Service (EC/ ESA), aan het bouwen van een prototypesysteem voor de wereldwijde monitoring en verificatie van CO2-uitstoot door een organisatie van 14 EU-lidstaten (CoCO2), en aan de detectie en kwantificatie vanuit de ruimte van methaanemissies, het op één na belangrijkste broeikasgas (GALES).
- **Nederland heeft een industrie voor kleine satellieten en innovatieve kunstmatige-intelligentietechnologie,** factoren die het mogelijk maken om observatie vanuit de ruimte sneller en goedkoper te maken.

Als we deze expertises bundelen, zijn we beter in staat om een van de meest urgente problemen van onze tijd te voorspellen en te beïnvloeden. Nederland **kan als klein land een grote rol spelen in de internationale arena** door het inzetten van satelliettechnologie om de effectiviteit van internationaal beleid en wetgeving te ondersteunen. Als we nu niet in actie komen en investeren, zal Nederland haar leidende positie verliezen.

Daarom bundelen KNMI, TNO, SRON en de TU Delft hun krachten.

⁵ Kosten voor emissierechten van 1 ton CO2 zijn gestegen van €20 in het begin van 2020 naar meer dan €60 in september 2021.

>> **Prachtige Nederlandse succesverhalen: TROPOMI, het paneuropese CoCO2 en Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS).**



TROPOMI

Het satellietinstrument TROPOMI levert dagelijks een wereldwijde kaart met concentraties van sporengassen en aerosolen die belangrijk zijn voor luchtkwaliteit, klimaat en ozonlaag. TROPOMI is een samenwerking tussen Airbus Defence & Space, KNMI, SRON en TNO, in opdracht van NSO en ESA. In 2019 en 2020 werd TROPOMI gebruikt om onafhankelijk grote broeikasgasemissies te kwantificeren in de VS en Centraal-Azië, en om de impact te meten van COVID op de scherpe daling van luchtvervuiling in Europa.



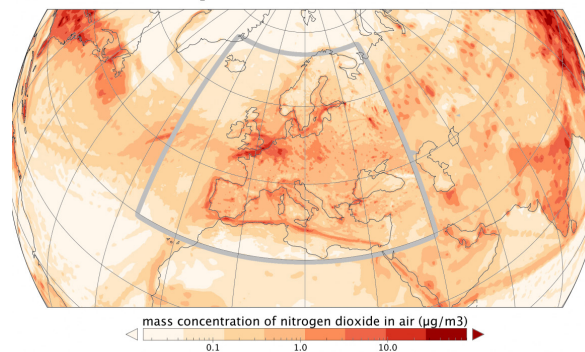
CoCO2 prototypesysteem voor monitoring en verificatie van CO2-uitstoot

CoCO2 is een paneuropese inspanning van 25 partners uit 14 landen om een prototypesysteem te bouwen voor de wereldwijde monitoring en verificatie van CO2-uitstoot. Een belangrijke innovatie van CoCO2 behelst het gebruik van satellietobservaties. Drie van de consortiumpartners komen uit Nederland: TNO, Vrije Universiteit Amsterdam en Wageningen University & Research.

Copernicus Atmospheric Monitoring Service (CAMS)

CAMS biedt consistente en op kwaliteit gecontroleerde informatie over luchtvervuiling en gezondheid, zonne-energie, broeikasgassen en climate forcing, overal ter wereld. KNMI, SRON en TNO leveren belangrijke bijdragen aan de voorspellende modellen en gebruiksmogelijkheden van de satellietdata van CAMS.

CAMS regional NO_x analysis embedded in CAMS global forecast



>> **De vooraanstaande kennisinstututen KNMI, TNO, SRON en TU Delft bundelen, samen met een breed scala aan andere betrokken partijen, hun expertise in Clear Air.**

Clear Air doet wereldwijd vooraanstaand onderzoek naar klimaat en luchtkwaliteit, ontwerpt en ontwikkelt innovatieve observatiesystemen voor de ruimte, en heeft een datacenter voor algoritmes en kunstmatige-intelligentietechnologie. Het doel is om gebruiksklare gegevens te leveren aan wetenschap, overheid en industrie. Het centrum wil wereldwijd leidend zijn in de ontwikkelen en het **gebruik van satellietinstrumentatie en dataproducten om klimaatverandering en luchtvervuiling te doorgronden en terug te dringen.**

De gezamenlijke missie is:

- Het **bundelen van nationale expertise** en R&D inspanningen;
- Het **stimuleren van samenwerking** binnen het (inter)nationale aardobservatie-onderzoek, over de grenzen van de verschillende onderzoeksvelden;
- Het **ontwikkelen van toepassingen** voor het luchtkwaliteits- en klimaatonderzoek en daarbuiten, die van toegevoegde waarde zijn voor wetenschap en samenleving;
- Het **verbreden van het gebruik en daarmee de impact** van satellietdata door beleidsmakers en wetenschappers;
- Samenwerken met de groeiende commerciële ruimtevaartsector en de groeiende markt voor dataserviceproviders, om **spin-offs mogelijk te maken**;
- Het ontwikkelen van een **nationale aardobservatiestrategie** en het intensiveren van het nationale programma voor aardobservatie, inclusief het ontwikkelen van nieuwe instrumenten.

Op nationaal niveau richt Clear Air zich op aardobservatie-activiteiten die **direct toegevoegde waarde opleveren voor de Nederlandse samenleving en economie** en die niet worden ondersteund door internationale programma's van bijvoorbeeld ESA, Eumetsat of de EU. Op internationaal niveau draagt Clear Air al bij aan programma's van de **EU, ESA, EUMETSAT en andere agentschappen** en wordt reeds samengewerkt met atmosferische-expertisecentra over de gehele wereld, zoals NASA-GISS en NCAR in de VS.

>> Clear Air helpt de consortiumpartners om hun krachten te bundelen, gebruik te maken van synergie, samen te werken op projectniveau en faciliteiten en medewerkers te delen.

Het centrum is **gedecentraliseerd** en wordt gevormd door een **gezamenlijke inspanning** van universiteiten en kennisinstituten die nauw samenwerken met de private sector en de Nederlandse overheid. Hoewel het centrum een beperkt aantal kernpartners heeft, **bestrijkt het alle aspecten van een internationaal onderscheidend samenwerkingsverband**: van instrumentontwikkeling tot en met dataproducten en de exploitatie van data.

De kernpartners zijn:

- **Het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI)**, een agentschap van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en het nationale onderzoeks- en informatiecentrum voor weer en klimaat. Het KNMI is hoofdonderzoeker (Principal Investigator) van zowel OMI, het instrument aan boord van NASA's Aura-satelliet (gelanceerd in 2004) als van TROPOMI, het instrument aan boord van de Sentinel 5 Precursor-satelliet, onderdeel van het Copernicusprogramma (gelanceerd in 2017). Het KNMI is ook gespecialiseerd in het ontwikkelen van ophaalalgoritmes voor spoorstoffen en aerosolen en de interpretatie van satellietdata voor luchtkwaliteit en klimaatonderzoek;
- **De Nederlands Organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO)**, een TO2-instituut en al meer dan 30 jaar ontwikkelaar en leverancier van optische satellietinstrumenten en systemen (hardware) voor lucht- en ruimtevaart, waaronder instrumenten die de samenstelling van de atmosfeer meten vanuit de ruimte. Het instituut heeft ook veel expertise opgebouwd in het gebruik van satellietdata (assimilatie), bijvoorbeeld voor het analyseren en monitoren van emissies en luchtkwaliteit;
- **SRON Netherlands Institute for Space Research (SRON)**, het nationale expertise-instituut voor wetenschappelijk onderzoek vanuit de ruimte, onderdeel van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO). Het instituut combineert wetenschap, technologie en engineering. De wetenschappelijke expertise van het instituut ligt in het verzamelen van gegevens over de aardatmosfeer met ruimte-instrumenten (remote sensing), met name via het ontwikkelen van algoritmes voor stralingsoverdracht, sporengassen en aerosolen en het kwantificeren van CO-, methaan- en CO2-emissies. SRON ontwikkelt technologie, prototypes en ruimtewaardige optische instrumenten, voor röntgen- tot ver-infraroodstraling;
- **De Technische Universiteit Delft (TU Delft)** is nummer 1 in Europa en top 5 wereldwijd op het gebied van lucht- en ruimtevaarttechniek en de thuisbasis van het TU Delft Space Institute waarin onderzoekers van de hele universiteit samenwerken aan innovatieve oplossingen die van cruciaal belang zijn voor toekomstige systemen voor remote sensing, zoals de miniaturisering van instrumenten en satellieten en constellaties van satellieten voor een betere temporele en ruimtelijke dekking op wereldschaal. De universiteit beschikt ook over relevante deskundigheid op het gebied van atmosferische chemie, data retrieval, supercomputing en optische instrumentatie. Haar Klimaatinstituut bundelt de expertise van wetenschappers uit de hele universiteit op het gebied van op gegevens gebaseerde klimaatkennis voor mitigatie, adaptatie en beleid.

De samenwerking tussen de kernpartners bundelt excellentie in wetenschappelijk onderzoek, technologie en instrumentatie en versterkt de leidende positie op het gebied van atmosfeerchemie en aardobservatie. Het verbinden van onderzoeksvelden en expertises zal als game changer werken door het potentieel van satellietobservatie in het klimaat- en luchtkwaliteitsdomein ten volle te benutten.

>> Clear Air stimuleert samenwerking binnen de (inter)nationale aardobservatiegemeenschap en fungeert als knooppunt voor wetenschap, overheid en industrie om het gebruik en de impact van onderzoeksresultaten te verbreden.

Clear Air is een **internationaal onderscheidend consortium**, met samenwerking als belangrijke kracht. De **samenwerking en bundeling van activiteiten wordt uitgebouwd over de gehele waardeketen**: van R&D tot de ontwikkeling van componenten, systeemintegratie, systeembediening, datareductie, dataverspreiding, waardevermeerdering en eindgebruikers, waardoor een brede en duurzame kennisinfrastructuur in Nederland ontstaat.

Clear Air zal:

- Samenwerking zoeken met **industriële partners die instrumenten en software voor dataverwerking ontwerpen en bouwen** (zoals ISISPACE, Airbus DS Netherlands, S&T en andere leden van SpaceNed, de brancheorganisatie van de Nederlandse ruimtevaartsector);
- Samenwerking zoeken met **industriële partners die de data gebruiken** voor operationele, commerciële of gerelateerde toepassingen in het aardobservatiedomein;
- Verbinden tussen en onderzoeksgegevens uitwisselen met **kennisinstituten en expertisecentra** over de gehele wereld in uiteenlopende onderzoeksvelden als klimaat, luchtkwaliteit, energie, landbouw en gezondheid;
- Fungere als expertisecentrum en adviseur van **overheidsorganisaties en ministeries**, zowel nationaal als internationaal, adviserend over beleid en maatregelen, hun effectiviteit versterkend;
- Gebruiksklare data leveren aan **eindgebruikers in verschillende sectoren**, waaronder verzekeringsmaatschappijen, energieleveranciers, de procesindustrie, de olie- en gasindustrie, de transportsector, de landbouwsector en de financiële sector.

>> Clear Air partners werken aan een R&D roadmap voor aardobservatie ten behoeve van klimaat en luchtkwaliteit, voeren strategische studies uit voor overheidsorganisaties en dragen bij aan commerciële activiteiten en een brede outreach.

Op basis van een gedeelde visie, plaatst Clear Air het belang van het monitoren van luchtkwaliteit en broeikasgassen op de nationale en internationale **klimaat en milieubeschermingsagenda**. In nauwe samenwerking met het Netherlands Space Office (NSO) ontwikkelen de partners een **programmatische R&D roadmap** om de klimaatmissie te volbrengen en de Nederlandse excellentie in onderzoek en ruimte-instrumentatie voor atmosfeerchemie, kleine-satellietindustrie en innovatieve kunstmatige-intelligentietechnologie te behouden en versterken. De roadmap richt zich op het benutten van **synergie tussen universiteiten en kennisinstellingen**, om zo de impact van R&D-inspanningen te vergroten en ontwikkelingen te versnellen.

Elke Clear Air partner werkt nu al aan het realiseren van de visie van het centrum. De roadmap voor de periode tot 2030 zal zich richten op de volgende thema's:

> INSTRUMENTEN EN PLATFORMS

Om de impact van klimaatverandering tegen te gaan en de luchtkwaliteit te verbeteren, is informatie nodig vanuit **innovaties in satellithardware, nieuwe instrumenten en nieuwe observatiestrategieën**. De belangrijkste pijler van Clear Air is het initiëren van technische innovaties die nieuwe waarnemings technologie op satellieten (remote sensing) en nieuwe satellietplatformen mogelijk maken, evenals de ontwikkeling van nieuwe instrumenten. We versterken **het vermogen van satellieten** om wereldwijde broeikasgasemissies te kwantificeren en ontwikkelen **schaalbare nieuwe monitoringsystemen**, die tegemoet komen aan de vraag om een **hogere ruimtelijke en tijdsresolutie**, uitlopend van oplossingen met een grotere field-of-view en bandbreedte tot **constellaties van doelgerichte kleine satellieten**. We doen dit voor zowel nationale missies en initiatieven waar specifiek Nederlandse belangen op het spel staan, als in internationale samenwerkingsverbanden zoals ESA-programma's.

> ALGORITMES EN DATADIENSTEN

Als gevolg van instrumentinnovatie, gegevensverwerking, downlinking en de wetenschappelijke behandeling van multidimensionale data hebben we **innovatieve verwerkingsstrategieën en -technologieën** nodig, waaronder algoritmes voor dataverwerking, innovaties in data-assimilatie, invers modelleren, zelflerende systemen en kunstmatige intelligentie, en de ontwikkeling van platforms voor **datawetenschap en -verspreiding** en valorisatie met industriële partners.

> KLIMAAT, LUCHTKWALITEIT EN EMISSIES: ONDERZOEK EN TOEPASSINGEN

Clear Air voert een **grote variëteit aan onderzoek uit**, gebruikmakend van de **ontwikkelde dataproducten**, die leiden tot **wetenschappelijke ontdekkingen en pre-operationele diensten** voor de samenleving om luchtverontreiniging en klimaatuitdagingen aan te pakken. Voorbeelden zijn de data en trends in **stikstofemissies** en de combinatie van NO_x, aerosolen en NH₃ voor onderzoek naar de **stikstofcyclus**—beide extreem relevant voor het stikstof- en luchtkwaliteitsbeleid van de Nederlandse ministeries; de **detectie en identificatie van methaanemissiebronnen** op verschillende schaalgroottes met een steeds kleinere waarnemingsdrempel: van individuele faciliteiten, stortplaatsen en lekkende gaspijpleidingen naar landniveau, daarbij gebruikmakend van een combinatie van satellietinstrumenten; emissiekwantificatie en onafhankelijke emissiedata om de **wereldwijde evaluatie** (global stocktake) uit het Parijs-akkoord in 2023 en 2028 te ondersteunen, en het toevoegen van meetgegevens van aerosolen aan modellen om het door aerosolen veroorzaakte verschil te onderzoeken tussen de energie die wordt ontvangen door de aarde en de energie die wordt teruggestraald naar de ruimte (**radiative forcing**), evenals de **impact van aerosolen op luchtkwaliteit**.

> BELEIDSONDERSTEUNING

Onderzoekers verbonden aan Clear Air voeren **beleidsondersteunende studies** uit, als antwoord op **verzoeken van overheidsorganisaties**. Bijvoorbeeld het verzoek om steden als Amsterdam en Rotterdam te ondersteunen bij het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen.

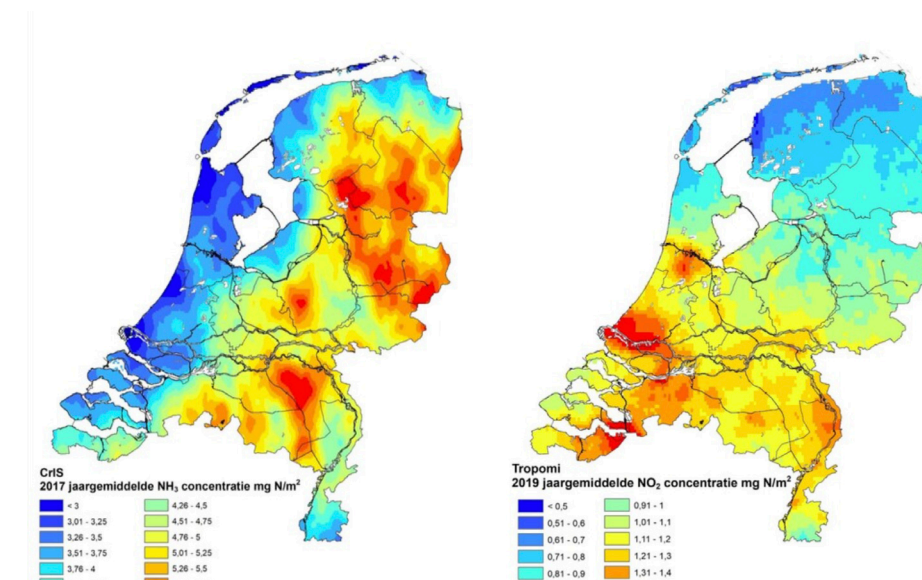
> VALORISATIE

Clear Air wil de **kloof overbruggen tussen prille demonstratietechnologieën en commerciële producten** en in samenwerking met serviceproviders en industrie Nederlandse bedrijvigheid realiseren in sectoren die gerelateerd zijn aan luchtverontreiniging en klimaatmonitoring. Bijvoorbeeld door **Airbus Defense & Space Netherlands, ISISPACE, S&T en andere industrie verenigd in SpaceNed** te ondersteunen in het opzetten van **commerciële diensten op het gebied van luchtkwaliteit** en door het ondersteunen van een groeiend ecosysteem van **Nederlandse midden- en kleinbedrijf (mkb)** gericht op commerciële dataproducten op basis van Nederlandse instrumenten als TROPOMI en SPeXone.

> OUTREACH

Clear Air fungeert als het **Nederlandse expertisecentrum** voor aardatmosfeeronderzoek vanuit de ruimte. Het communiceert met stakeholders over activiteiten en onderzoeksresultaten om het gebruik en de impact ervan te verbreden. De outreach wordt mede gefaciliteerd door de ontwikkeling van een **aardobservatiewebsite**, die beleidsmakers, industrie, wetenschappers, journalisten en het algemene publiek voorziet van actuele en kwalitatief goede informatie en visualisaties over luchtverontreiniging en broeikasgassen.

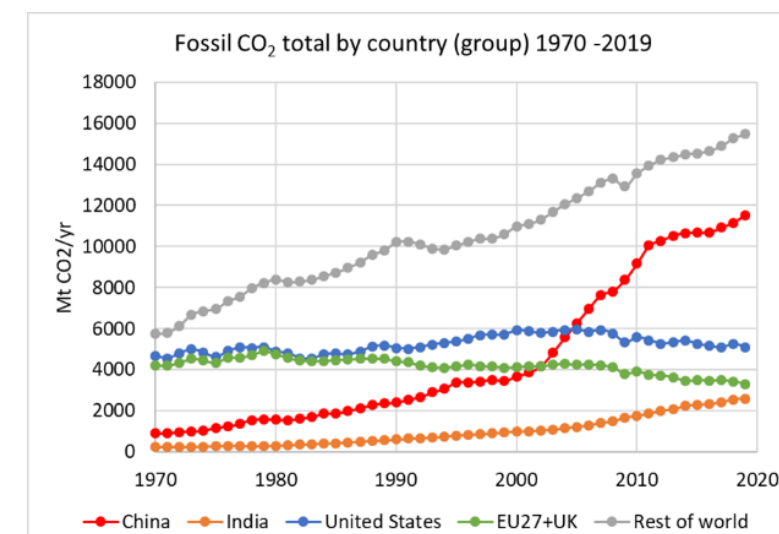
>> Stikstofmonitoring en wereldwijde evaluatie: voorbeelden van hoe de Nederlandse economie en samenleving kunnen profiteren van innovaties in aardobservatie.



Stikstofmonitoring: een nationale uitdaging

De uitstoot van stikstof door de industrie en landbouw heeft impact op de biodiversiteit van de Nederlandse Natura2000-gebieden. Nederland implementeert nieuw beleid om deze emissies terug te dringen. Een grote uitdaging hierbij is dat de uitstoot, verspreiding en neerslag van stikstof variabel zijn in tijd en ruimte en dat er maar weinig grondmetingen beschikbaar zijn.

Een onafhankelijke overheidscommissie (commissie-Hordijk) heeft geconcludeerd dat satellietwaarnemingen een belangrijke rol hebben in het overwinnen van deze 'dataproblemen'. Op dit moment levert het Nederlandse TROPOMI-satellietinstrument metingen van stikstofdioxide op een ruimtelijke resolutie van ruwweg 7kmx3km en het CrIS-satellietinstrument meet ammoniak op een ruimtelijke resolutie van ruwweg 12kmx12km. Deze metingen helpen bij het monitoren van stikstof op grote ruimtelijke schaal, maar Clear Air heeft ook de ambitie om emissiemetingen op een schaal van kleiner dan een kilometer mogelijk te maken, zodat individuele landbouwgronden kunnen worden gemonitord. (Figuur: Hordijk2019)



De weg naar realisatie van het Klimaat-akkoord van Parijs

Met het Klimaat-akkoord van Parijs hebben 195 landen, waaronder Nederland, beloofd de emissies van broeikasgassen te verminderen om gevaarlijke klimaatverandering tegen te gaan. De landen zijn lange-termijndoelen overeen gekomen die worden ondersteund door nationale plannen: de National Determined Contributions (NDCs). Deze plannen worden elke vijf jaar geëvalueerd in een evaluatie die bekend staat als de global stocktake. Een analyse van de wereldwijde CO₂-emissies uit de periode 1970-2019 laat zien dat de mondiale CO-

2-uitstoot nog steeds snel stijgt. Hierdoor is het niet voldoende om te focussen op de Nederlandse of zelfs Europese inspanningen om de uitstoot te reduceren: alle landen zullen een bijdrage moeten leveren. Welvarende landen zullen andere landen moeten ondersteunen door het monitoren van voortgang, het beschikbaar stellen van gebruiksklare informatie om emissies terug te dringen en het creëren van een gelijk speelveld. De Europese Commissie heeft deze uitdaging aangenomen met de ontwikkeling van de CO₂M-ruimtemissie en het CoCO₂ monitoring- en supportstelsel, waar de leden van Clear Air reeds belangrijke bijdragen aan leveren. De komende jaren kan Clear Air Nederland in staat stellen om deze ontwikkeling nog beter te ondersteunen via verbeterde technologie voor de detectie en kwantificatie van emissies. (Figuur: TNO/ EDGAR)

>> Het behouden, uitbreiden en benutten van de vooraanstaande positie van Nederland in het internationale aardobservatieonderzoek naar klimaat en luchtkwaliteit, zorgt ervoor dat Nederland de weg leidt naar schone lucht, zowel de wetenschap als de maatschappij dienend.

Door het combineren van de expertise van kernpartners van Clear Air worden doorbraken mogelijk in vele verschillende onderzoeksvelden. Het leidt tot de beste satellietinstrumenten en dataproducten in het klimaat- en luchtkwaliteitsdomein en tot innovatieve manieren om deze data te verkrijgen en te exploiteren, ten dienste van de wetenschap en beleidsmakers. Nederland is goed voorgesorteerd voor een voortrekkersrol en het hebben van grote impact op emissiereducties onder de Europese Green Deal. Bovendien leidt investeren in het behouden en uitbreiden van de vooraanstaande positie in aardobservatie voor klimaat en luchtkwaliteit tot directe economische en maatschappelijke baten: een groene aanjager van duurzame economische groei.

De activiteiten van Clear Air zullen:

> KLIMAATAKKOORDEN EN -MAATREGELEN ONDERSTEUNEN

Nederland, Europese landen en andere internationale partners ondersteunen in het opzetten en verifiëren van maatregelen die de uitstoot van broeikasgassen moeten terugdringen en helpen om de doelen van het Parijs-akkoord en de Europese Green Deal te halen;

> LUCHTKWALITEIT VERBETEREN

Leiden tot gedetailleerde informatie over emissies en voorspellingen over luchtkwaliteit, ondersteunend aan beleid om luchtverontreiniging terug te dringen;

> VOLKSGEZONDHEID VERBETEREN

De volksgezondheid verbeteren door luchtvervuiling terug te dringen, directe oorzaak van de voortijdige dood van meer dan 4 miljoen mensen per jaar wereldwijd, en inzicht geven in de relatie tussen leefomgeving en gezondheid en de relatie tussen luchtkwaliteit en de impact van virussen;

> BELEIDSMAKERS ONDERSTEUNEN

Nederlandse en Europese overheden ondersteunen met op feiten gebaseerde en door de wetenschap gecontroleerde informatie, als basis voor beleid met grote economische en maatschappelijk impact:

- Data leveren om emissiebeleid te ontwikkelen en te monitoren, waardoor de schadelijke neerslag van stikstof in beschermde natuurgebieden (Natura 2000) wordt verminderd en dus de biodiversiteit toeneemt;
- De impact van industrie, havens en infrastructuur monitoren in de overgang naar een groene economie;
- De uitstoot van broeikasgassen door specifieke industrieën in Nederland (olie- en gasindustrie, stortplaatsen, energiecentrales, afval, landbouw, transport) valideren, en de transparantie vergroten van de CO₂-emissiehandel en gerelateerde grensoverschrijdende kwesties.

> INDUSTRIE EN ECONOMIE ONDERSTEUNEN

Ook zal Clear Air het verdienvermogen van de Nederlandse economie stimuleren. Het zal een waardeketen ontwikkelen die begint met R&D en via upstream- en downstreamactiviteiten uitmondt in waardevolle informatie voor eindgebruikers.

- De Nederlandse ruimtevaartsector te versterken – zowel de industrie als kennisinstellingen—en het aantal ESA-ESTEC spin-offs in Nederland te vergroten;
- Omzet te genereren voor de Nederlandse hightech-sector door de bouw van satellietinstrumenten, de bouw van constellaties kleine satellieten of high-altitude pseudo-satellieten (HAPS);
- Nederlandse bedrijven te ondersteunen bij het verkrijgen van een internationaal leidende positie in het leveren van diensten die voorzien in accurate en betrouwbare data over luchtkwaliteit en broeikasgassen op commerciële basis voor een groeiende markt van eindgebruikers: verzekeringsmaatschappijen, energieleveranciers, procesindustrie, de olie- en gassector, de transportsector, de landbouw en de financiële sector;
- De transitie naar een groene economie te ondersteunen door te voorzien in determinanten voor groen economisch beleid.

Ondersteuning van de Clear Air agenda is een unieke kans voor Nederland om voorop te lopen in effectief beleid voor klimaat en luchtkwaliteit met duidelijke maatschappelijke en economische impact. <<

