

B&W Adviesnota

Onderwerp	Eindrapportage grenzeloos meten 1.0
Zaaknummer	Z25001233
B&W datum	20 mei 2025
Naam steller	Medewerker team Ruimtelijke Ontwikkeling
Teammanager	Teammanager team Ruimtelijke Ontwikkeling
Portefeuillehouder	Daan Janssen

Besproken met portefeuillehouder?

Ja, met Daan Janssen op 12 mei 2025

Openbaarheid

Ja, na het informeren van betrokkenen.

Bevoegd orgaan

B en W

Ter kennisname aanbieden aan Raad

Advies

1. Kennisnemen van de oplegger en de rapportage van het regionale project grenzeloos meten 1.0 (zie bijlage 1 en 2)
2. De gemeenteraad informeren middels de bijgevoegde raadsinformatiebrief.

Inleiding

Samen met de gemeente Horst aan de Maas, Peel en Maas en de provincie Limburg is vanuit de investeringsagenda het project grenzeloos meten opgestart. Dit onderzoek draagt bij om te komen tot een regionaal meetnetwerk om luchtkwaliteit te kunnen meten en inzichtelijk te maken. Hierbij is het handelingsperspectief voor inwoner, ondernemer en lokale overheid van belang. Het onderzoek bestond uit drie werkpakketten; fijnstof, geur & beleving en leren & delen. De eindrapportage van dit project is gereed en wordt nu gelijktijdig aan de drie college ter informatie aangeboden, met het verzoek deze te delen met de gemeenteraad.

Beoogd resultaat

Informeren van de resultaten van het project grenzeloos meten 1.0

Argumenten

1. De eindrapportage voor het onderzoek is gereed

De technische eindrapportage van het onderzoek is gereed. Deze wordt ter kennisgeving gedeeld.

Op het eindcongres van 2 december 2024 zijn deze resultaten al mondeling gedeeld. Hierbij was de staatssecretaris Jansen van openbaar vervoer en milieu ook aanwezig.

2. De college en raden informeren over deze resultaten voordat ze openbaar gemaakt worden.

Voordat de rapportage met buiten gedeeld wordt deze ter informatie aanbieden aan college en gemeenteraad.

Kanttekeningen of risico's

1. Nog niet alles is duidelijk

De eerste fase is afgerond en we starten nu met grenzeloos meten 2.0. Daarbij zijn de gemeenten Venlo, Nederweert, Leudal en Roermond ook aangesloten. Tevens bestaat er interesse bij de gemeente Land van Cuijk voor het vervolgonderzoek.

Communicatie

Nadat de raden zijn geïnformeerd zal de rapportage gedeeld worden op de website van grenzeloos meten.

Financiële gevolgen

nvt

Vervolgtraject besluitvorming

nvt

Evaluatie

nvt

Bijlagen

1. Oplegger
2. Verslag grenzeloos meten 1.0

Naslagwerk

Ruimtelijke ontwikkeling

Raadhuisstraat 1

Postbus 500, 5800 AM Venray

Telefoon (0478) 52 33 33

Telefax (0478) 52 32 22

E-mail gemeente@venray.nl

Internet www.venray.nl

KvK-nummer 14132389

IBAN NL20 BNGH 028 5028 383 (belastingen)

IBAN NL11 BNGH 028 5008 757 (algemeen)

BIC BNGHNL2G

aan de gemeenteraad

Datum 20 mei 2025

Ons kenmerk Z25001233

Pagina 1 van 1

Behandeld door Mechie Beurskens

Datum uw brief

Uw kenmerk

Onderwerp Rapportage Grenzeloos Meten 1.0

Beste gemeenteraad,

Hierbij bieden wij u de eindrapportage van het project Grenzeloos Meten 1.0 aan met bijbehorende oplegger ter kennisgeving aan.

Met vriendelijke groet,

Het college van burgemeester en wethouders,

de burgemeester,

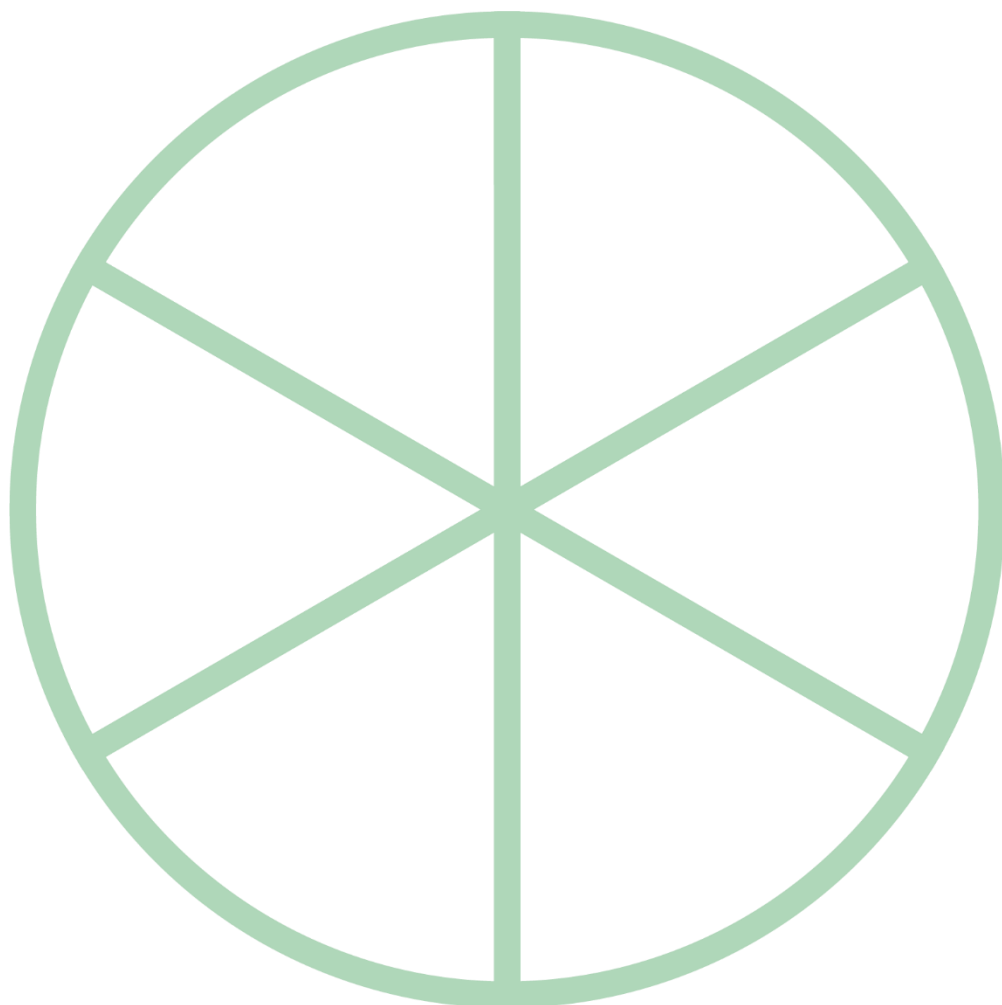
de secretaris,

M.C. Uitdehaag

E.G.J. Voorn

Grenzeloos Meten

Oplegnotitie bij rapportage Grenzeloos meten
Mei 2025



Ambitie Regio Noord Limburg

Voor de Regio Noord Limburg is een gezonde leefomgeving een van de belangrijke aspecten in het beleid. Het doel is om de gezondste regio te worden. Luchtkwaliteit speelt daar een belangrijke rol bij. Luchtkwaliteit is niet gebonden aan grenzen van gemeenten, regio's of landen. In het project grenzeloos meten is een start gemaakt met de opzet van een regionaal meetnetwerk dat handelingsperspectief kan bieden om luchtkwaliteit in Noord Limburg te verbeteren.

Aanleiding

Ondanks dat de luchtkwaliteit relatief goed is in de regio maken inwoners zich zorgen over overlast van fijnstof en geur. Om deze zorgen nader te duiden zijn in Grenzeloos Meten belangrijke stappen gezet. Drie gemeenten (Venray, Peel en Maas en Horst aan de Maas) en de provincie Limburg hebben hierin samen de handschoen opgepakt door op bestuurlijk niveau samen te investeren, van elkaar te leren en hier vervolgens naar te handelen in de uitvoer van het project.

Doelen

Met Grenzeloos meten willen de deelnemende partners een meetwerk in Noord – Limburg ontwikkelen dat inzicht geeft in de luchtkwaliteit van het gebied en handelingsperspectief biedt voor inwoners, ondernemers en overheid.

Uitvoering en samenwerking

De drie gemeenten en de provincie zijn initiatiefnemer en verantwoordelijk voor de uitvoering en het eindresultaat. Daarnaast zijn diverse partijen bij het project betrokken vanuit inhoudelijke kennis en expertise. Het project is opgedeeld in een aantal onderdelen:

Geur en beleving

Het meten van geur staat nog in kinderschoenen. We doen echter steeds meer ervaring op met het meten van geur. In tegenstelling tot fijnstof speelt bij geur ook het belevingsaspect van de ervaren geur een rol. Dit is moeilijker te meten. In dit project is geëxperimenteerd met het meten van geurstoffen en zijn deze gemeten op verschillende locaties. De hoeveelheid gemeten geurstoffen kan iets zeggen over de geuremissie op de locatie, de metingen geven inzichten en voor de ondernemers ondersteuning bij monitoring.

In het project is verder met een belevingsonderzoek samen met inwoners ervaring opgedaan met het monitoren van de ervaren hinder, maar ook met de positieve belevingsaspecten, in een specifieke regio. Het ging daarbij vooral om de beleving van hinder en dat gaat vaak om meer dan alleen geur.

Fijnstof

Voor het onderwerp fijnstof is samengewerkt met de inwoners in het gebied. De interesse om deel te nemen en een fijnstofmeter op te hangen was groot. De meetapparatuur is over het gebied verdeeld, in kernen en in het buitengebied. De fijnstofmetingen hebben resultaten opgeleverd en daar kunnen conclusies aan worden verbonden. Zo leverde de metingen inzichten op voor de gemeten pieken in het gebied, die waarschijnlijk worden veroorzaakt door houtstook. In Grenzeloos meten 2.0 gaan we daar verder mee aan de slag.

Leren en delen

Grenzeloos Meten is een lerend project en gedurende de looptijd is ervaring opgedaan met metingen die zijn meegenomen in de conclusies en aanbevelingen en naar een vervolg.

Meetresultaten zijn en worden gedeeld via een aantal mediakanalen zoals een nieuwsbrief of websites van de deelnemende overheden en organisaties. Verder is bij een aantal regionale en provinciale bijeenkomsten over luchtkwaliteit kennis gedeeld vanuit het project

Resultaten

Grenzeloos meten is een eerste stap naar een gezonder Noord-Limburg. Inmiddels is het besluit genomen dat Grenzeloos meten 2.0 in 2025 van start gaat. Door de resultaten en de aandacht voor het eerste onderzoek is ook de interesse gewekt van andere gemeenten. In Grenzeloos meten 2.0 wordt het project uitgebreid met gemeenten uit zowel Noord Limburg als Midden Limburg.

Leren en delen

Op het gebied van communicatie is ingezet op organisatie van interactieve bijeenkomsten, versturen van nieuwsbrieven, en het delen van de informatie via de projectpagina. De conclusies en ervaringen

die zijn opgedaan in het project zijn besproken en gedeeld tijdens verschillende symposia. In het project is succesvol samengewerkt met inwoners, het bedrijfsleven, onderzoeksinstituten en overheden. Naast de communicatie vanuit het project, heeft de pers aandacht besteed aan het project. Het project is daarmee goed op de kaart gezet en is er interesse uit de omringende gemeenten om deel te nemen aan een vervolg.

De bijeenkomsten die zijn georganiseerd vanuit het project Grenzeloos meten werden goed bezocht:

- Bij de startbijeenkomst op 22 maart 2023 is een toelichting gegeven over het project met een toelichting over de doelen, aanpak, partners en hoe inwoners en ondernemers een rol konden spelen in het project
- Een 2^e bijeenkomst vond plaats op 31 januari 2024. Tijdens deze bijeenkomst zijn de tussenresultaten gepresenteerd, daarnaast is er ook aandacht besteed aan het behalen van de doelen.
- Bij de slotbijeenkomst op 2 december 2024 zijn de eindresultaten gepresenteerd aan een volle zaal belangstellenden waaronder de staatssecretaris, de gedeputeerde milieu van de provincie Limburg en 3 betrokken wethouders.
- Vanuit het project is op bijeenkomsten, zoals het platform gezonde leefomgeving, of in vergelijkbare projecten vanuit het interbestuurlijk programma vitaal platteland of Schone Lucht Akkoord kennis uitgewisseld.

Door deze bijeenkomsten en kennisuitwisselingen is het project goed onder de aandacht gebracht en zien we op andere bijeenkomsten, zoals het jaarlijkse congres van het Schone Lucht Akkoord, het project grenzeloos meten als één van de goede voorbeelden genoemd worden.

Geur en beleving

- Uit het belevingsonderzoek, uitgevoerd in een gebied in de gemeente Venray, is gebleken dat de beleving van de omgeving op verschillende manieren wordt beleefd en daarmee moeilijk te meten is. Daarnaast werden in het onderzoek positieve ervaringen gedeeld over het wonen in het groen. Door de deelnemers werd bijvoorbeeld teruggegeven dat opvolging van klachten niet duidelijk is. In het belevingsonderzoek is ook gesproken over de bijdrage die inwoners en gebruikers van een gebied zelf kunnen leveren aan een betere leefomgeving waarbij onderwerpen als geluid of rookoverlast ook aan de orde waren.
- Uit het geuronderzoek is gebleken dat het meten van geur aan het begin van een ontwikkeling staat. Door het aantal geurstoffen op een bepaald moment te meten hebben we inzicht gekregen. Dit inzicht is echter nog niet voldoende om conclusies te kunnen trekken en maatregelen te treffen. In een vervolg op dit project zal op het onderdeel geur worden doorgepakt zoals het onderzoeken van het meten met wegingsfactoren die iets kunnen zeggen over de beleving van geur.

Fijnstof

Dit onderdeel kende twee soorten fijnstofmetingen, PM10 en PM2,5. Het verschil zit in de grootte van de deeltjes die gemeten worden. Het type meter bleek van invloed op de betrouwbaarheid van de metingen. Bij de PM10 metingen had de luchtvochtigheid grote invloed op de metingen. In de PM2,5 meter werd de lucht voorverwarmd, daarom was de invloed van luchtvochtigheid minder aan de orde. Ondanks de onzekerheidsfactor door de luchtvochtigheid zijn er resultaten geboekt waaruit conclusies kunnen worden getrokken:

- Geen van de PM2,5 metingen overschrijden de huidige EU richtlijn voor fijnstof, maar alle metingen overschrijden wel de WHO 2021 advieswaarden.
- Er is ook gekeken naar het aantal piekmomenten. Daarbij valt op dat vooral in de koude maanden van het jaar, pieken zitten die afkomstig lijken van het stoken van houtkachels.

Conclusies en aanbevelingen

Het doel van het project was om op basis van meetnetwerken handvatten te verkrijgen om uiteindelijk de regionale luchtkwaliteit te kunnen verbeteren. De meetnetwerken zijn gerealiseerd in samenwerking met inwoners en bedrijven in het gebied. Deze lokale meetnetwerken hebben geleid tot meer inzichten.

De metingen gaven inzicht in potentiële bronnen en oorzaken. In het algemeen kunnen we zeggen dat met fijnstofsensoren een meetnetwerk kan worden gerealiseerd. Enerzijds werden onzekerheden in de metingen geïdentificeerd, zoals de onzekerheden van de PM10 metingen bij een luchtvochtigheid hoger dan 70%. Anderzijds gaven de gemeten patronen inzicht in potentiële bronnen en oorzaken, zoals de patronen in gemeten PM2.5 concentraties die duiden op het stoken van hout als belangrijke bron.

Vooraf bij de PM10 meters is doorontwikkeling van de meters nodig om de metingen betrouwbaarder te maken. De PM2,5 meters zijn kwalitatief goed en leveren betrouwbare informatie op. De PM2,5 meters blijven nog 2 jaar in werking en kunnen daarna hergebruikt worden.

Patronen in het meten van geurstoffen bieden mogelijkheden om goed te monitoren. Bij continuummetingen kunnen zelfs verbanden tussen bedrijfsvoering en de metingen worden waargenomen. Met name afwijkingen in patronen geven potentiële praktische handvatten aan bedrijven om snel in te kunnen grijpen en hiermee mogelijke pieken in geur te voorkomen. Denk aan een storing aan een luchtwasser, als een luchtwasser geleidelijk slechter functioneert, of afwijkingen in dagpatronen die veroorzaakt worden door veranderingen in het staklimaat.

Een aanbeveling voor het geurstoffenonderzoek is het uitbreiden van de sensorkit met extra sensoren voor bepaalde belangrijke geuractieve componenten vanaf de start van de meetperiode. Uiteraard moet onderzocht worden of er geschikte sensoren beschikbaar zijn.

De ervaren hinder in het belevingsonderzoek toont aan dat het meten van beleving van de leefomgeving een uitdaging blijft. De impact van, door de deelnemers aangegeven ervaren hinder op de gezondheid is het grootst op de domeinen 'mentaal welbevinden', 'kwaliteit van leven', 'lichaamsfuncties' en 'dagelijks functioneren'. Dit gaat voornamelijk over spanningen, onvrede over de woonsituatie, bezorgdheid over gezondheid, slaapproblemen en luchtwegproblemen. Het verdient aanbeveling om een methode te ontwikkelen om de inwoners nog intensiever bij het project te betrekken, waarbij het van belang is dat dit een brede gevarieerde groep inwoners is, zodat het een goede afspiegeling van de bevolking geeft.

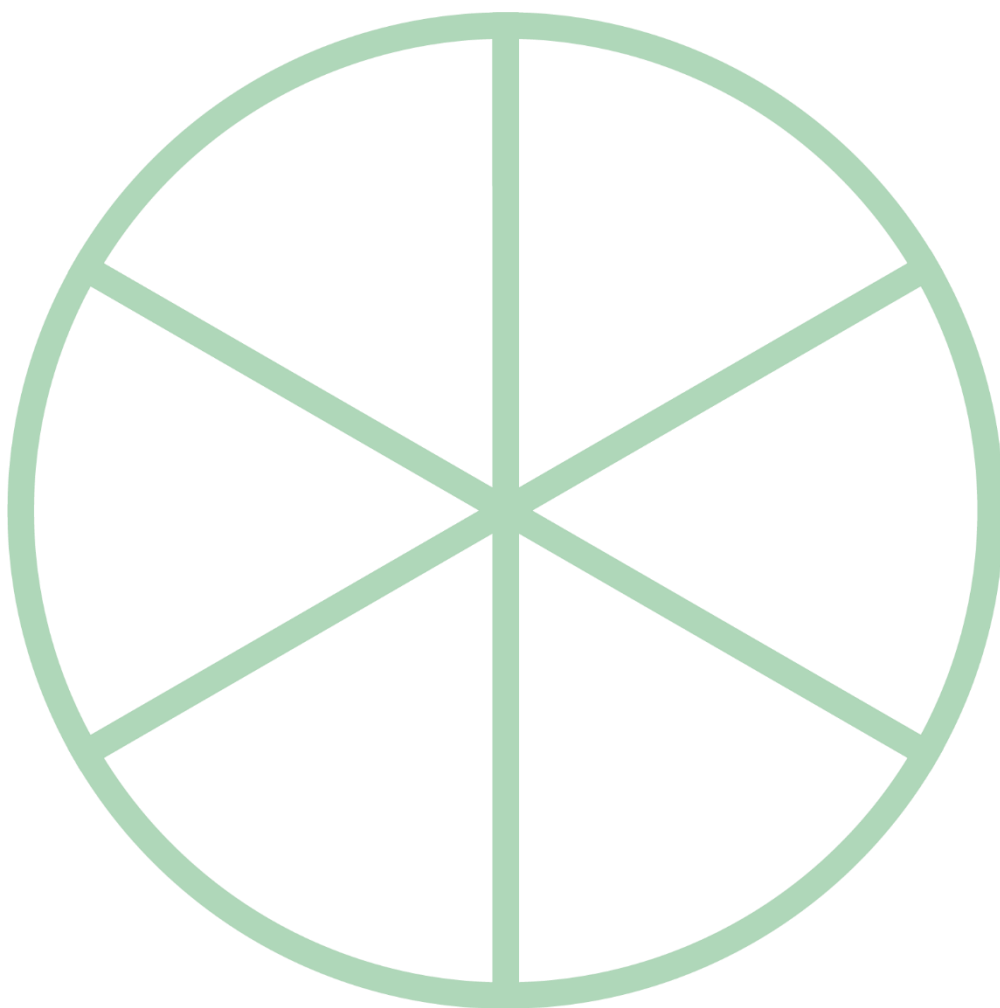
De conclusies van het onderzoek benadrukken de noodzaak van het blijven meten en monitoren van luchtkwaliteit en deze in de regio Noord Limburg te verbeteren. In een vervolg van het project grenzeloos meten kan goed worden doorgewerkt aan de ontwikkeling van meters, het opzetten van een breder meetnetwerk, het breed betrekken van inwoners en gebruikers van het gebied en het bieden van handvatten voor een betere luchtkwaliteit.

Grenzeloos meten



Grenzeloos Meten

April 2025



Inhoud

1.	Inleiding	2
1.1	Ambitie Regio Noord Limburg	2
1.2	Aanleiding project Grenzeloos Meten in hoofdlijnen	2
1.3	Doelstellingen Grenzeloos Meten	3
2.	Grenzeloos Meten	4
2.1	Werkpakket Leren & Delen	4
2.2	Werkpakket Fijnstof	4
2.2.1	Activiteiten	5
2.3	Werkpakket Geur & Beleving	7
2.3.1	Belevingsonderzoek	8
2.3.2	Geurstoffen sensormetingen	10
3.	Resultaten	12
3.1	Resultaten werkpakket Leren & Delen	12
3.1.1	Bijeenkomsten	12
3.2	Resultaten werkpakket Fijnstof	15
3.2.1	Resultaten onderzoek PM10	15
3.2.2	Resultaten onderzoek PM2.5	18
3.3	Resultaten werkpakket Geur & Beleving	21
3.3.1	Resultaten belevingsonderzoek	21
3.3.2	Resultaten onderzoek geurstoffen meten	24
3.3.3	Luchtmonster onderzoek op geurstoffen	26
4.	Conclusies	29
4.1	Conclusies fijnstofonderzoek	29
4.1.1	Algemeen	29
4.1.2	fijnstofsensoren (PM2.5)	29
4.1.3	fijnstofsensoren (PM10)	30
4.2	Conclusie Belevingsonderzoek en geurstoffenonderzoek	31
4.2.1	Belevingsonderzoek	31
4.2.2	Conclusies onderzoek meten geurstoffenpatronen	31
5.	Aanbevelingen	33
Bijlage 1 Rapport onderzoek PM2.5 Omgevingsdienst Zuid Limburg		
Bijlage 2 Rapporten onderzoek PM10 Fontys		
Bijlage 3 Rapport belevingsonderzoek Louis Bolk Instituut		
Bijlage 4 Rapport onderzoek geurstoffen meten Connecting Agri & Food en Wageningen University & Research		

1. Inleiding

Grenzeloos meten is uitgevoerd in een samenwerkingsverband van de Provincie Limburg en drie noord Limburgse gemeenten: gemeente Venray, gemeente Horst aan de Maas en gemeente Peel en Maas. Daarnaast zijn er diverse partijen betrokken bij de uitvoering van het project, dit zijn Connecting Agri & Food, Omgevingsdienst Zuid Limburg, Fontys Hogeschool, GGD, RIVM, Louis Bolk Instituut (LBI), Techni Solutions en Wageningen University & Research.

1.1 Ambitie Regio Noord Limburg

Regio Noord Limburg wil *de gezondste regio* worden. Daarom is voor deze regio een gezonde leefomgeving één van de belangrijke aspecten in het beleid. Eén van de speerpunten hierbij is luchtkwaliteit. Luchtkwaliteit is niet gebonden aan grenzen van bedrijven, gemeenten, regio's of landen. Het is grensoverschrijdend en door over (gemeente)grenzen heen te kijken, is een beter beeld te verkrijgen van de lokale luchtkwaliteit, de lokale bronnen en de verbetermogelijkheden (handelingsperspectief). Het doel is om met behulp van metingen de actuele kwaliteit in kaart te brengen. In dit proces worden de inwoners en bedrijven actief betrokken. Uiteindelijk streven de gemeenten en de provincie ernaar om handelingsperspectieven voor een schonere leefomgeving voor alle inwoners te krijgen. Het is een gezamenlijke inspanning, met elkaar en voor elkaar.

Het Interbestuurlijk Programma Vitaal Platteland (IBP VP) heeft de ambitie om het Rijk, provincies, gemeenten en waterschappen samen als één overheid te laten werken voor een 'economisch vitaal, leefbaar en ecologisch duurzaam platteland'. Dit doet het programma door 15 gebieden te ondersteunen in hun zoektocht bij de realisatie van hun ambities voor het gebied.

Hoe houden we het platteland in Nederland economisch vitaal, leefbaar en ecologisch duurzaam? In het landelijk gebied komen veel grote opgaven samen die vragen om forse en structurele veranderingen. Opgaven die gericht zijn op kwaliteit en leefbaarheid van het landschap, verduurzaming van de landbouw, waterbeheer en waterkwaliteit, gezondheid van mens en dier, gezonde ecosystemen en klimaatdoelstellingen. Deze uitdagingen vragen om een regiospecifieke benadering van het in samenhang zien van de opgaven, waarin bestuurslagen samenwerken, met elkaar en met andere maatschappelijke partijen. Eén van deze gebieden is 'De Zuidoostelijke zandgronden', waar het project Grenzeloos Meten zich in bevindt.

Het project Grenzeloos Meten wordt ondersteund vanuit de gezondste regio en Interbestuurlijk Programma Vitaal Platteland en vormt één van de proeftuinen in de regio. Het project sluit aan bij andere meetinitiatieven binnen en buiten de regio. In het project Grenzeloos Meten wordt gewerkt aan (1) het realiseren van meetnetwerken en het krijgen van handvatten voor verbetering van regionale luchtkwaliteit en (2) contacten leggen en realiseren van netwerken voor het onderling delen van kennis en ervaring. De stip die hiermee op de horizon wordt gezet is: Het opzetten van een meetnetwerk in Noord-Limburg dat inzicht geeft in de luchtkwaliteit van het gebied en handelingsperspectief biedt voor inwoners, ondernemers en overheid.

1.2 Aanleiding project Grenzeloos Meten in hoofdlijnen

In de Regio Noord Limburg hebben de gemeenten Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venray in samenwerking met de provincie Limburg gekozen om gezamenlijk te onderzoeken of op lokaal niveau de luchtkwaliteit continue te meten is en hoe de opgedane inzichten handvatten bieden om te werken aan het verbeteren hiervan. De ervaringen van andere meetnetwerken, pilots en projecten zijn hierin meegenomen.

Ambitie gezondste regio

De regio waarin Grenzeloos Meten zich afspeelt heeft als ambitie om de gezondste regio te worden, waarbij luchtkwaliteit één van de speerpunten is. Het Rijk, provincies en een groot aantal gemeentes, waaronder Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venray zetten in op het verbeteren van de luchtkwaliteit in Nederland. Hiervoor hebben zij het Schone Lucht Akkoord gesloten.

Zorgen luchtkwaliteit / geur en fijnstof

In het gebied worden door inwoners zorgen geuit over de luchtkwaliteit. Zij maken zich zorgen om de luchtkwaliteit en de relatie met hun gezondheid. Dit is mede aanleiding geweest om met het project Grenzeloos Meten aan de slag te gaan.

Het gebied van Grenzeloos Meten kenmerkt zich door een gebied met een relatief groot aandeel veehouderij. Inwoners van een gebied waar veehouderijen gevestigd zijn, geven vaak twee zorgpunten aan: geur en fijnstof. Uiteraard omvat luchtkwaliteit meer aspecten, voor een goede focus en realistische doelstellingen, binnen het project is de keuze gemaakt om in het project Grenzeloos Meten hierop te focussen.

Geur is een heel lokaal aspect, op grote(re) afstand van een geurbron is dit niet meer waarneembaar. Uit de projecten *Boeren en Buren* en *Meetnetwerk Sint Anthonis*¹ kwam naar voren dat voor fijnstof de impact van een individuele lokale bron alleen dicht bij de bron meetbaar is. Zowel geur als fijnstof moeten dan dus dicht bij de bron worden bemeten.

Lokaal meetnetwerk

In het gebied bevinden zich slechts een beperkt aantal centrale meetpunten (Vredepeel, Arcen, Nederweert) waar de luchtkwaliteit wordt bemeten. Een lokaal meetnetwerk zal daarom naar verwachting meer inzicht kunnen geven in lokaal handelingsperspectief voor zowel geur als fijnstof. In het project Grenzeloos Meten is gestart met het realiseren van een lokaal meetnetwerk.

1.3 Doelstellingen Grenzeloos Meten

In dit project zijn de volgende twee doelstellingen geformuleerd:

1. Het verkrijgen van handvatten om op basis van meetnetwerken de regionale luchtkwaliteit te verbeteren.
 - De meetnetwerken gaan zowel over de beleving van inwoners als over sensormetingen;
 - De handvatten betreffen het verkrijgen van concreter inzicht in de mogelijkheden om tot handelingsperspectief te komen voor zowel inwoners, ondernemers, als beleidsmakers.
2. Het leggen van contacten tussen partijen die werkzaam zijn in hetzelfde of aanverwante netwerken en het realiseren van een sterk netwerk dat onderling kennis en ervaring deelt.
 - Versterken samenwerking en contacten tussen de deelnemende gemeenten en de provincie via de lijn van het Interbestuurlijk Programma Vitaal platteland (IBP vitaal platteland) ook met het Rijk.
 - Bouwen aan vertrouwen en contact tussen de gemeenten en haar inwoners (burgers en ondernemers) door samen te werken aan het meten van luchtkwaliteit en de beleving hiervan.
 - Samenwerking stimuleren tussen partijen die werken aan het meten en verbeteren van luchtkwaliteit op verschillende vlakken. Het betreft hier in de eerste instantie beleidsmakers, kennisinstellingen en bedrijven die werkzaam zijn op dit vakgebied.

¹ https://www.sintanthonis.nl/inwoners/transitie-buitengebied_42164/item/we-gaan-verder-met-meten-luchtkwaliteit_46970.html

2. Grenzeloos Meten

In het project ligt focus op het meten van fijnstof (PM10 en PM2,5) samen met inwoners, het meten van geurstoffen en de beleving. In het project is een meetnetwerk voor het meten van luchtkwaliteit in relatie tot fijnstof opgezet. Tevens is kennis gedeeld met verschillende projecten en initiatieven.

Het project is ingericht in drie werkpakketten namelijk:

1. Leren en Delen
2. Geur & beleving
3. Fijnstof

Naast de onderzoeken uitgevoerd in de drie werkpakketten hebben de GGD en het RIVM een bijdrage geleverd aan het project. De GGD heeft kennis gedeeld en inwoners geïnformeerd over de invloed van luchtkwaliteit op de gezondheid. Het RIVM heeft gedurende het project gereflecteerd op het onderzoek, tevens hebben de partners diverse malen hun advies ingewonnen bij de beantwoording van de complexe vraagstukken.

De activiteiten van de werkpakketten worden hierna toegelicht.

2.1 Werkpakket Leren & Delen

Het meetnetwerk is opgericht samen met inwoners van de drie gemeenten. Dit geldt zowel voor het fijnstofmeetnetwerk, als de geurmetingen, als het belevingsonderzoek. Om alle partijen goed in dit traject mee te nemen is communicatie belangrijk. Het werkpakket Leren & Delen heeft zich gericht op zowel de communicatie met de inwoners, als de communicatie met andere initiatieven op het gebied van metingen en initiatieven op het gebied van het thema schone lucht. Daarnaast is van andere initiatieven geleerd en input opgehaald voor Grenzeloos meten.

Inwoners zijn benaderd door communicatie via lokale bladen, social media en brieven op adres (deelname aan specifieke onderdelen). Voor de inwoners, ondernemers en betrokken organisaties zijn bijeenkomsten georganiseerd. Daarnaast zijn er nieuwsbrieven verspreid via email, is informatie via de website en social-media verspreid en heeft er kennisuitwisseling plaats gevonden met relevante stakeholders. In de paragraaf resultaten leren & delen is dit nader toegelicht.

2.2 Werkpakket Fijnstof

In het gebied worden door inwoners zorgen geuit over fijnstof in relatie tot luchtkwaliteit en het effect hiervan op hun gezondheid. Fijnstof is een van de focusgebieden van dit project.

Uit eerder onderzoek blijkt dat bij fijnstof veelal sprake is van een vergelijkbare concentratie over een groter gebied. Fijnstof gedraagt zich dan als het ware als een soort deken die over een regio beweegt en iedere bron levert hier een bijdrage aan. De dikte van de deken hangt af van vele factoren zoals windsnelheid, -richting, temperatuur, type fijnstof en bronnen. De impact van een individuele lokale bron is alleen dicht bij de bron meetbaar. Door op kortere afstand rondom een bron te meten, is het doel om inzicht te verkrijgen in relaties tussen activiteiten, weersomstandigheden en meetwaarden.

De *onderzoeksvragen* voor het deelonderzoek zijn als volgt geformuleerd:

1. Kan met de fijnstofsensoren een meetnetwerk worden gerealiseerd waarmee de regionale luchtkwaliteit in beeld wordt gebracht?
2. Geven inzichten op basis van de sensormetingen handvatten voor verbetering van de regionale luchtkwaliteit?

2.2.1 Activiteiten

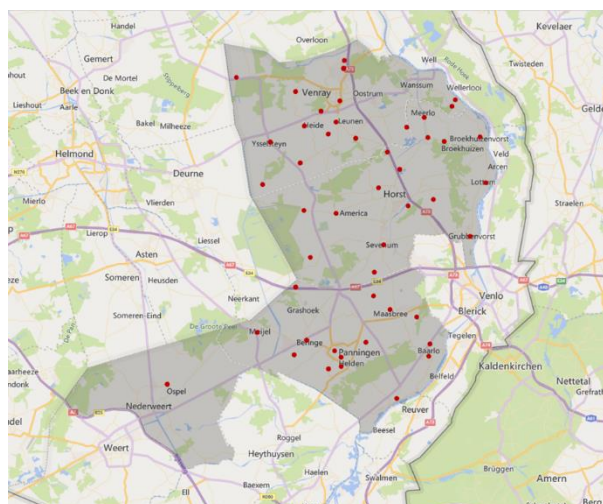
De activiteiten zijn uitgevoerd in twee sub-werkpakketten, het werkpakket 'fijnstofmeetnetwerk PM2.5' uitgevoerd onder leiding van de omgevingsdienst Zuid-Limburg en het werkpakket 'fijnstofmeetnetwerk PM10' dat is uitgevoerd onder leiding van Fontys Hogeschool.

Het project is uitgevoerd op basis van burgerparticipatie, waarbij inwoners, waaronder ook ondernemers in het gebied, zich konden opgeven om een sensor in bruikleen te krijgen. Inwoners zijn benaderd via lokale bladen en de mediakanalen van de gemeentes. Op basis van het aantal aanmeldingen is een selectie gemaakt van de locaties waar een sensor geplaatst is. Het aantal aanmeldingen was groter dan het aantal beschikbare sensoren. De omgevingsdienst Zuid-Limburg heeft een meetplan opgesteld, waarbij de sensoren zo goed mogelijk in het gebied werden verspreid. Dit betrof zowel PM10 als PM2.5 sensoren. Inwoners die in aanmerking kwamen om een sensor te plaatsen zijn uitgenodigd om deze op te halen tijdens een bijeenkomst waarbij ook meer achtergrondinformatie werd verstrekt. Sensoren die tijdens de bijeenkomst niet zijn opgehaald zijn door de projectleden afgegeven bij de betreffende adressen. Deze sensor konden zij volgens bijgeleverde instructie nabij hun huis of bedrijf plaatsen, zodat continu fijnstof werd gemeten.

Activiteiten fijnstofmeetnetwerk PM2.5 ²

In september 2023 zijn in totaal 45 Ohnics-sensoren uitgegeven aan bewoners van het gebied en is een Ohnics-kalibratiesensor bij het meetstation in Ospel geplaatst. De sensoren zijn verspreid over het gebied geplaatst. Met deze sensoren is continu de PM2.5 fijnstofconcentratie bemeten (iedere minuut een meetwaarde). De meetgegevens van de sensoren werden elke minuut via de interne GSM module verstuurd. De gemeten waarden waren via het RIVM Samen Meten dataportaal continu inzichtelijk. Naast de metingen met de Ohnics-sensoren zijn in het onderzoek tevens officiële metingen van het RIVM in Vredepeel meegenomen. Tevens zijn de data van een Ohnics sensor nabij de A2-tunnel in Maastricht meegenomen.

Naar aanleiding van eerste meetresultaten heeft de omgevingsdienst Zuid-Limburg een aanvullend onderzoek uitgevoerd, een zogenaamd 'piekenonderzoek'. Hierbij zijn op basis van de eerste meetresultaten een aantal zogenaamde pieklocaties in kaart gebracht, locaties waar opvallende pieken in de meetresultaten werden waargenomen. De locaties zijn bezocht om ter plaatse te kijken of een bron voor de pieken was aan te wijzen, daarnaast zijn de data nader onderzocht in combinatie met data over windrichting.



Figuur 1. Ohnics-sensoren in het gebied.

² Het onderzoek is uitgevoerd door Omgevingsdienst ZuidLimburg. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 1

De omgevingsdienst Zuid-Limburg heeft vanaf september 2023 tot en met december 2024 data verzameld voor het Grenzeloos Meten project. De resultaten van de metingen van het kalenderjaar 2024 zijn geanalyseerd en weergegeven in paragraaf 3.2. Het verzamelen en analyseren van data wordt nog twee jaar gecontinueerd door de Omgevingsdienst Zuid-Limburg.

Activiteiten fijnstofmeetnetwerk PM10³

Gestart is met het reviseren van BV-PM10-meetboxen uit het project Boeren en Buren op het Greentechlab van Fontys Venlo. De meetboxen, zijn voorzien van een nieuwe NOVA SDS011 PM10 sensor en in het laboratorium getest. Eind september 2023 zijn dertig meetboxen door inwoners verspreid over het gebied geplaatst, volgens het eerder omschreven meetplan opgesteld door de omgevingsdienst Zuid-Limburg. De meetboxen zijn voorzien van een GPS, waardoor de locatie zichtbaar was op het 'samen meten netwerk' van het RIVM. De meetboxen verzonden ieder uur data van de gemiddelde gemeten PM10 waarde.

Naast de data uit de PM10 sensoren zijn lokale weerdata verzameld en zijn data van het weerstation in Vredepeel verzameld. Ook zijn er PM10 meetboxen uit het project geplaatst op het proefstation in Vredepeel, zodat deze vergeleken konden worden met de metingen van de sensoren van het proefstation.

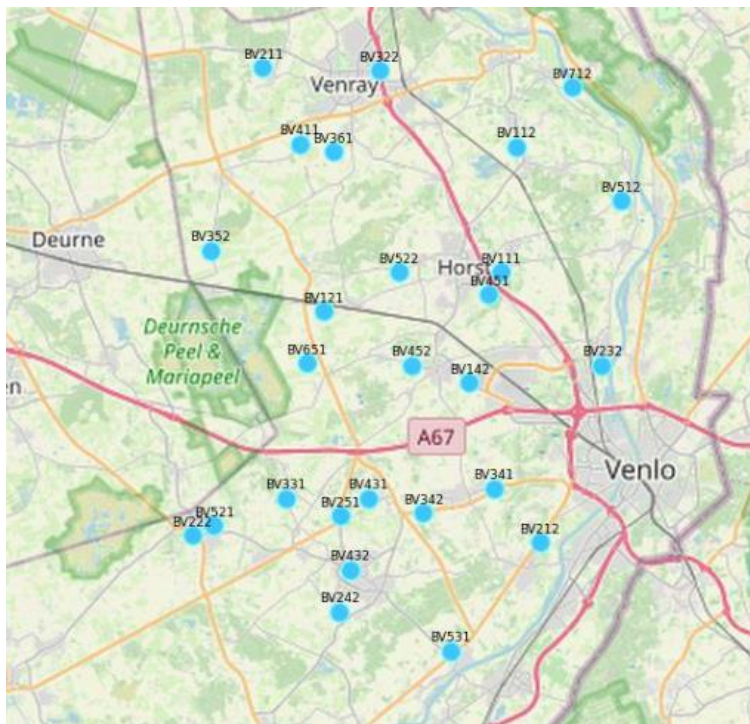
Data zijn verzameld van eind september 2023 tot en met eind 2024, meetwaarden waren beschikbaar via het RIVM Samen Meten dataportaal. Inwoners met een PM10 meetbox is gevraagd deze tijdens de slotbijeenkomst op 2 december 2024, of deze in de periode erna op het gemeentehuis in te leveren.

Voor het onderzoek naar het PM10 netwerk hebben studenten van Fontys Venlo een bijdrage geleverd aan het project onder begeleiding van de medewerkers van Greentechlab.



Figuur 2. PM10 fijnstofsensoren worden uitgedeeld aan de deelnemende inwoners

³ Het onderzoek is uitgevoerd door Fontys. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 2



Figuur 3. PM 10-sensoren verspreid door het gebied (momentopname, actieve sensoren)

Onderzoeksvragen

Specifiek voor het PM10 onderzoek zijn door de studenten van Fontys Venlo die aan het project hebben gewerkt voor hun onderzoek de volgende onderzoeksvragen opgesteld:

1. Wat is de correlatie tussen de gemeten PM10 concentraties en de lokale weersomstandigheden?
2. Wat is de beste manier om PM10-concentraties te visualiseren?
3. Hoe kan de invloed van temperatuur en relatieve vochtigheid op PM10 metingen gebruikt worden om een model te ontwikkelen voor het verbeteren van de nauwkeurigheid van PM10-gegevens
4. Is het mogelijk om een prototype te ontwikkelen om de gemeten fijnstofwaarden te visualiseren?

Het eerste onderzoek, uitgevoerd door Nicoleta Cazac (student Fontys), richtte zich op het meten met sensoren, het onderzoeken van de betrouwbaarheid van de data en het maken van het vergelijking met data van de officiële weerstations. Data verzamelen, opschonen, verwerking, analyse en visualisatie vond plaats in Python. In bijlage 2 is dit uitvoerig toegelicht.

Het tweede onderzoek, uitgevoerd door Maksym Kobzar (student Fontys), richtte zich op het visualiseren van de data en het komen tot visualisaties die het beste kunnen bijdragen aan het begrijpen van de data gericht op de inwoners van het gebied (zie bijlage 2). Hiervoor zijn data verzameld en gecombineerd en is een webdashboard ontwikkeld.

2.3 Werkpakket Geur & Beleving

Geur is een van de meest besproken aspecten als het gaat om de beleving van luchtkwaliteit in niet stedelijk gebied. Inwoners in het gebied uiten zorgen op het gebied van geur en de beleving van geur en mogelijke effecten hiervan op de gezondheid. In dit project is het meten van geur en geurbeleving dan ook als onderdeel opgenomen in het werkpakket 'Geur & Beleving'. Het meten van geur is

ingewikkeld en het continu meten van geur(stoffen) is voortdurend in ontwikkeling. Geurbeleving is nog complexer dan geur, er is naast de chemische samenstelling ook een psychisch aspect bij geurbeleving.

In dit project is gebruik gemaakt van zogenaamde geurstoffen-sensoren (de Canairy). Dit is een sensor die de cumulatie van vluchtige organische en anorganische componenten (cVOC) meet als indicatie van geurstoffenpatronen. Deze techniek is niet vergelijkbaar met de officiële luchtmetingen maar geeft wel een indruk van patronen van bepaalde stoffengroepen.

Om de geurbeleving van inwoners te onderzoeken is een belevingsonderzoek uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut. Het onderzoek naar de geurstoffenmetingen is uitgevoerd door Connecting Agri & Food in samenwerking met Wageningen University & Research.

2.3.1 Belevingsonderzoek⁴

In de periode tussen januari 2023 en juni 2024 is door het Louis Bolk Instituut (LBI) een belevingsonderzoek uitgevoerd, 'Belevingsonderzoek hinder en gezondheid'. Hiermee werd onderzocht hoe inwoners hun omgeving ervaren in relatie tot hun gezondheid.

Inwoners in de geselecteerde regio zijn benaderd om mee te doen aan het onderzoek middels oproepen in lokale bladen en de gemeentelijke website. Daarnaast is huis aan huis een brief verspreid met een uitnodiging om deel te nemen en aan te melden voor de startbijeenkomst. Na de eerste meetperiode is nogmaals een brief verspreid om het meetgebied en het aantal deelnemers aan het onderzoek te vergroten.

Voorafgaand aan de meetperiodes hebben interviews met negen inwoners plaats gevonden om een beeld te schetsen van de situatie.

Deelnemers aan het belevingsonderzoek kregen toegang tot een app en konden op deze wijze deelnemen aan het onderzoek. De meetperiodes vonden plaats in een zomerperiode (september 2023), een winterperiode (januari 2024) en een extra periode in het voorjaar (mei 2024). Tijdens deze meetperiodes rapporteerden deelnemers (inwoners uit het gebied die zich hadden aangemeld) dagelijks via de webapplicatie over hun ervaren hinder en gezondheid. Hierbij werd geregistreerd of zij hinder ondervonden, om welk type hinder het ging, de ernst ervan en de mate waarin deze hinder hun gezondheid beïnvloedde. Ook vond monitoring plaats op het gebied van ervaren positieve en negatieve beleving, waaronder wandelen en beweging, dorpsactiviteiten, groen, natuur, geur, geluid, verkeer, licht, houtstook, ongedierte en gevoelens van onveiligheid. In de tweede meetperiode is de optie 'geen hinder' toegevoegd, zodat de gebruikers van de app ook aan konden geven dat zij geen hinder ervoeren op het moment dat ze de app invulden. De versie van derde meetperiode betrof een zogenaamde 'light'-versie, waarbij het aantal vragen was ingekort, de omschreven vragen over gezondheid waren geen onderdeel van de vragenlijst.

Het onderzoek is uitgevoerd in de regio 'Heide-Leunen-Veulen' (figuur 4).

⁴ Het onderzoek is uitgevoerd door LBI. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 3



Figuur 4. Onderzoeksgebied belevingsonderzoek

Het doel van het onderzoek was

1. Het in beeld brengen van de door bewoners ervaren hinder en positieve gezondheid en
2. Het onderzoeken of er een link kan worden gemaakt tussen ervaren hinder en gemeten waarden

De *onderzoeksvraag* daarbij was welke handvatten bijdragen aan een positieve beleving voor inwoners, ondernemers en beleidsmakers.

Na elke meetperiode vond een bewonersavond plaats waarin de resultaten zijn gepresenteerd en besproken met de deelnemers.



Figuur 5. Bewonersbijeenkomst belevingsonderzoek

2.3.2 Geurstoffen sensormetingen⁵

In dit onderzoek zijn met realtime sensoren 'geurstoffen' gemeten. Het betrof metingen met een niet gas selectieve sensor die een breed spectrum aan gasen meet die voorkomen in geur. De sensor meet geen geur, maar patronen die een indicatie geven van de situatie rondom geur.

Metingen hebben plaats gevonden van augustus 2023 tot en met december 2024.



Figuur 6. Foto van een Canairry-sensor. Deze sensoren zijn ingezet in het project om geurstoffenpatronen te meten.

Doel van het deelonderzoek was het opzetten van een pilot waarin kan worden onderzocht of het mogelijk is om geurstoffen continu te meten, waarbij inzichten worden verkregen in geurstoffenpatronen die kunnen resulteren in handelingsperspectief.

Activiteiten

In het project is gewerkt met de Canairry-sensor van Techni solutions. Deze sensor is breed spectrum gevoelig en detecteert een cumulatie van vluchtige organische componenten (cVOC[ppm]). De sensor richt zich op het in beeld brengen van patronen en afwijkingen in patronen. Dit zijn daarmee andere meetwaarden dan gebruikt worden voor het bepalen van geur in een omgevingsvergunning. Deze zijn gebaseerd op rekenmodellen en zogenaamde odeur units (OU/m3).

Iedere tien minuten werden de vluchtige organische en anorganische componenten in de lucht door de Canairry- sensoren gemeten.

De Canairry-sensoren zijn op twee veehouderijbedrijven met varkens en drie bedrijven met pluimvee geplaatst. Op alle bedrijven zijn twee meetpunten gerealiseerd. Op de pluimveebedrijven is dit (1) een representatief punt waar de lucht dat stal inkomt en (2) een representatief punt waar de lucht de stal verlaat. Op de beide varkensbedrijven is de lucht zowel voor (1) als na (2) de luchtwasser bemeten.

In juli en augustus 2024 zijn ook Slimme Stal sensoren op de bedrijven geplaatst. Deze sensoren meten continu de temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en de CO₂ van stallucht (iedere 10 minuten een meetmoment) die door de Canairry sensoren wordt gemeten. In de pluimveestallen zijn de Slimme Stal sensoren voor de ventilatoren gehangen en bij de varkensstallen voor de luchtwasser. Op één van de pluimveebedrijven is tevens een Slimme Stal ammoniaksensor geplaatst.

De data van de sensoren zijn ontsloten via een online dashboard. Hierop zijn continu de gemeten waarden zichtbaar. Op het dashboard zijn tevens per locatie de lokale weerdata beschikbaar.

⁵ Het onderzoek is uitgevoerd door Connecting Agri & Food en Wageningen University & Research. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 4

Gedurende de meetperiode zijn er op drie momenten (8-4-2024; 29-5-2024; 9-10-2024) luchtmonsters door Wageningen Universiteit genomen van de lucht nabij de Canairy sensoren (figuur 7). De lucht is middels luchtzakken via de zogenaamde longmethode bemonsterd.



Figuur 7a en b. Luchtmonstername

De monsters zijn geanalyseerd met gaschromatografie methode gekoppeld met verschillende detectietechnieken (GC-MS, GC-SCD) in het laboratorium van Wageningen University & Research.

Relatie ervaring omwonenden

In het onderzoek is tevens een belevingsonderzoek uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut (paragraaf 3.3). De gemeten cVOC patronen uit het onderzoek zijn vergeleken met een beperkt aantal momenten waarop door inwoners is aangegeven dat er naar hun beleving meer geur was dan op andere momenten.

3. Resultaten

De drie gemeenten en de provincie delen de gezamenlijke wens om de bestuurlijke samenwerking te versterken om te komen tot meetnetwerken voor het meten van luchtkwaliteit in het buitengebied en mogelijk ook in de kernen. De focus ligt op het verbeteren van de relatie en het onderling vertrouwen tussen bedrijven en bewoners in een gebied en daarom ook op meetnetwerken die hieraan bij kunnen dragen. In het project is ervaring opgedaan met het toepassen van sensoren voor een breed spectrum aan geurstoffen en voor het meten van fijnstof in een meetnetwerk. In de meetgebieden zijn inwoners betrokken en is de beleving van deze inwoners gemeten.

Vanuit de verschillende deelonderzoeken zijn resultaten opgeleverd. De uitgebreide rapportages zijn te vinden in de bijlagen. Het gaat om de rapportages van de deelonderzoeken 'geur', 'fijnstof' en 'beleving'. In de volgende paragrafen is een beknopte samenvatting hiervan gegeven.

3.1 Resultaten werkpakket Leren & Delen

Het werkpakket Leren & Delen richtte zich op het delen van opgedane ervaring en resultaten uit het project en het delen van kennis met inwoners en relevante stakeholders, zoals vertegenwoordigers van vergelijkbare projecten en onderzoekers uit het vakgebied. Ten behoeve hiervan zijn diverse bijeenkomsten georganiseerd en is informatie verspreid via nieuwsbrieven en social-media. Tevens is het moment waarop sensoren zijn uitgedeeld aangegrepen om een persoonlijke toelichting te geven aan de deelnemers over het project en het gebruik van de sensoren.

3.1.1 Bijeenkomsten

Tijdens de startbijeenkomsten op 22 maart 2023 is er toelichting gegeven over het project met toelichting over de doelen, aanpak, partners en hoe inwoners en ondernemers een rol konden spelen in het project. De tussenbijeenkomst vond plaats op 31 januari 2024. Tijdens deze bijeenkomst zijn de tussenresultaten gepresenteerd, daarnaast is er ook aandacht besteed aan het behalen van de doelen. Bij de slotbijeenkomst op 2 december 2024 zijn de eindresultaten gepresenteerd. Tevens is een panelgesprek gehouden, waarbij vragen uit het publiek werden beantwoord. De overheid was vertegenwoordigd door onder andere de staatssecretaris, de gedeputeerde en de drie wethouders van de deelnemende gemeenten.

Alle bijeenkomsten zijn goed bezocht en tijdens de bijeenkomsten vonden levendige discussies plaats. Bij zowel de tussen- als de slotbijeenkomst was er ook een informatiemarkt. Op deze markt waren de betrokken organisaties vertegenwoordigd om meer uitleg te geven en vragen te beantwoorden, zodat alle bezoekers de gelegenheid hadden om informatie in te winnen.



Figuur 8. Impressie van de bijeenkomsten.

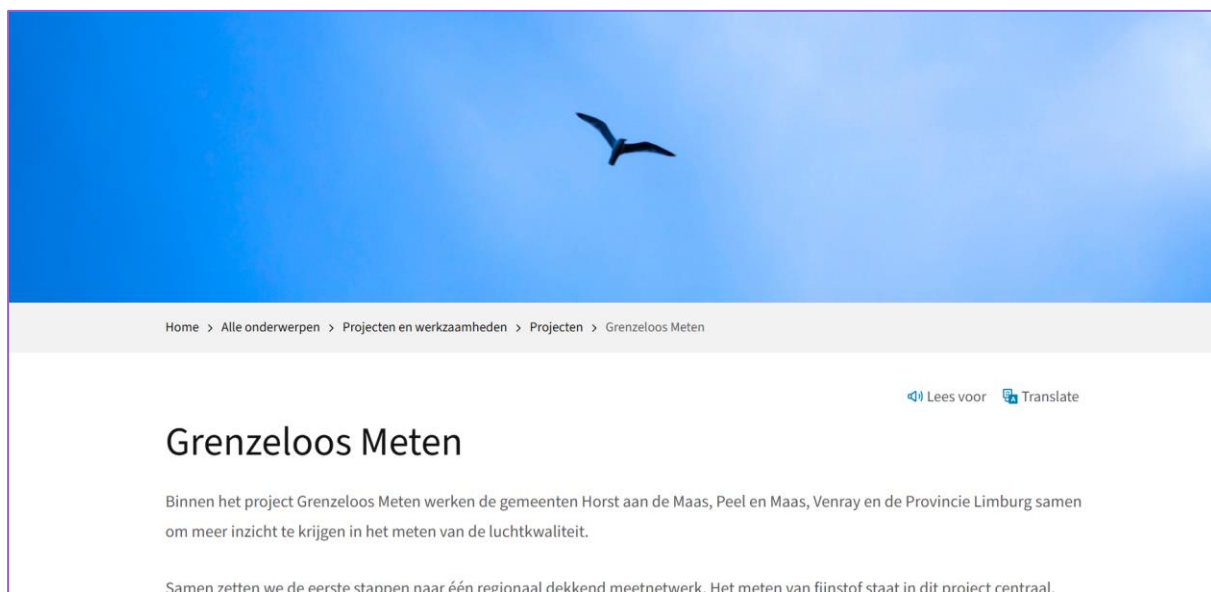
[Website, nieuwsbrieven en socials](#)

Het project heeft informatie verspreid via de websites van de betrokken gemeentes. Vanuit Peel en Maas werd de hoofdwebsite gehost, waar andere partners naar verwezen:

<https://www.peelenmaas.nl/projecten-en-werkzaamheden/projecten/grenzeloos-meten/>

<https://www.horstaandemaas.nl/grenzeloos-meten>

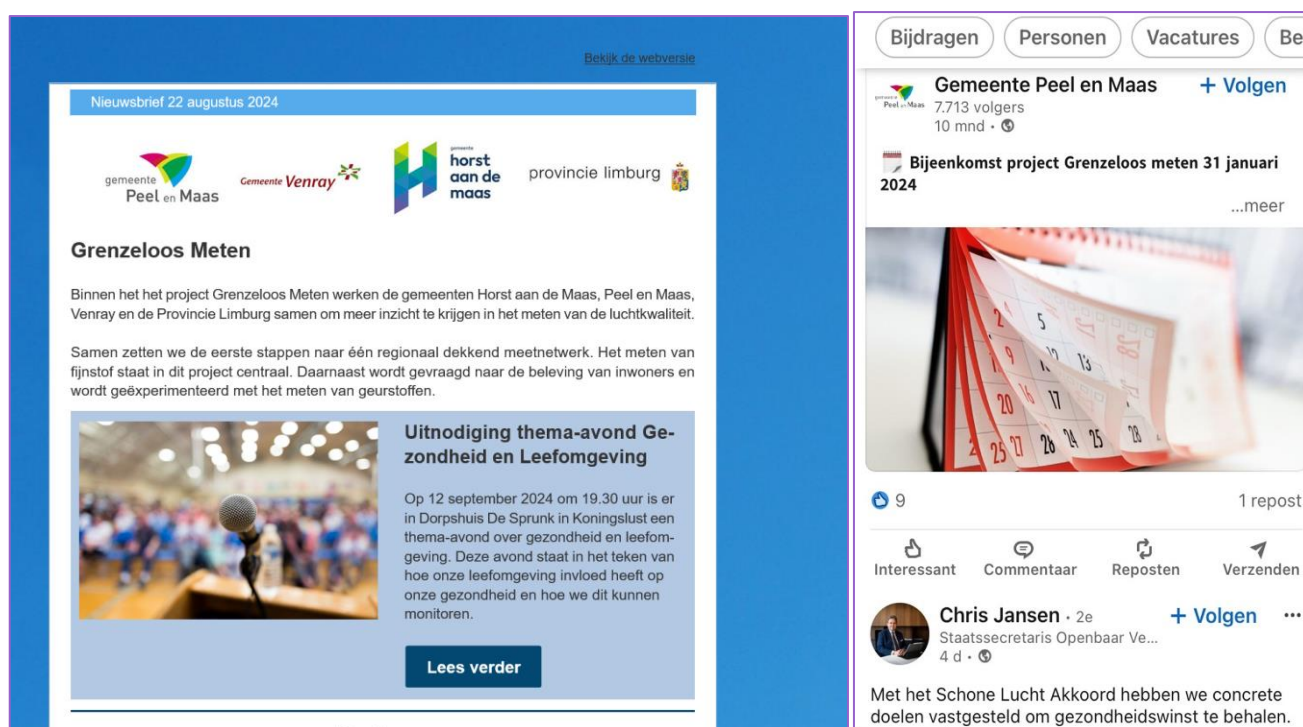
<https://www.venray.nl/landelijk-gebied>



Figuur 9. Screenshot website Grenzeloos Meten

Op de website werd meer informatie over het project gedeeld, met achtergrondinformatie, contactgegevens en nieuwsberichten.

Geïnteresseerden konden zich tevens inschrijven voor de Grenzeloos Meten nieuwsbrief waarin de nieuwsberichten gebundeld per email werden verstuurd. In totaal zijn er 9 nieuwsbrieven verstuurd.



Figuur 10. Screenshot nieuwsbrief (links) screenshot bericht op social media (rechts)

Nast deze media werd er ook gebruik gemaakt van social media om informatie te verspreiden, zoals uitnodigingen voor de bijeenkomsten en resultaten.

De kerngroep is door lokale media, zoals dagbladen en provinciale en lokale omroepen, benaderd om vragen te beantwoorden om invulling te geven aan de door hen geplaatste nieuwsitems.

Netwerk

Vanuit het project is er bijgedragen aan verschillende netwerken, zo zijn er presentaties gegeven bij het Platform Gezonde LeefOmgeving (PGLO) vanuit de provincie Limburg op 4 april 2024.

Ook is er kennis uitgewisseld met andere interessante netwerken, zoals het netwerk IBP Vevar, IBP Innovatiepark DeVlier, IBP terugkomdag en Food Valley.



Figuur 11. Meetproject regio Food Valley

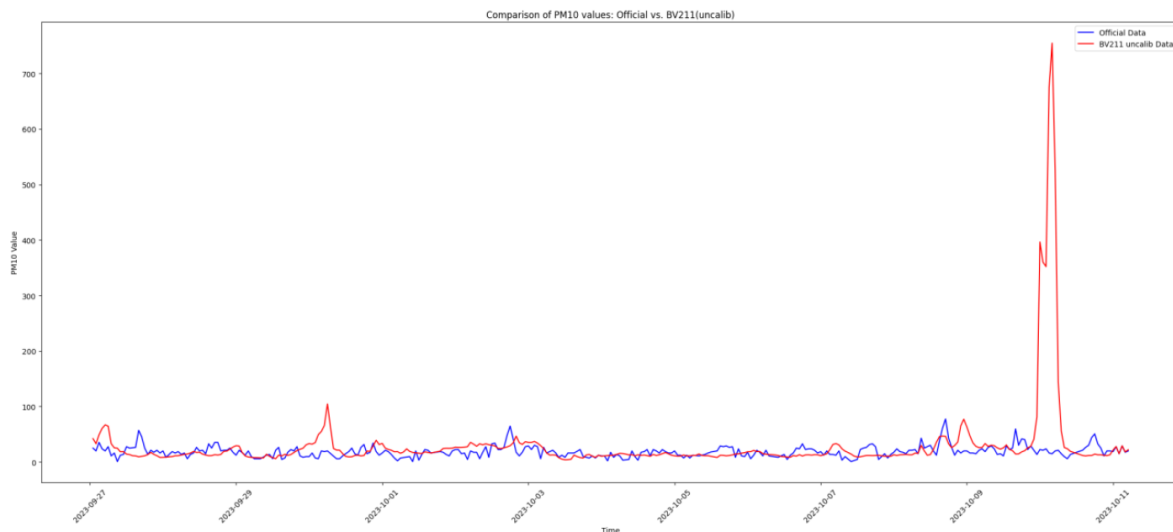
3.2 Resultaten werkpakket Fijnstof

3.2.1 Resultaten onderzoek PM10⁶

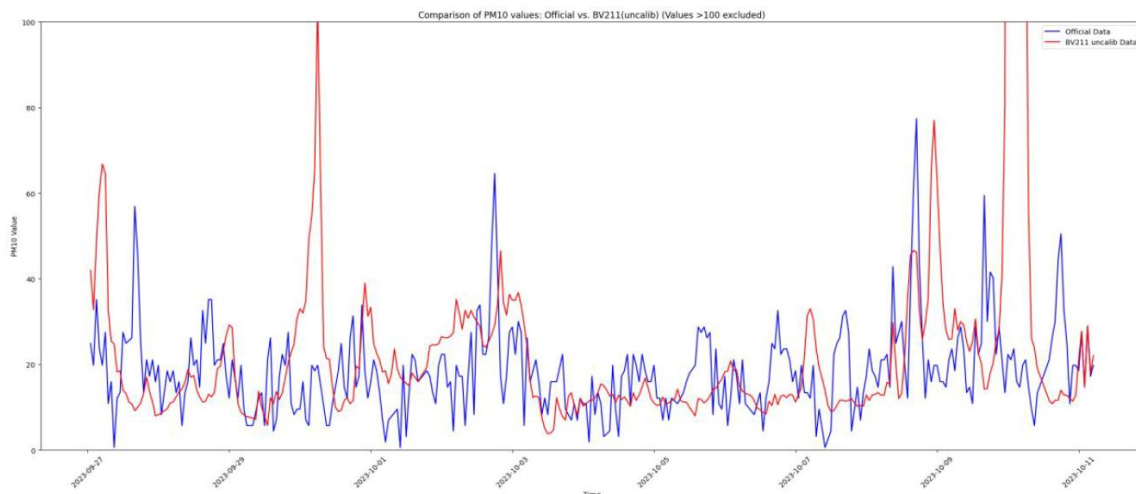
Betrouwbaarheid sensor

Fontys (Nicoleta Cazac) heeft de betrouwbaarheid van de Nova SDS011 PM10 sensoren onderzocht. Uit dit onderzoek bleek dat de sensoren erg gevoelig zijn voor luchtvochtigheid. De sensoren geven 46% hogere waarden weer wanneer de luchtvochtigheid hoger is dan 70%. Het RIVM heeft een kalibratiemethode ontwikkeld om de sensorwaarden hiervoor te corrigeren. Bij toepassing van deze kalibratie bleven de verschillen in gemeten waarden zichtbaar, maar waren deze kleiner. De Grenzeloos Meten PM10 sensor is bij het meetstation in Vredepeel van het RIVM geplaatst en de gemeten waarden van deze sensor zijn vergeleken met PM10 meetwaarden van het meetstation in Vredepeel. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 12 en 13. In figuur 12 is een extreme waarde zichtbaar op 10 oktober 2023. In figuur 13 is dezelfde grafiek weergegeven, hier is de uitslag vergroot (y-as gelimiteerd tot 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), zodat het patroon van beide lijnen beter zichtbaar is.

⁶ Het onderzoek is uitgevoerd door Fontys. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 2



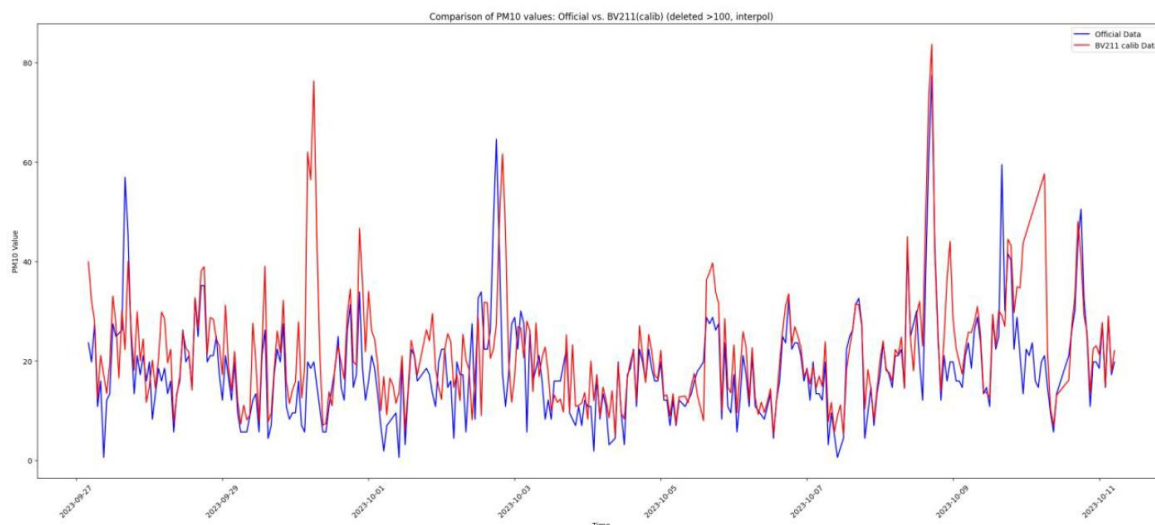
Figuur 12. Vergelijk sensorwaarden 'Grenzeloos Meten PM10 sensor' geplaatst op station Vredepeel (eenzelfde PM10 sensor als in het gebied zijn opgehangen, is ook op het RIVM station in Vredepeel geplaatst) met sensorwaarden van de 'RIVM PM 10 sensor van station Vredepeel' weergegeven



Figuur 13. Vergelijk sensorwaarden 'Grenzeloos Meten PM10 sensor' geplaatst op station Vredepeel (eenzelfde PM10 sensor als in het gebied zijn opgehangen, is ook op het RIVM station in Vredepeel geplaatst) met sensorwaarden van de 'RIVM PM 10 sensor van station Vredepeel' weergegeven. Y-as weergegeven tot 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Beide tabellen geven aan dat de meetwaarden van zowel de PM10 sensor uit het onderzoek als de meetwaarden door de RIVM-apparatuur eenzelfde trend volgen. De correlatie⁷ tussen beide lijnen is 0,032 wanneer gewerkt wordt met de ruwe data en 0,30 met de gekalibreerde data. Vervolgens zijn de uitbijters uit de data gehaald (waarden hoger dan 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de correlatie tussen beide datasets was daarna 0,64 (figuur 14). Hierbij moet worden vermeld dat dit is gebaseerd op de data van twee sensoren: de Grenzeloos Meten PM10 sensor op station Vredepeel en de PM10 sensor van het RIVM op station Vredepeel.

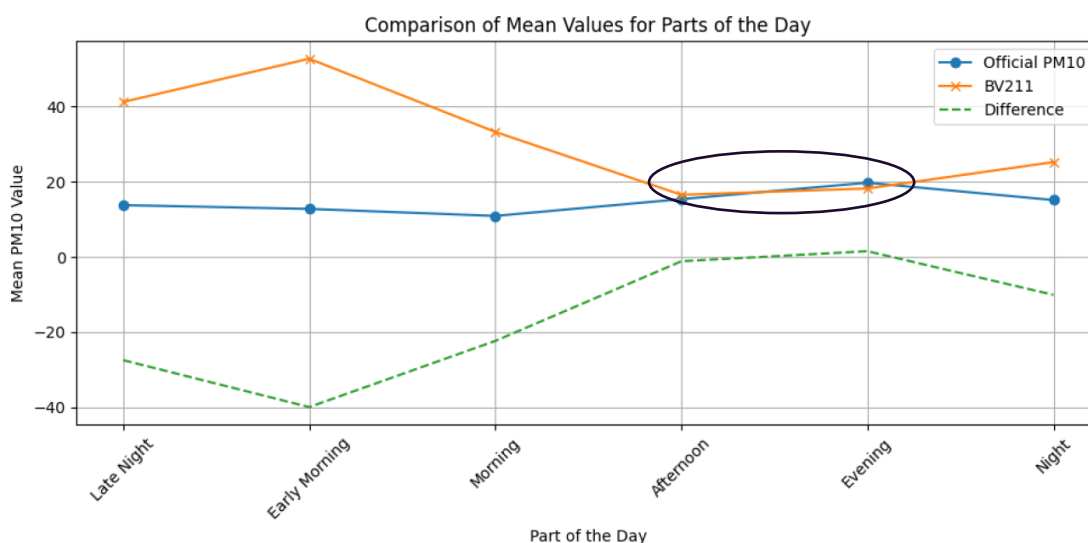
⁷ Een correlatie geeft de samenhang tussen twee variabelen weer. Is de correlatie 0 dan is geen samenhang. Is de correlatie 1 of -1, dan is er een volledige samenhang. Is de correlatie negatief dan betekent dit dat bij een toename van de ene variabele de andere variabele afneemt (of andersom). Is de correlatie positief dan neemt de ene variabele toe, als de andere ook toeneemt (en andersom).



Figuur 14. Vergelijk sensorwaarden Grenzeloos Meten PM10 sensor bij station Vredepeel en sensorwaarden van PM 10 sensor van station Vredepeel exclusief uitbijters (waarden boven 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Weersinvloeden

De relatie tussen parameters van het weer en de gemeten sensorwaarden is onderzocht. De Grenzeloos Meten PM10 sensor bij station Vredepeel had een correlatie van -0,3 met de buitentemperatuur, een correlatie -0,31 met de relatieve luchtvochtigheid en een correlatie van -0,34 met de windrichting⁸.



Figuur 15. Vergelijk gemiddelde gemeten waarden van de sensoren en het verschil van de gemeten waarden per dagdeel. Blauwe lijn: PM10 sensor van het station Vredepeel, de oranje lijn: PM10 sensor Grenzeloos Meten bij station Vredepeel, groene lijn: verschil.

Late night= 24:00-3:00 uur; early morning = 4:00-7:00 uur; morning = 8:00-11:00 uur; afternoon = 16:00-19:00 uur; night = 20:00-23:00 uur.

In bovenstaande figuur 15 zijn de gemiddelde gemeten waarden van de sensoren bij station Vredepeel per dagdeel weergegeven. Zichtbaar is dat de waarden in de middag (afternoon) en avond

⁸ Dat betekent dat er een samenhang is van circa 30% met de genoemde parameters, hierbij neemt de gemeten waarde van de sensoren toe bij een lagere buitentemperatuur en ook bij een lagere relatieve luchtvochtigheid. De windrichting hangt ook voor circa 30% samen met de gemeten sensorwaarden, waarbij de windrichting daarbij in cijfers is geduid.

(avond) sterk overeenkomen (omcirkeld). Dit zijn de perioden dat de relatieve luchtvochtigheid van de buitenlucht veelal onder de 70% is.

De correlaties tussen de gemeten deeltjes met de fijnstofsensoren en de weerdata zijn zeer complex en afhankelijk van verschillende factoren. Op basis hiervan zijn eerste stappen gezet in het ontwikkelen van een gegevenscorrectiemodel op basis van de drie weervariabelen met de meeste invloed op de gemeten PM10 waarden.

Visualisatie PM10-meetwaarden



Figuur 16a en b. Screenshots ontwikkelde visualisatie

Er is een visualisatie ontwikkeld waarin de verschillende factoren met elkaar worden gecombineerd en waarop het verplaatsen van de fijnstofdeken zichtbaar is aan de hand van bewegende plaatjes. Dit model draagt bij aan het verkrijgen van inzicht in de waarden van fijnstof en de herkomst van fijnstof. In figuur 16a en b zijn hiervan twee screenshots weergegeven.

3.2.2 Resultaten onderzoek PM2.5⁹

Jaargemiddelde waarden

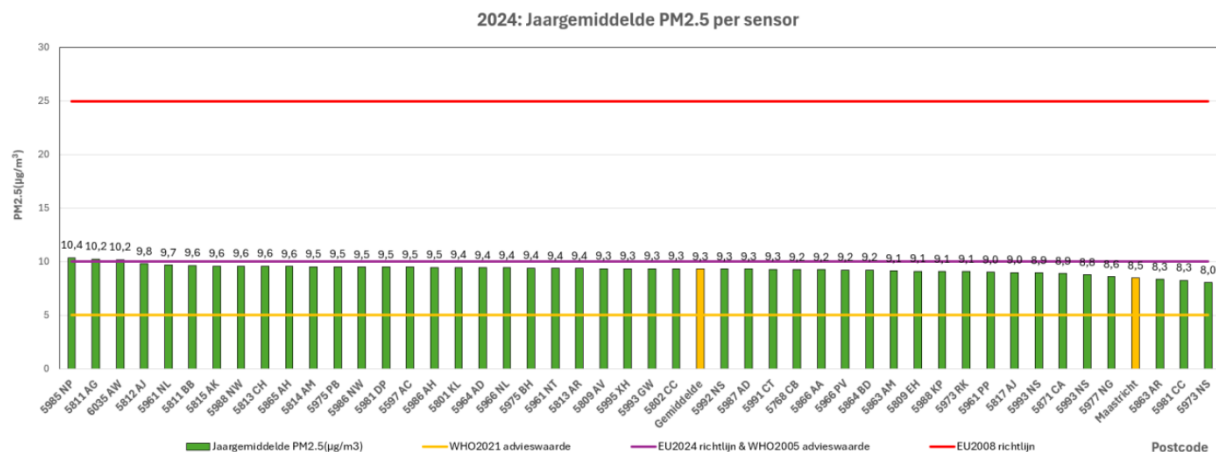
Metingen met de PM2,5 ohnics sensor zijn verzameld vanaf oktober 2023 tot en met 2024. De metingen van het kalenderjaar 2024 zijn geanalyseerd voor de resultaten van het onderzoek van Grenzeloos Meten. De resultaten van de onderzochte PM2.5 sensoren zijn in beeld gebracht en vergeleken met EU- en WHO grens- en advieswaarden¹⁰, daarnaast zijn metingen van station Vredepeel (RIVM meetapparatuur) en de metingen van een Ohnics-sensor nabij de A2-tunnel in Maastricht meegenomen in het onderzoek.

De jaargemiddelden van de sensoren in het onderzoek zijn weergegeven in figuur 17. Hierin is ook het vergelijk gemaakt met de huidige EU-grenswaarde weergegeven (rode lijn) en de World Health Organisation(WHO)-advieswaarde (groene lijn).

De metingen hebben een bepaalde meetonzekerheid, waar rekening mee gehouden moet worden met de interpretatie van de waarden.

⁹ Het onderzoek is uitgevoerd door de Omgevingsdienst Zuid-Limburg. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 1.

¹⁰ <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>. Eu-grenswaarden zijn gebaseerd op Europese richtlijnen voor luchtkwaliteit. WHO waarden zijn advieswaarden gebaseerd op gezondheidsnormen.



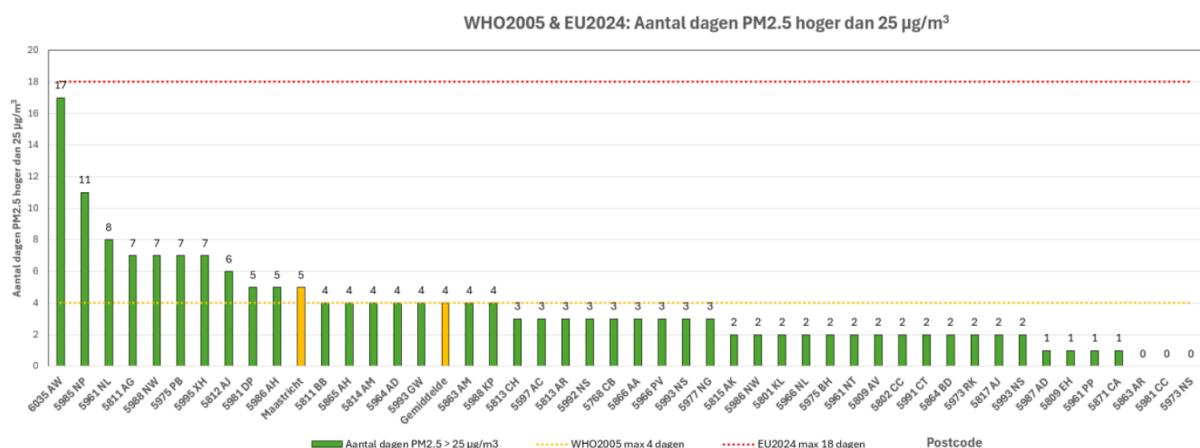
Figuur 17. 2024 jaargemiddelden PM2.5 sensoren weergegeven per sensor. Rode lijn: EU-richtlijn 2008, paarse lijn: EU-richtlijn per 2024, gele lijn: WHO advieswaarde.

In figuur 17 is zichtbaar dat geen van de sensoren de huidige EU grenswaarde ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) overschrijdt. Drie sensoren van de 46 sensoren overschrijden de EU richtlijn van 2024 ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), oftewel de grenswaarde die vanaf 2030 geldt. Tevens is zichtbaar dat alle sensoren de WHO2021 advieswaarde overschrijden ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Aantal overschrijdingsdagen

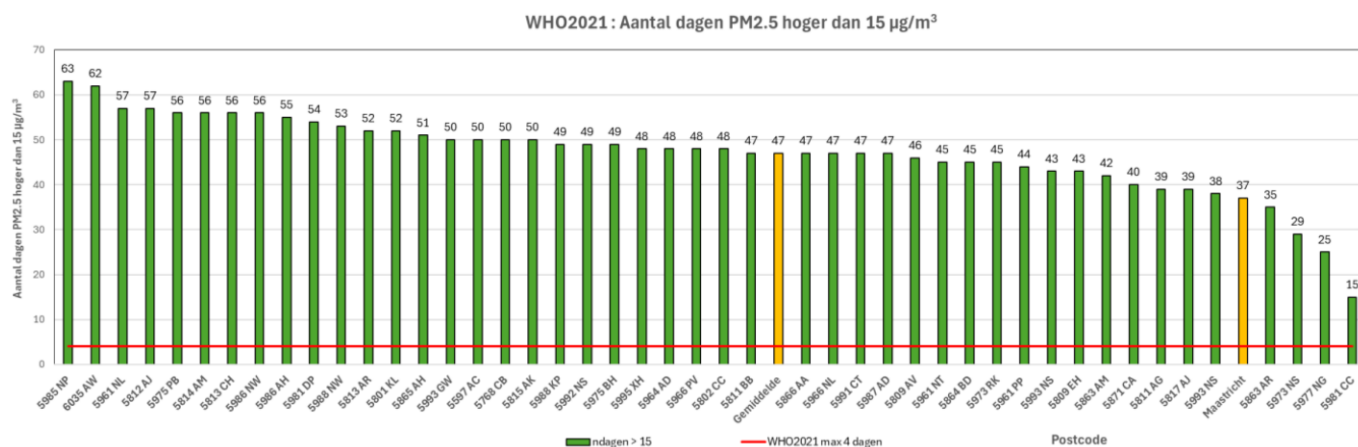
Naast de jaargemiddelden zijn ook het aantal overschrijdingsdagen in beeld gebracht. Een overschrijdingsdag is een maat voor het aantal dagen waarop een bepaalde normwaarde in een jaar wordt overschreden. Als norm zijn de EU richtlijnen en de WHO advieswaarden vastgelegd. De richtlijnen van de EU voor PM2.5 concentratie liggen op maximaal 18 dagen per jaar niet hoger dan $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De WHO advieswaarde is dat de gemiddelde dagwaarden van $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ niet meer dan 3 à 4 keer per jaar mag voorkomen.

De EU-richtlijn wordt door de gemeten sensorwaarden niet overschreden. De WHO-advieswaarde wordt, uitgaande van overschrijding bij meer dan 4 keer per jaar, bij de metingen in het gebied bij 10 van de 46 sensoren overschreden, zie figuur 18.



Figuur 18. Aantal dagwaarden hoger dan $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Grenzeloos meten PM2.5 sensor, sensor in Maastricht en weerstation Vredepeel gedurende 1 meetjaar. Het gemiddelde van de Grenzeloos Meten PM2.5 sensoren is weergegeven in een van de oranje balken, de andere oranje balk is het gemiddelde gemeten in Maastricht. De rode gestippelde lijn geeft de EU richtlijn en de gele gestippelde lijn de WHO advieswaarde 2005 weer.

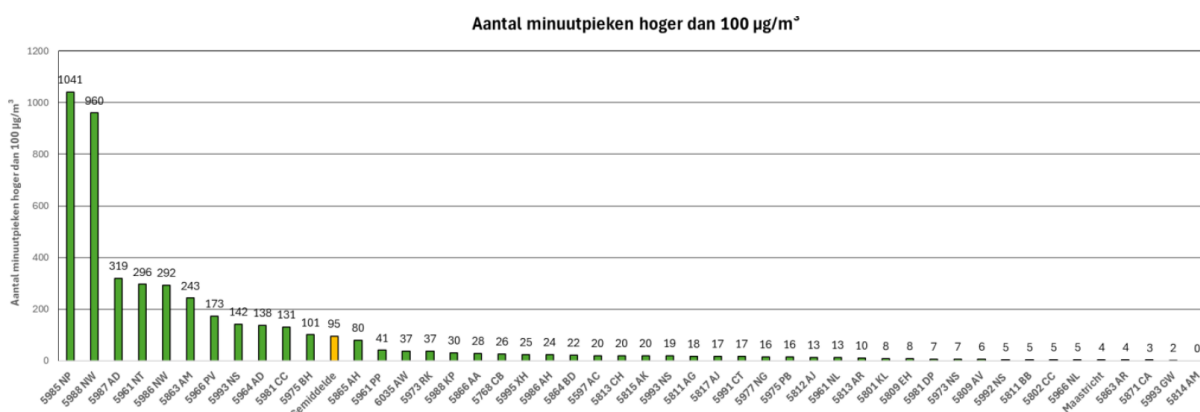
De WHO-advieswaarde uit 2021 gaat uit van een maximale dagwaarde van $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die maximaal 3 à 4 dagen per jaar mag worden overschreden. Deze advieswaarde wordt op basis van de gemeten waarden nergens behaald (figuur 19).



Figuur 19. Aantal dagwaarden hoger dan $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Grenzeloos meten PM2.5 sensor, sensor in Maastricht en weerstation Vredepeel gedurende kalenderjaar 2024. Het gemiddelde van de Grenzeloos Meten PM2.5 sensoren is weergegeven in één van de oranje balken, de andere oranje balk is het gemiddelde gemeten door de sensor in Maastricht. De rode lijn geeft de WHO advieswaarde 2021 weer.

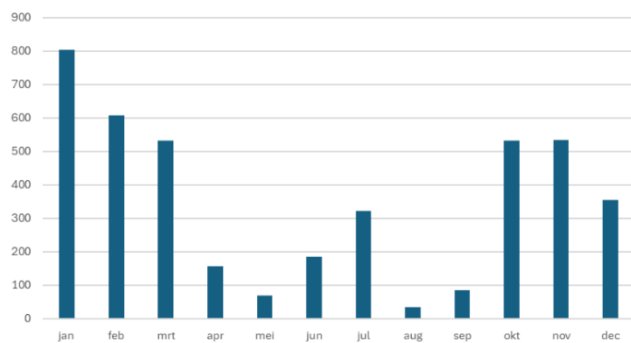
Nader onderzoek pieken

Het aantal gemeten piekmomenten per Grenzeloos meten PM2.5 sensor verschilt sterk per sensor dit is weergegeven in figuur 20. Zichtbaar is het gemiddeld aantal pieken gedurende het meetjaar 2024. Het gemiddeld aantal pieken is 95. Het aantal gemeten pieken varieert van 0 tot 1041. Op basis van de gemeten waarden is een extra onderzoek uitgevoerd bij de twee sensoren met de hoogste pieken om te onderzoeken waar deze vandaan komen.

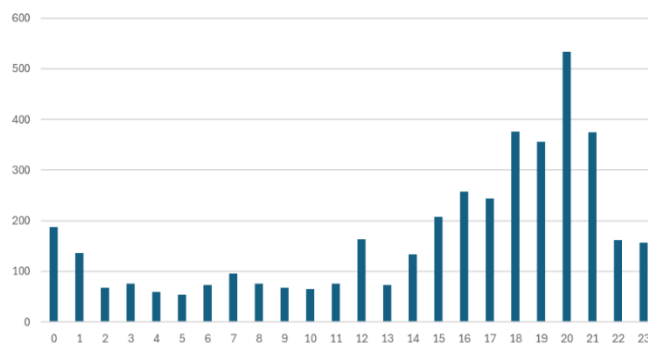


Figuur 20. Aantal minuutpieken hoger van $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per Grenzeloos meten PM2.5 sensor en de sensor in Maastricht gedurende 2024. Het gemiddelde van de Grenzeloos Meten PM2.5 sensoren is weergegeven in de oranje balk.

Vooruitlopend op het uitgevoerde 'piekenonderzoek' zijn het totaal aantal pieken die gedurende de gehele meetperiode van het project zijn gemeten opgeteld en in de volgende grafieken weergegeven (figuur 21a en b).



Figuur 21a. Totaal aantal gemeten pieken gedurende het project per maand



Figuur 21b. Totaal aantal gemeten pieken gedurende het project per uur van de dag

De linkse figuur geeft het totaal aantal gemeten pieken per maand weer en de rechtse figuur het totaal aantal pieken per uur. Zichtbaar is dat het aantal pieken in de koudere maanden van het jaar hoger is. In de rechtse figuur is een dagpatroon zichtbaar waarbij het totaal aantal gemeten pieken toeneemt vanaf de tweede helft van de middag en met name vanaf 18:00 uur, waarna deze vanaf 22:00 uur weer afneemt.

3.3 Resultaten werkpakket Geur & Beleving

De resultaten van dit werkpakket bestaan uit de resultaten het belevingsonderzoek en van het onderdeel 'geurstoffen sensormetingen'.

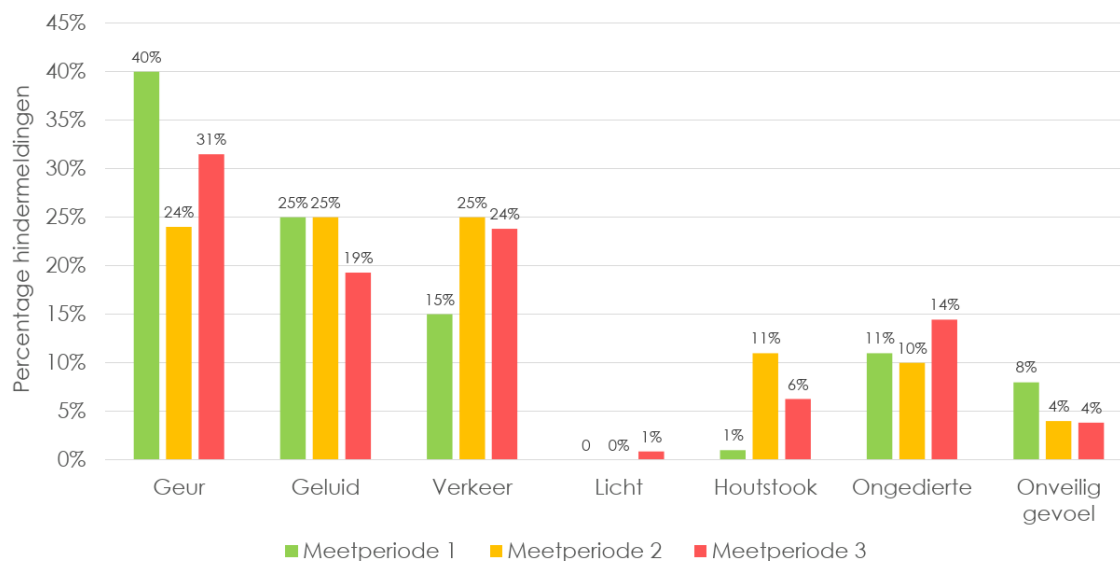
3.3.1 Resultaten belevingsonderzoek¹¹

Het belevingsonderzoek is uitgevoerd in drie meetperiodes (Tabel 1). In de app konden verschillende typen ervaren hinder worden gemeld. In de eerste periode was de optie om te melden dat men 'geen hinder' ondervond nog niet aanwezig. Bij de twee periodes daarna was deze er wel. In de derde periode is de zogenaamde 'light' versie toegepast, waarbij men enkel kon melden, zonder beantwoording van aanvullende vragen. Deelnemers konden op ieder moment van de dag een melding doen, daarnaast ontvingen ze dagelijks een herinnering om de app in te vullen.

Tabel 1. Gegevens en omstandigheden meetperiodes

	Meetperiode 1	Meetperiode 2	Meetperiode 3
Duur	3 weken	3 weken	4,5 week
Data	4 t/m 25 september 2023	18 januari t/m 7 februari 2024	1 april t/m 1 mei 2024
Bijzonderheden	Geen optie om 'geen hinder' te melden	Optie 'wel melding, geen hinder' toegevoegd	'light'-versie met alleen meldingen
Aantal deelnemers	17	40	34
Totaal aantal meldingen	275	640	853
Totaal aantal hindermeldingen	275 (alleen mogelijk om hinder te melden)	378 (59%)	364 (43%)
Gemiddeld aantal meldingen per dag	13,6	27	28
Gemiddelde buitentemperatuur	18,5	6,2	15
Dominante windrichtingen	O, ZO, ZW en W	ZW en WZW	ZW en ZO

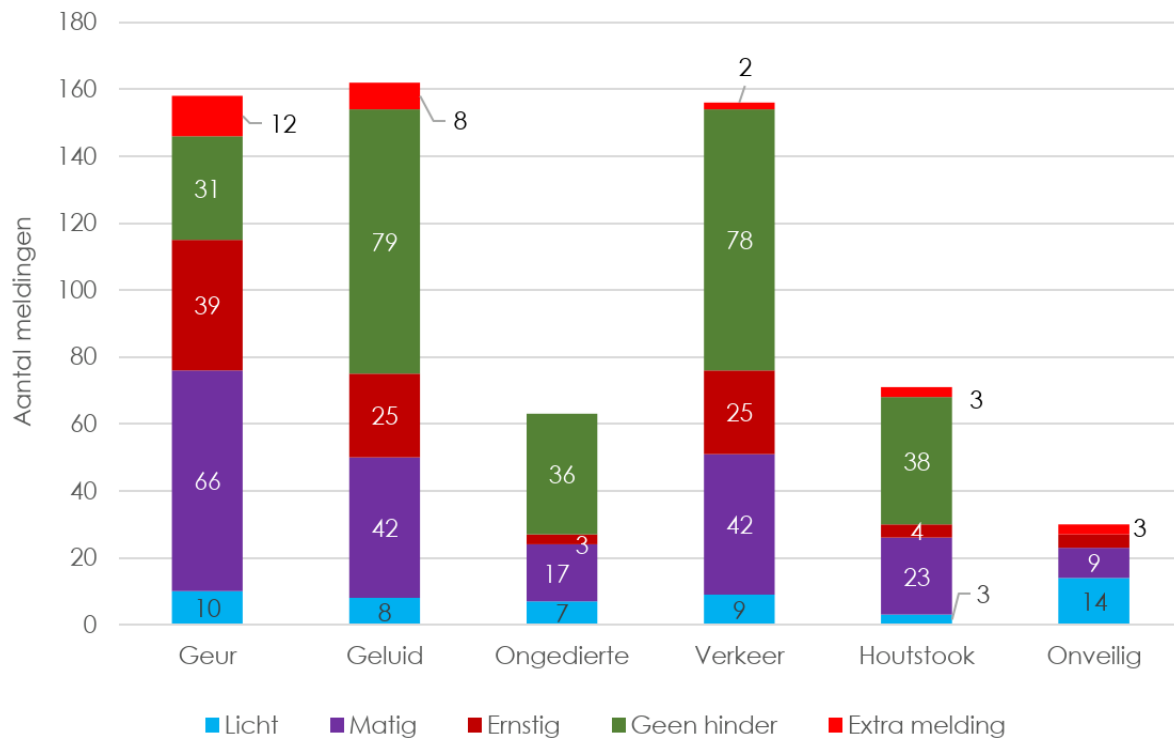
¹¹ Het onderzoek is uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut in opdracht van Grenzeloos Meten. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 3.



Figuur 22. Percentage hinder van alle hindermeldingen in de verschillende meetperiodes. De 'geen hinder' meldingen zijn hierin niet meegenomen. In periode 1 waren 17 deelnemers (275 meldingen), in periode 2: 40 deelnemers (640 meldingen) en in periode 3: 34 deelnemers (853 meldingen))

Figuur 22 laat het percentage hindermeldingen per type hinder zien tijdens de drie meetperiodes. Geur-, geluids- en verkeershinder zijn tijdens de drie meetperiodes het meest gemeld. In iedere periode was het gemiddeld aantal meldingen per persoon tussen de 16 en 17. Er zijn wel verschillen tussen de thema's. Tussen de periodes zijn ook verschillen waarneembaar, zoals een hoger percentage geurmeldingen in de eerste periode (warmere periode) en een hoger percentage houtstook meldingen in de tweede periode (koudere periode).

In figuur 23 zijn de meldingen weergegeven zoals ervaren in periode 2. Per type melding is tevens aangegeven op welke wijze deze zijn geduid door de melder. Bij geur is er bijvoorbeeld 39 keer 'ernstige hinder' gemeld en 31 keer 'geen hinder'. De groene blokken geven aan wanneer er 'geen hinder' is gemeld. In de kolommen van geluid en verkeer is in de helft van de gemelde gevallen aangegeven dat het wel is ervaren, maar het niet als hinderlijk is ervaren.



Figuur 23. Aantal meldingen per type hinder tijdens meetperiode 2 (januari-februari 2024, totaal 640 meldingen)

In de app konden verschillende typen ervaren hinder worden gemeld. Eén van de typen hinder is geurhinder. Hierbij wordt als één van de bronnen agrarische bedrijvigheid in de buurt genoemd. Een ander type hinder is geluid. Door de deelnemers zijn mogelijke bronnen die de overlast veroorzaken aangegeven als verkeersoverlast, maar ook geluidsoverlast van het sportpark, carnaval, geluidsoverlast bij feesten, grasmaaiers en ventilatoren. De bron verkeersoverlast is het vaakst aangewezen als veroorzaker van geluidsoverlast. Hierbij hebben de deelnemers vermeld dat het geluid dan afkomstig is van landbouwverkeer, vliegtuigen, zwaar verkeer en vrachtwagens. Verkeer is ook als apart type hinder gemeld. Deelnemers gaven aan dat zij onder andere hinder ondervonden van hardrijders, zwaar verkeer op smalle wegen, veel verkeer. De overige vormen van hinder werden veel minder gemeld. Houtstook werd genoemd in koude periodes, daarnaast ongedierte en een onveilig gevoel.

Het kunnen melden van 'geen hinder' werd toegevoegd vanaf meetperiode 2. In meetperiode 2 betrof dit 41% van de meldingen en in meetperiode 3 betrof dit 57% van de meldingen.

In het onderzoek is ook gevraagd aan de deelnemers wat zij ervaren als kwaliteiten van de leefomgeving. Ruimte om te wandelen en bewegen, landschap, groen, natuur en biodiversiteit worden genoemd, daarnaast ook gezelligheid in de buurt en deelnemen aan dorpsactiviteiten.

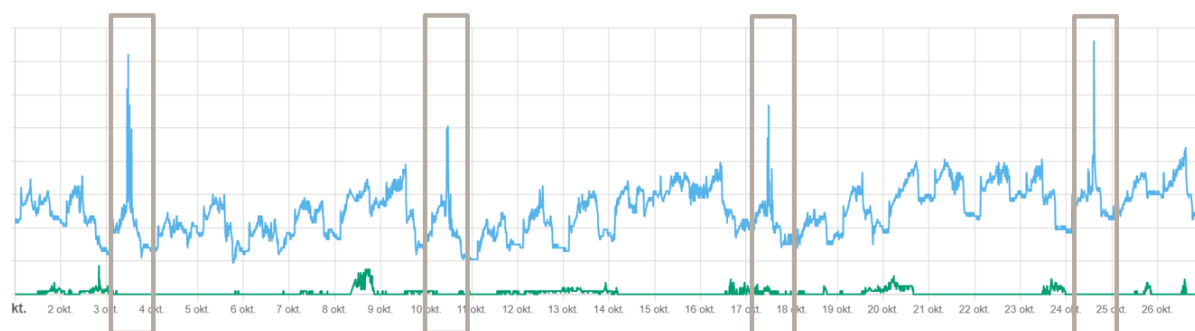
Tijdens de bijeenkomsten met de inwoners zijn de (tussen)resultaten van het onderzoek besproken. Tijdens een van deze gesprekken kwam naar voren dat het proces wat volgt op een melding bij de gemeente onduidelijk is. Hierop is door de gemeente het proces in kaart gebracht en hebben zij dit toegelicht tijdens de volgende bijeenkomst.

Ook kwamen in de gesprekken verschillen in beleving naar voren, waarbij inwoners dit aan elkaar hebben toegelicht. In de bijeenkomsten is tevens gesproken over het handelingsperspectief: welke bijdrage kan eenieder leveren aan een betere leefomgeving.

3.3.2. Resultaten onderzoek geurstoffen meten¹²

Iedere 10 minuten werd de luchtsamenstelling gemeten door de Canairy in beeld gebracht via een online dashboard. Door de data achter elkaar te plaatsten werd inzicht over een langere periode verkregen. Hierin konden verschillende patronen worden herkend. Patronen waren grotendeels gerelateerd aan bedrijfsomstandigheden, waarbij in de tijd vergelijkbare patronen zichtbaar waren bij vergelijkbare omstandigheden. Denk hierbij aan momenten waarop dieren actief werden (bijv. bij zonsopkomst, of moment dat het licht aangaat), voermomenten, of het verloop van het patroon gedurende een ronde.

Naast de dagpatronen en patronen per ronde waren terugkerende werkzaamheden zichtbaar die van invloed zijn op de hoeveelheid gemeten cVOC, zoals het frezen van het strooisel in een pluimveestal. Bij het frezen in een pluimveestal wordt het strooisel omgewoeld en wordt er veelal ook bijgestrooid, waardoor het strooiselbed droog en rul blijft, dit is van belang voor gezondheid van de dieren (poten en voetzolen). Bij het omwoelen van het strooiselbed komt er stof, geur en ammoniak vrij. De sensor laat op deze momenten kortstondig hogere waarden zien, zie figuur 24.



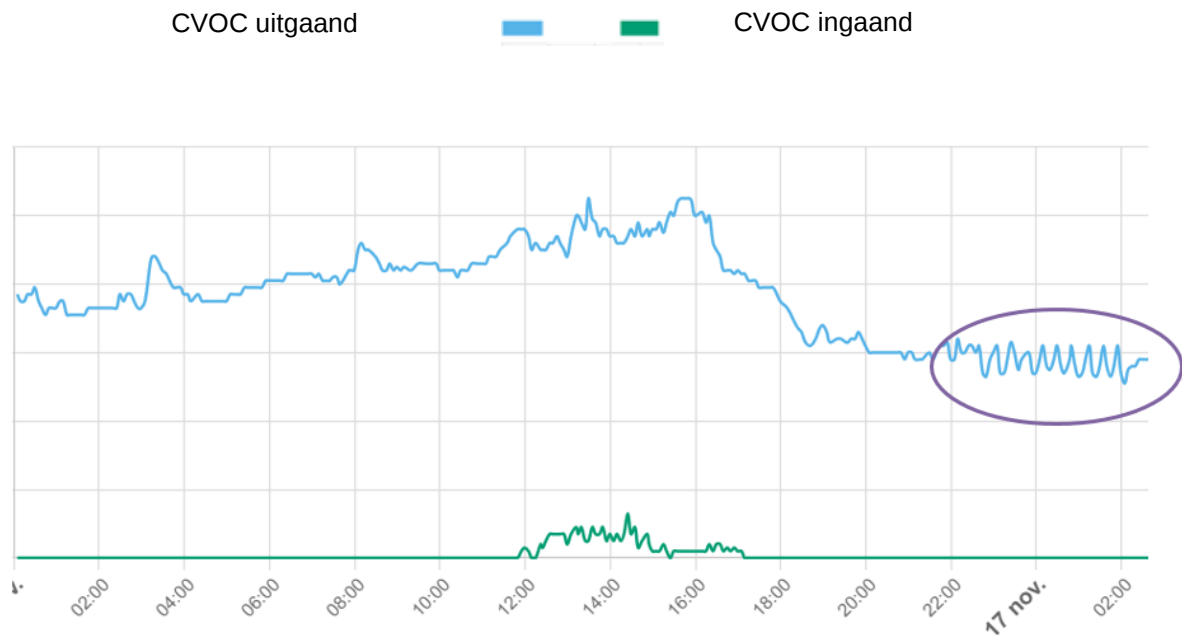
Figuur 24. Waarden van Canairy-sensor op een pluimveebedrijf. De aangegeven pieken komen overeen met de momenten dat de strooisellaag wordt gefreesd. De blauwe lijn geeft de gemeten cVOC bij de luchtuitlaat weer en de groene lijn de gemeten cVOC bij de ingaande lucht.

Uit de wekelijkse monitoring van het dashboard met de gemeten waarden kwamen, naast de eerdergenoemde patronen, ook andere inzichten naar voren waarbij 'afwijkingen' in patronen konden worden gerelateerd aan omstandigheden op of rond het bedrijf.

Canairy sensor neemt veranderingen waar

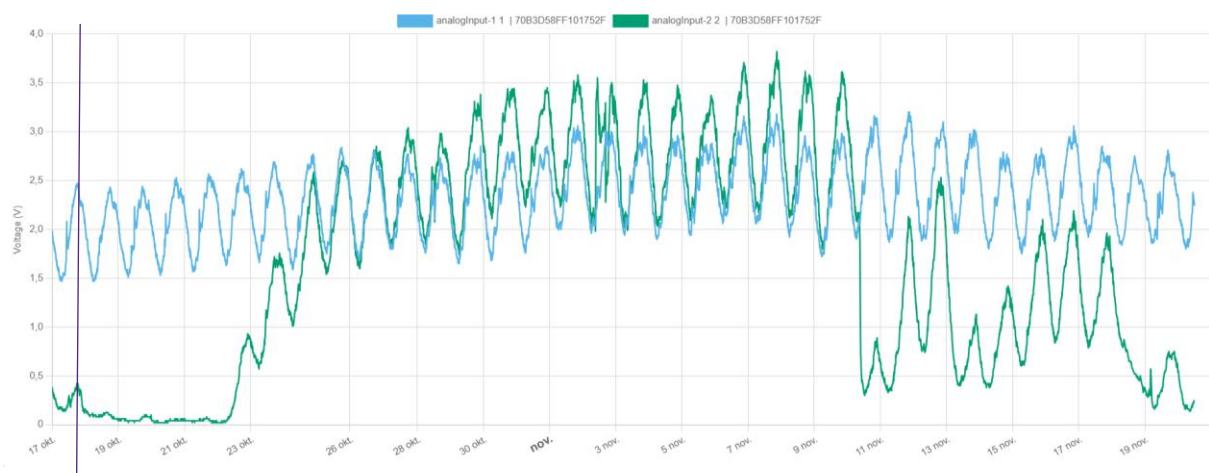
Op een pluimveebedrijf was het volgende patroon (figuur 25; paarse cirkel) zichtbaar. De uitgaande cVOC schommelden plotseling sterk. Bij nader onderzoek bleek op deze momenten dat de temperatuur die nacht schommelde rond de ingestelde waarden van de ventilatiecomputer, waarop de ventilatie in- of uitgeschakeld werd.

¹² Het onderzoek is uitgevoerd door Connecting Agri & Food en Wageningen University & Research. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 4.



Figuur 25. Patroon op pluimveebedrijf. De blauwe lijn is de uitgaande lucht, de groene lijn de ingaande lucht.

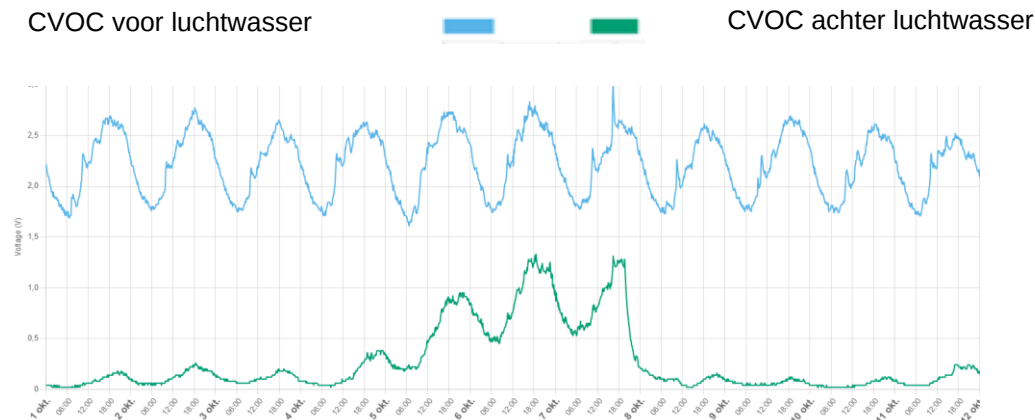
In onderstaande figuur 26 is een voorbeeld zichtbaar waarbij één van de luchtwassers in het project afwijkende waarden gaf. Op basis van deze constatering liet de ondernemer een monteur onderhoud plegen aan de luchtwasser. Op basis van de gemeten waarden bleek echter dat dit onderhoud niet het gewenste resultaat had opgeleverd. Hierop heeft de ondernemer een aantal aanvullende werkzaamheden uitgevoerd, zoekende naar de oorzaak en de oplossing voor het probleem. Met behulp van de sensorwaarden werd steeds gemonitord of de juiste oplossing was gevonden.



Figuur 26. Voorbeeld op varkensbedrijf, waarbij probleem met luchtwasser werd geconstateerd. De blauwe lijn geeft de gemeten waarden voor de luchtwasser weer en de groene lijn de waarden na de luchtwasser.

Ruim vier weken na eerste constatering van het probleem is zichtbaar dat de luchtwasser weer voldoende in balans komt. Zonder de monitoring van de sensor was dit probleem niet, of pas veel later, geconstateerd.

Patronen voor en na de luchtwasser



Figuur 27. Voorbeeld van metingen op een vleesvarkensbedrijf. De blauwe lijn geeft de gemeten waarden voor de luchtwasser weer en de groene lijn de waarden na de luchtwasser.

Op de varkensbedrijven is met de Canairy voor en na de luchtwasser gemeten. In figuur 27 is hier een voorbeeld van weergegeven. Zichtbaar is dat er voor de luchtwasser een ander patroon wordt gemeten, dan achter de luchtwasser, waarbij er voor de luchtwasser meer cVOC worden gemeten dan achter de luchtwasser. In het voorbeeld in figuur 27 is zichtbaar dat vanaf 5 oktober de gemeten waarden na de luchtwasser toe gaan nemen. Op 7 oktober heeft er onderhoud plaats gevonden en is zichtbaar dat het patroon zich weer herstelt.

Weersinvloed en meetwaarden

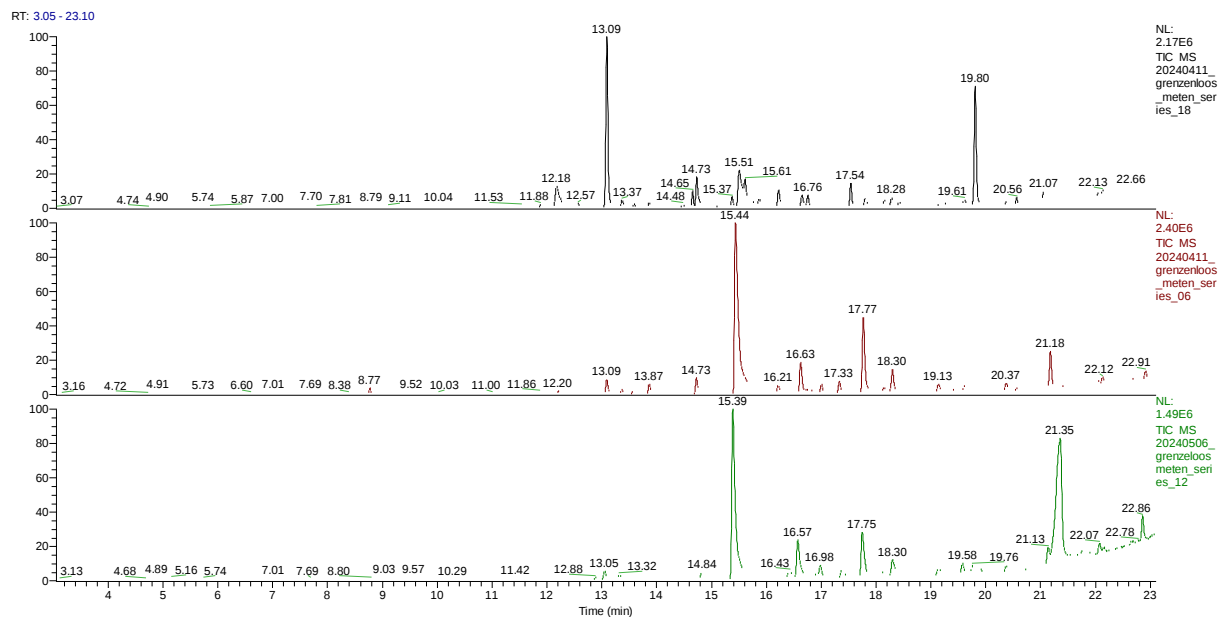
De relatie met de weersomstandigheden is onderzocht, hierbij is gekeken naar de relaties met temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windrichting, windsnelheid en neerslag. De relaties met weersomstandigheden zijn beperkt zichtbaar en naar verwachting met name terug te voeren op de invloed van het weer op de mate van ventilatie. Bij hogere temperaturen neemt het ventilatiedebiet toe. De concentratie gemeten cVOC is lager als er veel geventileerd wordt, doordat er meer verdunning plaats vindt.

3.3.3 Luchtmonster onderzoek op geurstoffen¹³

Wageningen University & Research heeft met behulp van luchtmonsterzakken en chemisch-analytische -metingengeurstofprofielen van 'varkenslucht' opgesteld. Deze geurstofprofielen zijn in het Grenzeloos Meten project gebruikt bij het vergelijken van de gaschromatografie-analyses genomen uit de luchtmonsterzakken met de gegevens van de Canairy sensor. Hierbij is een weging gegeven aan de geanalyseerde geurstoffen op basis van de geurdrempel en de daardoor verwachte bijdrage van deze stof aan een waargenomen geur.

Bij de pluimveestallen zijn luchtzakmonsters genomen en zijn deze met de gaschromatograaf geanalyseerd. Zichtbaar is een verschil in de geurpatronen tussen lucht uit een vleeskuikenstal en een stal met leghennen gemeten (figuur 28). Het verschil tussen de diercategorieën was groter dan de variatie van de profielen in de tijd (figuur 28 midden en onder).

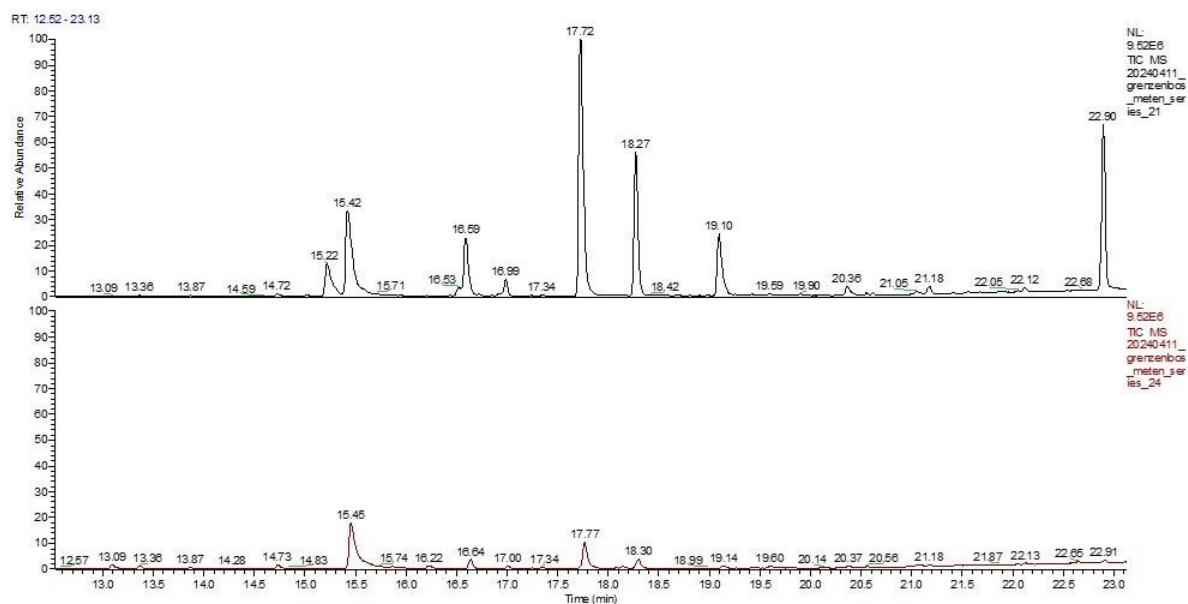
¹³ Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd door Wageningen University & Research. De informatie uit deze paragraaf is afkomstig uit dit onderzoek. De gehele samenvatting van het onderzoek staat in bijlage 4.



Figuur 28. Resultaten gaschromatograaf. Chromatogrammen van de geurstoffenprofielen van uitgaande lucht bij pluimvee. De bovenste grafiek is van bedrijf 1 (vleeskuikens) en de twee onderste op twee verschillende weken op bedrijf 2 (leghennen).

De concentraties van geurstoffen van de ingaande lucht van de pluimveestallen lagen vaak rond of onder het detectielimiet van de analysetechnieken die door Wageningen University & Research zijn toegepast.

Bij de twee varkensbedrijven is de analyse voornamelijk gericht op een vergelijking tussen de geurstoffenconcentratie direct voor en na een luchtwasser. Naast ammoniak verwijderen luchtwassers over het algemeen ook vluchtige geurstoffen zoals in het voorbeeld in figuur 29 te zien. Het bovenste patroon is het patroon gemeten van een monster voor de luchtwasser en het onderste patroon is van een monster genomen na de luchtwasser. Zichtbaar is het verschil in de gemeten pieken (geurstoffen). De pieken voor de luchtwasser zijn hoger dan de pieken na de luchtwasser.



Figuur 29. Resultaten gas-chromatograaf van monsters voor en na de luchtwasser in een varkensstal.

Vervolgens is er gekeken of de gemeten verschillen in gemeten concentraties van geurstoffen (chemisch analytische methode) en de gemeten cumulatieve vluchtige organische componenten (cVOC; Canairy) voor en na de luchtwassers vergelijkbaar waren voor de twee technieken. Hiervoor is het rendement van de luchtwassers berekend. Het rendement is een maat voor hoe effectief een luchtwasser vluchtige componenten, inclusief geurcomponenten, kan verwijderen. Het rendement wordt als een percentage uitgedrukt, een rendement van 0% betekent dat niets wordt verwijderd, terwijl er bij een rendement van 100% geen vluchtige componenten meer na de luchtwasser te detecteren zijn¹⁴. In tabel 2 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 2. Vergelijk in berekende luchtwasserrendement gemeten met Canairy en gaschromatografie methode op zeven verschillende meetmomenten bij twee varkensbedrijven

Monstername moment	1	2	3	4	5	6	7
'Rendement' gaschromatografie	76%	75%	65%	81%	63%	17%	55%
'Rendement' canairy	98%	97%	72%	76%	77%	88%	86%

Het berekende rendement van de luchtwasser op basis van de Canairy sensor ligt met een uitzondering doorgaans hoger dan bij de analytische methode die zich alleen richt op bekende geuractieve componenten. Op drie momenten van monstername zijn de resultaten nagenoeg vergelijkbaar, op vier momenten wijkt het sterk af. Er was geen eenduidige reden aan te wijzen waarom de afwijkingen soms groter waren. Naast een onzekerheid in de monstername was een observatie dat op meetmomenten waar de berekende rendementsverschillen tussen de twee technieken groot waren, de verwijdering van zwavelcomponenten lager dan gemiddeld was. Mogelijkerwijs is de Canairy sensor voor deze componenten minder gevoelig dan voor andere groepen van geurstoffen.

¹⁴ Dit rendement is geen waarde om te onderbouwen of een luchtwasser voldoet aan de eisen aan de reductie van geur (odeurs) of ammoniak. Dat is geen vraagstuk in dit onderzoek.

4. Conclusies

In het project was het doel om op basis van meetnetwerken handvatten te verkrijgen om de regionale luchtkwaliteit te verbeteren. Dit betrof zowel meetnetwerken over de beleving van bewoners als over sensormetingen.

In het project zijn lokale meetnetwerken gerealiseerd in samenwerking met de bewoners. Deze lokale meetnetwerken hebben geleid tot meer inzichten. Enerzijds werden onzekerheden in de metingen geïdentificeerd, zoals de onzekerheden van de PM10 metingen bij een luchtvochtigheid hoger dan 70%. Anderzijds gaven de gemeten patronen inzicht in potentiële bronnen en oorzaken, zoals de patronen in gemeten PM2.5 concentraties die duiden op houtstook als bron en patronen in geurstoffen die de mogelijkheden van monitoring op basis van continu meten laten zien.

4.1 Conclusies fijnstofonderzoek

4.1.1 Algemeen

De *onderzoeksvragen* voor het deelonderzoek fijnstof zijn als volgt geformuleerd:

1. Kan met de fijnstofsensoren een meetnetwerk worden gerealiseerd waarmee de regionale luchtkwaliteit in beeld wordt gebracht?

Met fijnstofsensoren kan een meetnetwerk worden gerealiseerd. Met de gebruikte PM2.5 sensoren (Ohnics) is een fijnstofnetwerk gerealiseerd waarmee fijnstof is gemeten en de gemeten waarden hiervan in beeld zijn gebracht. Het in beeld brengen van de regionale luchtkwaliteit met PM10 sensoren vraagt nog een aantal stappen waarin de betrouwbaarheid van de gemeten data wordt vergroot. Dit kan enerzijds door gebruik te maken van correctiemodellen, voorkeur gaat uit naar een andere oplossing: het gebruik maken van nieuwe type sensoren die minder gevoelig zijn voor luchtvochtigheid.

2. Geven inzichten op basis van de sensormetingen handvatten voor verbetering van de regionale luchtkwaliteit?

De metingen met de PM2.5 sensoren geven waardevolle inzichten die handvatten bieden ter verbetering van de regionale luchtkwaliteit. Belangrijk inzicht is dat pieken waarschijnlijk worden veroorzaakt door lokale bronnen, zoals houtstook. Dit biedt handvatten ter verbetering, zoals het gebruik maken van de stookwijzer door inwoners.

Op moment van afronding van het onderzoek gaven de PM10 sensoren onvoldoende betrouwbare resultaten om hierop handvatten te baseren om de luchtkwaliteit te verbeteren. Het onderzoek heeft zich tevens gericht op het verbeteren van de inzichten in data, die op basis van sensormetingen kunnen worden verkregen. In het project is een werkend prototype ontwikkeld. Dit is een belangrijk handvat in de visualisatie van data, doordat het data op een gebruiksvriendelijke, laagdrempelige manier visualiseert.

4.1.2 fijnstofsensoren (PM2.5)

De sensoren zijn verspreid in het gebied geplaatst en data van de sensoren kon goed worden verzameld. De sensoren gaven goede en betrouwbare waarden. Op basis van de resultaten van het onderzoek trokken de onderzoekers van de omgevingsdienst Zuid-Limburg de volgende conclusies:

- De huidige EU grenswaarde van $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt door geen van de sensoren overschreden
- De EU richtlijn 2024 (2030 EU grenswaarde) van $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt door drie van 46 sensoren overschreden.
- De WHO2021 advieswaarde van $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt door alle sensoren overschreden

- Volgens de nieuwe EU richtlijnen geldt dat de gemiddelde PM2.5 concentratie maximaal 18 dagen per jaar niet hoger mag zijn dan 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De gemeten sensorwaarden overschrijden deze richtlijn niet.
- De WHO advieswaarde uit 2021 stelt dat de gemiddelde PM2.5 concentratie maximaal 3 à 4 dagen per jaar niet hoger mag zijn dan 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dit wordt op alle locaties overschreden.
- De WHO advieswaarde uit 2005 en de SLA advieswaarde stellen dat de gemiddelde PM2.5 concentratie maximaal 3 à 4 dagen per jaar niet hoger mag zijn dan 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De gemeten sensorwaarden overschrijden deze richtlijn op 17 locaties.
- Resultaten van het piekenonderzoek (minuutwaarde hoger dan 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), duiden op een leef-/stookpatroon als oorzaak voor het piekenpatroon dat de PM2.5 sensoren weergeven.

4.1.3 fijnstofsensoren (PM10)

De sensoren zijn verspreid in het gebied en data en locatie van de sensoren kon goed worden verzameld op basis waarvan inzichten in de gemeten waarden in grafieken en visualisaties kon worden verkregen. De sensoren vertoonden met name hoge pieken op momenten met hoge luchtvochtigheid. Vergelijkende analyse met de officiële PM10-gegevens toonde een aanzienlijke invloed van hoge luchtvochtigheid op de sensormetingen aan.

1. **Betrouwbaarheid van metingen:** PM10 metingen met de Nova SDS011 sensoren in de gebruikte meetbox werden sterk beïnvloed door een luchtvochtigheid van meer dan 70%. Dit had een grote invloed op de kwaliteit van de data. Correctiemodellen zoals de RIVM kalibratie, maar ook andere datacorrectiemodellen helpen de nauwkeurigheid te verbeteren. Indien een geschikte en betaalbare meetbox beschikbaar komt die minder gevoelig is voor hoge luchtvochtigheid heeft dit de voorkeur boven het gebruiken van correctiemodellen.
2. **Weersomstandigheden:** Weersfactoren zoals wind en luchtvochtigheid hebben een aanzienlijke invloed op de gemeten PM10 concentraties. Correlaties tussen de gemeten PM10 en temperatuur/luchtvochtigheid zijn sterk bij de gebruikte meetbox. De PM10 metingen bij hoge luchtvochtigheid (>70%) zijn hoger dan bij de officiële metingen van het RIVM op basis van vergelijk met sensormetingen van de gebruikte Nova SDS011 PM 10 meetbox en referentiemetingen bij het RIVM station Vredepeel.
3. **Visualisatie:** Heatmaps en tijddiagrammen zijn effectief voor het weergeven van fijnstofconcentraties en de veranderingen over tijd en ruimte.

In de deelonderzoeken zijn door de studenten van Fontys de volgende subonderzoeksvragen beantwoord:

Wat is de correlatie tussen de gemeten PM10 concentraties en de lokale weersomstandigheden?

De correlatie tussen weersfactoren en PM10-metingen was lager dan verwacht. De hoogste correlaties werden gevonden met de buitentemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de windrichting. Op basis van literatuuronderzoek naar verschillende modellen die zijn ontwikkeld blijkt dat de relatie tussen weer en fijnstofverspreiding zeer complex is, waarbij de parameters op elkaar ingrijpen. Dit is meegenomen in de ontwikkeling van een PM10-gegevenscorrectiemodel.

Wat is de beste manier om PM10-concentraties te visualiseren?

De goede manier om de verspreiding van PM10 concentraties te visualiseren is door gebruik te maken van heatmaps. Heatmaps zorgen voor visuele eenvoud, door het gebruik van kleur en kleurverlopen om gegevenswaarden weer te geven. Daarnaast kan met heatmaps de grootte van datapunten ten opzichte van elkaar worden vergeleken. Donkere of heldere kleuren kunnen hogere of lagere waarden aangeven, waardoor vergelijkingen intuïtief zijn. Ten derde kunnen heatmaps laten zien hoe waarden verdeeld zijn over een gebied, wat informatiever kan zijn dan alleen numerieke gegevens. Tot slot zijn ze bijzonder goed in het benadrukken van uitschieters of anomalieën in

gegevens. Extreme waarden kunnen onmiddellijk duidelijk zijn, wat nuttig is voor bronopsporing of voor het vinden van ongebruikelijke patronen.

Hoe kan de invloed van temperatuur en relatieve vochtigheid op PM10 metingen gebruikt worden om een model te ontwikkelen voor het verbeteren van de nauwkeurigheid van PM10-gegevens?

Om de nauwkeurigheid van PM10-gegevens te verbeteren door rekening te houden met de invloed van temperatuur en relatieve vochtigheid, moet een gegevens gestuurde modelbenadering worden uitgevoerd.

Is het mogelijk om een prototype te ontwikkelen om de gemeten fijnstofwaarden te visualiseren?

Deze vraag kan positief beantwoord worden. In de opdracht is een werkend prototype gerealiseerd. De software doorliep alle ontwikkelingsfasen, inclusief analyse, ontwerp, implementatie en testen.

4.2 Conclusie Belevingsonderzoek en geurstoffenonderzoek

4.2.1 Belevingsonderzoek

Op basis van de resultaten van de drie meetperioden, interviews en bewonersavonden zijn door het Louis Bolk Instituut de volgende conclusies getrokken:

- Er is een groep omwonenden die aangeeft voortdurend hinder te ondervinden
- Er is een groep omwonenden die aangeeft weinig tot geen hinder te ondervinden
- De meeste genoemde typen van hinder zijn geur, geluid en verkeer
- Bij warmer weer wordt vaker geurhinder gemeld
- In meetperiode 3 zijn er meer meldingen zonder hinder, dan meldingen met hinder gedaan (in periode 2 en 3 was er de mogelijkheid om 'geen hinder' te melden, in periode 1 nog niet)
- De impact van door de deelnemers aangegeven ervaren hinder op de gezondheid is het grootst op de domeinen 'mentaal welbevinden', 'kwaliteit van leven', 'lichaamsfuncties' en 'dagelijks functioneren'. Dit gaat voornamelijk over spanningen, onvrede over de woonsituatie, bezorgdheid over gezondheid, slaapproblemen en luchtwegproblemen

De onderzoeksvraag was welke handvatten bijdragen aan een positieve beleving voor zowel inwoners, als ondernemers als beleidsmakers.

Als handvat wordt genoemd om frequenter overleg tussen ondernemers, omwonenden en eventueel de omgeving te realiseren. Dit kan met behulp van een gespreksleider. Het voeren van direct overleg werd door deelnemers zelf ook genoemd als oplossingsrichting.

Daarnaast worden gerichte aanpassing van bedrijfsvoering genoemd als oplossingsrichting, waarbij gedacht wordt aan technische oplossingen en aanleg van groenstroken.

Deelnemers aan het belevingsonderzoek waren kritisch op de overheid tijdens het onderzoek. Een handvat is om uit te diepen wat de achtergrond van de kritiek is en hier een verbeterroute in te zetten.

4.2.2 Conclusies onderzoek meten geurstoffenpatronen

De metingen met de Canairry-sensor geven waardevolle inzichten voor de ondernemers. Het biedt mogelijkheden om patronen te monitoren en hierop snel inzichten te krijgen.

Enerzijds zijn dit inzichten in de relatie tussen gemeten waarden en bedrijfsactiviteiten, anderzijds zijn dit inzichten in wanneer er een afwijkend patroon plaats vindt. Met name afwijkingen in patronen geven potentiële praktische handvatten om snel in te kunnen grijpen, zoals bij een storing aan een luchtwasser, als een luchtwasser geleidelijk slechter functioneert, of afwijkingen in dagpatronen die veroorzaakt kunnen worden door veranderingen in het staklimaat. Door eerder in te kunnen grijpen, kunnen mogelijk pieken in geur voorkomen of gereduceerd worden.

Het vergelijk van de resultaten van de laboratoriumanalyses op basis van de metingen in het veld (luchtzakmonsters genomen bij de stal op de plaats waar de Canairy-sensor meet) met de resultaten van de sensormetingen roepen nog vragen op. Een aantal metingen geven een duidelijk goed vergelijk op basis van het rendement (meten voor en na de luchtwasser op varkensbedrijven), terwijl er ook duidelijke afwijkingen zichtbaar zijn. Onderzoekers geven aan dat de Canairy een geschikte sensor is om op hoofdlijnen patronen van geurstoffen te monitoren.

In het deelonderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen onderzocht:

1. Is de Canairy een geschikte sensor om in te zetten voor geurmetingen?

De Canairy is geschikt voor indicatieve metingen van geurstoffenpatronen in de tijd. De patronen zijn een indicatie voor de hoeveelheid geurstoffen in de lucht op een bedrijf en geven een indicatie van de geurintensiteit. Wanneer er afwijkingen in het patroon zichtbaar zijn, kunnen deze een belangrijke indicator zijn voor bijvoorbeeld een probleem met een luchtwasser en kan hierop snel worden ingegrepen.

De Canairy geeft een cumulatief patroon van gemeten stoffen en geeft geen weging aan de gemeten stoffen met betrekking tot hun bijdrage aan de waargenomen geur (geuractiviteit). Waarbij het goed is om te noemen dat de Canairy sensor geen odeur units vergelijkbaar met een sensorische meting meet en dus geen *geurbeleving* meet.

2. Geef de sensor inzichten voor handvatten voor verbetering?

Ja, de patronen zijn een goede indicatie en bieden handvatten om te monitoren en hierop te sturen voor de ondernemers.

3. Wat is de relatie met de luchtsamenstelling?

Er is een relatie met de luchtsamenstelling. De precieze relatie is op basis van het onderzoek niet goed te duiden. Duidelijk is dat er een relatie is en dat dit ook de basis vormt voor waardevolle inzichten. Dit blijkt ook uit de praktische voorbeelden, waarbij afwijkingen snel zichtbaar werden door afwijkingen in gemeten waarden van de Canairy.

Anderzijds is duidelijk dat er nog onzekerheden zijn. Enerzijds door de analysemethode en het correct nemen van de luchtzakmonsters vanuit het wetenschappelijk onderzoek (Wageningen University & Research) en anderzijds doordat de Canairy een sensor is die geen individuele geurstoffen kan meten.

5. Aanbevelingen

Uit het onderzoek volgen een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

Het meten van fijnstof PM_{2,5} door de Ohnics sensoren levert betrouwbare informatie op¹⁵. Deze sensoren blijven nog circa 2 jaren in het gebied aanwezig. Aanbeveling is om deze sensoren ook na die tijd aanwezig te laten blijven.

Voor het meten van fijnstof PM₁₀ betreft dit het onderzoeken of er een betrouwbaardere sensor beschikbaar is voor het meten van PM₁₀. Hierbij kan worden gedacht aan een sensor met een verwarmingselement, waardoor de luchtvochtigheid in de lucht minder invloed heeft.

Een aanbeveling is het plaatsen van fijnstofsensoren in het buitengebied, om beter inzicht te krijgen in de achtergrondconcentraties fijnstof in gebieden buiten de bebouwde kom.

Een aanbeveling voor het geurstoffenonderzoek is het uitbreiden van de sensorkit met extra sensoren voor bepaalde belangrijke geuractieve componenten vanaf de start van de meetperiode. Uiteraard dient hierbij onderzocht te worden of er geschikte sensoren beschikbaar zijn.

Een derde aanbeveling is om een methode te ontwikkelen om de inwoners nog intensiever bij het project te betrekken, waarbij het van belang is dat dit een brede groep inwoners is, zodat het een goede afspiegeling van de bevolking geeft.

¹⁵ *Tijdschrift Lucht, december 2023, nummer 4. Houtrook hinder in beeld (p19-24)*

Bijlage 1 | Rapport onderzoek PM2.5 Omgevingsdienst Zuid Limburg

Jaarrapportage 2024

PM2.5-sensormetingen gemeente Venray, Peel en Maas en Horst aan de Maas



zaaknummer 2022-050083

Opdrachtgever	Gemeente Venray, Horst aan de Maas en Peel en Maas
Contactpersoon	Mechie Beurskens
Adres	Raadhuisstraat 1
Plaats	Venray
Email adres	Mechie.Beurskens@venray.nl

Opgesteld uitgevoerd door:		Handtekening
Naam:	E.J. Hartogsveld Omgevingsdienst Zuid-Limburg	
Functie:	Technisch adviseur lucht, afdeling Advies en Onderzoek	
Emailadres:	ej.hartogsveld@odzl.nl	
Status:	Definitief	
Collegiale toets:	J. Pijnenburg	
Datum:	10-03-2025	

Vrijgave door		Handtekening
Naam:	M. Stukker	
Functie:	Afdelingshoofd Advies en Onderzoek	
Emailadres:	m.stukker@odzl.nl	
Datum:	13-03-2025	

Colofon

Titel

Jaarrapportage 2024

PM2.5-sensormetingen gemeenten Venray, Peel en Maas en Horst aan de Maas

Auteurs

Deze rapportage is opgesteld door de afdeling Advies en Onderzoek van de Omgevingsdienst Zuid-Limburg (ODZL). Voor vragen over de inhoud kunt u contact opnemen met de heer E.J. Hartogsveld (ej.hartogsveld@odzl.nl) of de heer J. Pijnenburg (jeml.pijnenburg@odzl.nl).

Verantwoording

Dit rapport is opgesteld in opdracht van de gemeenten Venray, Peel en Maas, en Horst aan de Maas. Het beschrijft het eerste meetjaar van de PM2.5-fijnstofmetingen binnen het project “Grenzeloos Meten,” uitgevoerd met Ohnics-sensoren in de gemeenten Venray, Horst aan de Maas, en Peel en Maas. Hierbij zijn ook de meetgegevens van de ODZL (Omgevingsdienst Zuid-Limburg) en het RIVM gebruikt. Alle meetwaarden zijn omgevingslucht-(immissie)waarden en worden vergeleken met de wettelijk geldende streef-, richt- en grenswaarden, evenals de WHO-advieswaarden.

Online data

Zie voor actuele luchtkwaliteitsdata in beheer door de afdeling Advies en Onderzoek van de Omgevingsdienst Limburg:

www.luchtmeetnet-limburg.nl

Landelijke officiële luchtmeetnet: www.luchtmeetnet.nl

Het landelijke PM2.5 sensor netwerk: www.ohnics.online en www.samenmeten.nl

Generieke Concentraties Nederland: <https://gcn-app.rivm.nl/>

ODZL

Postbus 5700

6229GA Maastricht

Afdeling Advies en Onderzoek

Maart 2025

INHOUD

1. Inleiding	- 5 -
1.1 Het Schone Lucht Akkoord (SLA) en het meetproject	- 6 -
1.2 Toetsing.....	- 7 -
1.2.1. Aangescherpte Europese eisen.....	- 7 -
1.2.2. WHO-advieswaarden.....	- 7 -
1.2.3. Kwaliteit van de metingen.....	- 8 -
2. De meetresultaten	- 9 -
2.1.1. Het netwerk	- 9 -
2.1.2. Wat is fijnstof?	- 10 -
2.1.3. De sensor	- 11 -
2.2 Trends in jaargemiddeldes.....	- 12 -
2.2.1. Herkomst PM2.5 volgens het RIVM.....	- 12 -
2.2.2. Gemeten jaargemiddelde in het project Grenzeloos meten.....	- 13 -
2.3 Overschrijdingsdagen	- 15 -
2.4 Piekmetingen	- 16 -
2.4.1. Totaal aantal pieken	- 17 -
2.4.2. Tijdstip van de pieken	- 17 -
2.5 Houtstook.....	- 18 -
2.6 Houtstook hinder.....	- 19 -
2.7 Stookwijzer	- 20 -
3. Conclusies en aanbevelingen	- 21 -
3.1.1. Jaarwaarden.....	- 21 -
3.1.2. Overschrijdingsdagen	- 21 -
3.1.3. Piekmetingen (aantal minuutwaarden > 100µg/m ³)	- 21 -
3.2 Aanbevelingen	- 21 -
4. Bijlage: Datatabel	- 22 -

1. INLEIDING

Luchtvervuiling wordt, naast de uitstoot, sterk beïnvloed door het weer en schommelt daarom van jaar tot jaar. Om de luchtkwaliteit goed te beoordelen, kijken we daarom naar lange termijn trends.

Hoewel wettelijke normen zoals de EU-grenswaarden een belangrijke rol spelen in het toetsen van de luchtkwaliteit, betekent het voldoen aan deze normen niet automatisch dat de luchtkwaliteit goed is. De WHO hanteert strengere advieswaarden die beter aansluiten bij gezondheidsrisico's. Zelfs binnen de wettelijke normen kunnen bepaalde niveaus van luchtvervuiling nog schadelijk zijn. Daarom zeggen we dat het goed gaat met de luchtkwaliteit als de luchtvervuiling structureel daalt en dichterbij de WHO-advieswaarden komt.

Dit rapport biedt het jaaroverzicht van de PM2.5-metingen die samen met burgers zijn uitgevoerd met de Ohnics-fijnstofsensor in 2024 in de gemeenten Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venray. Ter vergelijking met een stedelijk gebied maakt een identieke sensor in Maastricht ook deel uit van het onderzoek. Dit alles binnen het project "Grenzeloos Meten", waarin de drie gemeenten en de provincie Limburg samenwerken om meer inzicht te krijgen in de luchtkwaliteit in de regio, met als doel de eerste stappen te zetten naar een regionaal dekkend meetnetwerk voor fijnstof. In totaal zal er drie jaar worden gemeten.

Voor de kwaliteitsbepaling en controle van de metingen zijn de meetgegevens van twee officiële referentiemeetpunten van de ODZL gebruikt. Deze meetpunten maken deel uit van het landelijke meetnet luchtkwaliteit (LML). Hieruit blijkt dat de betrouwbaarheid van de fijnstofsensor ruim voldoende is. Op basis daarvan zijn de metingen, hoewel niet uitgevoerd met een wettelijk vastgestelde meetmethode, in dit rapport toch vergeleken met de wettelijk geldende streef-, richt- en grenswaarden in Nederland en met de advieswaarden van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).

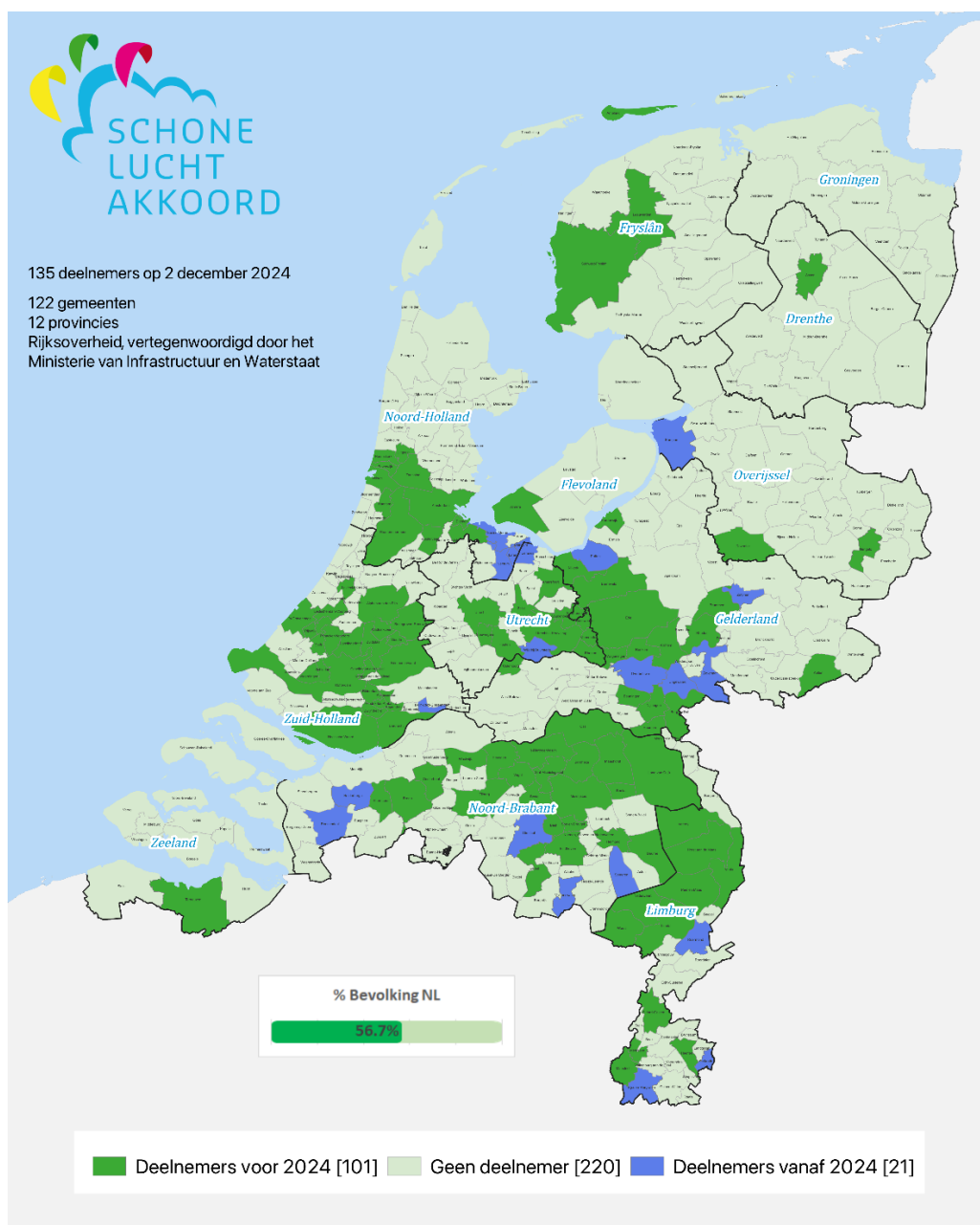
Voor meer informatie over de kwaliteit van de metingen:

ohnics.online/publicaties/Ohnics_artikel_tijdschrift_Lucht-2023-3.pdf

Of neem contact op via: ej.hartogsveld@odz.nl

1.1 Het Schone Lucht Akkoord (SLA) en het meetproject

De drie deelnemende gemeenten en de provincie Limburg hebben het Schone Lucht Akkoord ondertekend. Het doel van het Schone Lucht Akkoord is om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren. Het is een akkoord tussen het Rijk, de provincies en een groot aantal gemeenten. Samen streven de deelnemende partijen naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016. Inmiddels (december 2024) hebben alle 12 provincies en in totaal al 122 gemeenten zich aangesloten bij het akkoord. Deelnemers aan het SLA kunnen cofinanciering (SPUK SLA) krijgen voor het opzetten van projecten. (Voor meer info: www.schoneluchtakkoord.nl)



Figuur 1: Deelnemers aan het Schone Lucht Akkoord (stand december 2024)

1.2 Toetsing

Op 14 oktober 2024 heeft de Europese Raad de nieuwe Europese richtlijn voor luchtkwaliteit formeel aangenomen. Deze richtlijn scherpt de bestaande eisen voor luchtkwaliteit flink aan. Lidstaten, waaronder Nederland, moeten deze Europese regels binnen twee jaar vertalen naar nationale wetgeving.

1.2.1. Aangescherpte Europese eisen

De nieuwe richtlijn vervangt twee eerdere richtlijnen (2004/107/EG en 2008/50/EG) en stelt strengere normen vast voor fijnstof (PM10 en PM2.5). Uiterlijk in 2030 moet de jaargemiddelde concentratie PM2.5 zijn gedaald van 25 µg/m³ naar maximaal 10 µg/m³. Daarnaast mag het aantal dagen waarop de daggemiddelde concentratie PM2.5 boven de 25 µg/m³ uitkomt, niet hoger zijn dan 18 dagen per jaar.

Deze nieuwe regels gelden voor alle lidstaten van de Europese Unie en vormen de basis voor de nationale grenswaarden in de Nederlandse wetgeving. Uiterlijk eind 2026 moeten alle lidstaten hun wetgeving in lijn hebben gebracht met deze aangescherpte EU-richtlijn.

1.2.2. WHO-advieswaarden

Naast de wettelijke normen van de Europese Unie hanteert de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) haar eigen advieswaarden, vastgelegd in de WHO Global Air Quality Guidelines 2021. Deze advieswaarden richten zich vooral op het beschermen van de volksgezondheid en zijn strenger dan de wettelijke normen. De WHO baseert haar advieswaarden op grootschalig onderzoek naar de relatie tussen luchtverontreiniging en gezondheidseffecten. Uit die studies blijkt dat zelfs bij relatief lage concentraties fijnstof al meetbare gezondheidsschade optreedt.

Zie: www.gezondheidsraad.nl/binaries/gezondheidsraad/documenten/adviezen/2018/01/23/gezondheidswinst-door-schonere-lucht/kernadvies-Gezondheidswinst-door-schonere-lucht.pdf

Om die reden heeft de WHO in 2021 haar advieswaarde voor de jaargemiddelde concentratie PM2.5 verlaagd van 10 µg/m³ naar 5 µg/m³. Deze waarde geldt als de concentratie waarbij in epidemiologische studies geen duidelijke toename van sterfte meer is waargenomen.

In dit rapport toetsen we de gemeten fijnstof concentraties aan de huidige en toekomstige EU-richtlijnen en aan de advieswaarden van de WHO. Hierdoor ontstaat een goed beeld van hoe de concentraties in het projectgebied zich verhouden tot zowel wettelijke verplichtingen als gezondheidkundige aanbevelingen.

1.2.3. Kwaliteit van de metingen

De metingen met de sensor zijn officieel indicatief. Dat betekent dat de meetwaarden een globale indicatie geven van de concentraties en niet één-op-één te vergelijken zijn met de resultaten van referentie meetapparatuur. De resultaten van de sensoren worden echter nauwlettend gevolgd op de officiële meetstations in Maastricht en Nederweert, waar ze continu worden vergeleken met professionele referentieapparatuur.



Figuur 2. Kalibratie sensoren meetstation Philipsweg Maastricht, zomer 2023

Op basis van die vergelijkmingsmetingen zijn correctiefactoren vastgesteld door middel van een **validiteitsstudie** zoals omschreven in de Nederlandse norm **NEN-EN 16450**: Buitenlucht -Geautomatiseerde meetsystemen voor de meting van de concentratie van fijnstof (PM10; PM2.5) en uitgevoerd met de Equivalence Tool Versie31.

Na toepassing van deze correctie bedraagt de resterende meetonzekerheid **7,8%** (bij een betrouwbaarheidsfactor $k=2$) en voldoet daarom ruimschoots aan de in De NEN-EN 16450 gestelde maximale meetonzekerheid van **25%**. Dankzij deze correctie is de nauwkeurigheid van de sensormetingen aanzienlijk verbeterd, waardoor het verantwoord is om de meetresultaten te toetsen aan de EU-normen en de WHO-advieswaarden.

Meer info over kwaliteit en kalibratie: ohnics.online/publicaties/Ohnics_artikel_tijdschrift_Lucht-2023-3.pdf of neem contact op met ej.hartogsveld@odzl.nl

2. DE MEETRESULTATEN

Dit rapport bevat de metingen die in het **kalenderjaar 2024** zijn uitgevoerd met de 45 Ohnics-sensoren in het projectgebied. Het project is gestart in oktober 2023, maar om te kunnen vergelijken met andere locaties en meetjaren, wordt er in rapportages altijd uitgegaan van een kalenderjaar.

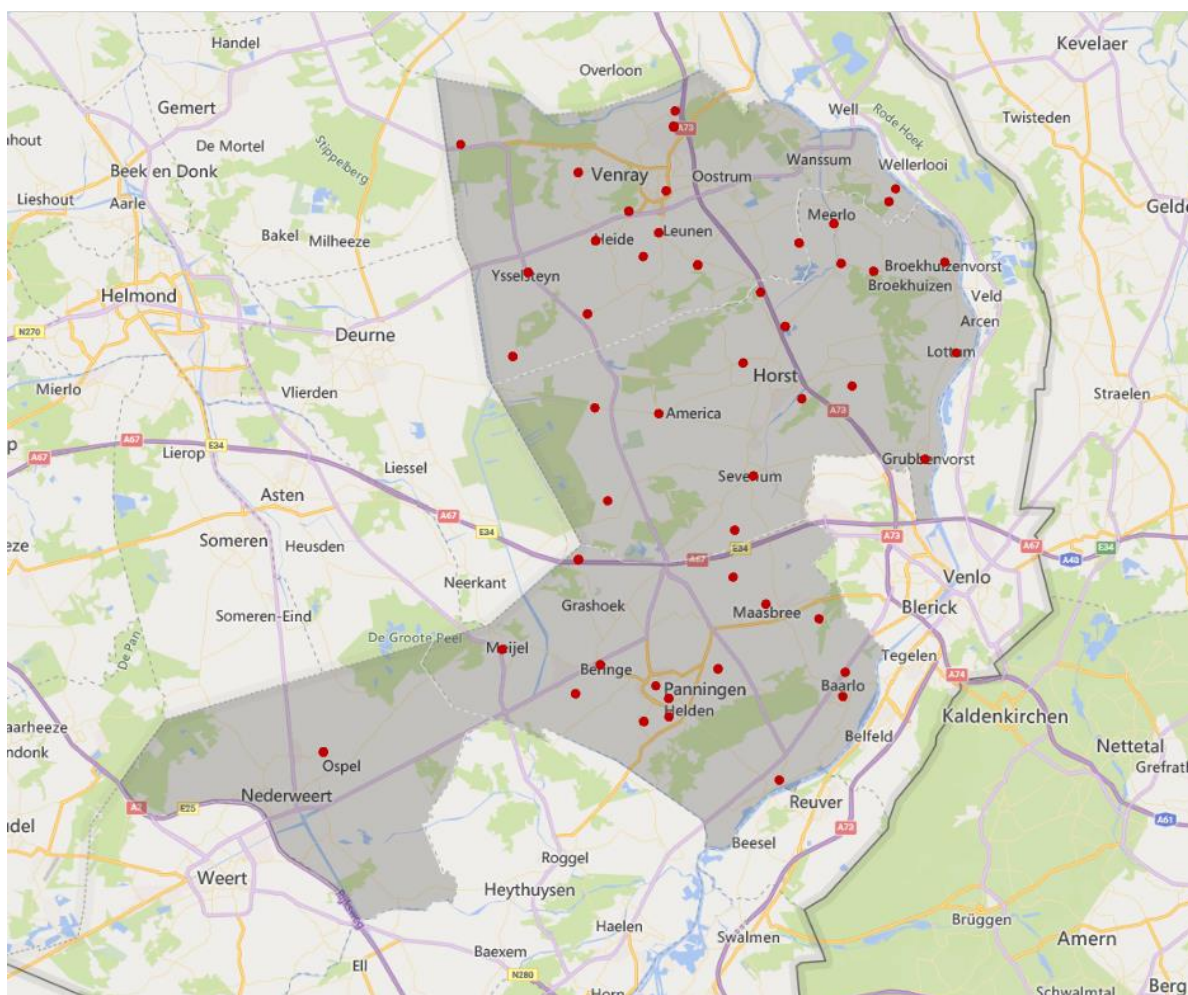
Eerder gepubliceerde en gepresenteerde resultaten, die vanwege de slotbijeenkomst op 2 december 2024 al werden gedeeld, hadden betrekking op de periode van oktober 2023 tot oktober 2024. Deze resultaten waren op dat moment nog niet gevalideerd en gecorrigeerd. De resultaten in dit rapport zijn wél gevalideerd en gecorrigeerd (zie paragraaf 1.2.3).

2.1.1. Het netwerk

Binnen het project “Grenzeloos Meten” zijn in september 2023 per deelnemende gemeente (Peel en Maas, Horst aan de Maas en Venray) 15 Ohnics-fijnstofsensoren uitgedeeld aan bewoners die zich hiervoor hadden aangemeld. In totaal waren er 159 aanmeldingen voor een sensor.

Bij de selectie van de locaties is rekening gehouden met:

- een verdeling van 15 sensoren per gemeente;
- het realiseren van een zo breed mogelijk dekkend netwerk;
- de voorkeur voor locaties in de buurt van bewoond gebied en dorpskernen.



Figuur 3 PM2.5 meetnetwerk met de extra controle sensor aan het officiële meetstation in Ospel (gemeente Nederweert)

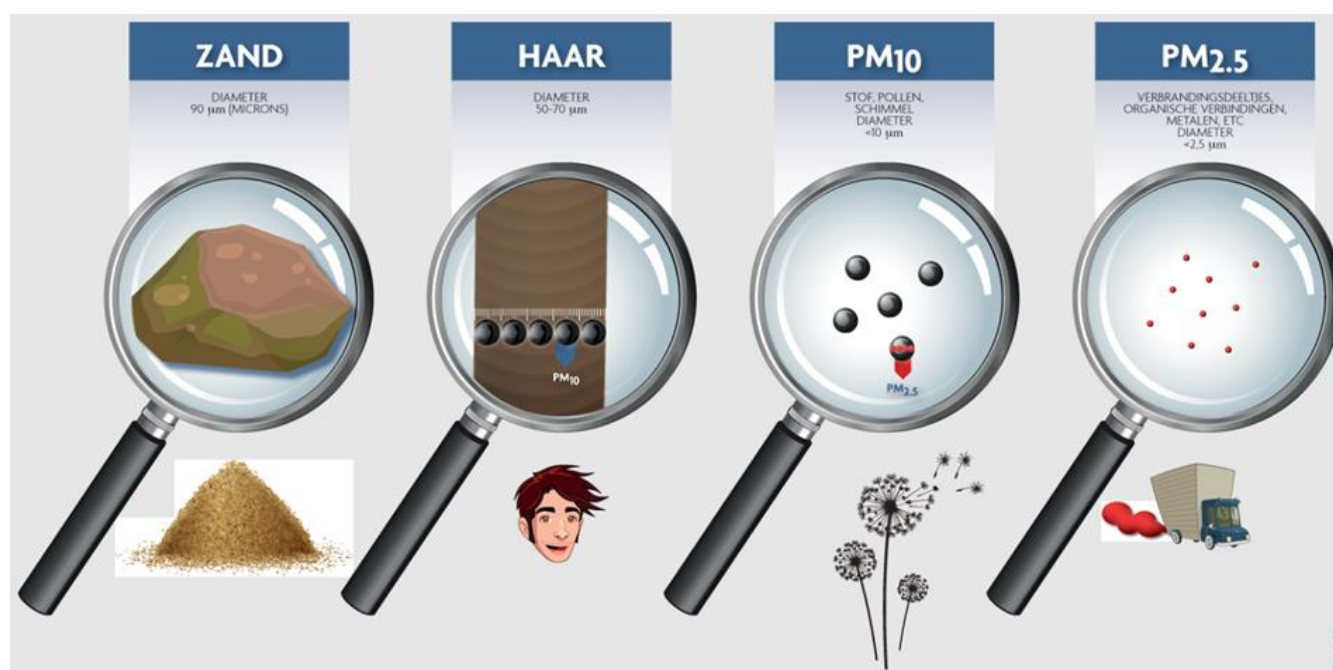
2.1.2. Wat is fijnstof?

Met fijnstof worden stofdeeltjes in de lucht bedoeld. Het is een verzamelnaam voor deeltjes van uiteenlopende grootte, tot maximaal 10 micrometer (μm) in doorsnede. Deeltjes die bestaan uit zwaveldioxide, stikstofoxiden en ammoniak vormen het grootste deel. Ook elementair koolstof en andere koolstofverbindingen dragen bij aan de hoeveelheid fijnstof.

De twee belangrijkste deeltjesgroottes bij fijnstof zijn:

- PM10 (Particulate Matter met een grootte tot 10 micrometer);
- PM2.5 (fijnstof met een grootte tot 2,5 micrometer).

De concentratie fijnstof wordt uitgedrukt in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgram stofdeeltjes per kubieke meter lucht). In dit rapport gaat het specifiek om PM2.5, gemeten met sensoren.



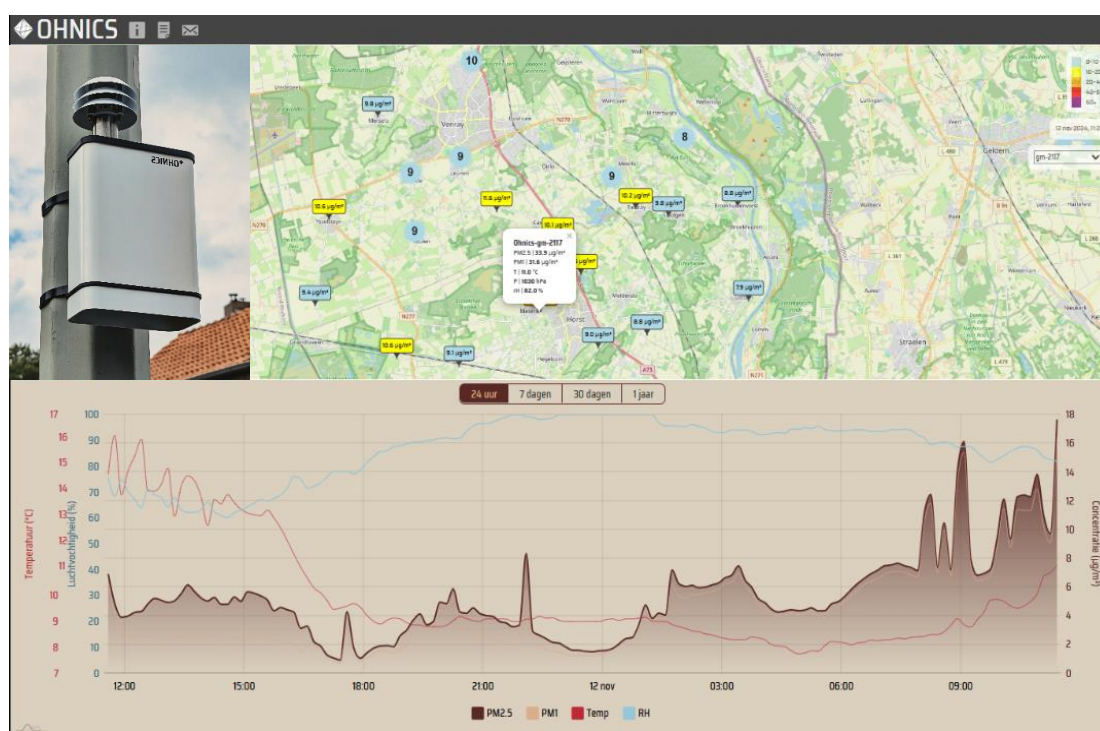
Figuur 4 Deeltjesgrootte PM10 en PM2.5 Bron:VMM

2.1.3. De sensor

De sensor die in dit project is gebruikt, is de **Ohnics V2 - fijnstofsensor**. Deze sensor meet PM2.5, luchtdruk, relatieve vochtigheid en temperatuur.

De meetgegevens zijn live te volgen via www.ohnics.online/#GrenzeloosMeten en op samenmeten.rivm.nl/dataportaal.

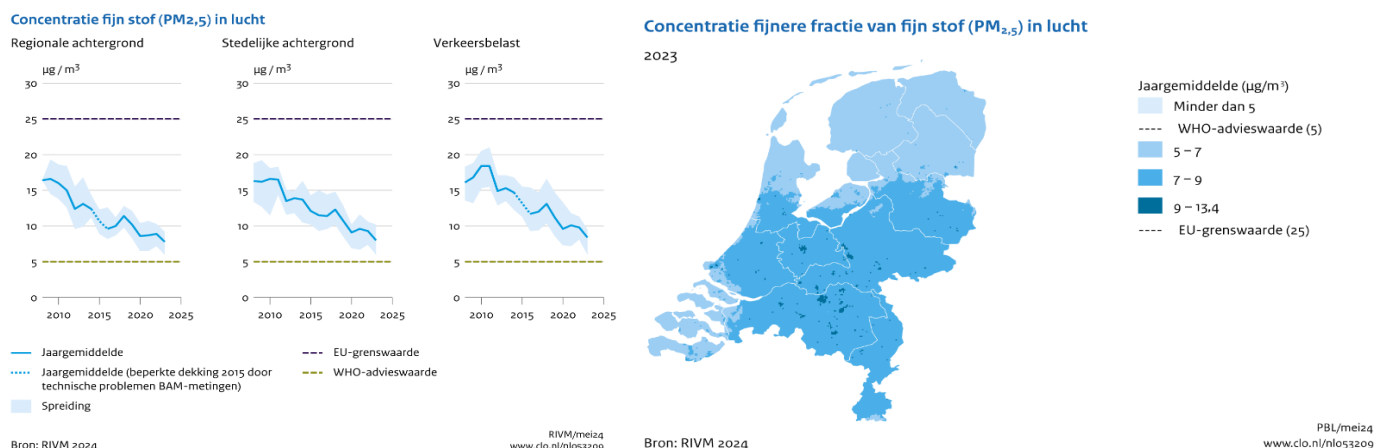
Door in te zoomen op een gebied en op een sensor te klikken, zijn de actuele meetwaarden zichtbaar. Daarnaast kunnen de meetgegevens tot 12 maanden terug worden ingezien. De exacte locatie van de sensoren wordt vanwege de privacy van de sensorhouders niet weergegeven. De sensor wordt op de kaart getoond binnen een straal van 40 meter rondom de werkelijke locatie.



Figuur 5 Ohnics website (www.ohnics.online)

2.2 Trends in jaargemiddeldes

Kijkend naar het langdurige landelijke jaargemiddelde, zien we de afgelopen 25 jaar een daling van de PM_{2.5}-waarden. In onderstaande figuren zijn de trends weergegeven zoals gemeten door alle officiële meetinstanties in Nederland (www.luchtmeetnet.nl), samen met een overzicht van de landelijke fijnstofconcentraties in 2023. De zeven meetstations, beheerd door de Omgevingsdienst Zuid-Limburg, maken ook onderdeel uit van dit landelijke meetnetwerk.

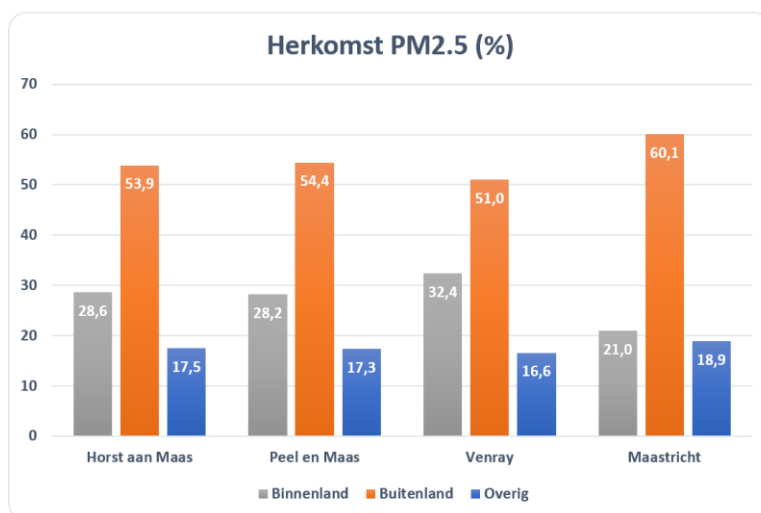


Figuur 6 Concentraties PM_{2.5} in sinds 2010

2.2.1. Herkomst PM_{2.5} volgens het RIVM

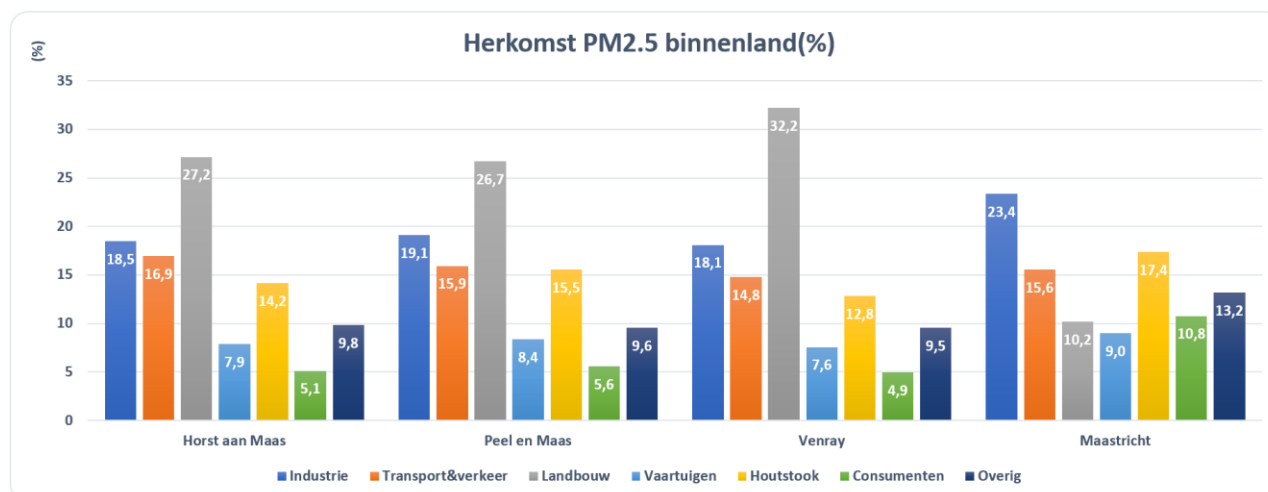
Op de nieuwe GCN-website van het RIVM (<https://gcn-app.rivm.nl/>) is het mogelijk om op gemeentelijk niveau de herkomst van lokale emissies in te zien. Dit geldt niet alleen voor PM_{2.5}, maar ook voor PM₁₀, elementair koolstof (EC) en stikstofdioxide (NO₂). De gegevens zijn gebaseerd op de Generieke Concentraties Nederland (GCN) voor 2022, zoals berekend in de GCN-ronde 2023.

In figuur 7 is de herkomst van PM_{2.5} volgens de GCN-app in 2022 weergegeven voor de drie deelnemende gemeenten, met ter vergelijking ook de situatie in Maastricht.



Figuur 7 Herkomst van PM_{2.5} in 2022 in deelnemende gemeentes en Maastricht (Bron: GCN)

Volgens de GCN-app is in de drie project gemeentes meer dan 50% van de PM2.5-concentratie afkomstig uit buitenlandse bronnen. Voor Maastricht ligt dit aandeel, mede door de nabijheid en de lengte van twee landgrenzen, zelfs op 60,1%. De categorie “overig” omvat bijdragen van zeezout en secundair organisch aerosol (SOA). SOA wordt gevormd door chemische reacties in de atmosfeer tussen gasvormige verbindingen, voornamelijk vluchtige organische stoffen (VOS). Figuur 18 toont de herkomst van de binnenlandse bijdrage aan PM2.5.



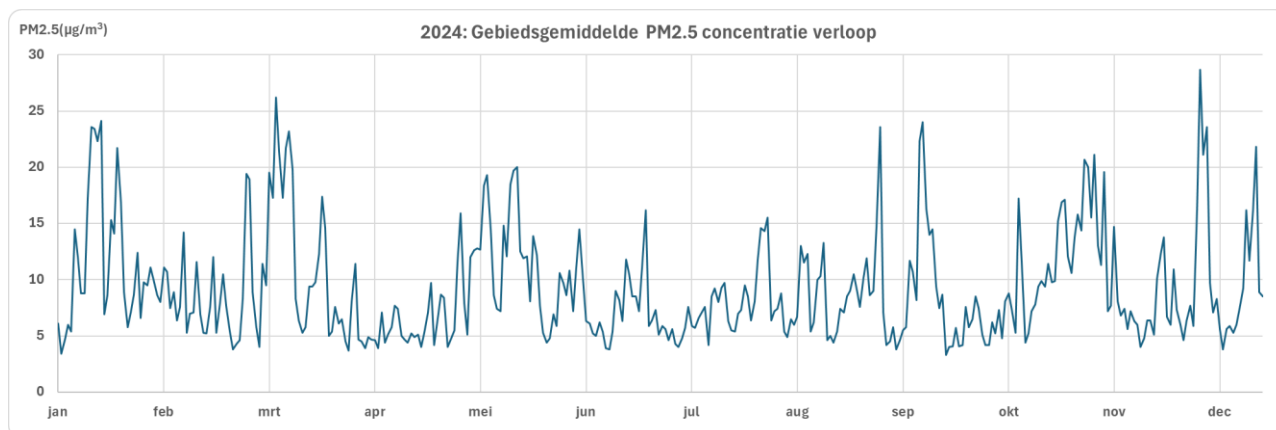
Figuur 8 Herkomst van binnenlandse PM2.5 in 2022 in deelnemende gemeentes en Maastricht (Bron:GCN-app RIVM)

In de drie gemeentes is volgens de GCN-app de binnenlandse bijdrage hoger dan in Maastricht. De gemiddelde bijdrage van landbouw aan de PM2.5-concentratie bedraagt 28,7%, terwijl dit in Maastricht 10,2% is. Het aandeel van de categorieën “Consumenten” en “Houtstook” is in Maastricht relatief hoger, wat kan worden toegeschreven aan de hogere bevolkingsdichtheid.

De categorie “Overig” omvat in deze context emissies afkomstig van bouwactiviteiten en mobiele werktuigen.

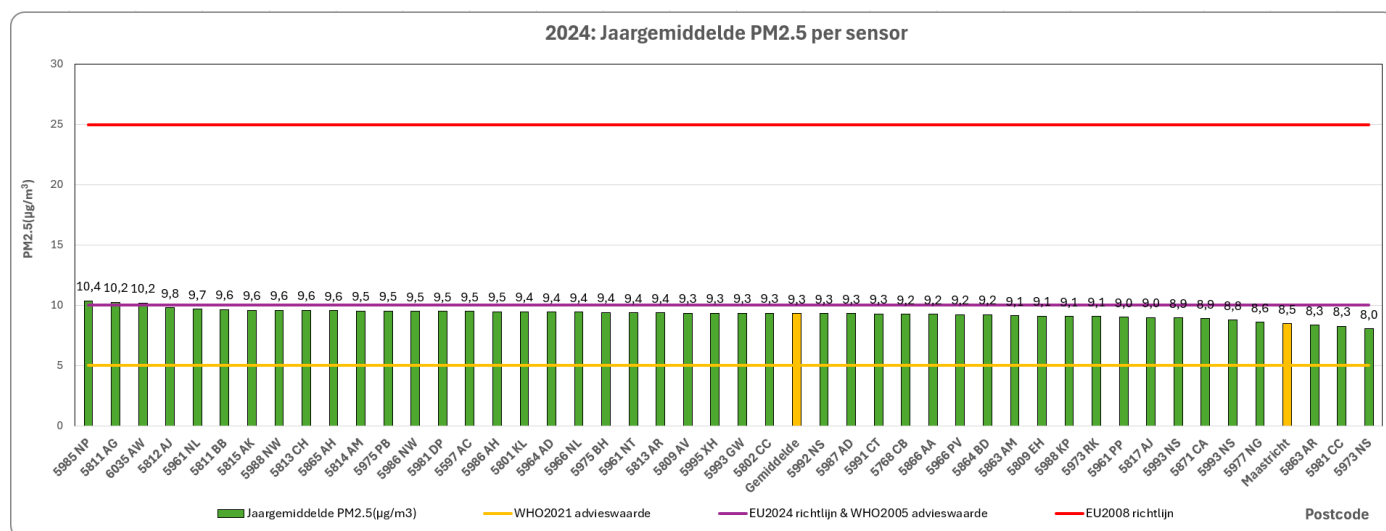
2.2.2. Gemeten jaargemiddelde in het project Grenzeloos meten

In figuur 9 het verloop van de gemiddelde PM2.5 concentratie gedurende het meetjaar 2024.



Figuur 9 PM2.5:Gemiddelde van alle sensoren in het jaar 2024

In figuur 10 staan de jaargemiddelde concentraties per sensor (groen) weergegeven. De oranje staven tonen het gebiedsgemiddelde en de meetwaarden van de sensor bij het meetstation aan de Philipsweg in Maastricht. De rode lijn geeft de huidige EU-grenswaarde weer, de paarse lijn de aangescherpte EU-grenswaarde die in 2026 leidend zal zijn en waaraan in 2030 voldaan moet worden. De gele lijn is de WHO-advieswaarde uit 2021. Op basis van het eerste meetjaar (2024) is het niet mogelijk om een definitieve uitspraak te doen over de PM_{2.5} concentratie in het hele gebied, daarvoor is één jaar meten te kort. Het weer speelt een grote rol bij de hoogte van de gemeten waarden. Met name de windrichting en het aantal dagen met regen hebben invloed op de jaargemiddelden. Daarom is het belangrijk om te kijken naar langdurige trends over een periode van minimaal drie jaar.



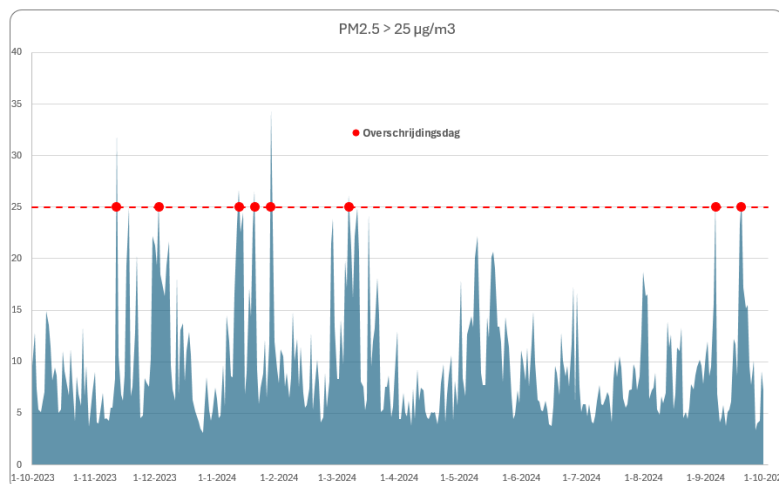
Figuur 10 PM_{2.5} Jaargemiddelde per meetlocatie

Conclusie op basis van kalenderjaar 2024:

- Het gebiedsgemiddelde ligt op **9,3 µg/m³** wat ruimschoots **voldoet** aan de huidige EU-grenswaarde van 25 µg/m³.
- Hoogst gemeten jaarwaarde was 10,4 µg/m³ en de laagste waarde was 8,0 µg/m³
- **Geen** van de 45 sensoren overschrijdt de huidige EU grenswaarde (25 µg/m³)
- **Drie** van de sensoren overschrijden de EU grenswaarden van 2024 (10 µg/m³)
- **Alle** sensoren overschrijden de WHO2021 advieswaarde (5 µg/m³)
- Er zit 0,8 µg/m³ verschil tussen het gebiedsgemiddelde ten opzichte van de sensor in Maastricht en zelfs 1,9 µg/m³ met de hoogst gemeten waarde. Dat lijkt weinig, maar is op een jaargemiddelde noemenswaardig.
- Het verschil tussen Maastricht en het projectgebied zou verklaard kunnen worden door de hogere bijdrage van landbouwemissies in het projectgebied en, in bepaalde situaties, door een lokale bronnen zoals houtstook (zie paragraaf 2.2.1).

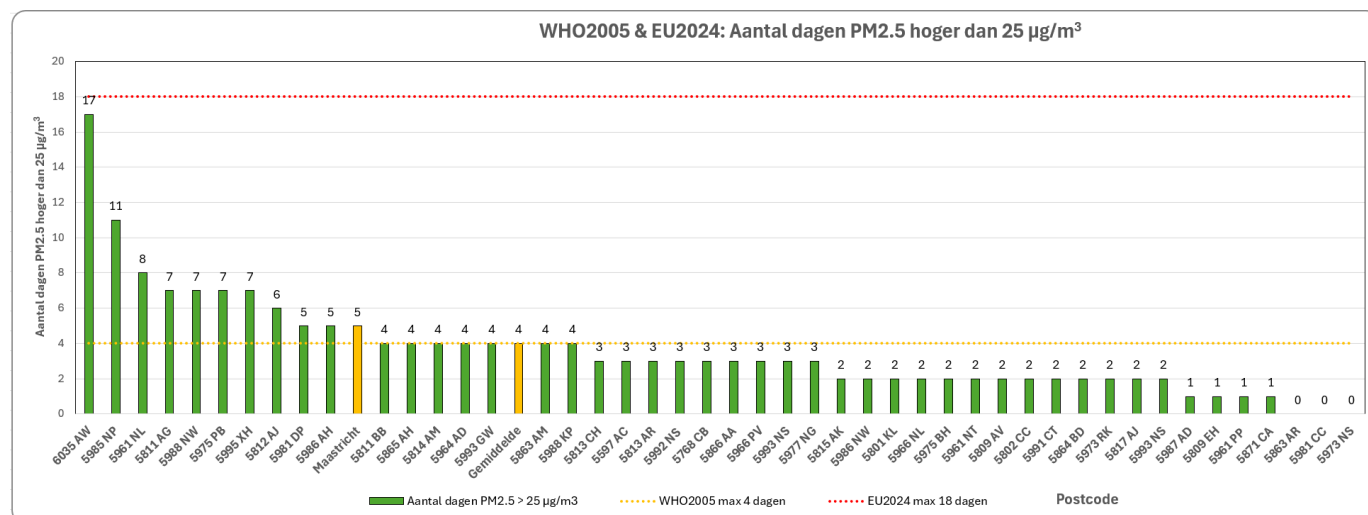
2.3 Overschrijdingsdagen

Met een overschrijdingsdag wordt bedoeld hoe vaak per jaar een bepaalde dagwaarde wordt overschreden (zie voorbeeld in Figuur 11).

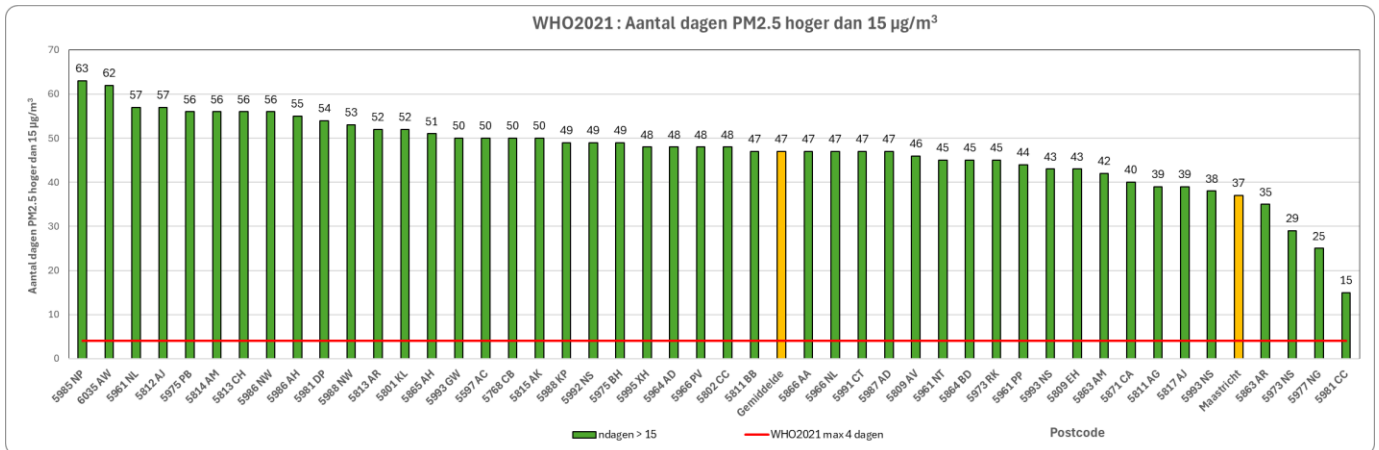


Figuur 11 Elke rode markering is een overschrijdingsdag

Voor PM2.5 is binnen de huidige Europese richtlijnen geen grenswaarde vastgelegd voor dagwaarde-overschrijdingen. In de nieuwe richtlijnen geldt dat de gemiddelde PM2.5-concentratie op **maximaal 18 dagen** per jaar hoger mag zijn dan 25 µg/m³. De WHO, en daarmee ook de ambitie van de ondertekenaars van het Schone Lucht Akkoord, heeft hiervoor wel een advieswaarde voor vastgesteld. De WHO stelt dat de dagwaarde van 25 µg/m³ slechts beperkt (99^e percentiel) overschreden mag worden. Het 99^e percentiel betekent dat de waarde op 99% van de dagen onder deze grens moet blijven, wat neerkomt op 3,7 dagen per jaar ($365 \times 1\% = 3,65 \approx 3,7$ dagen). In het **worst-case** scenario zijn dat **maximaal 4 dagen**.



Figuur 12 Aantal dagen PM2.5 hoger dan 25 µg/m³ per locatie



Figuur 13 Aantal dagen PM2.5 hoger dan 15 µg/m³ per locatie

Conclusie overschrijdingsdagen:

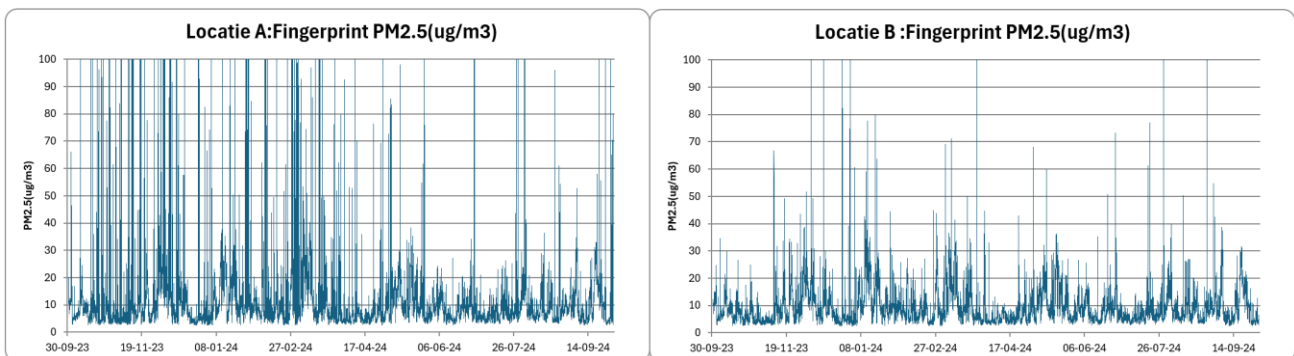
- **Geen** dagwaarde overschrijdingen volgens de nieuwe EU richtlijnen. Wel grote onderlinge verschillen tussen locaties met 0 of 1 overschrijdingsdagen ten opzichte van de locaties met 4 of meer overschrijdingsdagen.
- Op **17** locaties zijn er 4 of meer dagen met een dagwaarde hoger dan 25 µg/m³ gemeten (WHO 2005-advieswaarde en de SLA-advieswaarde).
- Op **alle** locaties zijn er meer dan 4 dagen met een dagwaarde hoger dan 15 µg/m³ (WHO 2021-advieswaarde).

2.4 Piekmetingen

Fijnstof (PM10 en PM2.5) ligt vaak als een deken over een groot gebied. Door te rapporteren in gemiddelde dag- en jaarwaarden vallen kortdurende, hoge pieken weg in het gemiddelde van de metingen. Hoewel er geen normen of richtlijnen zijn voor het aantal kortstondige hoge pieken, kunnen deze dankzij de hoge meetfrequentie van de Ohnics-sensor wél worden gedetecteerd.

De Ohnics-sensor meet het gemiddelde per minuut, waardoor het per locatie mogelijk is om te tellen hoe vaak er kortstondige pieken zijn geweest. **Een piek is gedefinieerd als een minuutwaarde hoger dan 100 µg/m³.** Zo'n piek is vrijwel altijd afkomstig van een bron in de directe omgeving, zoals houtstook, een barbecue, een vuurkorf, bedrijvigheid of open vuur. Door alle minuutwaarden over een langere periode in een grafiek weer te geven, worden deze pieken goed zichtbaar. Zo'n grafiek noemen we een **fingerprint**.

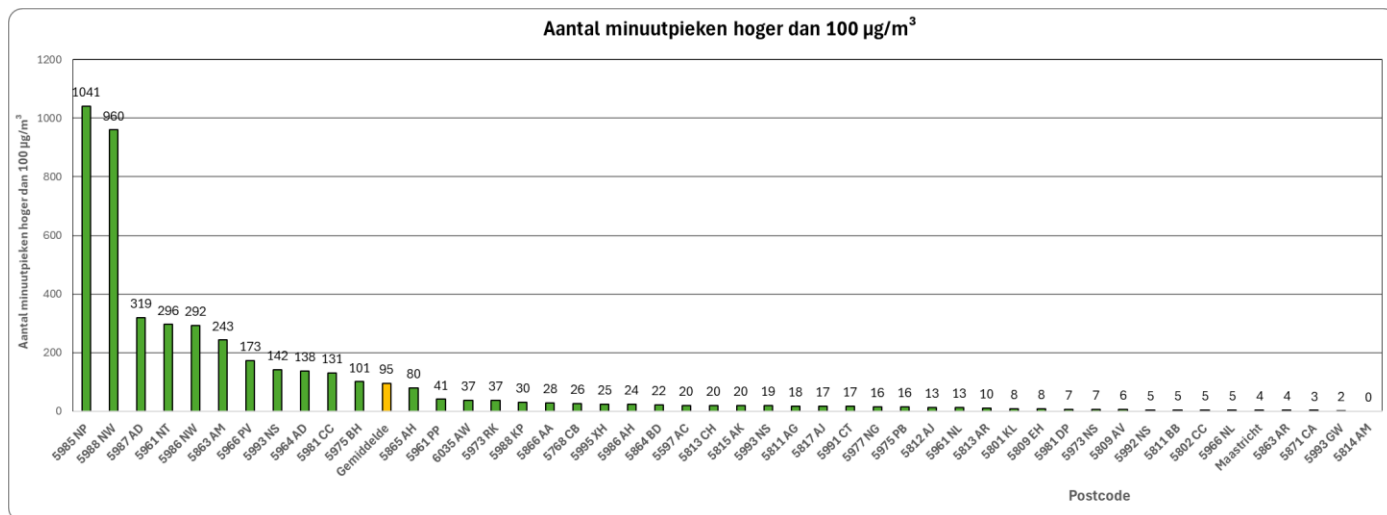
In de onderstaande twee figuren is de fingerprint te zien van twee verschillende sensoren die hemelsbreed 5 kilometer van elkaar liggen. Er is een duidelijk verschil in het aantal pieken zichtbaar, vooral in de maanden oktober tot en met maart.



Figuur 14 Voorbeeld fingerprint op twee verschillende locaties

2.4.1. Totaal aantal pieken

In figuur 15 is het totaal aantal pieken over 2024 per locatie weergegeven. Hieruit blijkt duidelijk dat er een aantal locaties zijn met een fors hoger aantal pieken. Bij het merendeel van de locaties zijn relatief weinig pieken geteld. Dit geldt onder andere voor de sensor in Maastricht, die is geplaatst op een verkeerbelaste locatie nabij de zuidelijke A2-tunnelmond. Op basis van deze resultaten heeft de projectgroep “Grenzeloos Meten” de Omgevingsdienst Zuid-Limburg opdracht gegeven om de drie locaties met de meeste pieken nader te onderzoeken. Daarbij wordt gekeken of er specifieke bronnen aan te wijzen zijn die het hoge aantal pieken veroorzaken. Dit onderzoek zal worden uitgevoerd na afloop van het huidige (2025) stookseizoen.

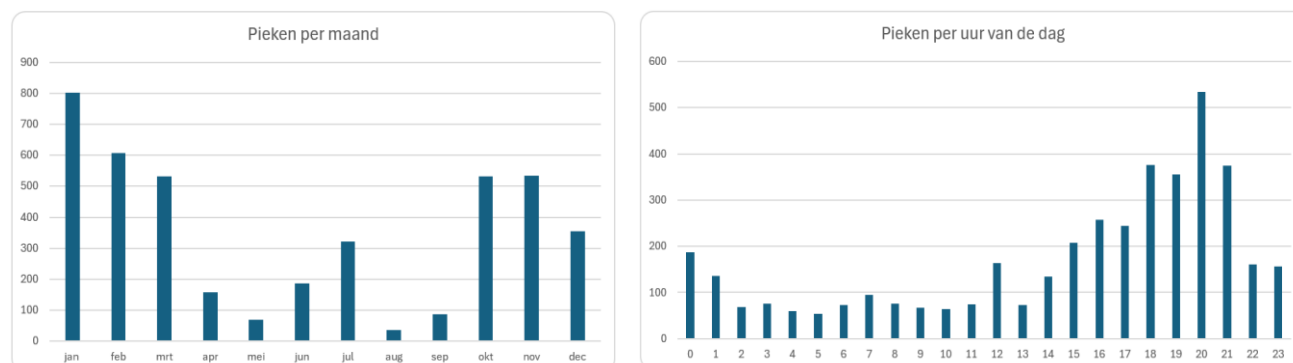


Figuur 15 Aantal minuutmetingen waarvan de PM2.5 waarde hoger was dan 100 µg/m³ per locatie

2.4.2. Tijdstip van de pieken

In onderstaand figuur zijn alle gemeten pieken binnen het projectgebied bij elkaar opgeteld en weergegeven. Figuur 16 links toont het totaal aantal pieken per maand in 2024 in het projectgebied en rechts het totaal aantal pieken per uur van de dag. In de maanden oktober tot en met maart is duidelijk een toename zichtbaar in het aantal gemeten pieken. De gemiddelde maandtemperatuur lag in die maanden onder de 10°C, de periode waarin het meest wordt gestookt.

Ook in de grafiek met het aantal pieken per uur van de dag is een duidelijk **(hout)stookpatroon** zichtbaar.

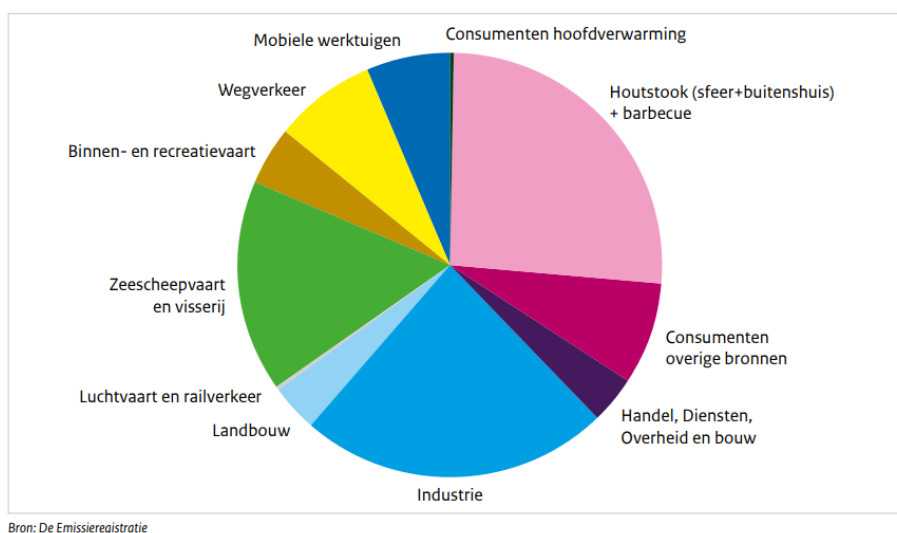


Figuur 16 Verdeling pieken per maand en per uur van de dag in 2024 van alle metingen

2.5 Houtstook



Houtstook is een veelgebruikte manier om huizen te verwarmen en sfeer te creëren, maar brengt belangrijke gezondheidsrisico's met zich mee. Het verbranden van hout produceert fijnstof, koolmonoxide en andere schadelijke stoffen die de luchtkwaliteit, zowel binnen als buiten, aanzienlijk kunnen verslechteren. Deze luchtverontreiniging kan leiden tot ademhalingsproblemen, longziekten en verergering van bestaande aandoeningen zoals astma en COPD. Ook wordt het risico op hart- en vaatziekten verhoogd bij langdurige blootstelling aan fijnstof. Kinderen, ouderen en mensen met bestaande gezondheidsproblemen zijn hierbij het meest kwetsbaar. De bijdrage van houtstook bedroeg in 2021 ongeveer een kwart van de totale PM2.5-uitstoot door binnenlandse bronnen (zie Figuur 17: PM2.5-uitstoot door Nederlandse bronnen in 2021). De bijdrage van de totale sector consumenten aan de PM2.5-uitstoot was in 2021 ongeveer een derde van de totale PM2.5-uitstoot in Nederland. Ter vergelijking: houtstook is daarmee een grotere bron van fijnstof dan het wegverkeer.

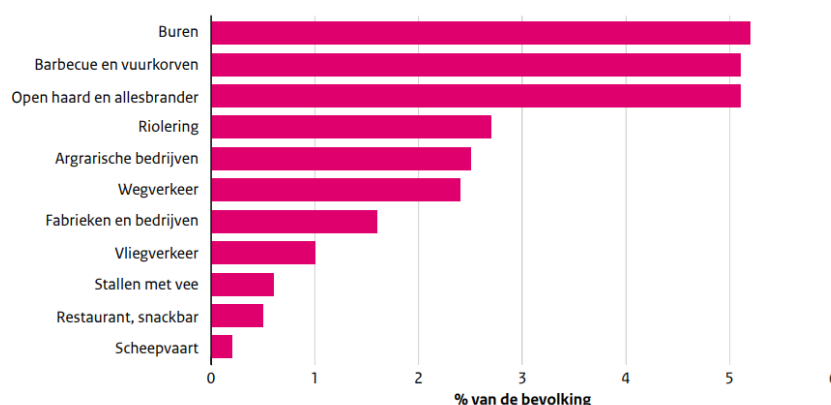


Figuur 17 PM2.5-uitstoot door Nederlandse bronnen in 2021

2.6 Houtstook hinder

De Gezondheidsraad beschouwt, naast de gezondheidsrisico's van houtstook, ook hinder als een gezondheidseffect. Dat geldt dus ook voor hinder door de geur van houtstook. Geuren afkomstig van open haarden, allesbranders, barbecues en vuurkorven behoren, samen met geuren afkomstig van burens, tot de belangrijkste bronnen van ernstige geurhinder (zie Figuur 18: Belangrijkste veroorzakers van ernstige geurhinder – Onderzoek Beleving Woonomgeving 2021).

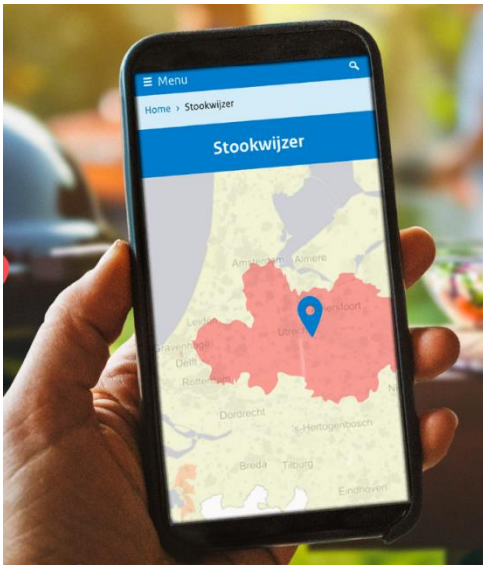
De geurhinder van open haarden en allesbranders is in 2021 toegenomen ten opzichte van 2020. De hinder van barbecues en vuurkorven is juist afgenomen. Ook in gevallen waarin de hinder als minder ernstig wordt ervaren, scoren deze bronnen hoog. Uit de jaarlijkse vragenlijst van het OBW blijkt verder dat in 2021 ruim 1/6 deel van de Nederlanders minstens enigszins hinder ondervond van geur afkomstig van open haarden en allesbranders. Voor barbecues en vuurkorven was dit ruim 1/5 deel (van Poll & Simon, 2022). In 2021 gaf ongeveer 1/13 deel van de Nederlanders aan dat hun slaap minstens enigszins werd verstoord door geur afkomstig van een open haard, allesbrander, barbecue of vuurkorf.



Bron: Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW), RIVM Rapport 2022-0085, [Geurhinder per bron, 2021](#) | [Compendium voor de Leefomgeving \(clo.nl\)](#)

Figuur 18 Belangrijkste veroorzakers geurhinder (OBW 2021)

2.7 Stookwijzer



De RIVM-Stookwijzer geeft advies over wanneer mensen beter geen houtvuur kunnen maken. Dit advies is afhankelijk van de weersomstandigheden en de luchtkwaliteit. De Stookwijzer helpt om overlast voor de omgeving te beperken. Het is een pagina en op binnen de Atlas Leefomgeving die op postcodeniveau advies geeft aan mensen die de kachel, open haard, tuinkachel, vuurkorf of barbecue willen aansteken.

Iedereen kan op elk moment van de dag de Stookwijzer raadplegen via www.atlasleefomgeving.nl/stookwijzer of via www.stookwijzer.nu. Via deze website is ook de app voor de telefoon te downloaden. In de app kan een melding worden ingesteld, zodat je een waarschuwing ontvangt wanneer er in de omgeving code rood geldt.

De Stookwijzer is bedoeld om de overlast door houtrook te verminderen. Uit RIVM-onderzoek blijkt dat meer dan de helft van de overlastmeldingen wordt gedaan bij een windkracht van 2 of

minder. Daarom geeft de Stookwijzer in dat geval automatisch code rood. Als de windkracht hoger is dan 2, kijkt de Stookwijzer ook naar de luchtkwaliteit, gebaseerd op de luchtkwaliteitsindex voor PM2.5 en andere stoffen.

In Nederland hebben een drietal gemeenten specifieke regels ingevoerd met betrekking tot houtstook bij negatieve adviezen van de Stookwijzer:

- **Amersfoort:** Sinds 2023 is het in Amersfoort verboden om binnenshuis hout te stoken wanneer de Stookwijzer code rood of code oranje aangeeft, bijvoorbeeld bij windstille omstandigheden.
- **Eindhoven:** De gemeenteraad heeft in 2024 de motie 'Uche Uche' aangenomen, wat betekent dat houtstook verboden is wanneer de Stookwijzer code rood of code oranje aangeeft.
- **Utrecht:** De gemeente Utrecht streeft ernaar om in 2030 volledig 'houtrookvrij' te zijn. Dit houdt in dat het gebruik van open haarden en houtkachels tegen die tijd volledig verboden zal zijn.

3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het is altijd lastig om harde conclusies te verbinden aan één meetjaar. Vooral de weersomstandigheden hebben een grote invloed op de meetresultaten. De meetperiode van dit rapport was bovengemiddeld nat, wat doorgaans leidt tot lagere fijnstofconcentraties.

3.1.1. Jaarwaarden

- Het gebiedsgemiddelde ligt op **9,3 µg/m³** wat ruimschoots **voldoet** aan de huidige EU-grenswaarde van 25 µg/m³.
- Hoogst gemeten jaarwaarde was 10,4 µg/m³ en de laagste waarde was 8,0 µg/m³
- **Geen** van de 45 sensoren overschrijdt de huidige EU grenswaarde (25 µg/m³)
- **Drie** van de sensoren overschrijden de EU grenswaarden van 2024 (10 µg/m³)
- **Alle** sensoren overschrijden de WHO2021 advieswaarde (5 µg/m³)
- Er zit 0,8 µg/m³ verschil tussen het gebiedsgemiddelde ten opzichte van de sensor in Maastricht en zelfs 1,9 µg/m³ met de hoogst gemeten waarde. Dat lijkt weinig, maar is op een jaargemiddelde noemenswaardig.
- Het verschil tussen Maastricht en het projectgebied zou verklaard kunnen worden door de hogere bijdrage van landbouwemissies in het projectgebied en, in bepaalde situaties, door een lokale bronnen zoals houtstook (zie paragraaf 2.2.1).

3.1.2. Overschrijdingsdagen

- **Geen** dagwaarde overschrijdingen volgens de nieuwe EU richtlijnen. Wel grote onderlinge verschillen tussen locaties met 0 of 1 overschrijdingsdagen ten opzichte van de locaties met 4 of meer overschrijdingsdagen.
- Op **17** locaties zijn er 4 of meer dagen met een dagwaarde hoger dan 25 µg/m³ gemeten (WHO 2005-advieswaarde en de SLA-advieswaarde).
- Op **alle** locaties zijn er meer dan 4 dagen met een dagwaarde hoger dan 15 µg/m³ (WHO 2021-advieswaarde).

3.1.3. Piekmetingen (aantal minuutwaarden > 100µg/m³)

- Op twee à drie locaties zijn bovengemiddeld veel pieken gemeten.
- Op 9 locaties, waaronder een verkeerbelaste locatie in Maastricht, zijn 5 of minder pieken gemeten.
- Er is een duidelijk leef-/stookpatroon zichtbaar in de piekmetingen.
- Uit de metingen met de sensoren blijkt dat er een sterk verband bestaat tussen de seizoenen en het aantal gemeten hoge waarden.
- Het tijdstip van de dag waarop de meeste pieken worden gemeten, laat een duidelijk leef-/stookpatroon zien.

3.2 Aanbevelingen

- Eén jaar meten is te kort om harde conclusies te trekken; een meetperiode van drie jaar is voorzien binnen het project.
- Inzetten op **voorlichting** via lokale media en campagnes over houtstook, met daarbij extra aandacht voor de promotie van de Stookwijzer. Zie: <https://iplo.nl/thema/lucht/voorlichtingsmateriaal-houtstook-2024-2025/>.
- Achterhalen van de bronnen van de locaties met de meeste pieken.
- Plaatsen van enkele **extra PM2.5-sensoren in het buitengebied** om beter inzicht te krijgen in de werkelijke achtergrondconcentraties van fijnstof in gebieden buiten de bebouwde kom.

4. BIJLAGE: DATATABEL

Sensor	Plaats	Straat	Postcode	Jaargem PM2.5(µg/m ³)	Aantal dagen PM2.5 > 15 µg/m ³	Aantal dagen PM2.5 > 25 µg/m ³	Aantal minuutpieken PM2.5 > 100 µg/m ³
gm-2147	Grashoek	Spiesberg	5985 NP	10,4	63	11	1041
gm-2171	Castenray	Schoor	5811 AG	10,2	39	7	18
gm-2123	Ospel	Kuilstraat	6035 AW	10,2	62	17	37
gm-2116	Heide	Nachtegaalweg	5812 AJ	9,8	57	6	13
gm-2151	Horst	Tienrayseweg	5961 NL	9,7	57	8	13
gm-2133	Castenray	Oirloseheide	5811 BB	9,6	47	4	5
gm-2168	Merselo	Wethouder Pubbenstraat	5815 AK	9,6	50	2	20
gm-2122	Helden	Zandberg	5988 NW	9,6	53	7	960
gm-2158	Ysselsteyn	Van Beurdenweg	5813 CH	9,6	56	3	20
gm-2141	Tienray	Spoorstraat	5865 AH	9,6	51	4	80
gm-2136	Veulen	Eijkenhofweg	5814 AM	9,5	56	4	0
gm-2177	Sevenum	Broek	5975 PB	9,5	56	7	16
gm-2174	Beringe	Vredepeelweg	5986 NW	9,5	56	2	292
gm-2120	Panningen	Sch van der Heidenstraat	5981 DP	9,5	54	5	7
gm-2121	Grubbenvorst	Burg.van kempenstraat	5597 AC	9,5	50	3	20
gm-2154	Beringe	Kanaalstraat	5986 AH	9,5	55	5	24
gm-2149	Venray	Melchiorhof	5801 KL	9,4	52	2	8
gm-2117	Meterik(HadM)	St Jansstraat	5964 AD	9,4	48	4	138
gm-2166	America	Pastoor Jeukenstraat	5966 NL	9,4	47	2	5
gm-2157	Sevenum	Kerkstraat	5975 BH	9,4	49	2	101
gm-2137	Horst	Venrayseweg	5961 NT	9,4	45	2	296
gm-2156	Ysselsteyn	Timmermannsweg	5813 AR	9,4	52	3	10
gm-2148	Leunen	Vullingsstraat	5809 AV	9,3	46	2	6
gm-2173	Kessel	Gelrestraat	5995 XH	9,3	48	7	25
gm-2163	Venray	Oude Oostrumseweg	5802 CC	9,3	48	2	5
gm-2155	Maasbree	Klaverstraat	5993 GW	9,3	50	4	2
Gem	Gemiddelde	Gemiddelde	Gemiddelde	9,3	47	4	95
gm-2132	Baarlo	Napoleonsbaan noord	5992 NS	9,3	49	3	5
gm-2162	Egchel	Muldersweg	5987 AD	9,3	47	1	319
gm-2160	Baarlo	Schutterstraat	5991 CT	9,3	47	2	17
gm-2134	Meijel	Jan Truijenstraat	5768 CB	9,2	50	3	26
gm-2169	Swolgen	Molenstraat	5866 AA	9,2	47	3	28
gm-2119	America	Griendtsveenseweg	5966 PV	9,2	48	3	173
gm-2138	Meerlo	Hoofdstraat	5864 BD	9,2	45	2	22
gm-2140	Blitterswijck	Ooijenseweg	5863 AM	9,1	42	4	243
gm-2164	Leunen	Scheiweg	5809 EH	9,1	43	1	8
gm-2172	Helden	Pastoor Hoemoetsraat	5988 KP	9,1	49	4	30
gm-2135	Lottum	Hoogheide	5973 RK	9,1	45	2	37
gm-2175	Horst	Haagweg	5961 PP	9,0	44	1	41
gm-2145	Smakt	Spurkt	5817 AJ	9,0	39	2	17
gm-2146	Maasbree	Tongerlo	5993 NS	8,9	43	3	19
gm-2139	Broekhuizen	Ooijenseweg	5871 CA	8,9	40	1	3
gm-2152	Maasbree	Tongerlo	5993 NS	8,8	38	2	142
gm-2167	Evertsoord	Kerkkuilenweg	5977 NG	8,6	25	3	16
102165	Maastricht	Philipsweg	Maastricht	8,5	37	5	4
gm-2161	Blitterswijck	Veerweg	5863 AR	8,3	35	0	4
gm-2150	Panningen	Wilhelminaplein	5981 CC	8,3	15	0	131
gm-2153	Lottum	Veerweg	5973 NS	8,0	29	0	7

Bijlage 2 | Rapporten onderzoek PM10 Fontys



> FOR SOCIETY

Eindrapportage Fontys GreenTechLab

“Revisie fijnstofmeters & data analyse”

(onderdeel van het Grenzeloos Meten project)

Looptijd: juni 2023 t/m juni 2024

Auteur: A. Winkelmolen / Fontys GreenTechLab

Dit rapport is opgesteld op basis van de uitkomsten van de eindrapporten van studenten Nicoleta Cazac en Maksym Kobzar. Hun rapporten zijn als bijlagen toegevoegd.

18 juli 2024

Samenvatting

Hieronder volgt een korte samenvatting en vervolgens per werkpakket een uitgebreidere toelichting

Revisie van Fijnstofmeters

Van juni 2023 tot juni 2024 heeft het Grenzeloos Meten project plaatsgevonden, waarbij 39 meetboxen zijn gereviseerd en voorzien van nieuwe NOVA SDS011 PM10 sensoren. Deze meetboxen zijn getest en uitgedeeld aan burgers om thuis te installeren. De revisie bleef binnen budget en planning.

Data Opschonen, Analyseren en Visualiseren

Twee Fontys studenten, Nicoleta Cazac en Maksym Kobzar, voerden respectievelijk onderzoek en productontwikkeling uit. Nicoleta onderzocht de betrouwbaarheid van PM10 metingen en de invloed van weersomstandigheden. Maksym richtte zich op het verbeteren van datavisualisatie en web-dashboard ontwikkeling.

Conclusies

1. **Betrouwbaarheid van metingen:** PM10 metingen met de Nova SDS011 sensoren in de gebruikte meetbox werden sterk beïnvloed door luchtvochtigheid >70%, dit had een grote invloed op de kwaliteit van de data. Correctiemodellen zoals de RIVM kalibratie maar ook andere datacorrectiemodellen helpen de nauwkeurigheid te verbeteren. Het is echter de vraag of toepassen van correctiemodellen kan rekenen op veel draagvlak bij mensen. Beter is een meetbox te gebruiken die minder gevoelig is voor hoge luchtvochtigheid. Dit soort meetbox was echter voor PM10 nog niet beschikbaar bij aanvang van dit project.
2. **Weersomstandigheden:** Weersfactoren zoals wind en luchtvochtigheid hebben een significante invloed op PM10 concentraties. Correlaties tussen PM10 en temperatuur/luchtvochtigheid zijn sterk bij de gebruikte meetbox. De PM10 metingen bij hoge luchtvochtigheid (>70%) zijn hoger dan de officiële metingen van RIVM op basis van referentiemetingen ter plekke bij RIVM station Vredepeel.
3. **Visualisatie:** Heatmaps en tijddiagrammen zijn effectief voor het weergeven van fijnstofconcentraties en hun veranderingen over tijd en ruimte.

Aanbevelingen

1. **Kalibratie van sensoren en kwaliteit van de data:** Omdat de gebruikte meetbox met daarin de NOVA SDS011 PM10 sensor onbetrouwbare metingen verricht vanaf een relatieve luchtvochtigheid >70% past RIVM al een kalibratiemethode toe in relatie tot officiële meetstations. Desondanks blijven de metingen beïnvloed door deze hoge luchtvochtigheid. Verdere datacorrectie is wel mogelijk door toepassing van datacorrectiemodellen van Hackair en Köhler. Echter de beste aanbeveling hier is om een PM10 meetbox te gebruiken met voorverwarming waardoor de invloed van hoge luchtvochtigheid aanzienlijk kleiner wordt. Anno 2024 was een dergelijk PM10 meetbox nog niet beschikbaar.
2. **Uitbreiding van sensornetwerk:** Plaats sensoren strategisch om een gedetailleerd overzicht van de luchtkwaliteit te krijgen. Hoe meer meetpunten hoe beter, afweging kan zijn een gebalanceerde verdeling in een gebied (buitengebied versus bebouwde kom) met mogelijk extra meters op locaties waar veel klachten vandaan komen. Aangezien fijnstof niet stopt bij een gemeentegrens is uitbreiding naar meerdere gemeenten zeker aan te bevelen.
3. **Gebruiksvriendelijke interfaces:** Ontwikkel interactieve kaarten en dashboard om de toegankelijkheid en bruikbaarheid van data te verbeteren. Een eerste stap kunnen animated

heatmaps zijn. Dit kan gebruikt worden als eerste indicator om erachter te komen waar fijnstof vandaan komt.

4. **Betrokkenheid partijen uit het meetgebied:** Betrek burgers en bedrijven intensiever bij het monitoren van luchtkwaliteit en zorg voor educatie en ondersteuning. Meer tussentijdse kennisuitwisselingen met burgers, bedrijven en projectuitvoerders.
5. **Monitoring van weersomstandigheden:** Regelmatige monitoring helpt de invloed van weer op fijnstofmetingen beter te begrijpen en te corrigeren. In het meetgebied zelf lag geen officieel weerstation. Het zou handig zijn dat er ook enkele weerstations betrokken kunnen worden in de toekomst. Dit hoeven niet direct officiële KNMI weerstations te zijn.

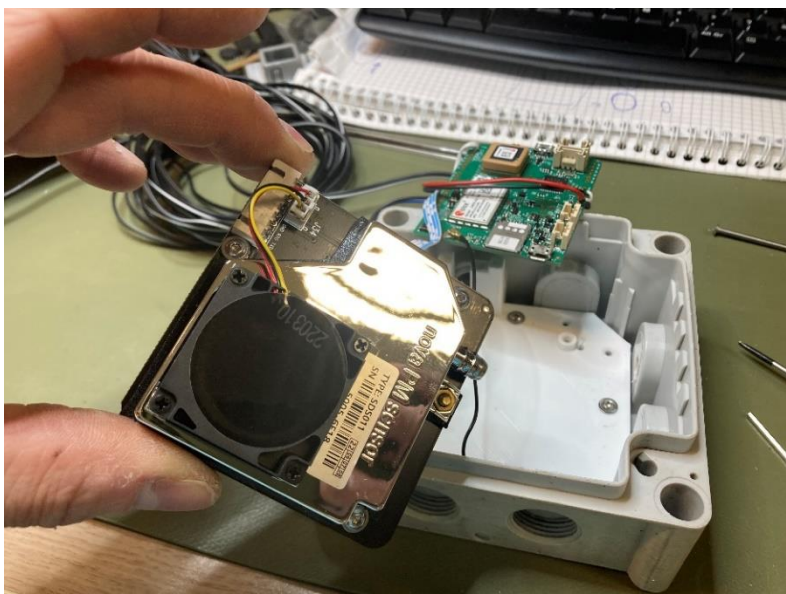
Deze aanbevelingen zijn gericht op het verbeteren van de nauwkeurigheid van metingen, de betrokkenheid van de gemeenschap, en de toegankelijkheid van luchtkwaliteitsdata.

Werkpakket A : Revisie fijnstofmeters

In totaal werden er 39 BV PM10 meetboxen schoongemaakt en voorzien van nieuwe NOVA SDS011 PM10 sensoren. Vervolgens hebben de gereviseerde meetboxen ruim een week proefgedraaid bij Fontys Venlo om te testen of ze allemaal correct werken, dit bleek het geval. Uiteindelijk zijn ze uitgedeeld aan de burgers zodat deze ze konden ophangen. Hieronder middels foto's een impressie van de stappen.



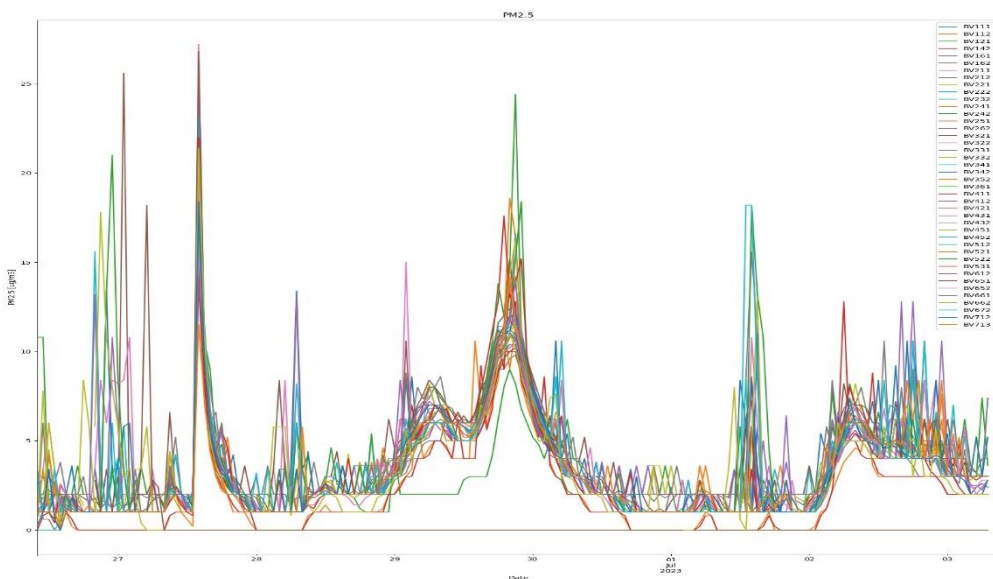
Testen bij Fontys Venlo om te achterhalen welke sensorboxen nog te reviseren waren, hieruit 39 stuks gekozen.



Oude PM10 sensoren verwijderen



Nieuwe PM sensoren installeren



Proefdraaien gereviseerde meetboxen, deze grafieken laten zien dat alle meetboxen bijna hetzelfde patroon volgen wat een goede indicatie is voor een juiste werking



Meetboxen afgehaald door burgers



Meetboxen geïnstalleerd door burgers thuis

Kosten: de revisie van de meetboxen is binnen het afgesproken budget gerealiseerd

Planning: er is niet afgeweken van de oorspronkelijke planning en de meetboxen zijn tijdig geleverd.

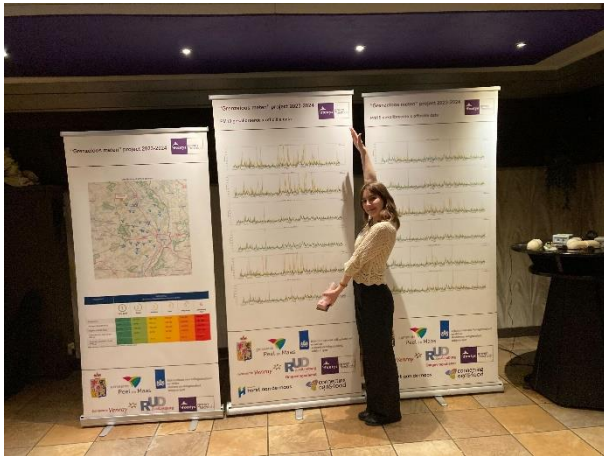
Werkpakket B: data opschonen, analyseren en visualiseren

Voor de uitvoering van dit werkpakket zijn gedurende de looptijd 2 Fontys studenten Software Engineering (derde jaars) betrokken:

Sept. 2023 – jan. 2024: Nicoleta Cazac (onderzoek)

Feb. 2024 – juni 2024: Maksym Kobzar (aanvullend onderzoek & productontwikkeling)

Beide studenten hebben hun stage goed afgerond, hun eindrapporten zijn als bijlage toegevoegd.



Nicoleta Cazac



Maksym Kobzar

Onderzoeksvragen en antwoorden

Belangrijkste onderdeel van deze eindrapportage zijn de gevonden antwoorden op de onderzoeksvragen welke hieronder worden gegeven:

1. Hoe betrouwbaar zijn de uurgemiddelden en daggemiddelden t.o.v. de referentie-gelijkwaardige PM10 metingen van de officiële stations van het landelijk meetnet? E.e.a. op basis van de referentiemetingen op 2 locaties met elk 2 fijnstofmeters.

Antwoord op basis van onderzoek Nicoleta Cazac:

De betrouwbaarheid van de uurgemiddelden en daggemiddelden van de PM10 metingen met de Nova SDS011 sensoren is onderzocht door ze te vergelijken met de officiële stations van het landelijk meetnet op twee locaties. Uit de gegevens blijkt dat de sensoren gevoelig zijn voor hoge luchtvochtigheid (>70%), wat resulteert in aanzienlijke afwijkingen tijdens periodes van hoge luchtvochtigheid. Na kalibratie (RIVM) tonen de sensoren echter een redelijk goede overeenkomst met de officiële meetgegevens, hoewel er tijdens nachten en vroege ochtenden nog steeds discrepanties zijn te zien door de invloed van luchtvochtigheid.

2. Hoe kan fijnstofdata worden gemodelleerd in combinatie met meteodata (weersomstandigheden)? Zijn er regionale geografische patroonherkenningen?

Antwoord op basis van onderzoek Nicoleta Cazac:

Fijnstofdata kan gemodelleerd worden in combinatie met meteodata door gebruik te maken van statistische methoden zoals correlatiematrixen en lineaire regressiemodellen. Er dient benadrukt te worden dat weersomstandigheden zoals wind, temperatuur, luchtvochtigheid en neerslag een significante invloed hebben op de PM10 metingen. Wind kan bijvoorbeeld vervuilende stoffen verspreiden of aanvoeren, terwijl hoge luchtvochtigheid kan leiden tot agglomeratie van deeltjes. Er zijn relatief sterke correlaties gevonden tussen PM10 en temperatuur/luchtvochtigheid, wat aangeeft dat deze factoren meegenomen moeten worden bij het mogelijk ontwikkelen van een correctiemodel voor PM10 data. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van complexe modellen zoals LOTOS-EUROS om de verspreiding en chemische samenstelling van fijnstof te voorspellen. De vraag omtrent regionale geografische patroonherkenningen zal in een vervolgtraject duidelijker moeten worden geformuleerd wat hiermee precies bedoeld wordt. De verwachting is dat dit middels het kunnen laten zien van 'animated heatmaps' over een bepaalde periode van gekozen meetboxen beter te duiden valt. Wat wel zeer duidelijk te zien was waren de veel hogere gemeten concentraties tijdens de natte winterperiode en mistige ochtenden.

Wat wordt bedoeld met 'geografische patroonherkenning'?

Het kan zijn dat bepaalde bronnen van fijnstof in een gebied zorgen voor typische patronen in gemeten fijnstofdata. Zodra het mogelijk wordt om dit soort patronen daadwerkelijk zichtbaar te maken middels animaties (heatmaps) van echte data uit metingen zal duidelijker worden hoe dit eruit kan zien. Voorbeelden van patronen kunnen zijn:

Ruimtelijke patronen:

- **Hotspots:** gebieden met consistent hoge concentraties van fijnstof. Deze gebieden bevinden zich vaak in de nabijheid van drukke wegen, industriële zones, intensieve veehouderij, stedelijke centra.
- **Lagedrukgebieden:** gebieden met lage concentraties van fijnstof, vaak te vinden in rurale of groene gebieden ver weg van industriële activiteiten en druk verkeer.

Tijdelijke patronen:

- **Dagelijkse variaties:** fluctuaties in fijnstofconcentraties gedurende de dag, vaak hoger tijdens spitsuren door verkeersopstoppen en lager tijdens de nacht.
- **Seizoensgebonden variaties:** veranderingen in fijnstofconcentraties door de seizoenen heen, bijvoorbeeld hogere niveaus in de winter door verwarming en lagere niveaus in de zomer.

Meteorologische invloeden:

- **Luchtvochtigheid:** hoge luchtvochtigheid kan leiden tot verhoogde metingen van fijnstofconcentraties door sensorverstoringen.
- **Windpatronen:** wind kan fijnstof verplaatsen van industriële bronnen naar woonwijken of van natuurlijke bronnen zoals woestijnen naar stedelijke gebieden

Bron-gebaseerde patronen:

- **Verkeer gerelateerde patronen:** hoger fijnstofniveau in de buurt van grote snelwegen en kruispunten.
- **Industriële en agrarische emissies:** hogere concentraties in de buurt van fabrieken, energiecentrales, agrarische of (glas)tuinbouwbedrijven

Seizoensgebonden invloeden:

- **Winter smog:** verhoogde concentraties van fijnstof in de winter door verhoogd gebruik van houtkachels en andere verwarmingsmethoden.
- **Zomer smog:** verhoogde ozon- en fijnstofniveaus door fotochemische reacties die plaatsvinden onder invloed van zonlicht.

Lokale versus globale Invloeden:

- **Lokale bronnen:** patronen die duidelijk wijzen op lokale bronnen zoals verkeer, bouwactiviteiten en lokale industrieën.
- **Globale transport:** patronen die de invloed laten zien van fijnstof dat door de wind over grote afstanden is getransporteerd, zoals woestijnstof uit de Sahara of rook van bosbranden of vulkaanuitbarstingen.

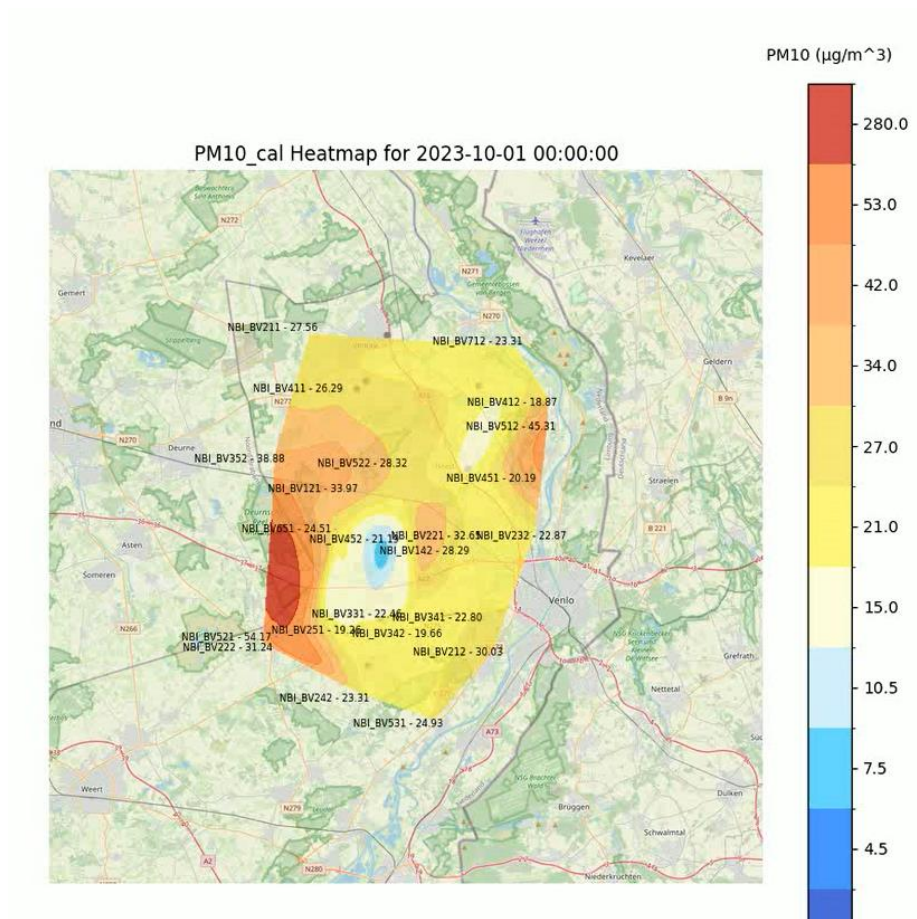
Interactie tussen menselijke activiteiten en natuur:

- **Urbanisatie:** veranderingen in luchtkwaliteitspatronen door stedelijke ontwikkeling en uitbreiding.
- **Groene ruimtes:** effect van parken en bossen die fungeren als filters en leiden tot lagere fijnstofconcentraties in hun omgeving.

3. Hoe en welke visualisaties van fijnstofdata kunnen bijdragen aan het beter kunnen begrijpen van deze data?

Antwoord op basis van onderzoek Nicoleta Cazac:

Om fijnstofgegevens makkelijk te begrijpen, kunnen we kaartjes maken die met kleuren laten zien waar veel of weinig fijnstof is. Deze kaartjes (heatmaps) maken het eenvoudig om te zien waar de vervuiling het ergst is. Ook kunnen grafieken die de fijnstofwaarden over tijd laten zien (tijddiagrammen) helpen om te begrijpen hoe de vervuiling verandert. Met zulke eenvoudige plaatjes kunnen mensen beter zien wat de gegevens betekenen en waar mogelijk problemen zijn.



Voorbeeld van een heatmap PM10

Aanvullend onderzoek student Maksym Kobzar (januari 2024 – juni 2024)

Het onderzoek van Maksym borduurt voort op de resultaten van de vorige student. In afstemming met de stakeholders is gaande de rit besloten niet te focussen op de nauwkeurigheid van de metingen, maar op een betere manier van weergeven van de meetwaarden. De belangrijkste reden hiervoor is dat er in de toekomst betere PM10 meetboxen zullen komen, waarbij de gemeten waarden minder beïnvloed worden door luchtvochtigheid. Het is dan minder nuttig om nu veel tijd te besteden aan bijv. correctiemodellen te ontwikkelen voor de 'oude meetboxen'. Het voorverwarmen van de inkomende lucht zal nodig zijn bij deze betere PM10meetbox waardoor de invloed van hoge luchtvochtigheid aanzienlijk minder wordt. De nadruk van de opdracht van Maksym lag daarom ook in het verder doorontwikkelen van visualisaties en onderzoeken hoe dit in de toekomst gebruikt kan worden door de deelnemers in het project.

Samenvatting van de opdracht van Maksym

Wat is er gedaan?

Tijdens de stage is gewerkt aan het verbeteren van de nauwkeurigheid van PM10-metingen door correctiemodellen te ontwikkelen en te testen. Er is een web-dashboard ontwikkeld om luchtkwaliteitsdata van een netwerk van sensoren in de regio Limburg te visualiseren. Dit dashboard biedt gebruikers een interactieve kaart met gegevens over de luchtkwaliteit, waaronder PM10-concentraties, en maakt gebruik van diverse data-correctiemodellen om de invloed van luchtvochtigheid op de meetresultaten te verminderen. Het dashboard is nog niet bruikbaar voor burgers anno juli 2024. Maksym gaat in overleg met de projectgroep het dashboard nog verder door ontwikkelen, zodat dit wel bruikbaar wordt voor burgers. De verwachting is dat dit richting het eindsymposium 2024 (november) van het Grenzeloos Meten project gepresenteerd kan worden.

Wat is er ontdekt?

Uit de analyse bleek dat de metingen van de Nova SDS011-meetbox sterk beïnvloed werden door hoge luchtvochtigheidsniveaus (boven de 70%), wat leidde tot onnauwkeurige en te hoge metingen. Het gebruik van verschillende correctiemodellen, zoals de HackAir, Köhler en RIVM formules, heeft aangetoond dat de Köhler-formule de beste correctie biedt bij hoge luchtvochtigheid, terwijl de HackAir-formule het beste presteert in stabiele omstandigheden zonder luchtvochtigheidspieken. Uitgebreidere informatie over deze modellen zijn terug te vinden de bijlagen.

Hoe kunnen de gegevens beter worden gemaakt en gebruikt?

Om de nauwkeurigheid van de gegevens te verbeteren, wordt aanbevolen om een gecombineerde aanpak te gebruiken waarbij de HackAir-correctieformule standaard wordt toegepast en de Köhler-correctieformule wordt gebruikt bij detectie van luchtvochtigheidspieken. Daarnaast zou het nuttig zijn om geautomatiseerde tests uit te voeren op de web-infrastructuur om de betrouwbaarheid te waarborgen voordat het systeem wordt uitgerold .

Wat is de volgende stap?

De volgende stap omvat de verdere ontwikkeling en verfijning van het web-dashboard, inclusief de implementatie van geautomatiseerde tests en de optimalisatie van de web-infrastructuur. Er zal ook aandacht worden besteed aan het uitbreiden van het systeem met extra API's voor het ophalen van sensorgegevens en het verbeteren van de gebruikerservaring door feedback van stakeholders te verwerken. Zo is het dan ook mogelijk om bijv. de Ohnics PM2.5 sensoren te koppelen aan dit dashboard.

Deze aanpak zorgt ervoor dat de luchtkwaliteitsdata op een nauwkeurige en gebruiksvriendelijke manier beschikbaar worden gesteld aan de eindgebruikers, wat bijdraagt aan een betere monitoring en begrip van de luchtkwaliteit in de regio Limburg.

Aanbevelingen voor verder te ontwikkelen dashboard:

1. **Gebruik van interactieve kaarten:** Ontwikkel het dashboard met een interactieve kaart als kerncomponent. Dit stelt gebruikers in staat om PM10-waarden in hun specifieke gebied te bekijken en in te zoomen op specifieke locaties. Gebruik kleuren om verschillende niveaus van luchtvervuiling aan te duiden, zodat de kaart in één oogopslag inzichtelijk is .
2. **Implementatie van heatmaps:** Gebruik heatmaps om de verspreiding van PM10 over tijd en ruimte te visualiseren. Heatmaps maken het eenvoudig om patronen en hotspots van vervuiling te identificeren. Zorg ervoor dat de kleurenschaal consistent is met die van officiële bronnen zoals het RIVM voor herkenbaarheid .
3. **Realtime dataweergave:** Zorg ervoor dat het dashboard realtime data weergeeft die continu wordt bijgewerkt. Dit is cruciaal voor gebruikers die afhankelijk zijn van actuele informatie voor gezondheidsredenen of beleidsbeslissingen .
4. **Gegevenscorrectie voor nauwkeurigheid:** Integreer gegevenscorrectiemodellen die rekening houden met weersomstandigheden zoals luchtvochtigheid en temperatuur. Gebruik bijvoorbeeld de HackAir-formule standaard en de Köhler-correctie voor situaties met hoge luchtvochtigheid .
5. **Gebruiksvriendelijke interface:** Ontwerp een intuïtieve en toegankelijke gebruikersinterface. Zorg ervoor dat gebruikers zonder technische achtergrond gemakkelijk navigeren en de benodigde informatie vinden. Voeg tooltips en helpsecties toe voor extra ondersteuning .
6. **Informatie over weersomstandigheden:** Voeg gegevens over weersomstandigheden zoals temperatuur, luchtvochtigheid, windrichting en windsnelheid toe aan het dashboard. Dit helpt gebruikers om de relatie tussen weer en luchtkwaliteit beter te begrijpen .
7. **Mobiele toegang:** Ontwikkel het dashboard met een responsief ontwerp zodat het toegankelijk is vanaf zowel desktop als mobiele apparaten. Dit verhoogt de toegankelijkheid voor gebruikers die onderweg informatie willen raadplegen .
8. **Educatieve content:** Voeg educatieve content toe die gebruikers informeert over de bronnen van PM10, de gezondheidseffecten van luchtvervuiling en hoe ze zichzelf kunnen beschermen. Dit verhoogt het bewustzijn en betrokkenheid van de gemeenschap .
9. **API voor externe toepassingen:** Bied een API aan waarmee externe toepassingen en onderzoekers toegang kunnen krijgen tot de verzamelde data. Dit stimuleert verdere analyse en toepassing van de data door derden .
10. **Periodieke rapporten en meldingen:** Geef gebruikers de mogelijkheid om zich aan te melden voor periodieke rapporten en meldingen over de luchtkwaliteit in hun gebied. Dit kan hen helpen om proactief maatregelen te nemen bij slechte luchtkwaliteit .

Advies over inzet meetnetwerken, met de focus op PM10

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken door de studenten binnen het project "Grenzeloos Meten" het gebruik van Nova SDS011 sensoren, is het advies voor de inzet van meetnetwerken als volgt:

1. **Strategische plaatsing van sensornetwerken:** Het is cruciaal om sensoren strategisch te plaatsen in gebieden met hoge bevolkingsdichtheid en nabij mogelijke bronnen van PM10, zoals industrieën en drukke wegen. Dit zorgt voor een gedetailleerd overzicht van de luchtkwaliteit in verschillende gebieden.
2. **Inzet van betaalbare sensoren:** De Nova SDS011 sensoren zijn een betaalbare keuze en bieden een redelijke nauwkeurigheid voor hun prijs. Ze zijn geschikt voor brede inzet in publieke meetnetwerken, maar aanvullende kalibratie en correctiemodellen zijn noodzakelijk om de invloed van hoge luchtvochtigheid te compenseren. Er dient onderzocht te worden in hoeverre het mogelijk is om een verwarmingselement toe te voegen zodat de metingen nauwkeuriger worden bij een relatieve luchtvochtigheid van meer dan 70%.
3. **Kalibratie en correctie:** Implementatie van kalibratiemethoden om de sensoraflezingen te corrigeren voor luchtvochtigheid is essentieel. Het RIVM heeft een kalibratiemethode ontwikkeld die deze waarden corrigeert om betrouwbaardere data te leveren.

Reflectie op de inzet van publieke meetnetwerken en kansen voor onderbouwd handelingsperspectief

1. **Voordelen van publieke meetnetwerken:** Publieke meetnetwerken zoals "Grenzeloos Meten" betrekken burgers actief bij het monitoren van luchtkwaliteit, wat kan leiden tot verhoogd bewustzijn en betrokkenheid bij milieuzaken. Deze netwerken bieden gedetailleerde, lokale data die kan bijdragen aan beter geïnformeerde beleidsbeslissingen en het identificeren van vervuillingsbronnen.
2. **Uitdagingen en verbeterpunten:** Een uitdaging is de invloed van omgevingsfactoren zoals luchtvochtigheid op de meetnauwkeurigheid. Dit vereist voortdurende kalibratie en dataverwerking om nauwkeurige en bruikbare gegevens te garanderen. Daarnaast is continue educatie en ondersteuning voor burgers die de sensoren beheren noodzakelijk om de datakwaliteit te waarborgen.
3. **Kansen voor handelingsperspectief:** Met nauwkeurige en real-time data kunnen burgers en beleidsmakers snel reageren op luchtkwaliteitsproblemen. Dit kan leiden tot directe actie zoals het aanpassen van verkeerspatronen, regulering van industriële activiteiten en het informeren van de bevolking over gezondheidsrisico's tijdens periodes van hoge vervuiling.

Afstemming met projectteam, RUD Zuid Limburg en RIVM

De samenwerking tussen het projectteam van GreenTechLab, RUD Zuid Limburg en RIVM verliep via regelmatige bijeenkomsten en communicatie om de voortgang te bespreken en problemen op te lossen of:

1. **Projectmanagement en stakeholder betrokkenheid:** Anton Winkelmolen, als projectmanager zorgde voor de organisatie van vergaderingen en communicatie met alle betrokken partijen, inclusief RUD Zuid Limburg en RIVM.
2. **Technische ondersteuning en data-analyse:** Wowa Pavlov (Software Engineer GreenTechLab) en Maksym Kobzar waren verantwoordelijk voor de technische aspecten van

dataverzameling en -analyse, waarbij ze samenwerkten met experts van RIVM voor kalibratie en datavalidatie.

3. **Gezamenlijke vergaderingen:** er werden regelmatige vergaderingen gehouden met vertegenwoordigers van RIVM en RUD Zuid Limburg om technische vragen te bespreken, resultaten te evalueren en verdere stappen te plannen.

Deze samenwerkingsstructuur zorgde voor een effectieve afstemming en voortgang van het project, waarbij elke partij haar expertise en middelen inbracht om de doelstellingen te bereiken.

Keuze voor type PM10 sensor

Nova SDS011 Sensor: De Nova SDS011 sensor is een populaire en betaalbare keuze voor het meten van PM10 concentraties. Deze sensor gebruikt laserverstrooiing om de concentratie van deeltjes in de lucht te meten en communiceert via een seriële interface, wat het eenvoudig maakt om te integreren met verschillende microcontrollers of computersystemen.

Prestaties en Kalibratie: De Nova SDS011 presteert het best onder specifieke omgevingsomstandigheden. Hoge luchtvochtigheid (boven 70%) kan leiden tot hogere meetwaarden, wat aangeeft dat de sensor gekalibreerd moet worden om de invloed van luchtvochtigheid te compenseren. Voor toepassingen die zeer nauwkeurige data vereisen, zijn geavanceerdere meetstations noodzakelijk. De SDS011 biedt redelijke nauwkeurigheid voor zijn prijs. De verwachting is dat toevoeging van een verwarmingselement gaat zorgen voor betere metingen bij luchtvochtigheid boven 70%. Dit concept zal onderzocht moeten worden in een vervolgotraject.

Levensduur NOVASDS11 sensor: de fabrikant geeft aan dat de sensor een levensduur heeft van 8000 uur. Bij een continu meting betekent dit een levensduur van ongeveer 1 jaar en zal de sensor dus elk jaar vervangen moeten worden voor een betrouwbare werking.

Aspecten die aandacht verdienen bij mogelijke uitbreiding van het netwerk

Strategische plaatsing van sensornetwerken: Voor een effectieve uitbreiding van het PM10 meetnetwerk is het cruciaal om sensoren strategisch te plaatsen. Dit omvat locaties met verwachte hoge concentraties van PM10, zoals stedelijke centra, industriële gebieden, en nabij drukke wegen. Daarnaast moeten sensoren ook in landelijke gebieden worden geplaatst om een breder beeld van de luchtkwaliteit te krijgen.

Fijnmazigheid van het grid: De fijnmazigheid van het meetnetwerk moet voldoende zijn om lokale variaties in luchtkwaliteit te detecteren. Dit betekent dat sensoren idealiter op enkele honderden meters afstand van elkaar geplaatst moeten worden, afhankelijk van de lokale topografie en de bronverdeling van vervuiling. Of dit haalbaar is hangt vooral af van het beschikbare budget voor het aantal aan te schaffen PM10 meetboxen in de toekomst.

Betrokkenheid van burgers: Het betrekken van burgers bij het plaatsen en onderhouden van sensoren kan helpen om de dekking van het netwerk te vergroten en de gemeenschap bewust te maken van luchtkwaliteitsproblemen. Educatie en ondersteuning voor burgers zijn noodzakelijk om de datakwaliteit te waarborgen. Zo kan het ook nuttig zijn om een 'kerngroep' van een aantal burgers samen te stellen die regelmatig bij elkaar komen om meetwaarden te bespreken.

Correlatie met buitentemperatuur, windrichting en windsnelheid

Weersomstandigheden zoals temperatuur, wind en luchtvochtigheid hebben allemaal invloed op de hoeveelheid PM10 in de lucht. Warme dagen kunnen meer deeltjes veroorzaken, terwijl koude dagen vervuiling vast kunnen houden. Wind kan vervuiling verspreiden of aanvoeren, en vochtige lucht kan deeltjes groter maken en de metingen beïnvloeden. Het is belangrijk om deze factoren in gedachten te houden bij het analyseren van de luchtkwaliteit. Hieronder een korte opsomming van enkele effecten hiervan.

Temperatuur:

- **Warme dagen:** Als het warm is, kunnen bepaalde gassen in de lucht veranderen in kleine deeltjes (PM10). Hierdoor kan de hoeveelheid PM10 toenemen.
- **Koude dagen:** Als het koud is, kan er een "deken" van koude lucht dicht bij de grond ontstaan. Deze deken houdt vervuiling vast, waardoor de hoeveelheid PM10 stijgt.

Windrichting en Windsnelheid:

- **Sterke wind:** Wind kan als een bezem werken. Het veegt de vervuiling weg en verspreidt de deeltjes, waardoor de lucht schoner wordt. Maar wind kan ook vervuiling van andere plaatsen meebrengen, wat de hoeveelheid PM10 kan verhogen.
- **Weinig wind:** Als het bijna niet waait, blijven de deeltjes op dezelfde plek hangen, waardoor de vervuiling hoger blijft.

Luchtvochtigheid:

Bij hoge luchtvochtigheid

Bij een luchtvochtigheid van meer dan 70% treden de volgende effecten op:

- **Absorptie van vocht door stofdeeltjes:**
Veel stofdeeltjes, vooral hygroscopische deeltjes (zoals zouten), nemen water op uit de lucht. Dit veroorzaakt een toename van het volume en de massa van de deeltjes. Als gevolg hiervan lijken de deeltjes groter en worden ze vaker en sterker gedetecteerd door de laser, wat resulteert in een hogere gemeten PM10-concentratie.
- **Vorming van aerosol-deeltjes:**
Bij hoge luchtvochtigheid kunnen waterdruppeltjes zich vormen of binden aan fijne deeltjes in de lucht. Deze gecombineerde druppeltjes/deeltjes worden door de sensor als grotere deeltjes waargenomen.

Bij lage luchtvochtigheid (<70%)

- Als de lucht droog is, blijven de deeltjes klein en zijn de metingen meestal nauwkeuriger.

Aangezien de luchtvochtigheid in Nederland merendeels >70% is heeft dit dus veel effect op de kwaliteit van de metingen met de gebruikte meetbox.



PM10 DATA ANALYSIS, MANIPULATION AND VISUALIZATION FOR THE “BORDERLESS MEASURING” PROJECT

Final internship report

Internship coach: Frank van Gennip

Company coach: Anton Winkelmolen

Author: Nicoleta Cazac

Institution: Fontys University of
Applied Sciences

Location: GreenTechLab, Venlo, The
Netherlands

Date: 12/01/2024

Word count: approx. 10629

Table of Contents

Abstract.....	2
1. Air quality, particulate matter and its effects on health	3
2. EU regulations on measuring PM10	5
3. Nova SDS011 PM measuring sensor	6
4. GreenTechLab and “Borderless Measuring” project.....	7
5. Assignment milestones and research question.....	8
6. Data gathering and testing	9
7. Visualizing the PM10 data	11
8. Data validity.....	15
9. Coding pipeline.....	22
10. Local vs Global PM10 sources and composition	27
11. PM10 and weather data correlation	30
12. Model for raw PM10 measurements correction.....	33
13. Conclusions.....	37
14. Future progress of the project	39
Appendix.....	40
Appendix A.....	40
Appendix B.....	41
Appendix C.....	42
Appendix D.....	43
Appendix E.....	44
References	46

Abstract

The global concern of air quality, due to its implications for human health and the environment, initiated a collaborative effort in the Limburg region of The Netherlands. This project, involving local municipalities and its citizens, "Connecting Agri & Food", RIVM, and GreenTechLab, aims to establish an air quality measurement network to monitor particulate matter dispersal. Nova SDS011 sensors were distributed and installed to facilitate this analysis. Initial data from these sensors showed pronounced PM10 concentration peaks during late-night and early-morning hours. A key challenge encountered was the sensors' sensitivity to high humidity levels, which could distort the accuracy of the readings. To tackle this, a calibration method is under development, moving away from the RIVM's existing method that did not consider weather impacts, particularly humidity and temperature, thus, potentially ignoring local sources. Informed by research that successfully calibrated sensors using temperature and relative humidity with models like Linear Regression (LR) and Random Forest (RF), this project tested these models. RF tended to overfit the data, while LR, although initially showing less accurate results, demonstrated potential for improved performance with further data manipulation and training. The detailed comparative analysis and the development of a new calibration method marks a pivotal advancement in the project, ensuring more reliable air quality data for the Limburg region. Further sections of the report will elaborate on these previous and ongoing developments and the expected future advancements in air quality monitoring.

1. Air quality, particulate matter and its effects on health

Air quality and pollution is the largest health risk and can have a significant impact on the population, particularly in urban areas (EEA, European Environment Agency, 2023). Main air pollutants include:

- PM10 (particulate matter) -> particles with diameters on 10 micrometers or less
- PM2.5 -> fine particles with diameters of 2.5 micrometers or less; more dangerous than PM10, because they can penetrate deeper into the lungs and enter the bloodstream.
- NO2 -> a red-brown gas that can irritate the lungs and decrease lung function
- SO2 -> produced from the combustion of sulfur-containing fuels, especially coal and oil; irritates the respiratory system and exacerbates respiratory diseases
- CO2 -> produced by incomplete combustion of carbon-containing materials; interferes with the blood's ability to carry oxygen
- NH3 -> ammonia; emitted from agricultural processes; can react in the atmosphere to create PM

This report will solely focus on PM10.

Particle pollution is made up of tiny pieces of solids or liquids in the air, they may include dust, dirt, soot, smoke, drops of liquid, etc. Some particles can be visible with the naked eye, for example smoke, but most of them, due to their size (see Fig.1), are impossible to spot.

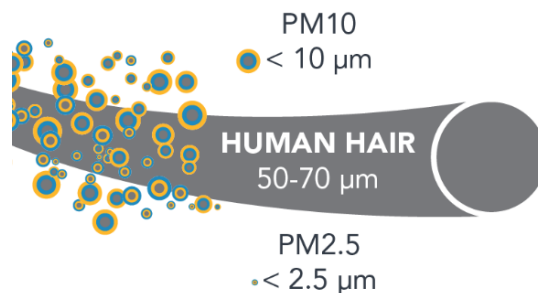


Fig.1: PM comparison to human hair

The PM10 sources include dust, smoke, sea salt, cars, industry, agriculture and construction exhausts, pollen, and high humidity. A model made by Topas (TNO, n.d.) showing the source of PM10 in Utrecht can be seen in Appendix A (Fig.1). What is curious about their model is noticing how one of the main sources of PM10 is Saharan dust. The observations were made using the Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) (Copernicus, Copernicus Atmosphere Monitoring Service, n.d.). More details on this topic will be presented in Chapter 10.

The health impacts of PM10 can vary from eyes, nose and throat irritations to lung cancer, heart disease and birth issues. The impact also depends on risk groups, people with lung disease (for example, asthma), older adults, babies and children.

The human health concerns, including respiratory and cardiovascular issues and mortality, is the main reason PM is measured, but also due to:

- Environmental concerns like visibility (PM can scatter and absorb sunlight, leading to reduced visibility or haze; can impact safety, especially in transportation)
- Ecosystem damage
- Climate change (certain particles can affect the Earth's radiative balance by either reflecting sunlight, thus cooling the surface, or by absorbing it, thus warming the Earth's surface)
- Policy making, to establish air quality standards
- Source identification for targeted pollution control strategies

Given these reasons, many countries and cities have established air monitoring networks to measure PM concentrations. The European regulations regarding particulate matter measurement are given in the following chapter.

2. EU regulations on measuring PM10

The EU air quality standards (ECE, n.d.) are primarily governed by European Union's Ambient Air Quality Directive, which sets the standards for various air pollutants including PM10, to protect human health and the environment. The rules have been revised over time to reflect the latest scientific understanding and to address concerns about air quality across the member states. The amount of PM10 is measured hourly due to data resolution, explicitly, it provides high-resolution data that allows for a detailed understanding of PM10 variation and for immediate public information, allowing for informed decisions for authorities and/or citizens. The hourly average can potentially contain short-term peaks. If PM10 concentrations spike significantly for a brief period within the hour but are lower for the rest of the hour, the hourly average might be within acceptable limits despite that spike. While more frequent measurements can capture short-term variations better, they may also require more advanced equipment, more data storage, and more sophisticated analysis techniques.

Following the EU regulations, the annually PM10 concentration is limited to $40\mu\text{g}/\text{m}^3$, while the daily average should not exceed $50\mu\text{g}/\text{m}^3$.

The European Environment Agency (EEA) (EEA, European Air Quality Index, n.d.) gives the following boundaries for hourly PM2.5 and PM10 concentrations, see Fig.2:

Pollutant	Index level (based on pollutant concentrations in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Good	Fair	Moderate	Poor	Very poor	Extremely poor
Particles less than $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$)	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	75-800
Particles less than $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10})	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	150-1200

Fig.2: Boundaries for hourly PM2.5 and PM10 concentrations by EEA

3. Nova SDS011 PM measuring sensor

The Nova SDS011 sensor is an affordable and very popular choice when it comes to PM measuring system. It is a laser based air quality sensor designed to measure both PM2.5 and PM10 concentrations in the ambient air. The sensor uses the principle of laser scattering, more exactly, the particulate matter in the air will scatter the light emitter from the laser and the scattered light is read by a photodetector. The SDS011 sensor uses an internal factory algorithm to convert the particle concentration to a mass concentration. It typically communicates via a serial interface, making it easy to interact with various microcontrollers or computer systems. The sensor has a fan that draws the air into the sampling chamber. The principle of work can be seen below, in Fig3:

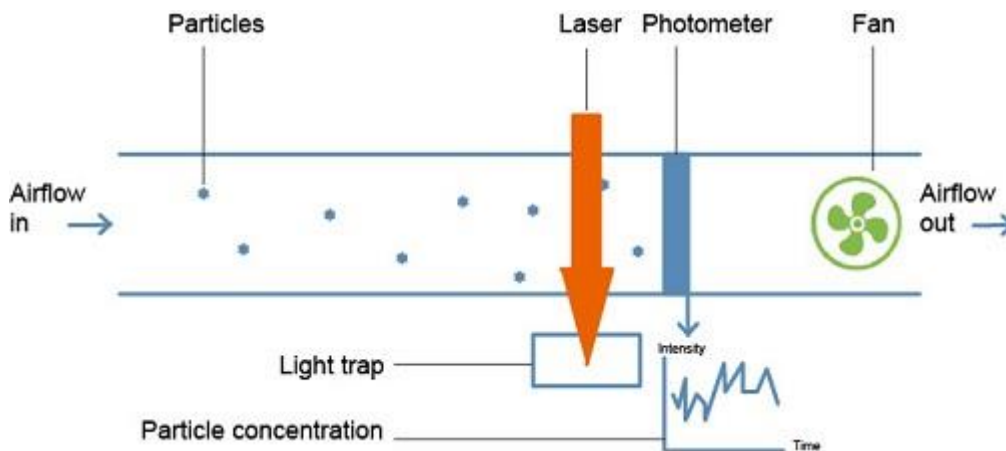


Fig.3: Laser beam sensor work principle

PM10 measurements include PM2.5 because PM10 is a broader category. When PM10 is measured, it inherently includes all particles that are 10 micrometers and smaller, which encompasses the PM2.5 fraction as well. Measuring PM10 and PM2.5 separately would require additional resources and equipment. Since PM10 already includes PM2.5, separate measurements are not always necessary for understanding air quality. The PM2.5 particles are defined from PM10 using mathematical equations applied on the size of scattered light read by the photometer.

The sensor performs best in specific environmental conditions; thus extreme humidity (if humidity higher than 70%, data records received are 46% higher) or very dusty environments might affect its readings. For applications requiring rigorous and highly accurate data, more advanced measuring stations are necessary. The SDS011 sensor provides reasonable accuracy for its price point, thus it is widely used and normally calibrated, in order to give more precise data. Information regarding data validity and calibration techniques will be presented in Chapter 8. A factsheet containing a picture and technical information about Nova SDS011 sensor can be found in Appendix B (Fig.2).

4. GreenTechLab and “Borderless Measuring” project

GreenTechLab (GTL) (Fontys, n.d.) is a research facility situated within Fontys University of Applied Sciences and is known for its work in the agrifood and logistics sectors. Collaborating with governmental entities and Limburg companies, much of GTL’s research is grant-funded. The project they are currently involved in, “Grenzeloos Meten” or “Borderless Measuring”, aim to analyze air quality in the Limburg region, more specifically, focusing on PM10 data received from the sensors. The collaborative initiative engages the participation of local municipalities Horst aan de Maas, Peel en Maas and Venray, these governmental institutions are also the funders of this project; and “Connecting Agri & Food” (CAF, n.d.) as project lead. Data is retrieved via the data portal of RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (National Institute for Health and Environment)) (RIVM, Samenmeten, n.d.). The endeavor seeks to understand PM2.5 and PM10 concentrations in relation to weather conditions, driven by growing public concern over air quality. The goal is to inform environmental policies and provide insights into local air composition, emphasizing particulate matter and odor measurements.

There are currently around 80 official measuring stations across The Netherlands (IQAir, 2023), however, there is a rising demand from the citizens for more granular information about their immediate environment. Specifically, many are questioning the effects of living close to major roads, industrial sites, or farms on their air quality, thus, the main purpose of this project is to offer insight and clarify the exact magnitude of these influences on people’s daily life. The end results of the project are aimed to reveal to the civilians the source and impact of their immediate environment on the air quality. They will be instructed and advised on how to read and interpret the PM10 concentration using the most understandable method of visualizing – heatmaps.

GTL has received around 45 air quality measuring sensors, which they have tested and replaced with new Nova SDS011 sensors. 30 of these sensors have been distributed to citizens located within the project area (see Appendix C (Fig.3, Fig.4)), while also instructing them on how to place and activate the sensors. Receiving data from the sensors involves a SIM card. The sensors are integrated with a cellular module, which connects the sensor to mobile networks. Once the sensor takes a reading, the data is processed by a microcontroller, which then uses the cellular module to transmit the information via the mobile network. This can be sent to a cloud server, enabling real-time remote monitoring of air quality from virtually any location.

GTL offers students the possibility to follow an internship and actively contribute to the projects they partake, thus the milestones and main research question of the assignment are described in the next chapter.

5. Assignment milestones and research question

The main research question of this assignment is “What is the correlation between PM10 concentrations and specific weather conditions in the Limburg region?”, and as a secondary question: “What is the best way to visualize the PM10 concentrations?”. By progressing with the assignment, one more secondary question had to be added: “How can the influence of temperature and relative humidity on PM10 measurements can be utilized to develop a model for improving PM10 data accuracy?”. The goal is to deliver answers to these questions by performing research and implementing a data analysis pipeline, thus following the presented below milestones:

- W36-37 -> Project planning
- W38 -> Data gathering and testing
- W39-40 -> Visualizing via graphs, heatmaps
- W41 -> Verifying data validity using an official measuring station data
- W42 -> Midterm report and presentation
- W43 -> Autumn holiday
- W44-46 -> Find a way to gather at any time complete datasets of project’s sensors data, official PM10 data and weather data (temperature and relative humidity)
- W47 -> Find correlation between PM10, official PM10 measurements and weather data
- W48-49 -> Perform research on how to correct raw PM10 measurements from cheap sensors relying on temperature, relative humidity and reliable official PM10 data
- W50-51 -> Start developing a model to make corrections on raw PM10 data based on weather data and official measurements
- W52-1 -> Winter holidays
- W2 -> Write final report and reflection report
- W3 -> Prepare materials for presentation in W5
- W4 -> Final presentation (25th of January at Fontys University of Applied Sciences)
- W5 -> Give a presentation on project’s progress to civilians at the Knowledge Sharing evening (31st of January at Turfhoeve, Sevenum)

This report’s content will give insight into the completed milestones listed above up until W3, focusing on Analysis and Advice artifacts. The workflow represents a repetitive cycle of gathering, visualizing and making conclusions on the data interpretation. The coding pipeline and GitHub repository will be described and presented later in this report. For the period of the internship the assignment’s progress is guided by Anton Winkelmolen (GTL project lead and internship coach) and Wowa Pavlov (GTL’s software and AI specialist), both involved in the “Borderless Measuring” project.

6. Data gathering and testing

In order to collect the PM10 data from the placed sensors, first step is to identify their geolocation by retrieving the GPS coordinates. All the data for gathering, testing and visualizing was retrieved from RIVM's data portal (RIVM, Samenmeten, n.d.) using the provided API (Application Programming Interface) (RIVM, API-samentemen, n.d.). The sensors send data for every hour, thus the PM10 concentrations are averaged hourly (see Fig.6).

The coding part of this assignment, including gathering, cleaning, manipulating, visualizing and analyzing the data, is done using Python programming language. It offers solutions for the entire data science pipeline, using clear syntax, a vast amount of specialized libraries that make data exploration and visualization seamless. More details on the coding pipeline will be presented in Chapter 9.

Using Python's "requests" library, used to make HTTP requests, first, the timestamp of the lastly received data from each sensor was identified. Taking into consideration that the sensors were distributed to the civilians on the fourth of September, any sensor with the timestamp after this date is considered valid. Below, in Fig.4, a snippet of the excel file made after running the code, is presented:

sensor_name	gps_updated_at	status_gps	coordinates	last_received_data	is_running
BV111	2023-09-25 01:45:17	alive	[6.077, 51.451]	2023-10-11 07:00:00	yes
BV112	2023-09-10 01:45:11	alive	[6.087, 51.502]	2023-10-11 07:00:00	yes
BV121	2023-09-24 01:45:10	alive	[5.961, 51.435]	2023-10-11 07:00:00	yes
BV142	2023-09-20 01:45:12	alive	[6.056, 51.406]	2023-10-09 14:00:00	yes
BV211	2023-09-12 01:45:08	alive	[5.921, 51.534]	2023-10-11 07:00:00	yes
BV212	2023-10-08 01:45:16	alive	[6.102, 51.341]	2023-10-11 07:00:00	yes
BV221	2020-10-01 14:02:34	dead	-	2023-07-03 14:00:00	no
BV222	2023-09-21 01:45:13	alive	[5.875, 51.344]	2023-10-11 07:00:00	yes

Fig.4: Excel snippet of retrieved sensors from the API with corresponding variables

The first column represents the sensors' names, gathered by filtering sensors which names start with "BV". The "gps_updated_at" column shows the timestamp of when was the location of each sensor last updated. As seen, for sensor BV221, the location was not updated after fourth of September this year, meaning that the coordinated will be not retrieved until the timestamp is updated. Nevertheless, it is possible that the GPS only was not updated, but the sensor is producing data. In order to verify this, the "last_received_data" column contains retrieved timestamps showing when did each sensor receive data last time. Based on this information, the "is_running" column is set to either "yes" or "no". The code is written in such a way that it can be run, for example weekly, in order to see if new sensors have been deployed and are running.

Since the RIVM's portal contains a map with the distribution of all sensors in The Netherlands, in order to make it easier to visualize the "BV" sensors within the project's area limits, using the "geotiler" library, a map containing the "running" sensors was created. The map is represented below, in Fig.5:

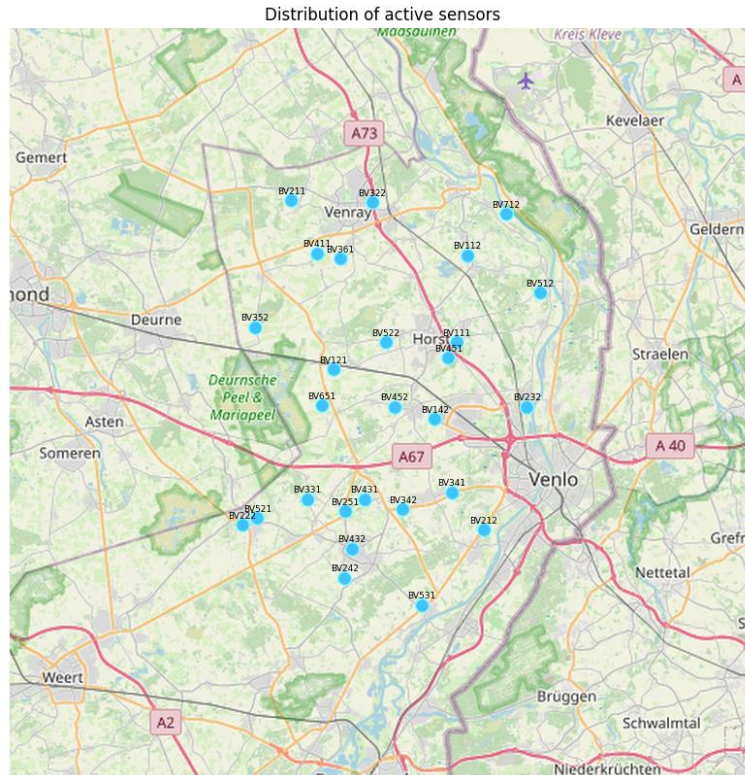


Fig.5: Distribution of active (running) sensors

This map shows the distribution of each sensor of the “Borderless Measuring” project and provides an easier way to spot the sensors and their names. Each blue pointer represents a sensor and contains its name on top.

Due to 5 missing sensors at that point in time, it was decided to organize an informal meeting with the stakeholders. During the meeting, the current progress was shown and it was decided to contact the citizens whose sensors were not visible on the map yet.

7. Visualizing the PM10 data

After the successful data gathering and testing of the sensors' location on the map, the next step is to retrieve the PM10 data from the API for each sensor. Each sensor gives two types of PM10 data: raw PM10 values and calibrated (modified) PM10 values. This chapter focuses solely on raw data received from the sensors, and in the next chapter, calibration and data validity will be explained.

An example of how the raw data retrieved from the API looks, is presented below, in an excel file snippet, in Fig.6:

1	phenomenonTime	BV111	BV112	BV121	BV142	BV211
2	2023-09-27 00:00:00	25.4	35.4	33.8	31.2	39
3	2023-09-27 01:00:00	32.6	42.4	29.8	41.2	42
4	2023-09-27 02:00:00	51.5	41.6	45.6	53.8	32.75
5	2023-09-27 03:00:00	34.4	57.6	73.6	42.6	48.8
6	2023-09-27 04:00:00	37.6	60.4	75.2	36.4	60.4
7	2023-09-27 05:00:00	43.6	113.6	96.8	49	66.8
8	2023-09-27 06:00:00	48	61.6	86.2	52.4	64.5
9	2023-09-27 07:00:00	40.5	39.4	62	40.4	32.75
10	2023-09-27 08:00:00	23	25.8	35	21	25.4
11	2023-09-27 09:00:00	20.33	17.4	26	16.8	24.8
12	2023-09-27 10:00:00	17	15.4	24.6	12.8	18.2
13	2023-09-27 11:00:00	13.8	14.8	29	15.8	18.5
14	2023-09-27 12:00:00	10.75	12	26.4	10	14
15	2023-09-27 13:00:00	11.2	12.4	16.2	9.2	13.2
16	2023-09-27 14:00:00	10.8	11.4	17.4	23.4	11.2
17	2023-09-27 15:00:00	9.2	8.8	15	41	10.8
18	2023-09-27 16:00:00	15	7.4	16.2	30	9.2
19	2023-09-27 17:00:00	12.2	9.6	20	8	10
20	2023-09-27 18:00:00	25	15.8	22	9.4	11
21	2023-09-27 19:00:00	19.2	16.4	24.2	10.2	13.2
22	2023-09-27 20:00:00	14.67	13.25	23.75	10.75	17
23	2023-09-27 21:00:00	11.17	9.4	21	12	13.6
24	2023-09-27 22:00:00	9	9.2	19	11.6	11.2
25	2023-09-27 23:00:00	10.5	7.75	13.75	14.75	8

Fig.6: Excel file snippet of hourly raw data

In this manner, data of hourly ("phenomenonTime" column) PM10 values was requested from the API for every running sensor. The code can be reused in such a way that only "start_time" and "end_time" variables would have to be changed if data for another time interval is wanted.

In order to better understand the big amount of data that was collected, it was necessary to come up with a way to visualize it. Since this dataset contains timeseries values, the "phenomenonTime" column, the timeseries plot is used to graphically represent the data points in a time sequence. The plot can be visualized below, in Fig.7:

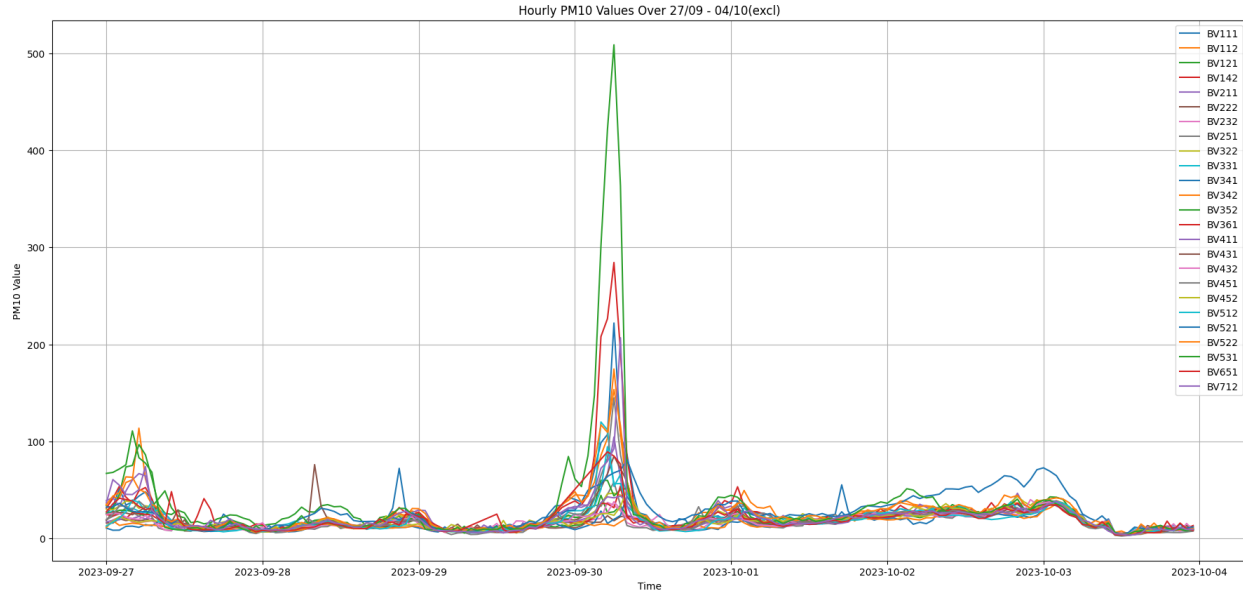


Fig.7: Timeseries plot representing hourly raw PM10 values over a week

The x-axis represents the independent time variable, while the y-axis contains the raw PM10 values starting with 0 and ending a bit over 500. The legend on the upper-right side shows the colors for each sensor name represented as lines within the graph.

Following the PM10 boundaries shown in Chapter 2, Fig.2, it can be concluded that the data is within the reasonable limits most of the time, but, around this timestamp “2023-09-30”, a spike holding extremely high values has formed. As said in Chapter 3, the Nova SDS011 sensors are very sensitive to high humidity, and considering the timestamp of the spike, it occurred late night to early morning when fog and humidity are usually formed. Moreover, if looking at Fig.6, at indexes 4 to 8 included, of the excel file snippet, it is noticeable that PM10 values are higher than during the day. The same pattern is observed for timestamp “2023-09-27” during the same hours in Fig.7.

In conclusion, it can be said that the data during late-night to early-morning is inaccurate, and it is handled by calibrating the sensors, the process will be explained in the next chapter.

The timeseries plot’s main purpose is to display trends (a consistent, long-term upward or downward movement over a specified time period), patterns and fluctuations in data over a specified time interval. In order to visualize the flow of the raw PM10 concentrations on a map, was decided to create heatmaps, one for every hour, showing the distribution of each sensor’s value, using RIVM’s color scheme (RIVM, Samenmeten, n.d.) for the legend. Combining the images of the heatmaps at the end, creates an animation that gives insight into the flow and possibly the direction of PM10 dispersal over the area within the project limits.

First, the dataset from Fig.6 was combined with the “coordinates” column shown in Fig.4. Secondly, using Python code and the same library used to create the map in Fig. 5, the heatmaps were created for every hour over a week. An example can be seen below, in Fig.8:

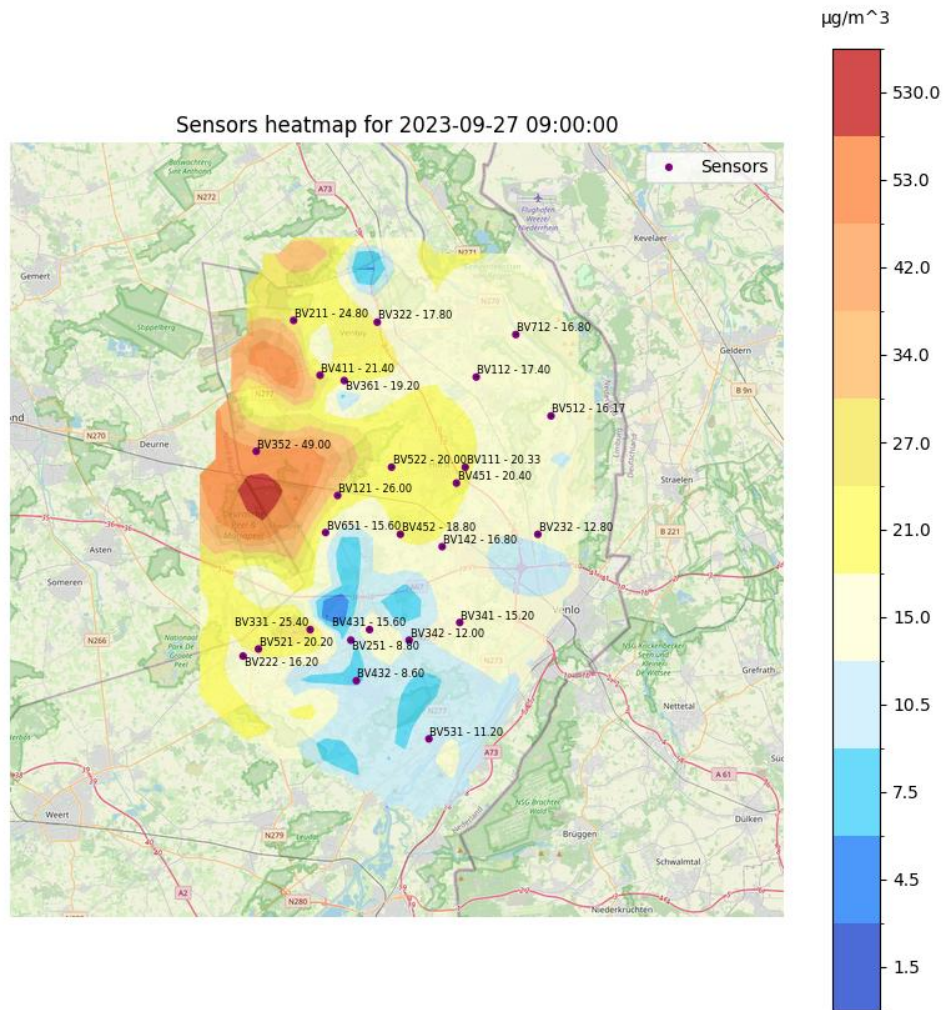


Fig.8: Heatmap showing raw PM10 values distribution for the indicated timestamp

This figure represents the heatmap for the timestamp “2023-09-27 09:00:00”. The purple dots on the map are the sensors’ locations, having the name of the sensor and each one’s raw PM10 value for that hour. The legend’s color scheme and boundaries are the same as the one on RIVM’s data portal (RIVM, Samenmeten, n.d.) up until 60µg/m³. The dark blue color represents values from 0 to 3 and signifies the lowest concentration of PM10, and, on the contrary, the darkest orange color, with boundaries from 47 to 60, represents a high concentration of PM10. Any value higher than that is considered a potential anomaly (sensor malfunction, high humidity, etc.) and will be researched during the next phase – data validation.

In order to create a heatmap, a technique called interpolation is used, to represent the appropriate color on the PM10 values not only at the sensor points, but also between them. Interpolation is the process of estimating values in unmeasured locations based on known values from nearby measured locations. The goal of interpolation is to provide a continuous surface of concentrations across a map, allowing for visualization of patterns. In the same manner, in order to visualize the values outside the sensors placed at the edges, a technique called extrapolation was used. Extrapolation is the process of estimating values outside the known range of data points based on trends or patterns within the known data.

Having one picture per every hour over one week's data, they were put together to create an animation (".gif" file extension) presenting the raw PM10 dispersal over the map. The animation will be shown during the midterm presentation due to the inability to play the file type in the report.

After this milestone was completed, two meetings with the stakeholders took place. During the first meeting, employees from the governmental institutions along with a "Connecting Agri & Food" representative were shown a presentation with the goal of giving insight into the current progress. The planning for future steps to be taken was also presented and discussed. At that point in time, 4 sensors were still not running, thus decision on how to approach this issue and who to contact was made.

The second meeting's goal was to approach more technical questions and issues with the sensors and the received raw PM10 data. The same presentation was shown to a RIVM representative, who has previously worked with SDS011 sensors and gave insights into data validity and the way it is tackled. During this meeting it was also decided to place two SDS011 sensors on the official measuring station in Vredepeel, to further research data accuracy and the calibration precision of the sensors. Further progress was discussed involving weather data and reliable sources for the next milestones of the assignment.

Having the raw data visualization milestone completed and new information regarding data accuracy acquired from the second meeting, next step is research data validity. The process and results are revealed in the following chapter.

8. Data validity

As previously said, there are two types of PM10 values on RIVM'S API recorded by the SDS011 sensors: raw PM10 and calibrated PM10 concentrations. Because the sensors are very sensitive to humidity and give 46% higher values when the humidity is higher than 70%, RIVM came up with a method to calibrate the sensors in order to achieve more accurate data. Below is a citation from their official website (RIVM, Samenmeten, n.d.):

“Most current particulate matter sensors are sensitive to high humidity. The presence of a lot of moisture in the air then causes the sensors to regularly indicate values that are too high. This mainly happens at night and early morning, when the humidity is high and there is quite a bit of particulate matter in the air. On the data portal you will then see very high peaks in the graph. This makes it seem as if the air quality is often very poor in the early morning, while in reality this does not have to be the case. The RIVM(National Institute for Health and Environment)has therefore developed a calibration method to correct these values.”

Currently, there are around 2500 Nova SDS011 sensors in The Netherlands, thus the calibration method plays a big factor for receiving reliable data. By doing this, the goal is to translate a sensor measurement as accurately as possible into the concentration that would have been measured by an official measuring station. An important observation to take into account is that the PM concentration does not vary greatly locally, this assumption was proven true from gathering the official measurements from the National Air Quality Monitoring Networks and knowledge on the PM source by RIVM. After the calibration is done the differences still persist, but the concentrations are more in line with the official measurements. Furthermore, sensor groups are evaluated against interpolated values from several reference stations rather than a single proximate one. The significance given to a specific reference reading depends on its distance to the sensor cluster. Consequently, readings closer to the sensors predominantly impact the correction factor, while distant reference readings have less influence. A unique correction factor is set for every sensor's location. The calibration method used by RIVM is effective since it creates less high peaks, but it is in continuous development, thus it does not always counteract the influence of humidity.

The in-depth behind the calibration method used by RIVM is not disclosed on their portal and it is a topic to be discussed in further meetings with the stakeholders. For the purpose of the assignment, the data of the closest sensor of this project was compared to an official station's data located in Vredepeel. The distance between the two is approximately 5km. Knowing that the concentrations do not vary greatly locally, it is expected that the timeseries plots follow the same trend and there is little variation between the two measurements. The comparison will be first made between raw PM10 data and official measurement's data, following the calibrated PM10 versus official station's data. This way, the effect of the calibration process can be seen.

First, the data received from the official station in Vredepeel, named NL10131, was plotted into a timeseries graph, see below, in Fig.9:

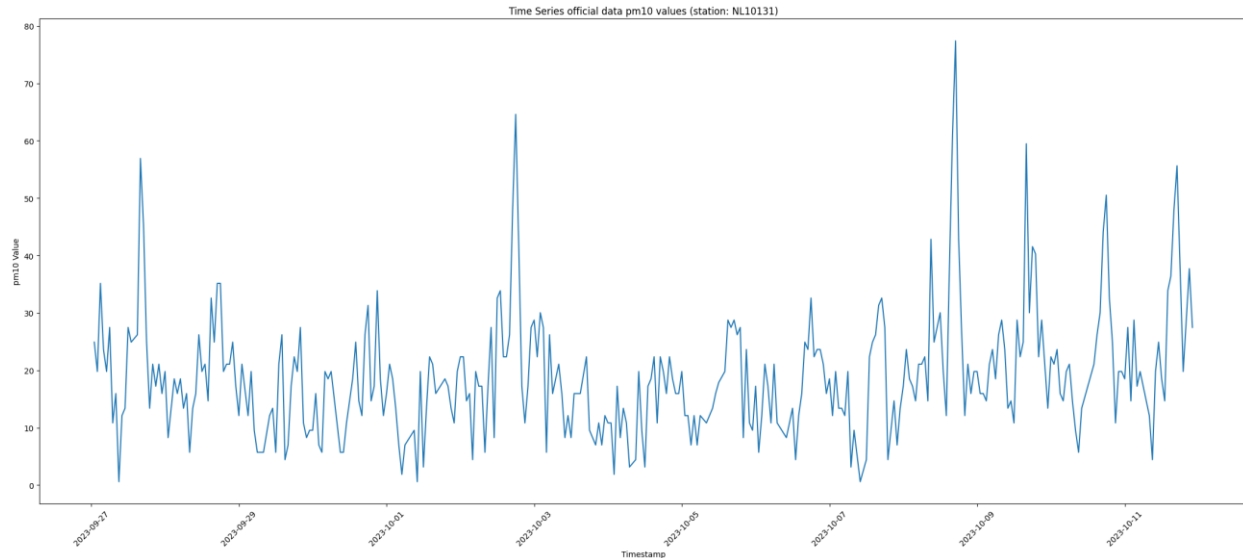


Fig.9: Official station measurements over two weeks

Following the same idea as before, the x-axis represents the timestamps, in this case, over two weeks (from 27/09/2023 to 11/10/2023), and the y-axis shows the PM10 concentrations. It can be observed that the data is distributed similarly over the time interval and the peaks do not rise higher than $80\mu\text{g}/\text{m}^3$. The high peaks are usually formed during mornings and evening, supposedly when high concentration of traffic occurs.

Next, for the same time interval, the raw PM10 data is added to the graph, as seen below, in Fig.10:

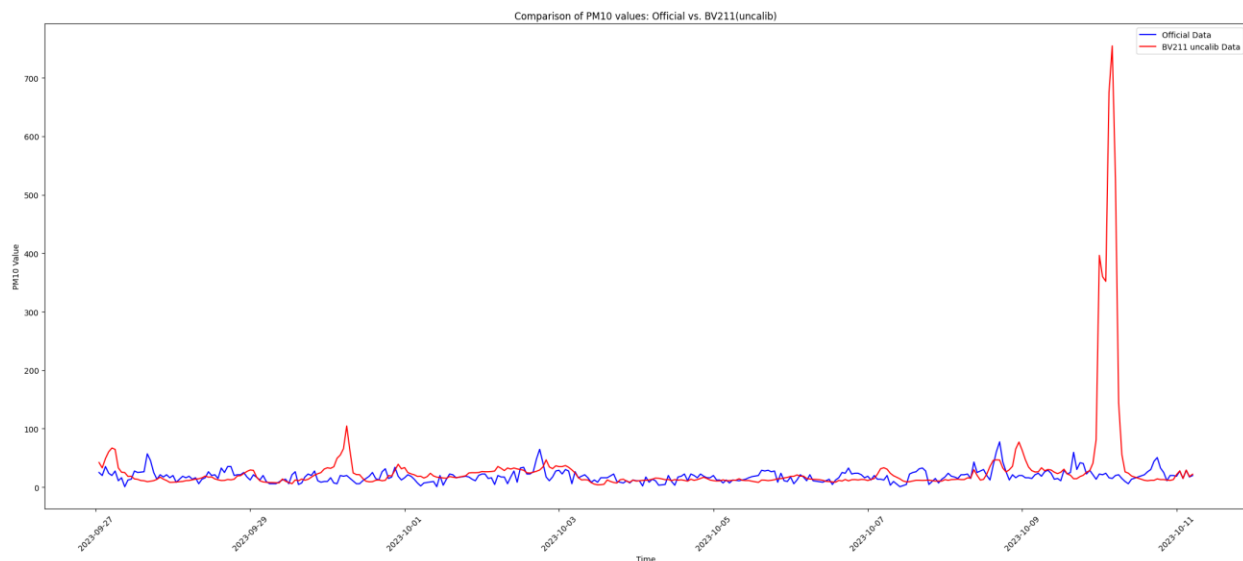


Fig.10: Raw data(red line) vs official data(blue line)

The axes remain the same, only the raw data from the SDS011 sensor has been added. Looking at the graph, the high peak on 10/10/2023 is very noticeable, the y-axis goes over $700\mu\text{g}/\text{m}^3$. This is a good example of humidity influence on the data received from the sensor. Because of the high spike, it is hard to give insight into the variation between the two lines.

Taking the calibrated data now, for over the same time interval, the result graph is presented below, in Fig.11:

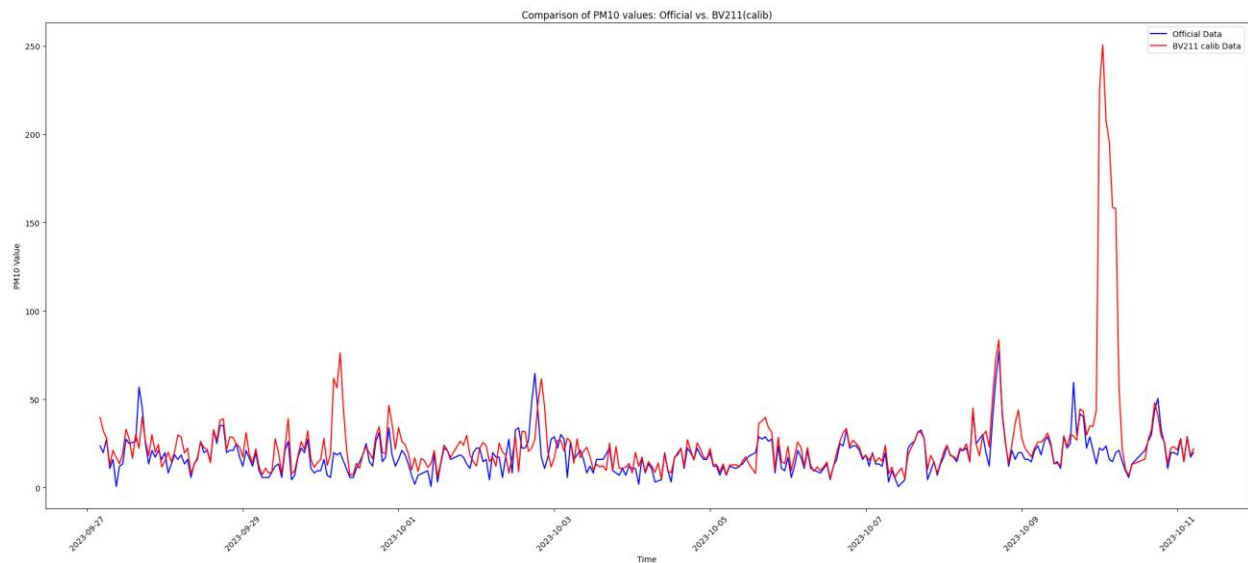


Fig.10: Calibrated data(red line) vs official data(blue line)

The same high peak on 10/10/2023 is present, but now it goes only a bit over 250µg/m³, thus the variation between the two lines is more clear and the lines follow more or less the same trend over the time period. In order to get a better view of the variation in both timeseries plots, the y-axis is cut, now limited to 100µg/m³, presented in Fig.11 and Fig.12.

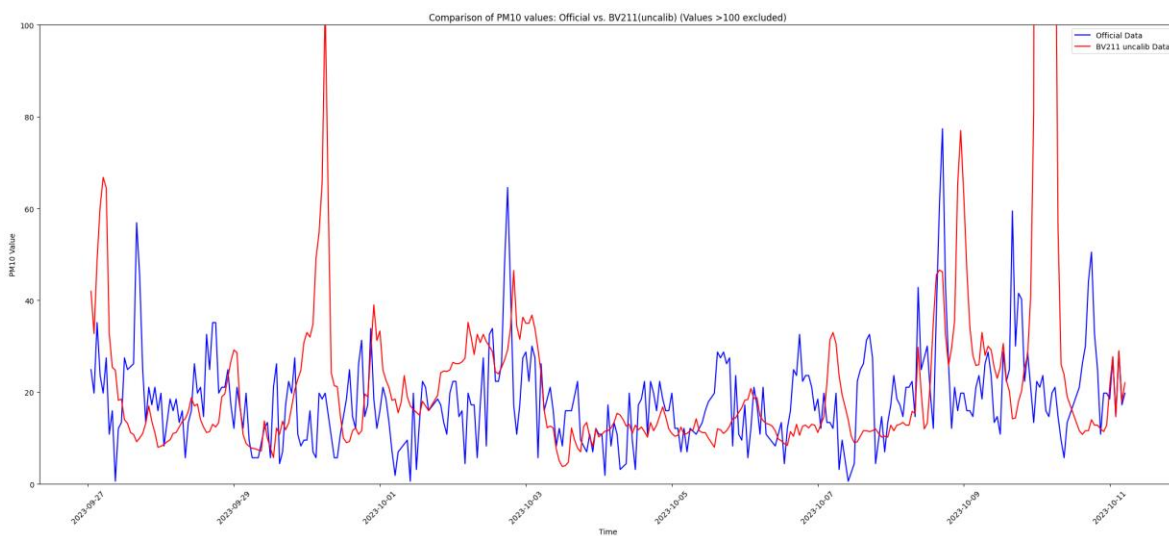


Fig.11: Raw data(red line) vs official data(blue line) – cut

Before explaining the correlation between the two lines, it is important to know that correlation coefficients range from -1 to 1:

- 1: Perfect positive correlation. As one variable increases, the other also increases at a consistent rate.

- 0: No correlation. Changes in one variable do not predict any particular changes in the other variable.
- -1: Perfect negative correlation. As one variable increases, the other decreases at a constant rate.

After running the correlation between the two lines, the coefficient is: 0.032291, suggesting that there is a minimal linear association between the two variables (sensor's data and official data). Indeed, looking at Fig.11, the two lines almost never overlap. Now looking at the calibrated data(Fig.12):

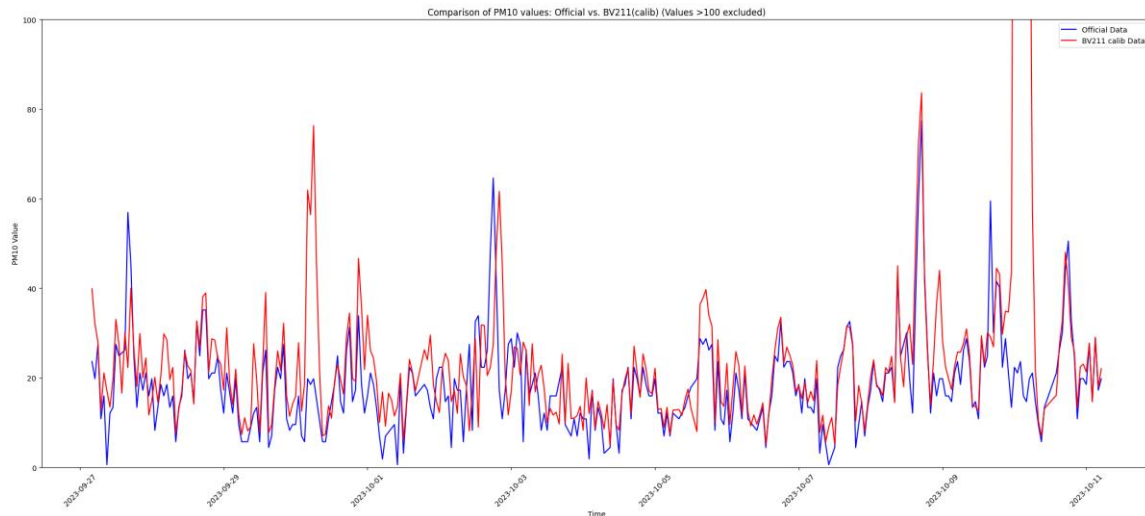


Fig.12: Calibrated data(red line) vs official data(blue line) – cut

Running the correlation on this graph, gives a coefficient of 0.303422, suggesting a higher correlation than previous, when comparing the official data to the calibrated PM10 values. It is noticeable that the lines follow the same trend and there are more similarities. Nonetheless, the coefficient shows a weak to moderate correlation between the two data sets. To gather further insight into the discrepancies between the two data sets, Fig.13 below, represents the differences plot:

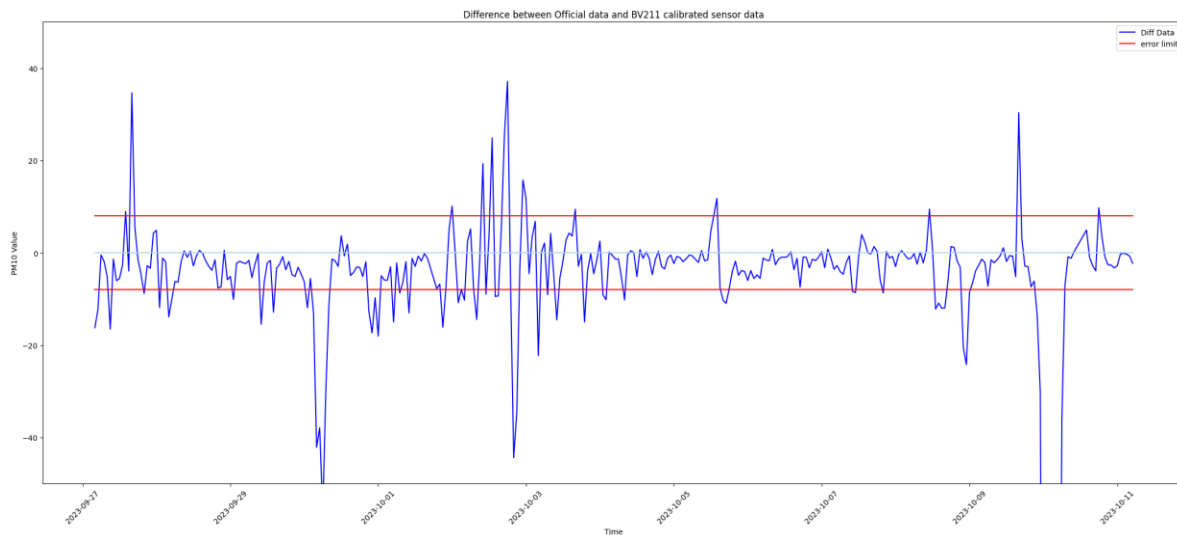


Fig.13: Diff plot of calibrated and official data

This kind of plot compares two data sets, helping to visually highlight discrepancies between them. The red lines represent the error limits: $\pm 8\mu\text{g}/\text{m}^3$, allowed when measuring PM10 data. The spikes visible on the plot are caused by the SDS011 sensor data, thus eliminating the high peaks, would help understanding a more focused correlation between the two concentrations measurements. A time period where the line variation is kept within the error limits is from 04/10/2023 until 08/10/2023. The timeseries plot showing sensor's data and official measurements within the time interval is present below, in Fig.14:

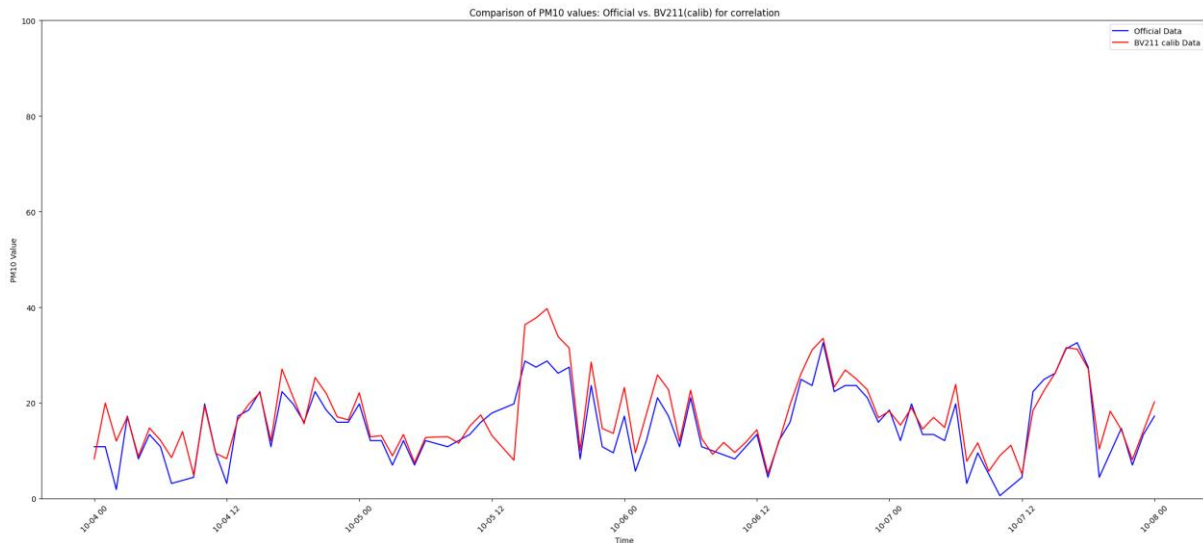


Fig.14: Timeseries for calibrated data(red line) and official data(blue line) for 04/10 - 08/10

After running the correlation, the result coefficient is 0.903097, indication an almost perfect correlation between the two datasets. Knowing that PM10 concentrations above $100\mu\text{g}/\text{m}^3$, when comparing to official measurements, normally suggest anomalies or sensor's malfunction, they will be removed from the calibrated PM10 dataset and replaced with interpolated values. The result is visualized below, in a timeseries plot for the initial two weeks' time interval, see Fig.15.

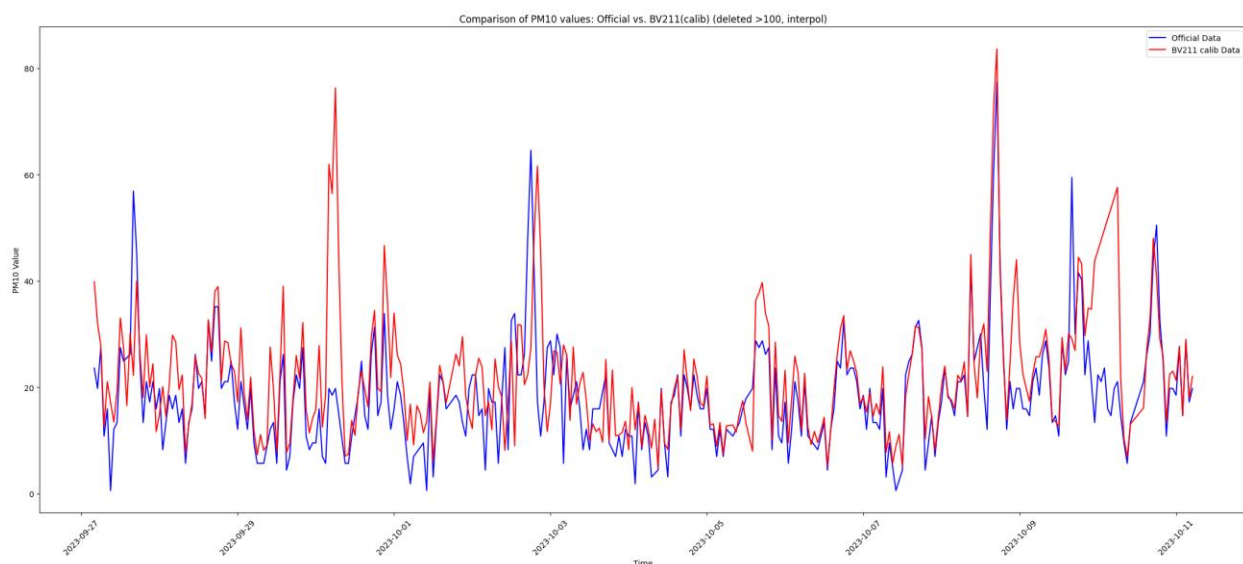


Fig.15: Timeseries for calibrated data(red line) and official data(blue line) no values above 100µg/m³

By just looking at the graph, multiple overlaps are observed for the two data sets. Moreover, after running the correlation, the coefficient is 0.637258, compared to the previous one, where concentrations over 100µg/m³ persisted in the calibrated data – 0.303422. The conclusion withdrawn is that, if eliminating data values above 100 from the calibrated data gives a higher correlation by approximately 2.1006.

Knowing that the SDS011 sensors normally gives higher concentrations than the official measuring stations, a way to prove this is by plotting a scatter graph. This graph is uses dots to represent the values obtained for two different variables – one plotted along the x-axis, and one – along the y-axis. It is very useful when comparing the relationship or/and correlation between two sets of data. Moreover, it helps identify any outliers present in the data and reveal a liner or non-linear relationship.

The scatter plot between the calibrated data set versus the official data is presented in Fig.16.

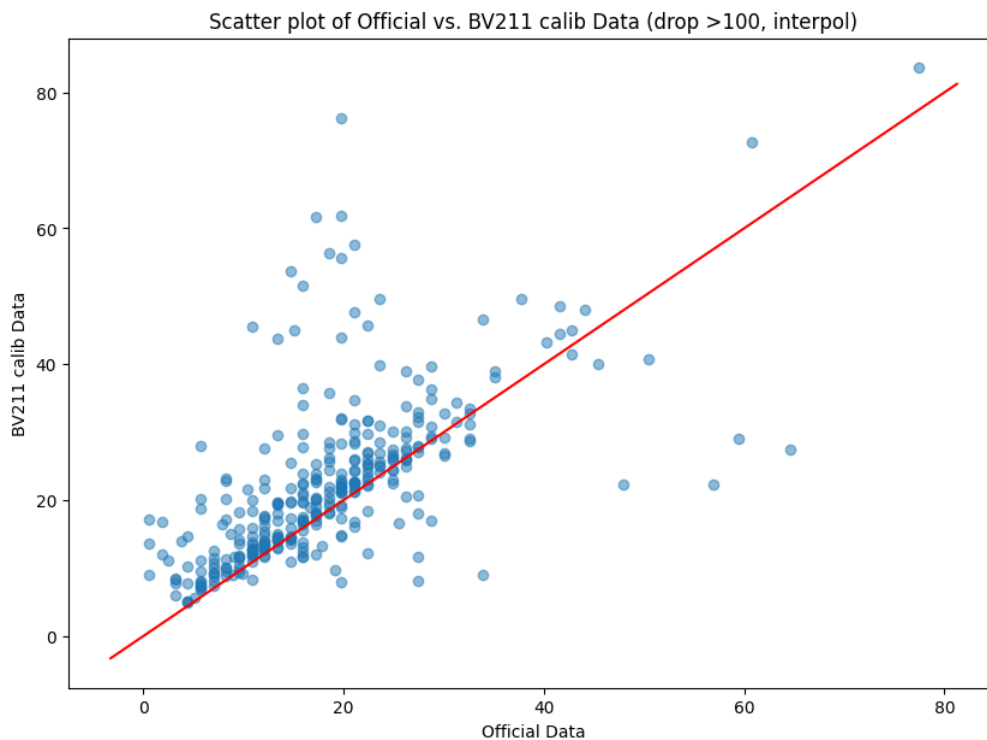


Fig.16: Scatter plot of calibrated data(y-axis) vs official data(x-axis)

The assumption made on the SDS011 sensors proves to be correct by looking at this graph: the y-axis containing sensor's calibrated data had higher values (dots), than the y-axis, containing official station's data. Also, the calibrated data contains more outliers, showing the issue with collecting data during high humidity weather. Nevertheless, there is a clear linear relationship between the two data sets. A linear relationship means that changes in one variable is associated with a proportional change in the other variable, so when the official station's concentrations are higher, the data received from the SDS011 sensor rises as well. This is also shown on the graph by the V-shaped distribution of the dots, going from bottom left corner and opening towards the upper right corner.

The process of removing the PM10 values that exceed the limit of $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ was done purely for research purposes and will not be used for future data manipulation until more information is available about RIVM's calibration method. An assumption is that their method might not capture that well the relative humidity impact on raw PM10 concentrations.

Concluding this chapter, after researching, visualizing and analyzing the data, for further steps, the calibrated data received from the SDS011 sensors, placed in the limits of this project, will be used. The calibration method used by RIVM has shown a much higher correlation between the data sets, thus making the calibrated data more reliable. The results will be presented in future meetings with the stakeholders to show progress and gather more insight into the calibration method. Chapter 11 will continue with progress done on the topic related to sensors' calibration and data validity. The next chapter will dive into the coding pipeline and examples for every step.

9. Coding pipeline

The coding pipeline of this assignment is performed using Python and Jupyter Notebook. Python is a programming language that supports the entire data science pipeline from data collection and storage, to cleaning, manipulating, visualizing and analyzing the data. Jupyter Notebook is used to create interactive notebook documents that can contain live code, equations, visualizations, media and other computational outputs. Compared to Python scripts, Jupyter Notebook allows to run code cells one at a time, making it a great tool for experimenting and moving code cells around. Thus, in combination, the two tools create a user-friendly environment, supporting the whole coding pipeline for working with big data. Visual Studio Code is used as the Integrated Development Environment (IDE). An IDE is a software application mainly including a code editor, a compiler and a debugger, integrated into a single interface.

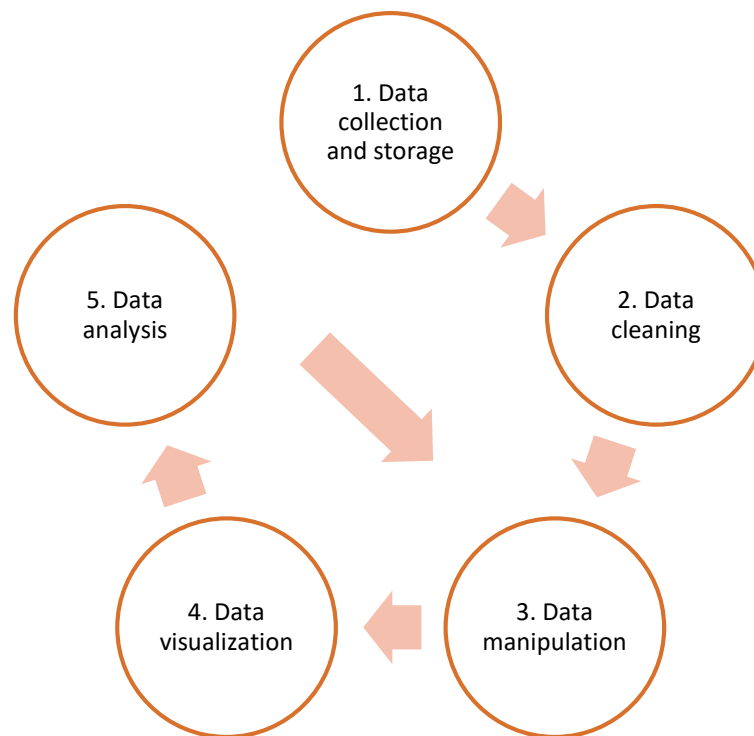


Fig.17: Coding pipeline

Above, Fig.17 shows the entire coding pipeline used for achieving specific goals while working with data. Next, each step will be explained and accompanied by according code snippets:

- **1. Data collection and storage:** Data from the sensors is being collected through RIVM's API (RIVM, API-samentemen, n.d.). Data is requested by public Application Programming Interface (API), which consists of a set of typical endpoints for Internet of Things (IoT) (OGC, n.d.): Things (containing IoT ID, name, description, project name, etc.), Datastreams (containing IoT ID, measurement type name, measurement unit, etc.), Observations (containing IoT ID, date-time of the observation, result, etc.), etc. It provides an open, geospatial-enabled and unified way to interconnect the IoT devices, data,

and applications over the Web. The server behind the API is GOST server (mltpl, n.d.). The way the data is stored on the server is not exactly known and it is out of the interest area. The HTTP request is created using the OpenData (OData) convention in the URI (OData, n.d.).

Below, Fig.18 represents a code snippet showing the construction of the URL for the API request. “info_request” hold the initial URL setup, the base URL for the API, including a parameter “\$filter”, which is used in the APIs to specify conditions that the returned data must meet. Next, the “endswith” parameter adds a condition to the request URL that filters the data where the name of the sensor ends with the specific sensors of the project. The following “\$expand” statement is used to include related entities: it expands “Locations” and “Datastreams/Observations” to get to the place where the PM10 measurements are stored. Finally, it returns the constructed URL stored in “info_request”.

```
info_request = 'https://api-samenmeten.rivm.nl/v1.0/Things?$filter='

for idx, sensor_id in enumerate(sensor_list):
    info_request += f"endswith(name,%27{sensor_id}%27)"
    if idx != len(sensor_list) - 1:
        info_request += "%20or%20"

info_request += f'&$expand=Locations,Datastreams/Observations($skip={multiplier})'
return info_request
```

Fig.18: API request example

Getting the final result of a dataframe containing sensor names, date-time values and corresponding observations includes more data cleaning and manipulations which are presented in the Github repository (Cazac, n.d.), in the “RIVM_sensors.ipnyb” file. The data is stored at the same consistency as taken from the API, meaning no interpolation is being done for the project sensors’ data. If a sensor did not receive the PM10 measurement for a specific timestamp, it is excluded from the heatmap for that timestamp.

The official PM10 measurements data is requested in the same manner from the station in Vredepeel, which is the closest to one of the project’s sensors. This data is complete and ready to be used.

The hourly (Vajs, Dragic, Gligoric, Radovanovic, & Popovic, 2021) weather data is taken using KNMI’s (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) website tool (KNMI, n.d.), where parameters like start date, end date, fields (temperature, relative humidity, wind speed, air pressure, etc.) and weather station are chosen. For weather analysis, the station in Arcen is chosen, as it is the closest to one of the project’s sensors. Finally, the file can be exported as CSV, JSON, or XML format.

All three complete datasets are saved as Excel files for sharing with the project members purposes, and as a “pickle” file format. Pickling is the process of converting a Python object (like a dataframe) into a byte stream. This byte stream can then be stored as a file on disk, which is commonly referred to as a pickle file. This file can be written to (“to_pickle(dataframe_name.pickle)”) and read from

("read_pickle(dataframe_name.pickle)"). It is a convenient way to save and use the file throughout a Python project, as it is also faster than reading from text files like CSV.

- **2. Data cleaning:** This process ensured the accuracy and consistency of data. It includes tasks like removing duplicates, correcting errors, standardizing data formulas, etc.

```
weather_data['YYYYMMDD'] = weather_data['YYYYMMDD'].astype(str)
weather_data['H'] = (weather_data['H'] - 1).astype(str).str.zfill(2)
weather_data['Datetime'] = weather_data['YYYYMMDD'] + ' ' + weather_data['H'] + ':00:00'
weather_data['Datetime'] = pd.to_datetime(weather_data['Datetime'], format='%Y%m%d %H:%M:%S')
weather_data = weather_data.drop(['YYYYMMDD', 'H'], axis=1)
```

Fig.19: Weather data cleaning example

Above, Fig.18 shows a code snippet with the aim to create a new column, "Datetime", which represents the date and time in a standard format. First, the column "YYYYMMDD" received from the KNMI website (KNMI, n.d.) is converted to type string. Next, the column "H", representing the hour, is decremented by one, so the data logged at the end of each hour, is representing the hour leading up to that time. The hour values are also padded with a leading zero, if necessary, to maintain a consistent hour format for later combination with the date. In the next line, the time is added to the date, followed by ":00:00" to represent minutes and seconds, the result string combines the date and hour into this format: "YYYYMMDD HH:00:00". This string is then converted into a pandas DateTime object using the specified format. Finally, the original columns "YYYYMMDD" and "H" are dropped from the "weather_data" dataframe, as their information is now encapsulated in the new "Datetime" column.

- **3. Data manipulation:** While data cleaning has the goal to fix the data, data manipulation has the purpose of transforming/changing the data to make it easier to work with. It includes processes like: aggregating the data to create summaries, combining datasets, reshaping datasets, etc.

Below, Fig.20 shows a code snippet where three dataframes are merged together: the "official_pm10" containing PM10 measurements from the official station in Vredepeel, the "weather_data" dataframe containing weather measurements like temperature, humidity, etc., and the "pm10_values_only" dataframe containing PM10 measurements from project's sensors. The last one is a multiIndex dataframe, it stores both "pm10" and "pm10_cal" (calibrated) values, thus it first filters out the columns where the second level of the index equals "pm10". After the three dataframes have been successfully merged, the final dataset is sorted in a descending order, based on the index ("Datetime" column), keeping the most recent observations first.

```

official_pm10.rename(columns={'pm10': 'official_pm10'}, inplace=True)
weather_official_merged = pd.merge(weather_data, official_pm10, left_index=True,
                                   right_index=True, how='left')

pm10_values_only = pm10.loc[:, pm10.columns.get_level_values(1)=='pm10']

pm10_values_only.columns = pm10_values_only.columns.get_level_values(0)

pm10_weather_official = pd.merge(weather_official_merged, pm10_values_only, left_index=True,
                                   right_index=True, how='left')

pm10_weather_official.sort_index(ascending=False, inplace=True)

```

Fig. 20: Merging dataframes example

- **4. Data visualization:** Data visualization in Python is a powerful approach to represent data graphically, making it easier to understand in interpret big/complex datasets. Python offers a wide range of libraries and tools that facilitate the creation of plots, graphs, charts, histograms, etc. Several examples of such libraries are: Matplotlib, one of the most popular Python libraries, Seaborn, Pandas, Plotly, etc. Depending on the nature and dimensionality of the data, the most suited library or a combination of libraries is used. A good visualization is meant to not only convey the correct information, but also do so in a clear and aesthetically pleasing manner. This includes considerations like schemes, labels, titles, and, if required, interactive elements like hover-tools, sliders and buttons.

```

import matplotlib as plt

pm10_columns = [col for col in df.columns if 'pm10' in col and 'pm10_kal' not in col]
df_pm10 = df.loc['2023-09-27':'2023-10-04', pm10_columns]

plt.figure(figsize=(15, 7))
for column in df_pm10.columns:
    plt.plot(df_pm10.index, df_pm10[column], label=column)

plt.title('Hourly PM10 Values Over 27/09 - 04/10(excl)')
plt.xlabel('Time')
plt.ylabel('PM10 Value')
plt.legend()
plt.show()

```

Fig.21: Creating a timeseries plot example

Above, Fig.21 represents a code snippet showing the creation of a timeseries plot using the Matplotlib library. First it filters the “pm10” column only, then the time interval is specified, in this case from “2023-09-27” to “2023-10-04”. Next, the size of the plot is set and the plot is created using the “Datetime” column index and the pm10 values of every sensor. Finally, the title, the names of the x and y axes, and the legend are set, ending with the “plt.show()” command to visualize the plot. The result of this code snippet can be seen in Fig.7: Timeseries plot representing hourly raw PM10 values over a week.

- **5. Data analysis:** After all the previous steps are completed, the next one is analyzing and making conclusions on the results. As an example, looking at Fig.7, it is clear the higher values for the raw PM10 concentrations, are noticed during late nights – early mornings, when the humidity is highest and without the proper calibration, they will give unreliable data.

As presented in Fig.17, after the first two steps, data collection and cleaning, are done, the following three, data manipulation, visualization and analysis go in a loop. Concluding this chapter, several reasons are presented below, explaining the need for the iterative nature of the coding pipeline:

- **Iterative improvement:** Working with data is an iterative process. Initial analysis can often reveal trends or issues that require to go back to manipulate the data differently to better understand underlying patterns.
- **Exploratory Data Analysis (EDA):** As different aspects of the data are visualized, there is often the need to manipulate it to highlight different features, or to inspect into more details.
- **Feedback Loop:** The insights gained from analysis can lead to new questions, requiring further manipulation and visualization to answer these new questions.
- **Dynamic data:** In many real-world applications, data is continuously being collected, requiring the pipeline to be dynamic and iterative to update the analysis and visualizations with new data. In this case, as the time passes, the dataframe containing readings from project's sensors is constantly updated with newest values, which are being analyzed to notice whether it behaves differently or the same over time.

The full code written for this assignment can be seen on GTL's GitHub repository (Cazac, n.d.).

10. Local vs Global PM10 sources and composition

The terms “local” and “global” composition of PM10 refers to the sources and characteristics of particulate matter at different scales – locally (in a specific area or region) and globally (across the globe). Understanding these differences is crucial for sensors’ calibration and explanation of the topic to the stakeholders/civilians who take part in this project.

Local sources of PM10 often include road traffic (like exhaust emissions), industrial and construction activities, and local natural sources like pollen or dust. On the other hand, on a global scale, sources of PM10 include natural phenomena like volcanic eruptions, desert dust, sea salt spray, and forest fires. The global distribution and transport of PM10 are influenced by atmospheric circulation patterns, as seen below in Fig.22, taken from the NILU independent research institute (NILU, n.d.):

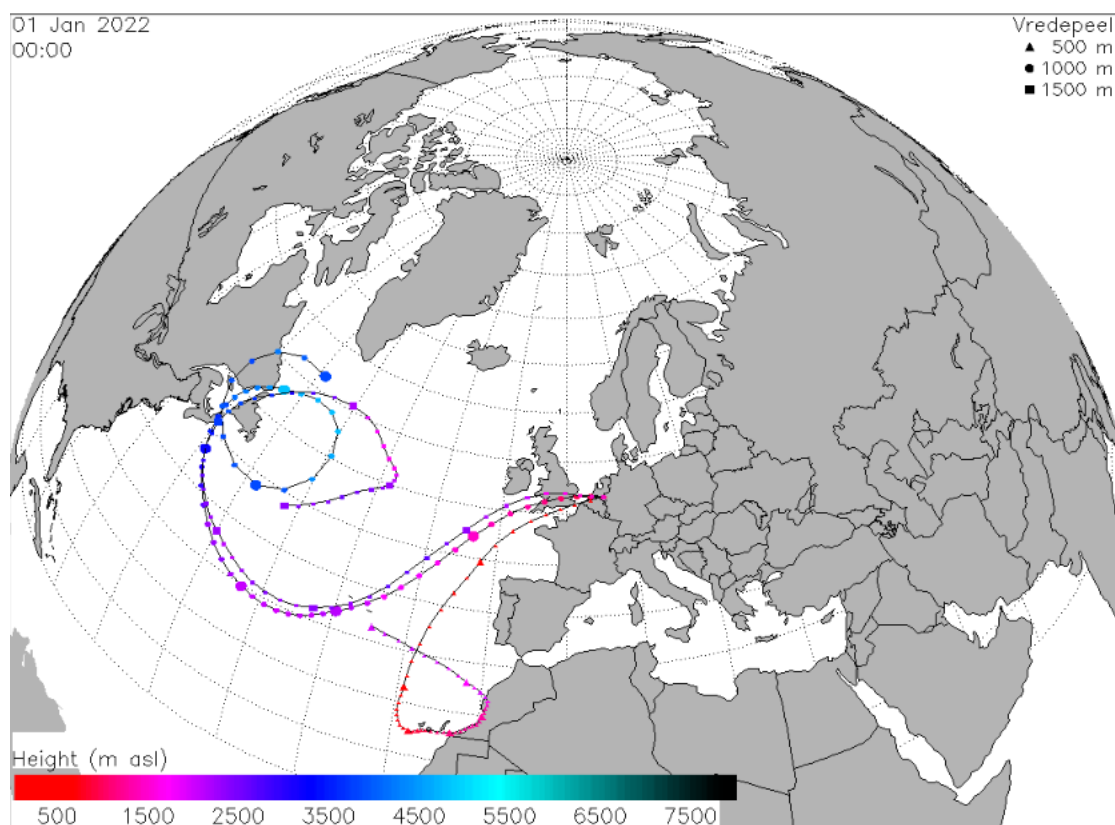


Fig.22: Air mass trajectories towards Vredepeel

This figure presents the air mass trajectories, which are primarily determined by prevailing wind patterns and weather systems. For example, the figure presents the transportation trajectory of Sahara dust and sea salt spray towards Vredepeel. If looking at Appendix A (Fig.1), at the plot presented by TNO, it is noticeable that days when the concentration of PM10 is higher, it is mainly composed of Sahara dust or/and sea salt spray (check legend).

In order to determine the sources for the particulate matter composition, TNO is using a very complex mathematical air quality modeling system named LOTOS-EUROS (A.M.M. Manders-Groot, 2021). It is designed to model and predict concentrations of various air pollutants, including ozone (O3), nitrogen oxides

(NO_x), sulfur dioxide (SO₂), particulate matter (like PM₁₀), and volatile organic compounds (VOCs). While it has a particular focus on Europe, the model can be applied to other regions as well. The system is used by researchers and policymakers to understand air pollution dynamics, assess the effectiveness of air quality regulations, and plan future policies. It's particularly useful in studying cross-border pollution and the long-range transport of air pollutants. LOTOS-EUROS can simulate chemical reactions in the atmosphere, the formation and dispersion of pollutants, and the influence of meteorological conditions on air quality. It integrates data from various sources, including meteorological data, emission inventories, and observational data from air quality monitoring stations. For the impact assessment, it is used to analyze the impact of human activities on air quality, including traffic, industry, agriculture, and residential heating. Along with the enumerated applications of this model, it can also contribute to studies on how climate change might affect air quality in the future, as well as assessment of potential public health impacts due to air pollution. Below, Fig.23 shows an example of the LOTOS-EUROS model application to find out the chemical spectrum of PM₁₀ in Aachen taken from the Copernicus Air Control Toolbox (Copernicus, Copernicus Atmosphere Monitoring Service, n.d.):

PM₁₀ Composition

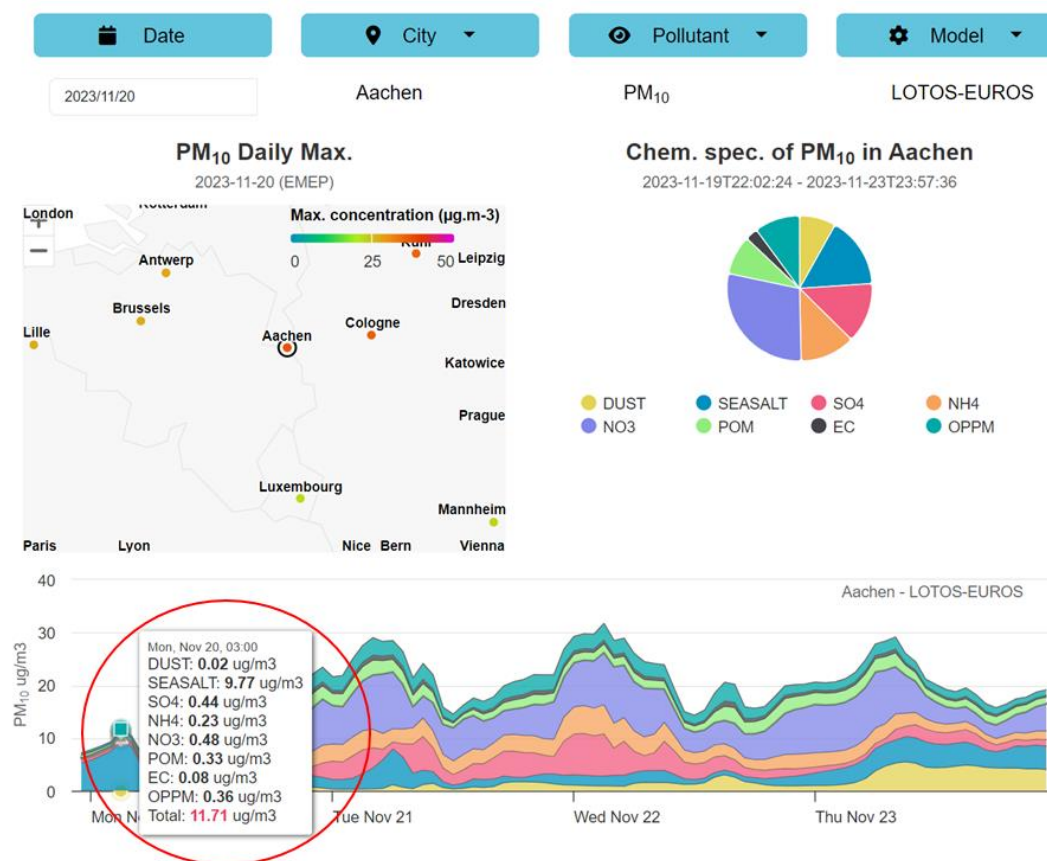


Fig.23: LOTOS-EUROS PM₁₀ composition example

The red highlighted circle on Fig.23 shows the PM10 composition for 20/11/2023. As seen, the total PM10 concentration is $11.71\mu\text{g}/\text{m}^3$, of which $9.77\mu\text{g}/\text{m}^3$ is sea salt. In conclusion, after this findings, it was decided to inspect the local vs global composition of the PM10 concentrations received from project's sensors. The following research of this topic and in depth examination of the LOTOS-EUROS model was performed by Wowa Pavlov.

The other necessary task was to get detailed information on RIVM's calibration method and identify how they process local and global sources impact on the sensors' data. It was discovered that RIVM's method removes all the local sources and weather impact on the measurements, since they use a reference method for the calibration. More exactly, they compare the readings from the low-cost PM10 sensors with those from high-quality reference sensors. The downside of this method is that the calibration may standardize readings across different locations, potentially overlooking local environmental factors that could affect sensor readings, such as local sources of pollution. Since a very important goal of this project is to give an explanation on the local sources of PM10 to the civilians, it was decided to only use raw PM10 data from RIVM's API, find the correlation between raw PM10 data and weather data, and start developing an own calibration model. Since these values are highly influenced by temperature and high humidity, next step is to find correlation between raw PM10 sensor readings and weather data. The process and results are presented in the following Chapter.

11. PM10 and weather data correlation

There is a close relationship between PM10 data and weather conditions. As seen in Fig.11, there are multiple discrepancies between raw PM10 data and official data, which are mostly caused by reading particles during high relative humidity occurrences. Weather variables can significantly influence the levels and behavior of particulate matter in the atmosphere, for example:

- **Wind:** Strong winds can disperse air pollutants, potentially lowering PM10 concentrations in a local area, or conversely, can transport pollutants from other areas, raising concentrations.
- **Temperature:** Higher temperatures can lead to the formation of secondary particulates from precursor gases, while inversions caused by low temperatures can trap pollutants close to the ground.
- **Humidity:** High humidity can lead to the agglomeration of particles, affecting their size and concentration.
- **Precipitation:** Rain can remove particulates from the air, effectively "washing" the air and reducing PM10 levels.
- **Atmospheric pressure:** High pressure can lead to stable atmospheric conditions, trapping pollutants near the surface, while low pressure can lead to more turbulent conditions, dispersing them.

Thus, the following correlation matrix is presented below, in Fig. 24. Correlation matrices are powerful tools for summarizing large datasets and for identifying relationships between variables. The correlation matrix above represents a table containing cells, each of which is showing the correlation coefficient between two variables. The value is in the range of -1 to 1. If two variables have high correlation, it means that when one variable changes, the other variable tends to change in a specific direction:

- **A correlation of 1:** indicates a perfect positive correlation, meaning as one variable increases the other variable also increases.
- **A correlation of -1:** indicates a perfect negative correlation, meaning as one variable increases, the other variable decreases.
- **A correlation of 0:** indicates no linear relationship between the variables (linear relationship explained under Fig.16)

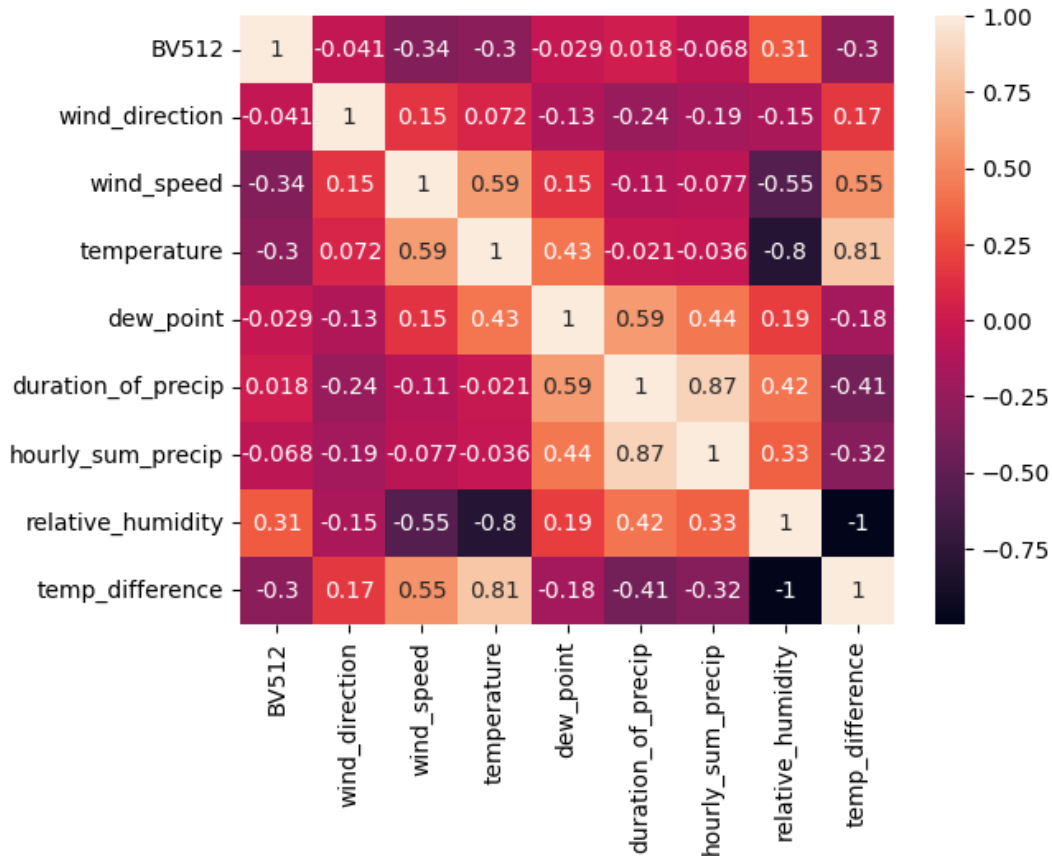


Fig.24: PM10 and weather data correlation matrix

The two weeks' data used in the figure above shows "BV512" representing data from the closest sensor to the official weather station, "wind_direction", "wind_speed", "temperature", "dew_point", representing the temperature at dew point, "duration_of_precip", representing duration of precipitation, "hourly_sum_precip", representing hourly sum of precipitation, "relative_humidity" and "temp_difference", representing the difference between temperature and temperature at dew point. The difference between the temperature and the temperature at dew point gives an indication of relative humidity, this is why, as seen in the matrix, the intersection between "temp_difference" and "relative_humidity" return a perfect negative correlation (-1), meaning that: as the temperature difference increases, the relative humidity decreases, and vice versa. Both relative humidity and difference between temperature and temperature at dew point are used, due to two aspects:

- **Humidity:** Directly measures the amount of moisture in the air. High humidity can lead to particle growth by hygroscopic processes, while low humidity can increase the suspension of dry particulate matter.
- **Temperature-Dew point difference:** Indicates the relative humidity. A smaller difference means higher relative humidity, which can affect the capacity of the air to absorb pollutants. It also influences the formation of fog or dew, which can remove particles from the air.

There is also a strong -0.8 correlation coefficient between “temperature” and “relative_humidity”, which denotes the same idea described in the previous example. For the scope of this task, the first row of the matrix is interesting: overall, there is no noticeable high positive or negative correlation between data from BV512 and any of the weather data. This is explained by the fact that the relation between PM10 and weather conditions is far more complex and it is explained in detail in TNO’s LOTOS-EUROS reference guide (A.M.M. Manders-Groot, 2021). Nevertheless, knowing that the low-cost SDS011 sensors are highly influenced by relative humidity and looking at the correlation matrix in Fig.24, it is noticeable that these two weather variables have a higher coefficient (-0.3 and 0.31) than the rest weather factors (-0.041, -0.029, 0.018 and -0.068). Thus, it was decided to focus on the following weather variables: temperature, relative humidity and the difference between temperature and temperature at dew point. Even though “wind_speed” has a similar correlation coefficient (-0.34), as the other 3 variables, it will not be used in the analysis, since the relationship is way more complex and depends on tens of levels of altitudes (A.M.M. Manders-Groot, 2021).

Together, these measures help to capture the complex interactions between temperature, moisture, and particulate matter, which are not fully represented by either metric alone. This dual approach can improve the accuracy of the future development of the model.

Appendix D (Fig.5) contains an image showing the project team discussing Fig.24 during a weekly project meeting.

The following chapter will go through the steps taken in order to start developing a PM10 data correction model based on the three weather variables that have the most influence on project’s sensors PM10 measurements.

12. Model for raw PM10 measurements correction

Due to the Nova SDS011 sensors being very sensitive to high relative humidity, and precisely, if RH is higher than 70%, readings are ~47% higher, it was decided to start looking into developing a model for raw PM10 values correction. Since this issue with low-cost sensors is well known and common, multiple research papers have been published, diving into possible models that could be applied. A curious finding was a publication from a group of researchers from the University of Belgrade, Serbia. In their research paper (Vajs, Drajić, Gligoric, Radovanovic, & Popovic, 2021) they are discussing the limitations of existing government air quality monitoring networks, as they are reliable, but very large, expensive, and maintenance-intensive machines. The low cost sensors are a complimentary solution, despite their issues with accuracy, lifespan, and calibration, particularly under varying humidity and temperature conditions. The paper focuses on improving these sensors' calibration algorithms using machine learning techniques. It presents a comparative analysis of linear regression, artificial neural networks, and random forest models, evaluating their effectiveness in measuring CO, NO₂, and PM10. The results they have managed to get are promising, with accuracy (r-squared) values ranging from 0.73 to 0.97, varying with the time of the year. R-squared is a statistical measure that represents the proportion of the variance for a dependent variable that is explained by an independent variable or variables in a regression model. It essentially provides an indication of how well the model's predictions match the actual data. The values typically range from 0 to 1. A r-squared of 1 indicated that the regression predictions perfectly fit the data. In their work, the authors used the following three models for calibrating the sensors:

- **LR (Linear Regression):** Linear regression is a predictive modeling technique that determines the strength and character of the relationship between one dependent variable and a series of other changing variables, aiming to predict the outcome variable from the independent variables using a straight line.
- **RF (Random Forest):** Random Forest is an ensemble machine learning algorithm that builds multiple decision trees and merges them together to get a more accurate and stable prediction, effectively reducing the risk of overfitting by averaging the results of individual trees.
- **ANN (Artificial Neural Network):** An Artificial Neural Network is a computational model inspired by the human brain's network of neurons, designed to recognize patterns and solve complex problems. It consists of interconnected layers of nodes (neurons) where each connection represents a weight, and the network learns by adjusting these weights based on the input data it receives and the error of its predictions during training.

All three models showed similar r-squared values ranging from 0.83 to 0.87. ANN is a more complex model than the other two, thus it performs best when large amount of data is available (authors used data from two consecutive years.). For the scope of this project, having available data from a period of 3-4 months, it was decided to test both LR and FR models on the project's sensors, to see which one performs better.

For both models, the official PM10 measurements is taken as the dependent variable, and data from BV211 sensor (closest to official PM10 measuring station), temperature and relative humidity are the independent variables. The goal of the models is to train the data and predict the official PM10 concentrations over a four months' time period. Then, the results are visualized as timeseries, scatter plots, and other applicable types of graphs to get a better understanding of the results. Two main statistical measures results are the r-squared (explained above), and Root Mean Square Error (RMSE), which is a measure of the differences between

values predicted by a model and the values actually observed from the environment that is being modeled. Lower values of RMSE indicate a better fit. The next step is to perform cross-validation, the goal is to test the model's ability to predict new data that was not used in estimating it, in order to flag problems like overfitting and to give an insight on how the model will generalize to an independent dataset.

After applying the RF model on the dataset, and performing the cross-validation, the training set r-squared gave a value of 0.859, which is a very good result, while the test set: 0.01. This concludes the idea that RF models are usually very prone to overfitting. This occurs when a statistical model or machine learning algorithm captures the noise of the data rather than the underlying pattern, it results in less accurate and reliable data for predicting outcomes. Both, the timeseries plot and the scatter plot containing the correlation coefficient between the official data and the predicted data can be found in Appendix E (Fig. 6 and Fig.7). Training a RF model takes more time and complexity, than the LR model, due to overfitting, thus the second one will be used for the creation of a model that would correct the raw PM10 values. After running the LR model on the dataset, the results were satisfactory, giving an r-squared of 0.01 and an RMSE of 11.36. The timeseries plot comparing the official data and the predicted PM10 data, along with the according explanation, can be visualized in Appendix E (Fig.8).

Following the research paper (Vajs, Drajić, Gligorić, Radovanović, & Popović, 2021) example, it was decided to look into aggregating the data, which could lead to discovering patterns and more detailed over-time data behavior. The following two figures, Fig.25 and Fig.26 contain hourly aggregated PM10 measurement for the BV211 sensor and the official measuring station accordingly, for the time period of 4 months.

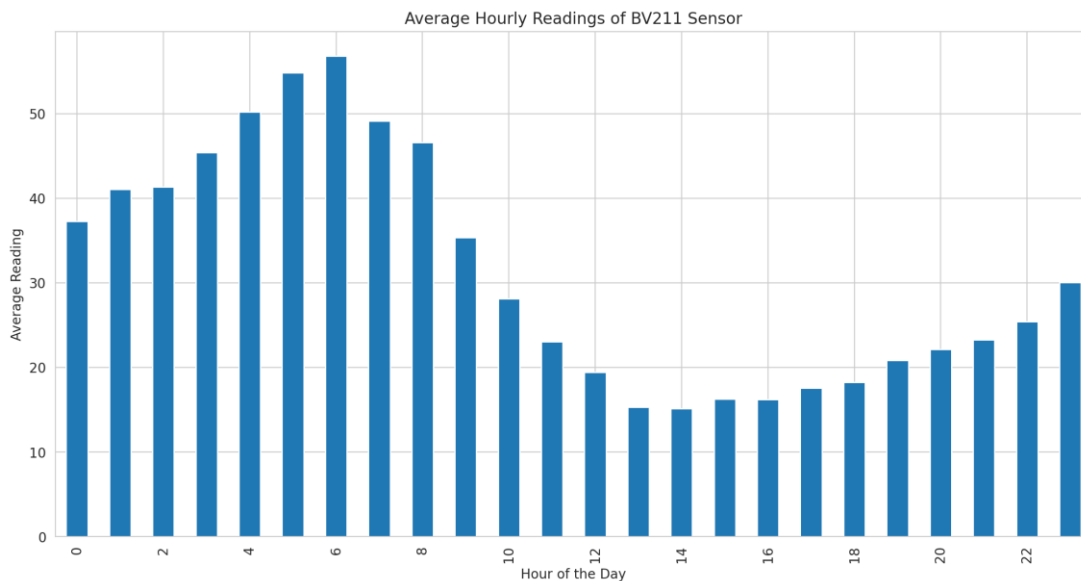


Fig.25: Hourly aggregated data of the BV211 sensor

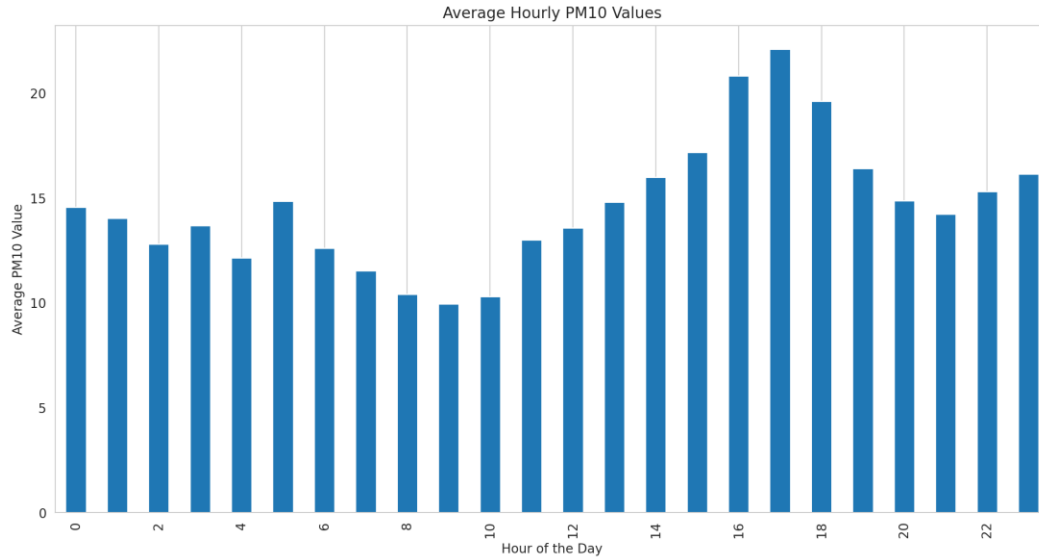


Fig.26: Hourly aggregated data of the official measuring station

The x-axis of the two graphs represent the hours of the day, and the y-axis represents the average PM10 concentrations in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, going up to 60 for the BV211 readings and up to 25 for the official station measurements. There is a visible difference between the two graphs: the values of the BV211 appear to be higher during the late night-early morning hours, which is caused by higher percentage of relative humidity at that time. On the other hand, the second graph, showing aggregated readings of the official station measurements, presents higher averages in the evenings. To better understand at which part of the day are the discrepancies between the two sensors higher and lower, below, Fig.27, presents a comparison of the mean values for specific parts of the day:

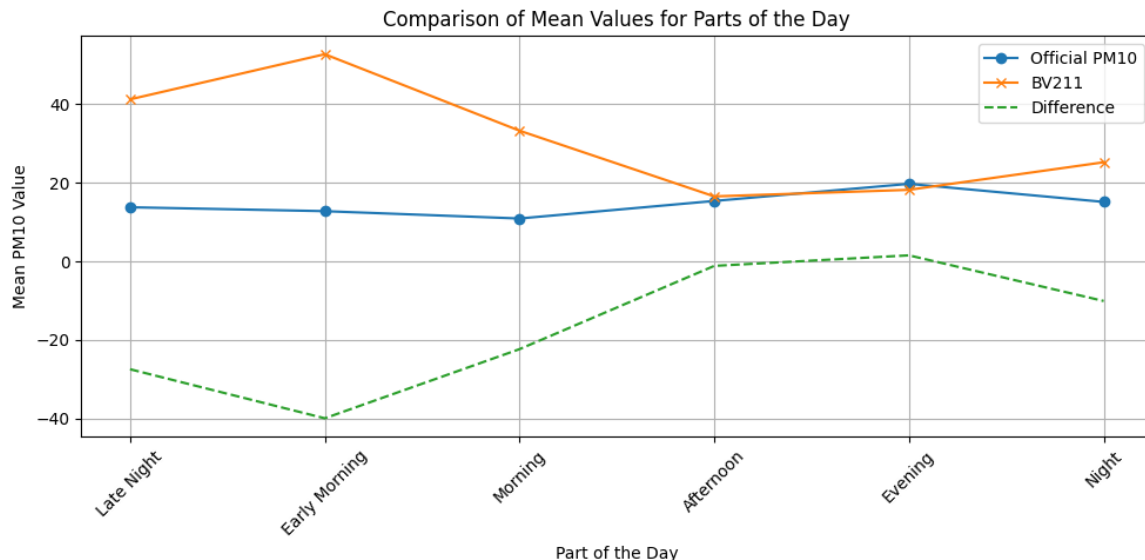


Fig.27: Comparison of the mean values for parts of the day

This x-axis of this graph represents the following parts of the day: Late Night (from 24 to 3), Early Morning (from 4 to 7), Morning (from 8 to 11), Afternoon (from 12 to 15), Evening (from 16 to 19), and Night (from 20 to 23). The y-axis represents the averaged concentration of particular matter. The blue line represents the

official PM10 data, and the orange line represents data from the BV211 sensor. The green dashed line illustrated the difference between the two measurements. The graph is useful for comparing the performance of the low-cost BV211 sensor against the official measurements and for understanding how their readings differ across various parts of the day. The green dashed line presents a visible difference between the two measurements during late night and morning hours, due to the low-cost sensor being sensitive to high humidity periods. During afternoon and evening hours, on the other hand, there are almost no differences present between the two datasets. This is the time when relative humidity drops under 70%, thus the low-cost sensor shows reliable data.

To also include the relative humidity data in a visualization, below, Fig.28 shows a scatter plot defining the relationship between the difference between temperature and temperature at dew point as its x-axis, the difference between BV211 sensor's PM10 and official station's PM10 measurements as the y-axis. The color gradient on the right represents relative humidity percentages, ranging from 50% to 90%. The color of each dot corresponds to the relative humidity at the time of the corresponding PM10 reading. The scatter plot clearly shows that the higher the temperature difference is, the lower the humidity (which is also shown in Fig. 24 as a perfect negative correlation), and the lower the difference in PM10. This plot perfectly represents the fact that the higher relative humidity levels will result in higher discrepancies between official and project sensors' data.

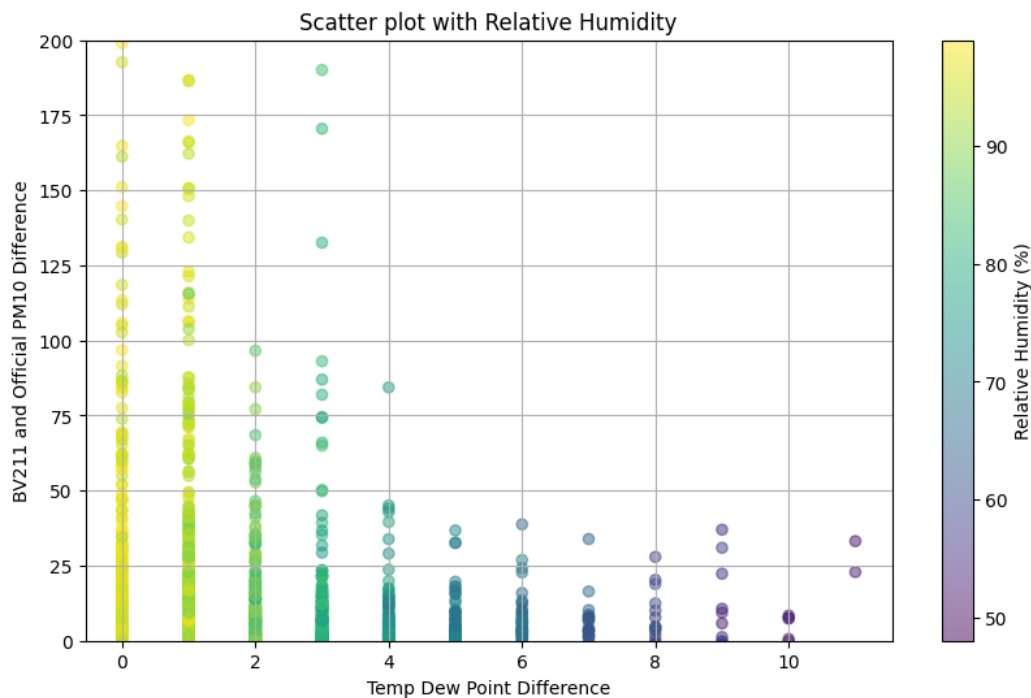


Fig.28: Scatter plot with PM10, temperature and RH

This plot concludes the progress done on developing a model for raw PM10 values correction. The following steps will include a loop of data manipulation, splitting, model development and evaluation, calibration and validation, and model refinement, until the model return satisfactory results. The model will then be deployed on the PM10 data received from project's sensors. Finally, the reliable data will be used for heatmap visualization.

13. Conclusions

The air quality topic is a worldwide matter that involves human health and environmental concerns. The municipalities and citizens of Limburg region in The Netherlands, together with “Connecting Agri & Food”, RIVM and GreenTechLab are together working on a collaborative project aimed to create an air quality measurement network. This will give a perception to the governmental institutes and people living within the area into the particulate matter dispersal, and help identify sources and plan future actions.

After distributing and installing the Nova SDS011 sensors, the data received was used to get first insight into PM10 concentrations via various graphs and visualizations. The sensors have been tested for GPS location, the received PM10 values were plotted and showed high peaks during late-nights and early-mornings. Due to sensors being sensitive to high humidity levels, one of the sensor’s both raw and calibrated data was compared to an official measuring station. The outcome showed that RIVM’s calibration method, indeed, gives a higher correlation coefficient when compared to official measurements. However, it was discovered that RIVM's calibration method did not account for weather impacts, thus potentially eliminating local sources from consideration. This led to the decision to develop an own calibration method.

In seeking a more robust calibration approach, a research paper (Vajs, Drajić, Gligorić, Radovanović, & Popović, 2021) was found where the authors successfully calibrated sensors based on temperature and relative humidity using models such as Linear Regression (LR), Random Forest (RF), and Artificial Neural Networks (ANN). Upon testing, the RF model significantly overfitted the data, while LR showed less promising initial results but was less prone to overfitting. This suggested the need for further training of the LR model, employing different data manipulations to enhance its performance.

Comparative analysis with official PM10 data using a series of graphs highlighted the substantial influence of high humidity on sensor readings. This analysis confirmed that the approach of recalibrating the sensors, considering environmental factors like humidity and temperature, is crucial for accurate air quality monitoring. This recalibration effort represents a significant step forward in understanding PM10 dispersion and the effectiveness of low-cost sensors in environmental monitoring, paving the way for more accurate and reliable air quality data in the Limburg region.

The stakeholders have been kept updated on these developments through MSTeams meetings throughout the internship’s duration.

Concluding this chapter, the goal of this internship, by performing the necessary research and constructing a data analysis pipeline, was to answer the following research question, and two secondary questions. Those, along with the corresponding answers are presented below:

- **What is the correlation between PM10 concentrations and specific weather conditions in the Limburg region?** The correlation between weather factors and PM10 measurements ended up being lower than expected. After conducting research, it appeared that the relation between weather and particulate matter dispersal is far more complex and it is explained by complicated mathematic models like LOTOS-EUROS (A.M.M. Manders-Groot, 2021). Nevertheless, there are relatively strong correlation coefficients between PM10 and temperature/relative humidity ($\sim(-)0.3$). Thus, these factors will be taken in consideration when developing a PM10 data correction model. The detailed

research and analysis on the topic is presented in Chapter 11.

- **What is the best way to visualize the PM10 concentrations?** The best way to visualize PM10 concentrations dispersal is by using heatmaps. Firstly, they provide visual simplicity, by using color gradients to represent data values. The human eye is naturally drawn to color, and variations in color intensity can be quickly understood. Secondly, heatmaps make it easy to compare the magnitude of data points relative to each other. Darker or brighter colors can indicate higher or lower values, making comparisons intuitive. Thirdly, when data is geospatial, heatmaps can show how values are distributed across that space, which can be more informative than numerical data alone. And finally, they are particularly good at highlighting outliers or anomalies in data. Extreme values can be immediately apparent, which is useful for source detection or for finding unusual patterns. An example of a heatmap can be observed in Fig.8
- **How can the influence of temperature and relative humidity on PM10 measurements can be utilized to develop a model for improving PM10 data accuracy?** In order to improve PM10 data accuracy by considering the influence of temperature and relative humidity, a data-driven modeling approach has to be undertaken. It includes using the collected and cleaned data for performing exploratory data analysis, thus using statistical measures to understand the relationships between PM10 levels and the other two variables. It includes using aggregates, as presented in Chapter 12, to elucidate any existing patterns in the behavior of raw PM10 data. Afterwards, by using official PM10 measurements as reference values, and a Linear regression model needs to be trained, evaluated, optimized and deployed. The last steps will represent a continuous loop until the model returns satisfactory results (as close as possible to the official measurements), and finally deployed, thus achieving reliable corrected data.

A personal reflection on the performance, including highlights on the analysis and advice artifacts will be depicted in the “Final reflection report”. The following chapter future progress of this project.

14. Future progress of the project

A key highlight of the future progress of the project will be the planned knowledge-sharing evening, with the civilians involved in this project, on the 31st of January. All the stakeholders of this endeavor will be present at this event, giving presentations and answering potential questions. GTL will also be presenting the progress of the project to the community. This presentation aims to engage the civilians and provide them with a deeper understanding of the project's findings and its implications.

Additionally, the GitHub repository will be updated and prepared to ensure a smooth transition and continuity of the project. This repository will serve as a valuable resource for the next student who will be involved in this project until its conclusion in June. The main challenges that remain are, firstly, continuing the development of a model for raw PM10 data correction, and devising an effective strategy to communicate and explain the project's findings to the civilians in a clear and understandable manner, ensuring that the community can fully grasp the significance of the work being done.

Appendix

Appendix A

Fig.1 below represents the PM10 composition over time (x-axis) from a measuring station in Utrecht, presented by TNO (TNO, n.d.), using the LOTOS-EUROS system (A.M.M. Manders-Groot, 2021). The bars in the chart are each divided and colored accordingly to the source of PM10 values on the y-axis.

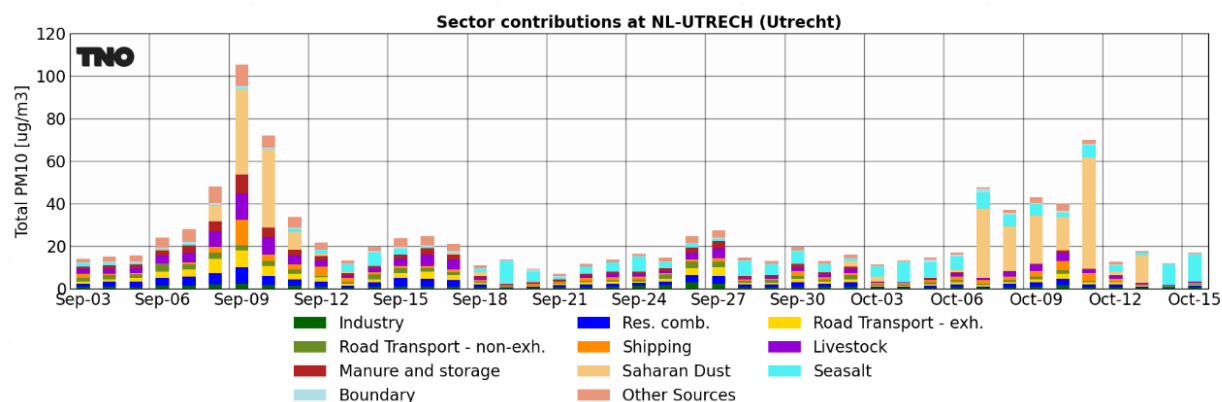


Fig.1: PM10 composition LOTOS-EUROS model

Appendix B

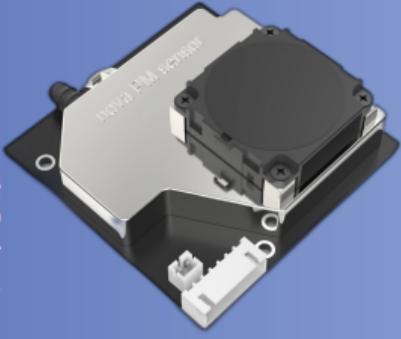
Fig.2 below presents the Nova SDS011 sensor facts sheet containing an image and description of the sensor, along with functional and technical parameters.

Consumer sensor

SDS011

Dust Sensor

PM2.5 sensor is also known as a dust sensor. SDS011 uses the principle of laser scattering, can get the concentration of 0.3~10 micron suspended particles in the air, the use of imported laser and sensitive parts, the data is stable and reliable; Built-in fan, digital output, high integration



Functional characteristics

- ◆ Listed for nine years, mature and stable, millions of shipments
- ◆ One hundred yuan level, quality and low price, high market share
- ◆ Dual channel, PM2.5, PM10 double measurement, fast response, accurate data

Technical parameter

Serial	Project	Parameter	Remarks
1	Range	PM2.5: 0.0-999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10: 0.0-1999.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	Nominal voltage	5V	
3	Rated current	90mA $\pm$ 10mA	
4	Sleep current	<4 mA	The laser and the fan stop working
5	Temperature range	Storage environment: -20 ~ +60°C Working environment: -10 ~ +50°C	
6	Humidity range	Storage environment: Maximum 90%RH Working environment: Maximum 70%RH	
7	Atmospheric pressure	86KPa~110KPa	
8	Response time	1s	
9	Resolution particle size	0.3 μm	
10	Counting efficiency	70% @ 0.3 μm 98% @ 0.5 μm	
11	Relative error	$\pm 15\%$ and $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Maximum	25°C, 50%RH
12	Product size	71x70x23mm	



Microair air station Indoor monitoring Dust monitoring

Fig.2: Nova SDS011 sensor facts sheet

Appendix C

Picture showing distributing tested sensors by GTL to the civilians (Fig.3) and an image representing a placed sensor by one of the civilians following given instructions (Fig.4).



Fig.3: Distribution of the sensors to the civilians



Fig.4: Example placement of a PM10 measuring sensor

Appendix D

Fig.5 below shows the project team discussing Fig.24 during a weekly project meeting.



Fig.5: Project team during a weekly project meeting

Appendix E

Fig. 6 below represents a timeseries plot showing the comparison between the official data from the measuring station in Vredepeel (gray line), and the predicted PM10 (blue line) using the Random Forest model. Fig.7 contains a scatter plot of the same two datasets and the correlation coefficient of 0.87. Even though these results seem promising, after running cross-validation on this model's results, it was discovered that the RF overfitted the data. This phenomenon can happen due to multiple reasons, one of which is if the individual decision trees in the forest are very deep, they may each overfit the data. Random Forest does not prune trees by default, so they can grow complex and capture noise in the training data.

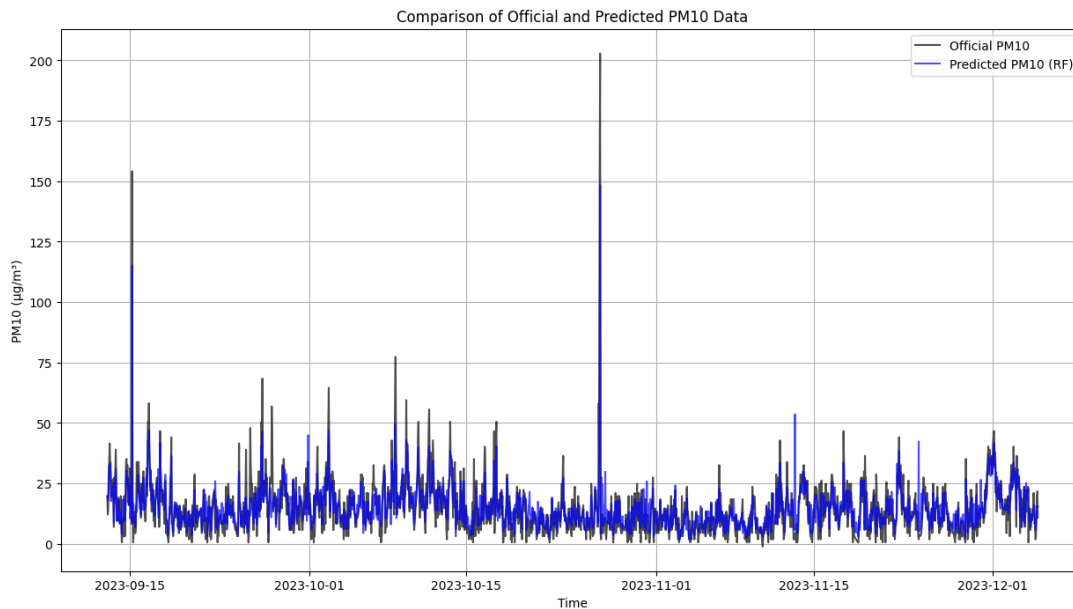


Fig.6: Timeseries plot with official PM10 vs Predicted PM10 by Random Forest model

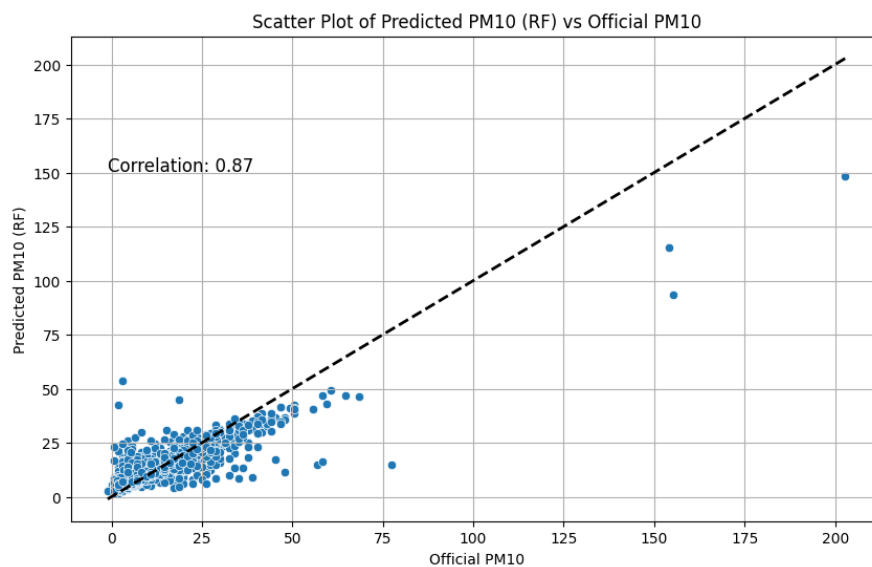


Fig.7: Scatter plot official PM10 vs Predicted PM10 by Random Forest model

Fig.8 below represents a timeseries plot containing the official PM10 data (gray line), and the predicted PM10 (green line), using the Linear Regression model. The predicted PM10 values generally follow the trend of the official PM10 measurements, indicating that the Linear Regression model has learned the general pattern of the data. The results show an r-squared of 0.01, which is very low, indicating that more data manipulations, like aggregating, using more variables, etc., may be needed to achieve better results. The LR model will be trained and used to achieve better accuracy of the PM10 values received from the Nova SDS011 sensors.

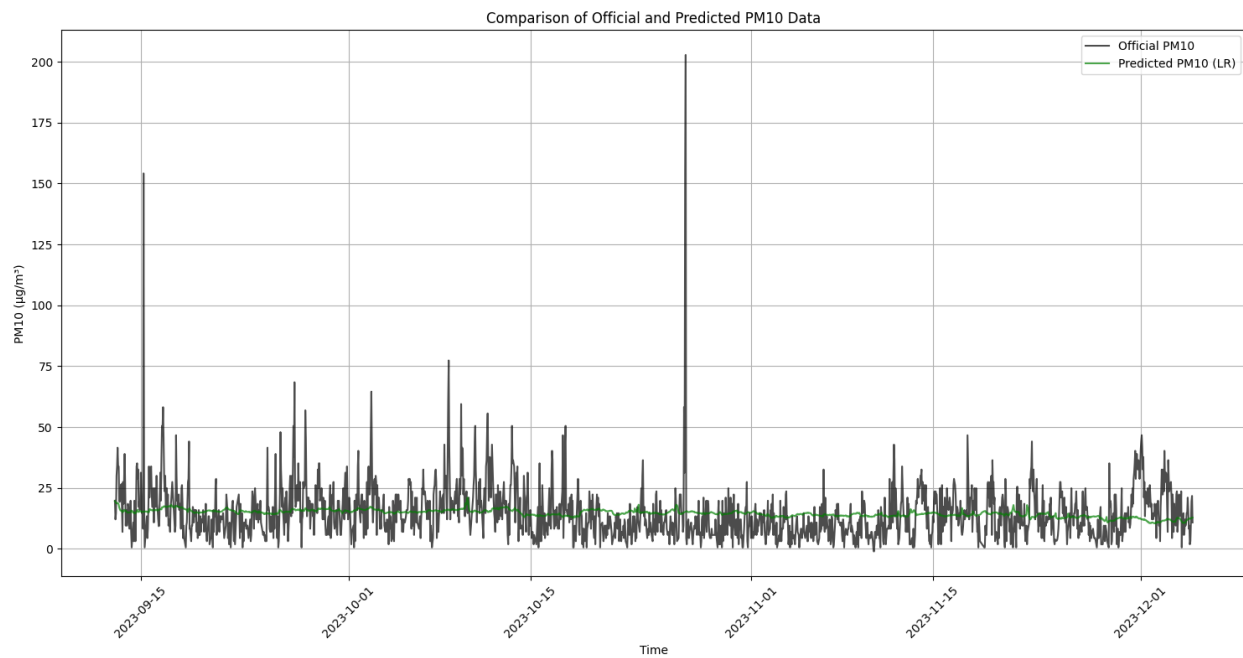


Fig.8: Timeseries official PM10 vs Predicted PM10 by Linear Regression model

References

- A.M.M. Manders-Groot, A. S. (2021). *LOTOS-EUROS Reference Guide v2.2*. Utrecht: TNO. Retrieved from www.tno.nl
- CAF. (n.d.). *Connecting Agri & Food*. Retrieved from Home: <https://www.connectingagriandfood.nl/en/>
- Cazac, N. (n.d.). *GitHub*. Retrieved from Fontys-GTL GrenzeloosMeten: <https://github.com/Fontys-GTL/GrenzeloosMeten>
- Copernicus. (n.d.). *Copernicus Atmosphere Monitoring Service*. Retrieved from About us: <https://atmosphere.copernicus.eu/about-us>
- Copernicus. (n.d.). *Copernicus Atmosphere Monitoring Service*. Retrieved from Air Control Toolbox: <https://policy.atmosphere.copernicus.eu/act.php>
- ECE. (n.d.). *European Commission Environment*. Retrieved from EU Air Quality Standards: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en
- EEA. (2023, Oct 18). *European Environment Agency*. Retrieved from How air pollution affects our health: <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution/eow-it-affects-our-health>
- EEA. (n.d.). *European Air Quality Index*. Retrieved from Map Viewer: <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>
- Fontys. (n.d.). *Fontys*. Retrieved from Smart Sustainable Solutions: <https://www.fontys.nl/Onderzoek/Smart-Sustainable-Solutions.htm>
- IQAir. (2023, Jan 16). *IQAir*. Retrieved from Air quality in Netherlands: <https://www.iqair.com/netherlands>
- KNMI. (n.d.). *KNMI*. Retrieved from Hourly Observations: <https://daggegevens.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens>
- mltpl. (n.d.). *GitHub*. Retrieved from GOST server: <https://github.com/gost/server>
- NILU. (n.d.). *Flextra*. Retrieved from Air mass trajectories: <https://projects.nilu.no/ccc/trajectories/>
- OData. (n.d.). *OData*. Retrieved from Documentation: <https://www.odata.org/documentation/>
- OGC. (n.d.). *Open Geospatial Consortium*. Retrieved from OGC Sensor Things API: <https://www.ogc.org/standard/sensorthings/>
- RIVM. (n.d.). *API-samentemen*. Retrieved from Things: <https://api-samenmeten.rivm.nl/v1.0/Things>
- RIVM. (n.d.). *Samenmeten*. Retrieved from Dataportaal: <https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal/>
- RIVM. (n.d.). *Samenmeten*. Retrieved from Calibration of particulate matter sensors: <https://samenmeten.nl/dataportaal/kalibratie-van-fijnstofsensoren>
- TNO. (n.d.). *TNO Air Quality Modeling*. Retrieved from Topas EU: <https://airqualitymodeling.tno.nl/topas/topas-eu/>

Vajs, I., Drajić, D., Gligorić, N., Radovanović, I., & Popović, I. (2021, May 11). Developing Relative Humidity and Temperature Corrections for Low-Cost Sensors Using Machine Learning. *Sensors*, 21, 22.
doi:<https://doi.org/10.3390/s21103338>



MAKSYM KOBZAR INTERNSHIP REPORT

GREENTECHLAB – BORDERLESS MEASUREMENT

KOBZAR, MAKSYM M.
FONTYS GREENTECHLAB



Internship Report Information

Type of report: Internship report
Student name: Maksym Kobzar
Student number: 4433726
Study: Informatics
Period: February 2024 – July 2024
Company name: greentechlab
Address: Tegelseweg 255
Postal code + City: 5912 BG, Venlo
Country: The Netherlands
Telephone: +31 (0)88 5073 002
Company supervisor: Anton Winkelmolen
Supervising lecturer: Frank van Gennip
Company confidentiality: No
Number of words: 8236 words

Abstract

The issue of air quality is of global concern due to its implications for both human health and the environment. Recognizing its importance, a collaborative initiative was undertaken in the Limburg region of The Netherlands involving local municipalities, citizens, "Connecting Agri & Food", RIVM, and GreenTechLab. The primary objective of this initiative was to establish an air quality measurement network that would offer insights into the dispersal of particulate matter, aiding in the identification of sources and facilitating future action planning. For this purpose, Nova SDS011 sensors were distributed and installed across the region. After successful installation, data gathering and analysis phase have started. During analysis, PM10 data retrieved from Vredepeel official weather station was used as point of truth for determining accuracy of distributed Nova sensors. Data analysis phase concluded in fact that data retrieved from Nova sensors is highly influenced by relative humidity in the region of reading, what results in readings being higher than actual situation.

After analysis phase, project have established a new focus which is discovering ways to deliver end-user with meaningful and accurate visualizations formed based on data retrieved from local sensor network. New phase of the project focuses on questions of data representation and delivery as well as data correction techniques that could solve inaccuracy issue discovered during data analysis phase. Future sections of the report give detailed reflection on current state of project development.

Statement of authenticity

I, the undersigned, hereby certify that I have compiled and written the attached document / piece of work and the underlying work without assistance from anyone except the specifically assigned academic supervisors and examiners. This work is solely my own, and I am solely responsible for the content, organization, and making of this document / piece of work.

I hereby acknowledge that I have read the instructions for preparation and submission of documents / pieces of work provided by my course / my academic institution, and I understand that this document / piece of work will not be accepted for evaluation or for the award of academic credits if it is determined that it has not been prepared in compliance with those instructions and this statement of authenticity.

I further certify that I did not commit plagiarism, did neither take over nor paraphrase (digital or printed, translated or original) material (e.g. ideas, data, pieces of text, figures, diagrams, tables, recordings, videos, code, ...) produced by others without correct and complete citation and correct and complete reference of the source(s). I understand that this document / piece of work and the underlying work will not be accepted for evaluation or for the award of academic credits if it is determined that it embodies plagiarism.

Name: Maksym Kobzar
Student number: 4433726
Place/Date: Venlo, 16-01-2024

Signature:

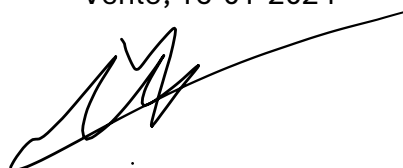
A handwritten signature in black ink, appearing to be 'MK', with a long horizontal line extending to the right.

Table of Contents

Abstract.....	2
1. Context.....	6
1.1 Particle Pollution (PM10 & PM2.5)	6
1.2 PM Measurements & Data gathering.....	7
1.2.1 Nova SDS011 measurement sensor	7
1.2.3 Nova sensor Inaccuracy Issue	8
2. Project Management	9
2.1 GreenTechLab	9
2.2 Borderless Measurements Project	9
2.2.1 Project Phases.....	9
2.3 Project Stakeholders	10
3. Assignment Description	12
3.1 Data Correction Model.....	12
3.1.1 Problem Description.....	12
3.1.2 Research Question	12
3.1.3 Task Objective & Deliverables.....	12
3.1.4 Task Planning	13
3.1.5 Task Flow.....	13
3.1.5.1 Approach & Data Gathering.....	13
3.1.5.2 Preparing Data	13
3.1.5.3 Visualising Data	13
3.1.6 Conclusion	15
3.2 Interactive Map development	16
3.2.1 Problem Description.....	16
3.2.2 Research Question	16
3.2.3 Task Objective & Deliverables.....	16
3.2.4 Task Planning	17
3.2.5 Task Flow.....	17
3.2.5.1 Analysis Phase	18
3.2.5.2 Design Phase	25
3.2.5.3 Implementation Phase	31
3.2.5.4 Tests.....	35
3.2.6 Conclusion	40
3.2.6.1 Current State.....	40
3.2.6.2 Future development & Deployment	40
3.2.6.3 Deployment	40
4. Conclusion	41
5. References	42

Figure 1: Particulate Matter size comparison	6
Figure 2: Principle of sensor work	7
Figure 3: Project Phases	9
Figure 4: PM10 correction models comparison	14
Figure 5: PM10 correction models comparison by modulo	14
Figure 6: PM10 correction models comparison for stable period	15
Figure 7: Time variable diagram	19
Figure 8: Display specific sensor sequence diagram	20
Figure 9: Display specific sensor for time interval sequence diagram	21
Figure 10: Display static heatmap sequence diagram.....	23
Figure 11: Display animated heatmap sequence diagram	24
Figure 12: Initial architecture diagram.....	25
Figure 13: new architecture diagram	26
Figure 14: Fetcher-Service diagram.....	27
Figure 15: Database schema	28
Figure 16: Canvas wireframe	29
Figure 17: Sensor Data wireframe	29
Figure 18: Time selection wireframe.....	30
Figure 19: Codebase structure	32
Figure 20: Request Lifecycle diagram.....	36

1. Context

1.1 Particle Pollution (PM₁₀ & PM_{2.5})

Particle pollution — also called particulate matter (PM) — is made up of tiny particles of solids or liquids that are in the air. Some particles are big enough to see (example: seeing smoke in the air). Others are so small that you can't see them in the air. Usually PM composition includes composition of:

- Dust
- Dirt
- Soot
- Smoke
- Drops of liquid

Particles are defined by their diameter for air quality regulatory purposes. Those with a diameter of 10 microns or less (PM₁₀) are inhalable into the lungs and can induce adverse health effects. Fine particulate matter is defined as particles that are 2.5 microns or less in diameter (PM_{2.5}).

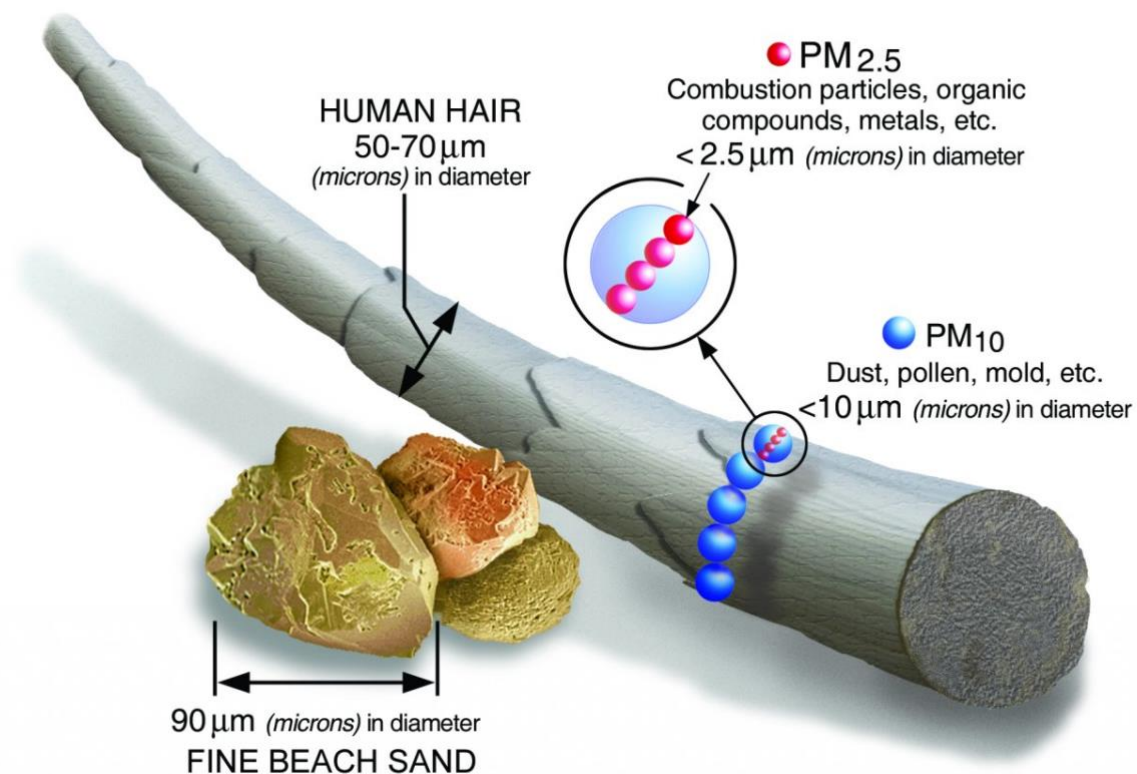


Figure 1: Particulate Matter size comparison

Particulate matter contains microscopic solids or liquid droplets that are so small that they can be inhaled and cause serious health problems. Some particles less than 10 micrometers in diameter can get deep into your lungs and some may even get into your bloodstream. Of these, particles less than 2.5 micrometers in diameter, also known as fine particles or PM2.5, pose the greatest risk to health.

These particles come in many sizes and shapes and can be made up of hundreds of different chemicals. Some are emitted directly from a source, such as construction sites, unpaved roads, fields, smokestacks, or fires. Most particles form in the atmosphere because of complex reactions of chemicals such as sulfur dioxide and nitrogen oxides, which are pollutants emitted from power plants, industries and automobiles.

1.2 PM Measurements & Data gathering

1.2.1 Nova SDS011 measurement sensor

The Nova SDS011 sensor is an affordable and very popular choice when it comes to PM measuring system. It is a laser based air quality sensor designed to measure both PM2.5 and PM10 concentrations in the ambient air. The sensor uses the principle of laser scattering, more exactly, the particulate matter in the air will scatter the light emitter from the laser and the scattered light is read by a photodetector. The SDS011 sensor uses an internal factory algorithm to convert the particle concentration to a mass concentration. It typically communicates via a serial interface, making it easy to interact with various microcontrollers or computer systems. The sensor has a fan that draws the air into the sampling chamber. The principle of work can be seen below

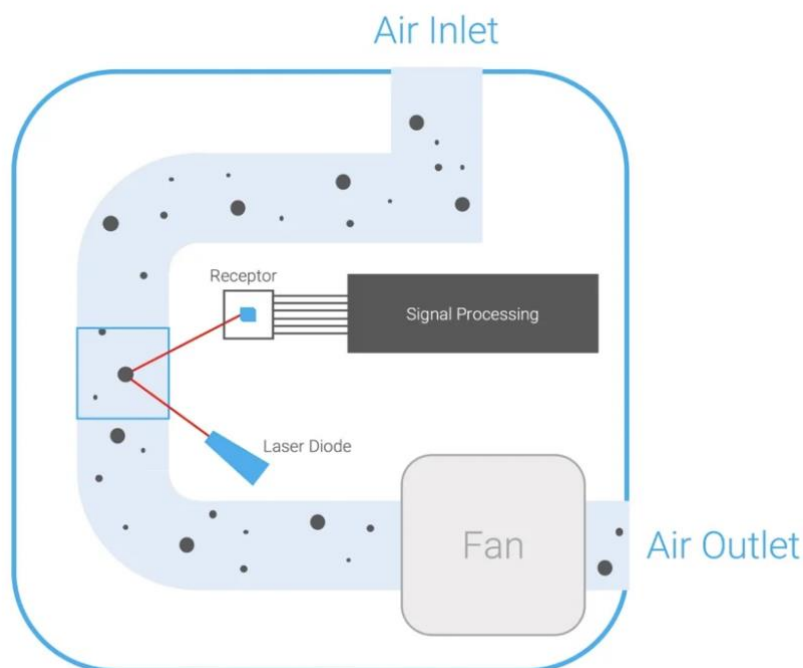


Figure 2: Principle of sensor work

It is important to know that the PM10 value will always be higher than PM2.5, because PM10 includes the PM2.5 concentrations. The sensor performs best in specific environmental conditions; thus extreme humidity (if humidity higher than 70%, data records received are 46% higher) or very dusty environments might affect its readings. For applications requiring rigorous and highly accurate data, more advanced measuring stations are necessary. The SDS011 sensor provides reasonable accuracy for its price point, thus it is widely used and normally calibrated, in order to give more precise data.

1.2.3 Nova sensor Inaccuracy Issue

Depending on both humidity and the particle composition, a certain amount of water condenses on the particulate matter. As a result, the particle's effective cross section increases as well as the likelihood of scattering of the laser in the detector. This can lead to the effect that particles which wouldn't have usually been detected during low humidity, might well be measured in high humidity conditions.

2. Project Management

2.1 GreenTechLab

GTL is a Technology & Research Group located within Fontys University of Applied Sciences. Its activity is in the AgTech field, having developed and aided in the development of multiple projects. GTL works together with governmental institutions and SMEs in the Norther and Middle regions of Limburg .

2.2 Borderless Measurements Project

One of the projects GTL is currently involved in , “Grenzeloos Meten” (Borderless Measurement), focuses on the health sector, precisely, the measuring of air quality within the Limburg region. This collaborative initiative engages the active participation of local civilians and municipalities, including Horst aan de Maas, Peel en Maas, and Venray, in conjunction with the Provincial Government of Limburg. Spearheaded by "Connecting Agri & Food", the project aspires to establish an expansive regional measurement network. The primary objective of this project is to elucidate the presence of PM (particulate matter)2.5 and PM10 in the region’s atmosphere in correlation with the meteorological conditions. The interest into researching the particulate matter is caused by civilians getting more concerned with the local air quality. By comprehensively characterizing regional air quality, the project aims to facilitate the alignment of environmental policies and furnish invaluable insights into local air composition. Central to the project's success is the pivotal role played by the measurement of particulate matter and odor constituents.

2.2.1 Project Phases

Project progression of current state can be divided into 3 phases of development. Each phase represents a time-interval where project is focused on specific problem or question, that is essential to achieve global goal or/and required for next project phase.

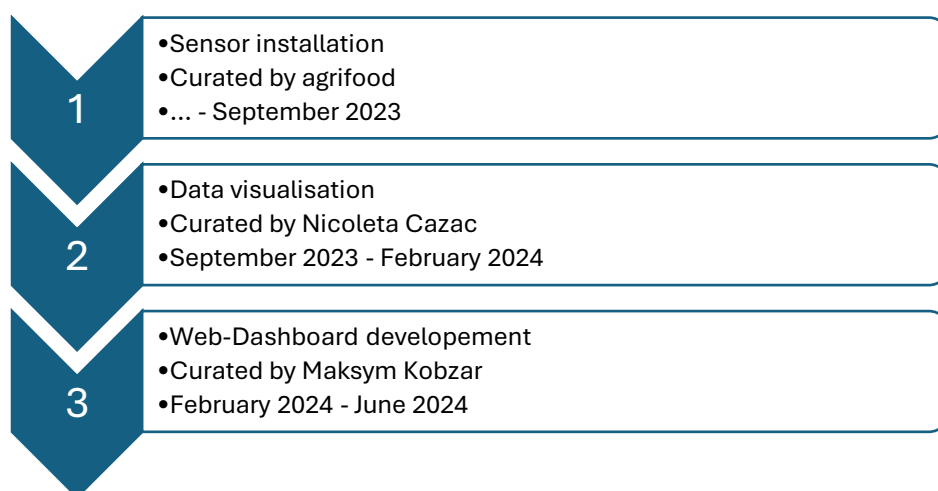


Figure 3:Project Phases

GTL has received around 40 measuring stations which have been tested in their lab and upgraded with new PM sensors. After testing the sensors again, with the new upgrades, 30

sensors were ready to be strategically installed by civilians living in the project area. GTL's specific purview within the "Grenzeloos Meten" initiative is the precise measurement of PM10 particulate matter. Notably, these sensors have been placed within the residences of engaged citizens who have enthusiastically volunteered to participate in this data acquisition initiative.

Following project phase was dedicated to the systematic collection of data from four sources: the sensors, official weather data, two stations of the official regional RIVM measurement network (two sensors were be installed at these stations to serve as reference points) and official PM data of the region. During this phase, a number of researches and data-visualisations were made towards obtained datasets. One of conclusions of the research was that data obtained by sensors is highly influenced by humidity levels in the subject region.

The current phase of the project is primarily focused on development of web-dashboard, that will serve as a source of data, data visualisations and possibly predictions to the end-users. By applying a set of user-friendly data visualisation techniques, the data retrieved from local sensors network will be displayed in the way, that allows users to inspect air-quality in Limburg area.

Web-dashboard will retrieve data from installed sensors and represent it to the end-user in the form of heatmap with an option to inspect every sensor by request. By utilising heatmap data over geographical grid visualisation technique, this dashboard could serve as indicator to source of PM10 pollution. From the end-user perspective web-dashboard will be in a form of interactive map with interface.

Besides main research on possible implementation of such web-service, there are two secondary researches to address during this phase. One of them is to research on how data retrieved from the sensors can be corrected to provide more accurate oversight of air state to the end user. The other one is to research on how PM10 data can be differentiated between "global PM10" (example: Particles that come from other continents) and "local PM10" (example: Particles that are produced by local manufacturings, farms, incidents etc.)

2.3 Project Stakeholders

Internal stakeholders:

GTL:

- Anton Winkelmolen, as project manager, responsible for project organization, meetings scheduling, communication with the other parties and giving a total overview of the project status.
- Wowa Pavlov, as a researcher with broad technical expertise in machine learning, responsible for the collection and analysis part of the data.
- Maksym Kobzar, student of Fontys University and intern at GreenTechLab assigned to research and development of current project phase.

Fontys:

- Frank van Gennip, teacher at Fontys University. Assigned internship coach for Maksym supervision for “Borderless Measurements” project.

External stakeholders:

- “Connecting Agri & Food” project
- RIVM
- RUD Zuid Limburg
- Horst aan de Maas municipality
- Peel en Maas municipality
- Venray municipality

3. Assignment Description

Internship assignment is divided in three independent tasks:

- Determining best-fit data correction model for pm10 dataset accuracy improvements.
- Web-Dashboard Development.
- Local vs Global pm10 differentiation. (optional)

3.1 Data Correction Model

3.1.1 Problem Description

As previous research concluded, sensors that are currently in use are highly impacted by high humidity (relative humidity > 70%) what results in abnormal spikes on sensor readings. Depending on both humidity and the particle composition, a certain amount of water condenses on the particulate matter. As a result, the particle's effective cross section increases as well as the likelihood of scattering of the laser in the detector. This can lead to the effect that particles which wouldn't have usually been detected during low humidity, might well be measured in high humidity conditions.

This effect cannot be universally represented with a simple formula, because its mainly determined by the composition of the particle which is usually unknown. The efforts to find a formula describing this effect empirically are ongoing., which is not linear and is especially noticeable above 70% humidity. This explains the fact that the data sheet of the SDS011 specifies the work environment for the sensor at max 70%.

This means that all measurements taken at a humidity level of more than 70% sometimes have very high readings and, strictly speaking, should be discarded. One can try and attempt to partially neutralise this effect with a correction formula to make use of those readings which were gathered outside of the specifications valid work environment.

The following models (formulas) are to be tested:

HackAir formula: $gPM10(h) = 1 + 0.816 \cdot h^{5.83}$

Köhler formula: $gKöhler = 1 + \gamma / (1/h - 1)$

RIVM, Netherlands: $gRIVM = \delta^* (1-h)^{-\beta}$

3.1.2 Research Question

“What data correction modal/technique would provide the most reliability and accuracy improvement when applied to dataset of local PM10 data in current case”.

3.1.3 Task Objective & Deliverables

Objective of this task is to determine which data correction model that would provide sufficient accuracy improvements to initial dataset.

Deliverables:

- Research outcome.

3.1.4 Task Planning

This task started in the beginning of the internship is planned to be concluded before 04-03-2024

3.1.5 Task Flow

3.1.5.1 Approach & Data Gathering

Best way to determine which correction model provides with most accurate corrections is to apply every testing model to raw dataset and then form a line graph that includes all altered datasets as well as dataset retrieved from trusted, accurate source (point of truth). Dataset that is closest to the trusted is the most accurate.

PM10 data is gathered from network of deployed NOVA sensors across Limburg region. Network consists of nearly 30 sensors. Sensors used within project are named “BV” + serial number.

Data from these sensors is available for retrieval on RIVM’s data portal via their API. Vredepeel weather station readings are used in data analysis including pm10 and other weather parameters. Vredepeel data is accessed via the same API as BV sensors data. Humidity data is retrieved from Arsen weather station through their website since Vredepeel station does not provide any.

All communications with api are done via python scripts utilizing external libraries.

3.1.5.2 Preparing Data

After all data retrieval procedures succeed, three data subjects are available:

1. PM10 data from BV sensor
2. PM10 data from Vredepeel station (trusted)
3. Humidity data retrieved from Arsen weather station

All data subjects are retrieved for identical timestamp and record step.

Now data correction formulas are applied to initial BV dataset. Data correction models apply the humidity value accordingly to PM10 data entry timestamp. Every altered dataset is saved separately for future manipulations.

3.1.5.3 Visualising Data

After applying data-correction formulas to the datasets, four datasets are available:

1. Official Vredepeel PM10 data (untouched)
2. Original BV PM10 data (untouched)
3. BV dataset altered by HackAir formula.
4. BV dataset altered by RIVM formula.
5. BV dataset altered by Köhler formula.

Now when all datasets are ready visualisation can take place to determine which model improves original BV dataset the best.

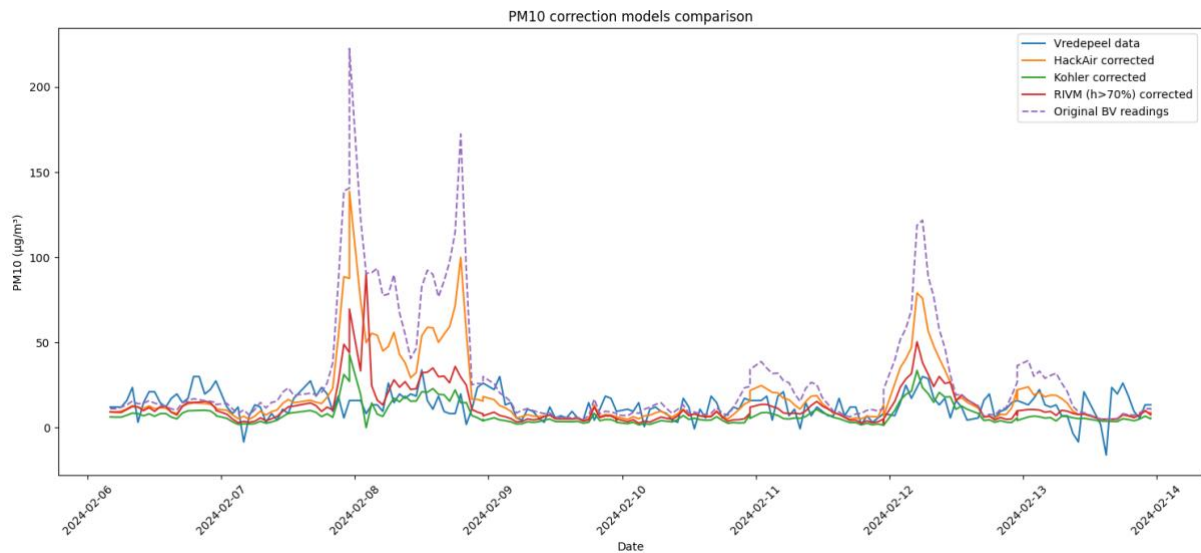


Figure 4: PM10 correction models comparison

Line graph above illustrates a comparison between original BV datasets, trusted dataset (Vredepeel) and modified by correction formula datasets. To make differences more noticeable graph's differences should be displayed by modulo. Mean Absolute Error analysis should take place to determine differences in numeric way.

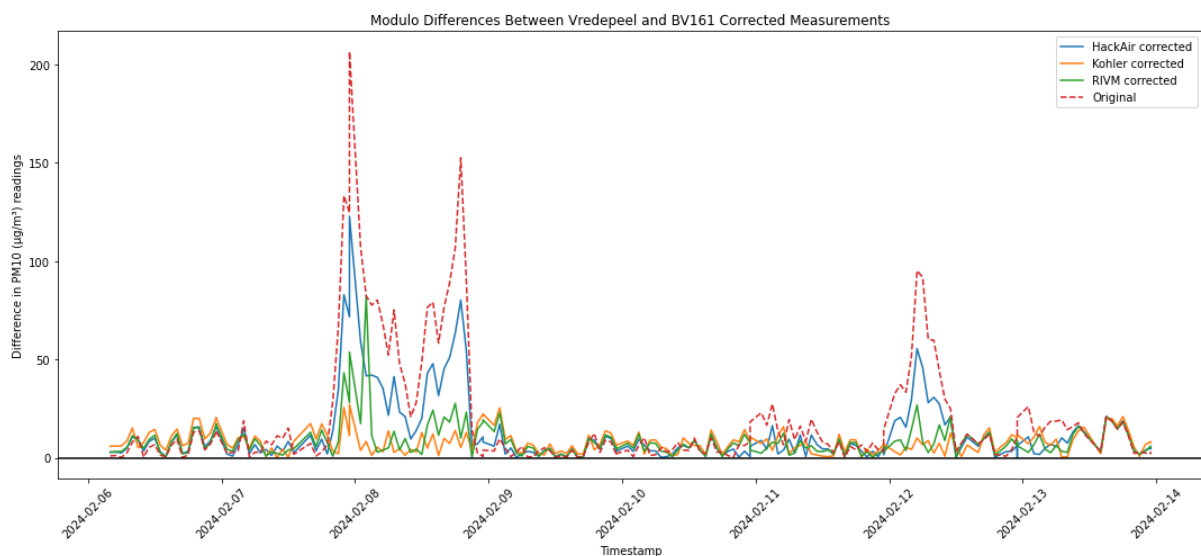


Figure 5: PM10 correction models comparison by modulo

MAE No Correction: 22.86
 MAE Hackair: 14.38
 MAE Kohler: 9.77
 MAE Rivm (RH>70%): 10.16

Modulo Line graph above illustrates a comparison between original BV datasets, trusted dataset (Vredepeel) and modified by correction formula datasets. Mean absolute error (MAE) shows that Kohler function gives out the best correction across tested formulas.

Graph shows that Kohler function gives out the strongest correction for humidity spikes. This might be an indicator to the fact that Mean Absolute Error tests being biased towards this formula due to presence of humidity spikes. To test these functions without factor of humidity spikes, a calmer period should be taken for visualization and analysis.

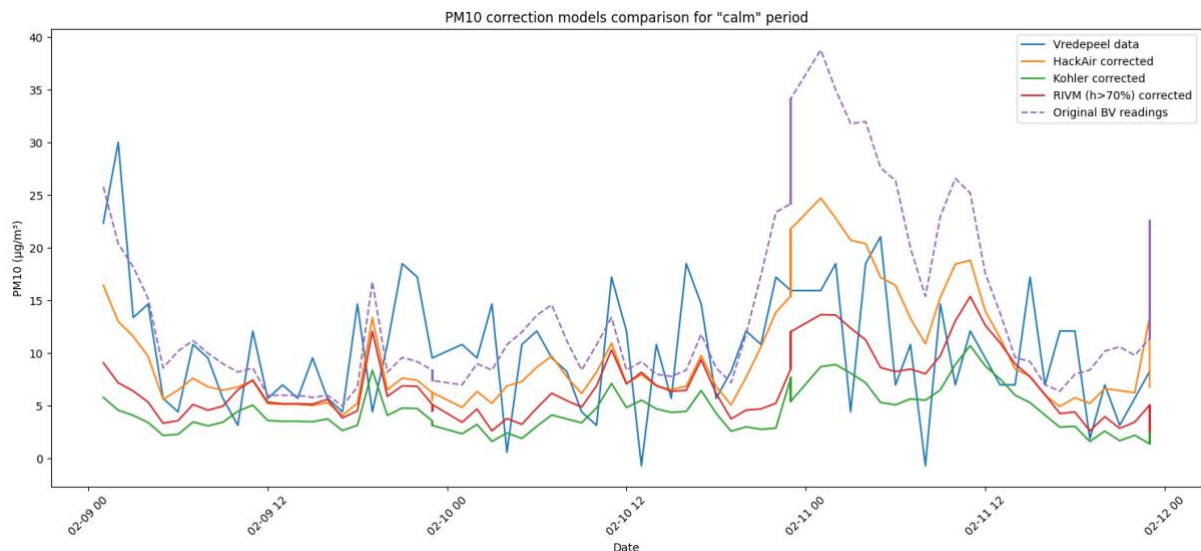


Figure 6: PM10 correction models comparison for stable period

MAE No Correction (calm period):6.915087719298245
MAE Hackair (calm period):4.151858747169695
MAE Kohler (calm period):6.806067975407955
MAE Rivm (RH>70%) (calm period):5.207687232755064

Line graph above illustrates same comparison for period without humidity spikes. Worth of notice that for calm period MAE analysis determines HackAir formula as most accurate, though previous analysis determined Kohler as the most accurate.

3.1.6 Conclusion

Outcome on concluded analysis is that no single data-correction formula should be used to alter the entire dataset. It's recommended to use combined approach, where HackAir correction formula is used by default and Kohler correction is used to flatten humidity spikes, when such is detected.

3.2 Interactive Map development

3.2.1 Problem Description

Currently one way for end-user to retrieve pm10 readings from sensors installed within project network is to request it from RIVM API, what is problematic for user with no technical background and overall, this approach does not provide user-friendly experience.

The other way is to access this data via sensors aggregator and inspect specific sensor, but this approach does not provide a clear overview of entire region.

The idea behind web dashboard development is to provide user with interactive air-quality data visualizations of Limburg region. Web-dashboard should retrieve data from network of deployed sensors across Limburg, apply required pre-processing models and display data to the end user in meaningful way. Current inspiration for future dashboard is OHNICS dashboard.

Like OHNICS, developed web-dashboard should have appearance of interactive map, with ability to scale, view legend and include other features that are yet to be determined.

3.2.2 Research Question

“How can air quality data, specifically focusing on PM10 levels, collected from a regional sensor network be effectively processed and conveyed to end users in a manner that ensures meaningful interpretation and can be utilized as reliable indicator of PM10 concentrations?”

3.2.3 Task Objective & Deliverables

At the end of this project phase, a web-dashboard prototype will be developed, that displays PM10 readings retrieved from local network of sensors. Web-dashboard must fulfil requirements stated in Software Requirements Specifications that is to be developed by the end of Analysis phase

Deliverables:

- Software Requirements Specification
- Web-Dashboard codebase
- Web-Dashboard documentation
- Web-Dashboard functionality demo-video
- Web-Dashboard tests report

3.2.4 Task Planning

Task	Completion Planned Date
Dashboard: Analysis phase	30-03-2024
Dashboard: Implementation	06-05-2024
Dashboard: Tests	14-05-2024

3.2.5 Task Flow

The process of Web-Dashboard development is divided in 3 stages:

- Analysis Phase
- Implementation Phase
- Testing Phase

During analysis phase the focus is on gathering and examining requirements from stakeholders and potential clients to understand the requirements for web-dashboard functionality. This phase includes formulation of several artifacts such as use-case diagram, domain models and user stories. These artifacts are to be formed to establish strong understanding of what dashboard should look like and what should be it's functionality.

Collected requirements are formed into Software Requirements Specification document that is passed along with formed artifacts to stakeholders for approval.

After outcomes of analysis phase were approved by stakeholders, an implementation phase can begin, during which product is being actively developed.

When the dashboard is ready it will be tested using unit and manual tests to ensure that product operates normally. Results of these tests will be registered in separate document.

3.2.5.1 Analysis Phase

The primary focus of this phase is to gather requirements on how the software should operate in order to establish a clear understanding of the final product between the developer and stakeholders.

The main artifact developed during this phase is System Requirements Specifications document (SRS) that outlines the functional and non-functional requirements of the software, serving as a reference point for both developer and stakeholders

Requirements Gathering

To gather stakeholder's expectations and requirements next arrangements took place:

- Meetings with "GreenTechLab" project team (Internal Stakeholders)
To identify external stakeholders and collect internal development requirements multiple meetings with GreenTechLab project team took place. The outcomes of these meetings were:
 1. Identification of external stakeholders.
 2. Scope of development.
 3. Requirements to development tool.
 4. Requirements to development environment.
 5. Requirements to system design (extendibility)
- Meetings with "Grenzeloos Meten" project team (External Stakeholders)
To understand the needs and expectations of external stakeholders, several meetings were conducted both with the Grenzeloos Meten and GreenTechLab project teams. During these meetings two parties negotiated on product's scope and functionality. The outcomes of these meetings were:
 1. Collection of use cases.
 2. Understanding of user groups
 3. Understanding of the main goal of the project
 4. Understanding of stakeholder values
 5. Feedback on initial design concepts

Use Cases overview

Application's main purpose is to show user concentrations of pm10 across Limburg region via interactive map. Map being 'interactive' means that user is able to freely navigate over the map, zoom-in, zoom-out and interact with objects placed within the map.

Application provides user with choice of how they want heatmap to be displayed (static or animated) as well as what time that want to see data for.

Dealing with time input

Almost all use cases that display data to the user require a time input for which data will be fetched and delivered. Complication arises from the fact that different use-cases require different type of time-input. For instance, if user wants to see pm10 heatmap for specific point of time (static heatmap use-case), they'll have to provide a specific date for which data will be provided. But in case where user wants to see animated heatmap (animated heatmap use-case), they'll have to provide a time interval (2 dates). Application cannot serve multiple data-display use cases simultaneously, what means that time input can be only of one instance and of one type.

That brings us to the situation where all domain features are dependent on global time variable that can be one of two types: timestamp (certain point of time) or time-interval.

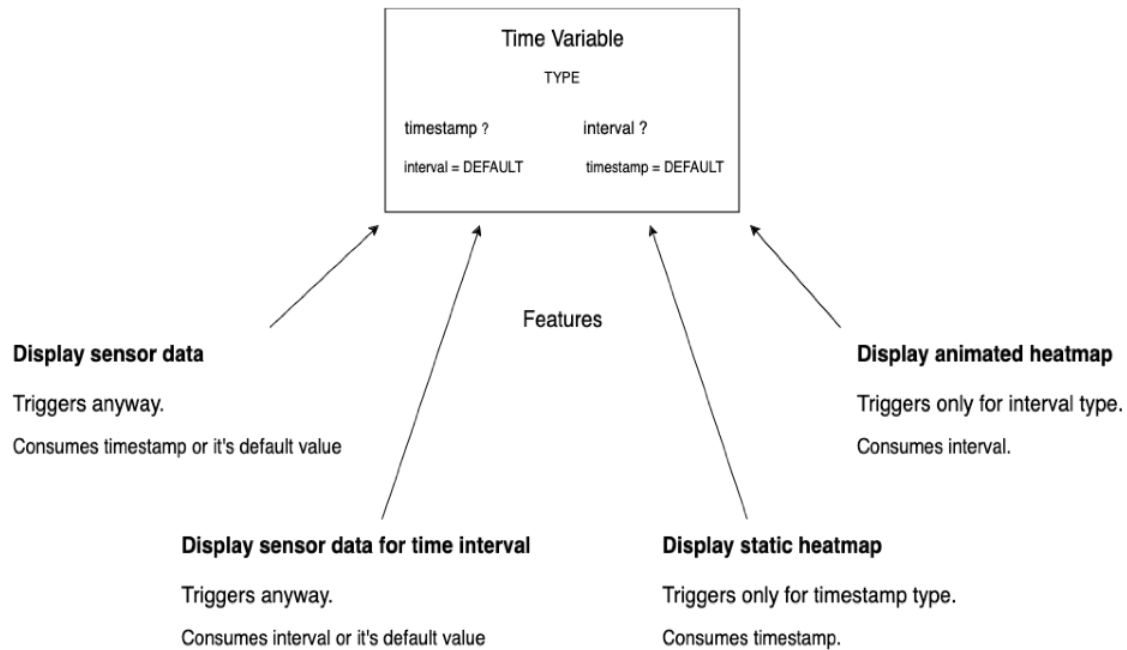


Figure 7: Time variable diagram

It's important to notice that application should be usable without any initial input from the user. That means if no time variable is provided, feature should use a default value. Default value of timestamp type should be latest available timestamp. Default value of interval type should maximum possible time interval (from earliest available timestamp to latest available timestamp).

This way user can use the application straight after the initial webpage have loaded, with no necessary input to be provided from the beginning.

Set Time Variable

Stimulus-Response Sequence

Name:	Set time variable
Actor:	User
Description:	User defines time variable.
Pre-condition:	None
Scenario:	1. The Actor clicks on date-time selector on map overlay. 2. System responds with popup or window containing selectors for timestamp and time interval. 3. The actor defines either the specific timestamp or time interval and submits 4. System closes selectors and notifies user on successful update.
Result:	Time variable is set/updated
Exceptions:	None
Extensions:	None

Functional Requirements

REQ-1.1: Time variable cannot be of two types simultaneously. When specified time variable changes its type, value of previous type should become default value.

REQ-1.2: Time variable should be stored locally on the client-side application state (browser storage, application state, cookies etc.).

Display (specific) Sensor Data

Description and priority

Software should provide user with pm10 readings retrieved from specific sensor. Along with sensor data software should also provide current weather parameters that might indicate on readings accuracy. Timestamp for sensor data might be specified by user. If timestamp is not specified, system should respond with latest data available.

Priority: 5

Stimulus-Response Sequence

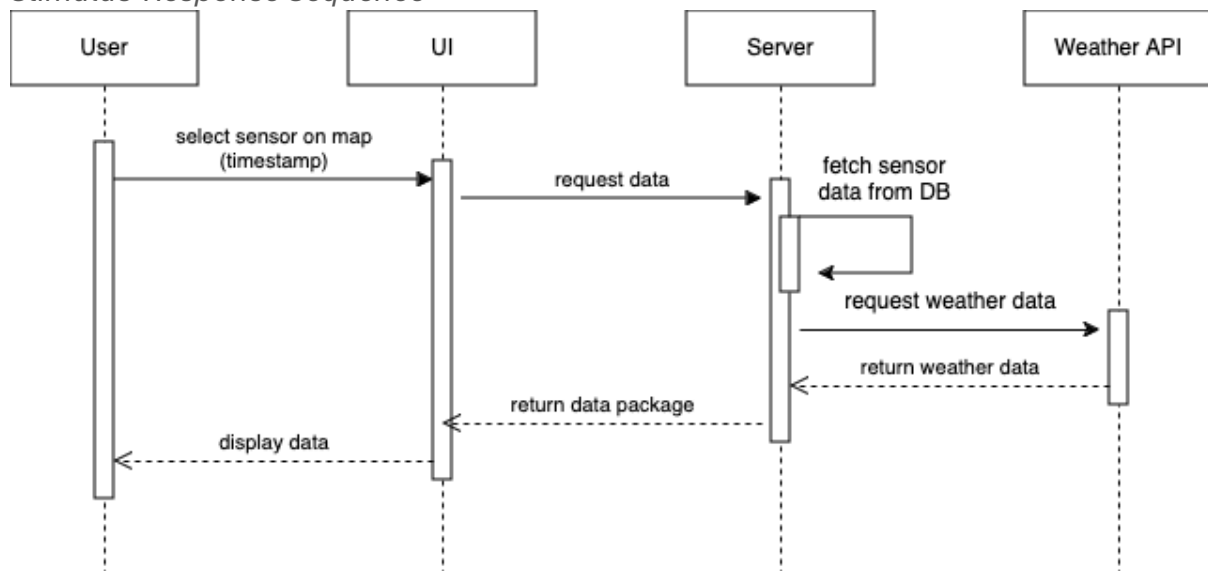


Figure 8: Display specific sensor sequence diagram

Feature behaviour should be initialized by user clicking on specific sensor on the interactive map that is positioned accordingly to real-life location. Data should be requested based on time variable.

Name:	Display Sensor Data
Actor:	User
Description:	User requests sensor data along with weather data.
Pre-condition:	None
Scenario:	1. The Actor selects a sensor positioned on interactive map 2. System responds with slide-window that contains sensor and weather data for specified timestamp
Result:	The Actor gains insight into.
Exceptions:	1. Actor have not specified the timestamp. 2. System responds with data of latest available timestamp.
Extensions:	2. If timestamp value is not specified, system responds with latest available data

Functional Requirements

REQ-2.1: System must validate user input before proceeding with request. Validating user input means checking if requested sensor is registered within the system and provided timestamp is not out of bounds.

REQ-2.2: If weather api is not available by the time of request, system must return fetched sensor data without weather parameters. No exception should be thrown but user must be notified that weather service is not currently available

REQ-2.3: If data does not exist for specified sensor and timestamp (for example sensor was offline during the timestamp), system should notify user that data is not available for this timestamp. This error must be differentiated from network error, where performing requests is not possible at all.

Display (specific) sensor data for time interval

Description and priority

Software should provide user with pm10 readings retrieved from specific sensor for specified time interval. Data should be represented in the form of line graph. Along with sensor data software should also provide current weather parameters that might indicate on readings accuracy. If no time interval is specified, system should use maximum possible time interval for request.

Priority: 5

Stimulus-Response Sequence

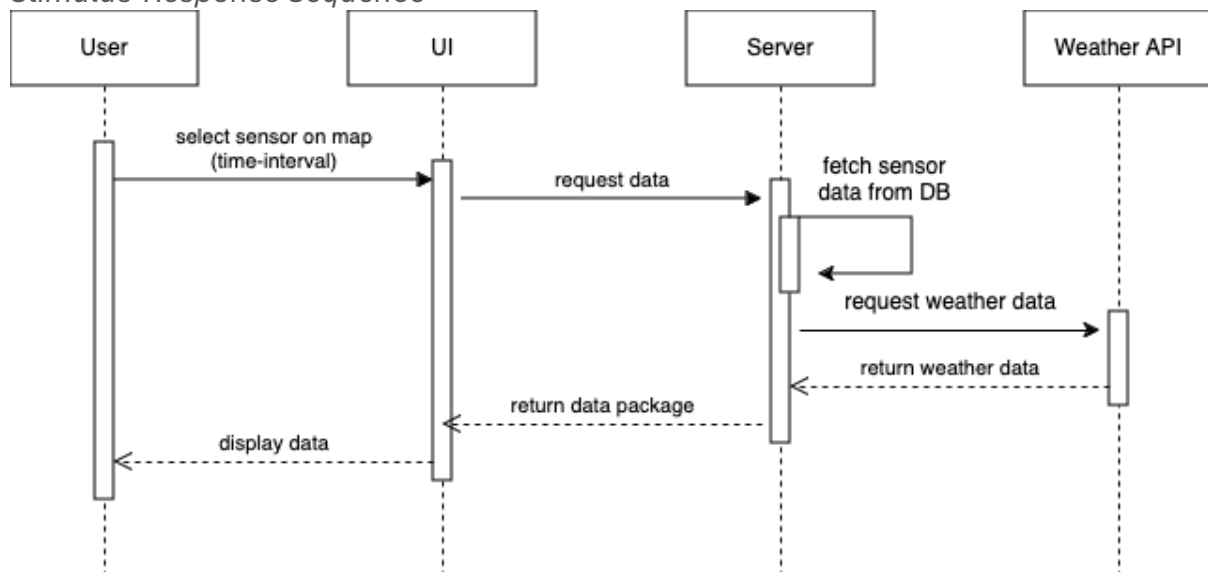


Figure 9: Display specific sensor for time interval sequence diagram

Feature behaviour should be initialized by user clicking on specific sensor on the interactive map that is positioned accordingly to real life location. Data should be requested based on time variable.

Name:	Display Sensor Data for time interval
Actor:	User
Description:	User requests sensor data along with weather data.
Pre-condition:	None
Scenario:	1. The Actor selects a sensor positioned on interactive map

	2. System responds with slide-window that contains sensor and weather data for specified interval
Result:	The Actor sees line graph for pm10 and humidity data for specified sensor.
Exceptions:	1. Actor have not specified time-interval 1.1 System responds with data of max. possible time-interval.
Extensions:	2. <i>Display Sensor Data feature</i> 2. If interval value is not specified, system responds with data for max. possible interval.

Functional Requirements

REQ-3.1: System must validate user input before proceeding with request. Validating user input means checking if requested sensor is registered within the system and provided timestamp is not out of bounds.

REQ-3.2: If weather api is not available by the time of request, system must return fetched sensor data without weather parameters (pm10 line graph without humidity series). No exception should be thrown but user must be notified that weather service is not currently available

REQ-3.3: If data does not exist for specified sensor and time interval, system should notify user that data is not available for this timestamp. This error must be differentiated from network error, where performing requests is not possible at all.

REQ-3.4: Line graph representing pm10 and humidity must be interactive. Hover over by specific part of the graph must trigger tooltip with specifications on data located on that part of graph.

Display static heatmap

Description and priority

Software should provide user with pm10 data visualized in a form of static heatmap that overlay grid of the interactive map. Heatmap should include readings of every sensor registered in the network – no sensor specification is required for that feature.

Heatmap should be in a form of “Hot Spot Map”, where data is visualized not by boundaries but by measuring the density of data points within the radius of geographical location.

Stimulus-Response Sequence

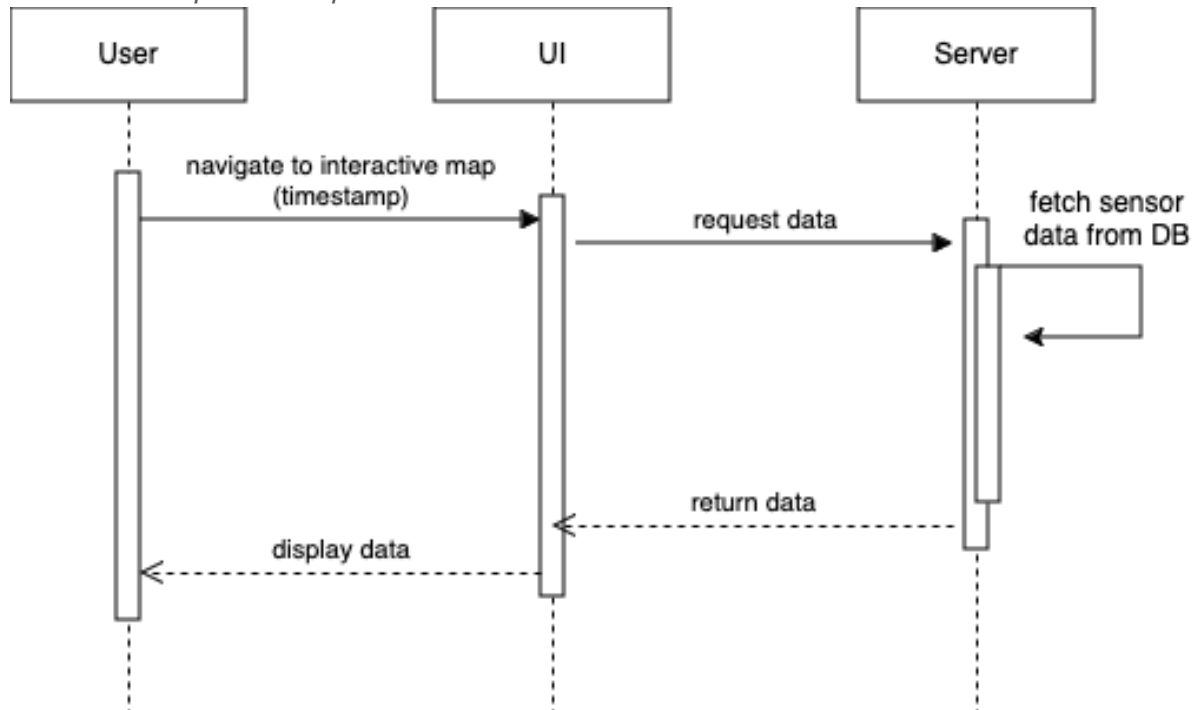


Figure 10: Display static heatmap sequence diagram

This feature should trigger automatically when time interval was not specified (what is an initial state of application state before user interactions take place). If timestamp was not specified, heatmap should contain data retrieved by last available timestamp. If timestamp was specified, heatmap should contain data retrieved by it. This way, feature should always be triggered if user does not specify time-interval, in which case Display Animated Heatmap feature should override this one.

Name:	Display static heatmap
Actor:	User
Description:	Static heatmap is displayed to the user
Pre-condition:	1. User have not specified time-interval.
Scenario:	1. User loads interactive map or updates timestamp. 2. System displays pm10 heatmap over geographical grid.
Result:	The Actor sees pm10 heatmap over geographical grid
Exceptions:	- - -
Extensions:	2. If timestamp value is not specified, system responds with latest available data

Functional Requirements

REQ-4.1: Heatmap should be in a form of “Hot Spot Map”, where data is visualized not by boundaries but by measuring the density of data points within the radius of geographical location.

REQ-4.2: Heatmap overlay should scale accordingly to map zoom level.

Display animated heatmap for time interval

Description and priority

Software should provide user with pm10 data visualized in a form of animated heatmap that overlay grid of the interactive map. Animated heatmap should include readings of every sensor registered in the network – no sensor specification should be required for that feature.

Priority: 9

Stimulus-Response Sequence

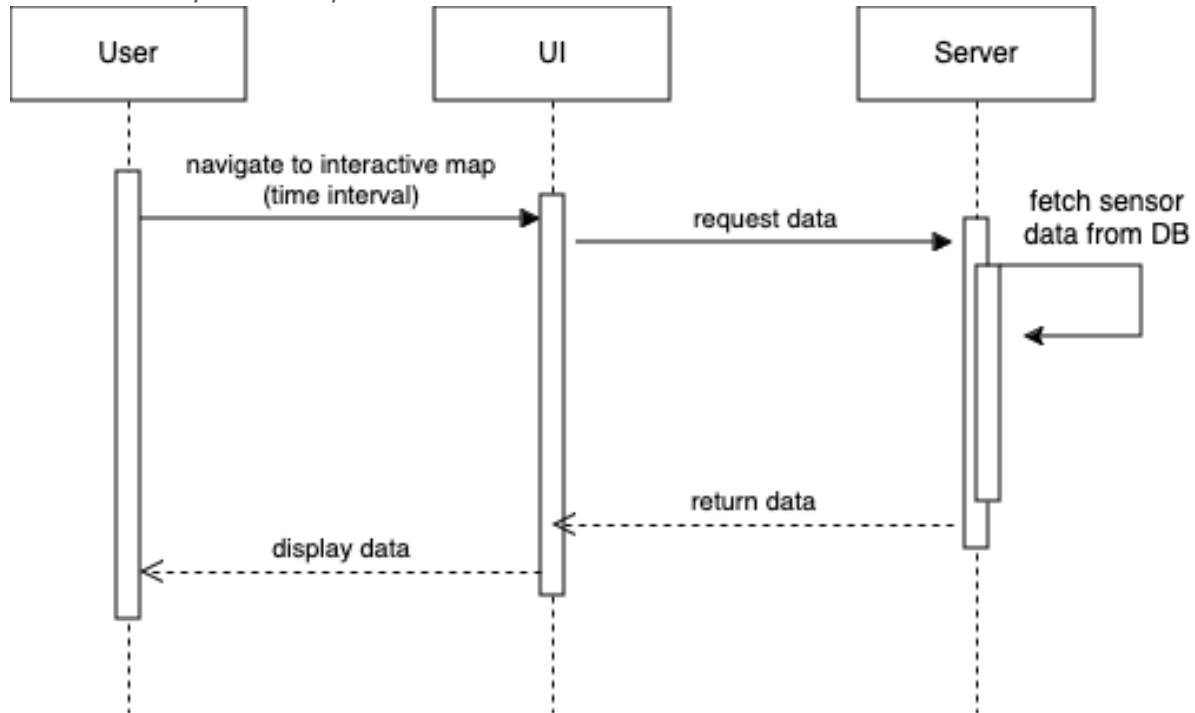


Figure 11: Display animated heatmap sequence diagram

This feature should trigger automatically when time interval is specified.

This feature should be behaviorally like Display static heatmap feature in other aspects.

Name:	Display animated heatmap for time interval
Actor:	User
Description:	Animated heatmap is displayed to the user
Pre-condition:	1. User have specified time-interval.
Scenario:	1. User loads interactive map or updates interval. 2. System displays pm10 heatmap over geographical grid.
Result:	The Actor sees pm10 heatmap over geographical grid
Exceptions:	- - -
Extensions:	2. If interval value is not specified, system responds with latest available data

Functional Requirements

REQ-4.1: Heatmap animation should be in a form of animated “Hot Spot Map”, where data is visualized not by boundaries but by measuring the density of data points within the radius of geographical location.

REQ-4.2: Heatmap overlay should scale accordingly to map zoom level.

REQ-4.3: Speed of animation should be determined by the user.

System Requirements Specifications Document (SRS)

The main artifact produced during this phase is System Requirements Specification document that describes specifications for software's functionality, appearance and process of development.

Composed document describes:

- Overall product description
Chapter provides overview of the system, briefly describing product's features, user classes, operating environment and design constraints.
- System Features Specifications
This chapter is focused on use-case analysis and describes each use case of the application in details. Every use case (feature) is described with text description, sequence diagram and use case scenario.
- External Interface Requirements
This chapter describes external and internal interfaces of the application including UI, software interfaces and communication interfaces.

3.2.5.2 Design Phase

This phase is focused on translating requirements established during Analysis phase to set of software blueprints and guidelines that are later to be implemented during Implementation phase.

System Architecture Design

Initial Architecture

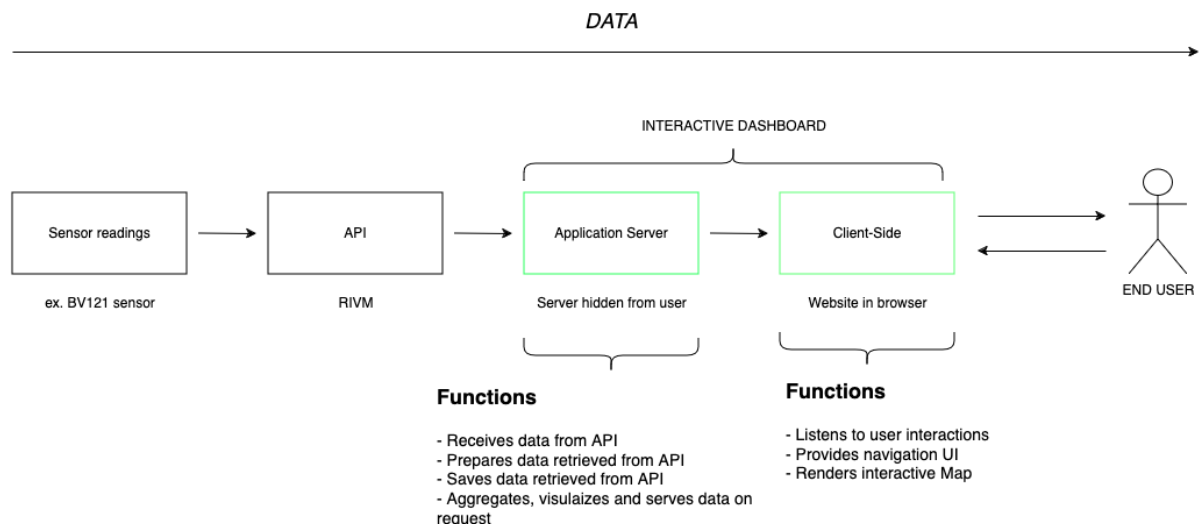


Figure 12: Initial architecture diagram

In initial data-flow design, a single API was unique source of data , what allowed system architecture to be rather simplistic: Client requests data visualization from the application, application makes request to the API retrieving the required data, processes it and serves back to the user.

Requirement to System Architecture

System architecture choice had to be reconsidered due to requirement formed during analysis phase that states that system must be extendible to multiple third-party API's. For instance, BV-sensors data should be taken from SOURCE1, humidity sensors data should be taken from SOURCE2 and PM2.5 sensors data should be taken from SOURCE3

System Architecture Choice

Persisting initial architecture with new requirement would force the application to make requests to bunch of different API every time user makes a request. Situation is also complicated by the fact that every API serves its response differently, handling of which would also be application's lifecycle duty. This approach would also result in system's terrible extendibility, since connecting a new API would require manipulating application's codebase. That's why it was decided to design a new architecture that would conceptually resolve the data-fetching issue.

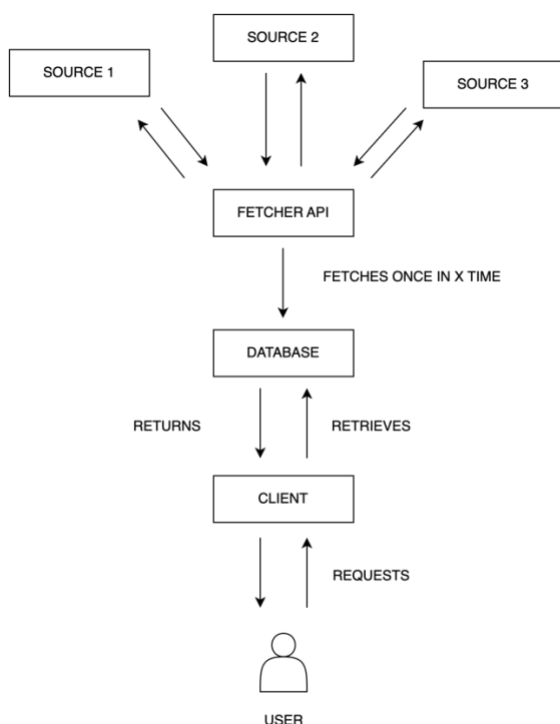


Figure 13: new architecture diagram

New architecture brings separation of application logic from data-fetching logic by introducing two new entities to the system: Database and fetcher-service.

All data that is consumed by the client is now centralized in the database, what frees application from making requests to multiple API's and mapping responses to unified format every time user accesses the webpage. With this approach application is assured on where the data is stored, how this data is stored and how response would look like.

Having a single database instead of multiple API's simplifies maintenance and minimizes a risk of system crash due to dependency failure. But sensor data still must be somehow retrieved from an API.

That's the purpose of second introduced entity: data-fetching service (fetcher).
Fetcher is a standalone service that propagates database with data retrieved from API's once in N time (configurable).

Change in architecture have redefined some of the use-cases formed during Analysis phase.

Fetcher Service

Fetcher is a standalone service that is responsible for propagating the database with sensor data.

Fetcher keeps a list of API's and once in configurable period of time it makes requests to every one of them, formats every response accordingly and pushes down to the database.

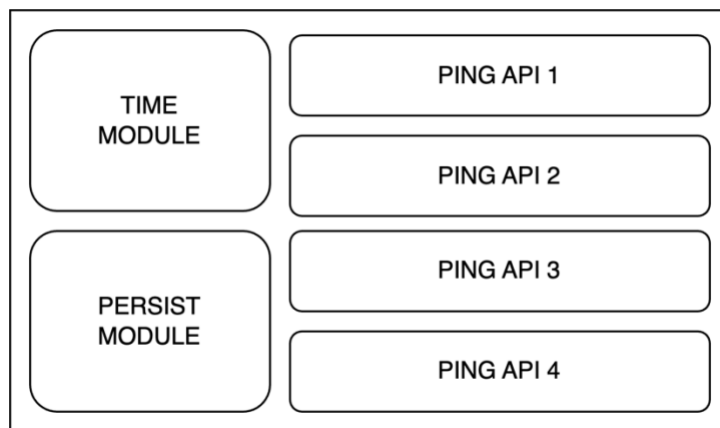


Figure 14: Fetcher-Service diagram

Fetcher service consists of next modules:

- Time module
Responsible for keeping track of when next database propagation should be, keeps track of time.
- Ping files
Every ping file is responsible for making a request to specific API and processing its response. One ping file is responsible for single API or other data source instance.
- Persist Module
Responsible for communication with the database. Gets data from ping file, runs checks on processed data, opens connection, writes entries and handles database errors if any.

With this approach if new API support must be added, the only thing to do is to add a new ping file to the fetcher service.

Database Design

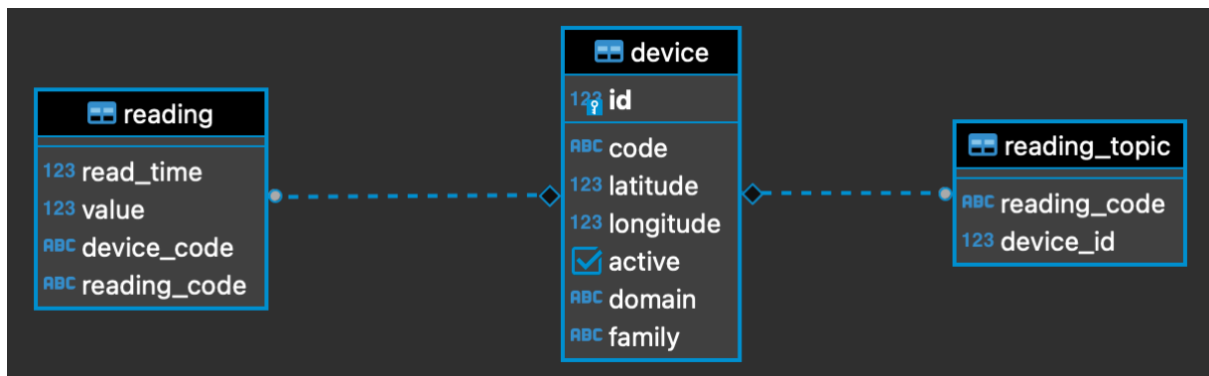


Figure 15: Database schema

New approach to data fetching includes database schema design being driven by strong focus on sensor generalization (any kind of sensor should fit).

User Interface Design

User interface contains next components:

- **Canvas**
Canvas is a key-stage interface component that contains interactive map with data visualization overlay. Canvas is responsible for data visualization as well as navigational and informative functionalities. This component should be always visible to the user and make up significant amount of screen-space.
- **Sensor data sidebar**
Sidebar that appears when user chooses specific sensor for inspection. Contains historical data for specific sensor.
- **Time interval selection sidebar**
Sidebar that appears when user chooses an option to animate visualization. This sidebar contains all required time-interval inputs for timelapse visualization.

Following wireframes illustrate overall layout of user interface components:

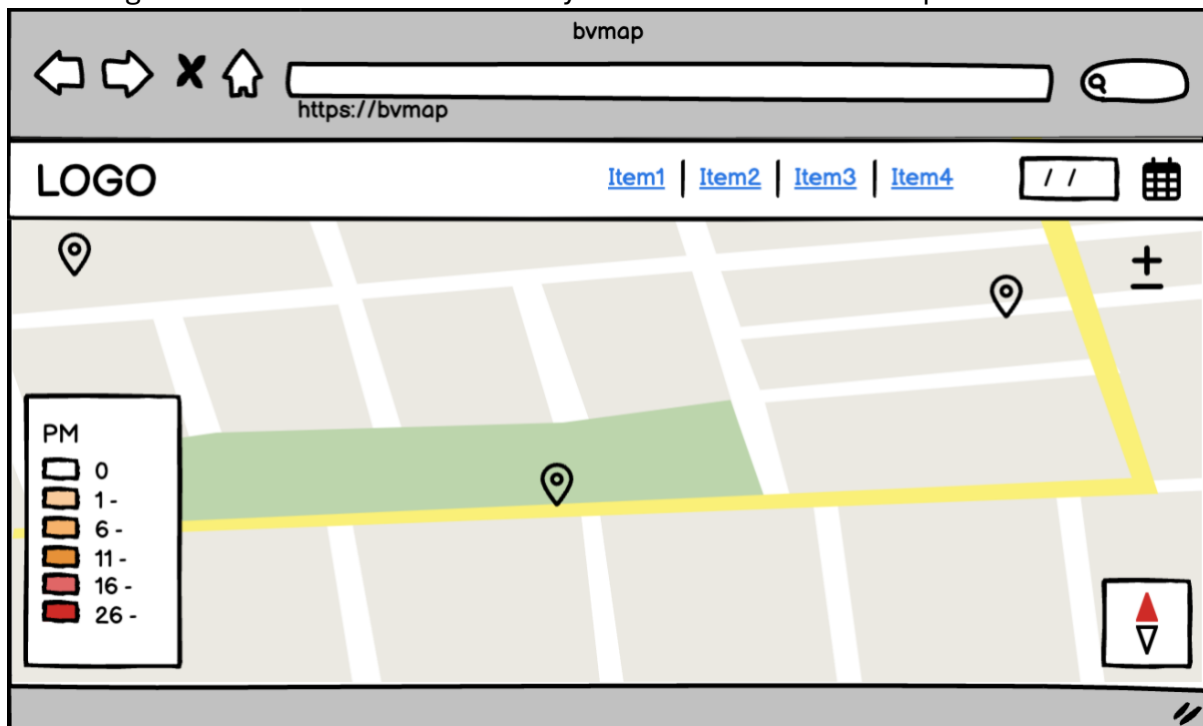


Figure 16: Canvas wireframe

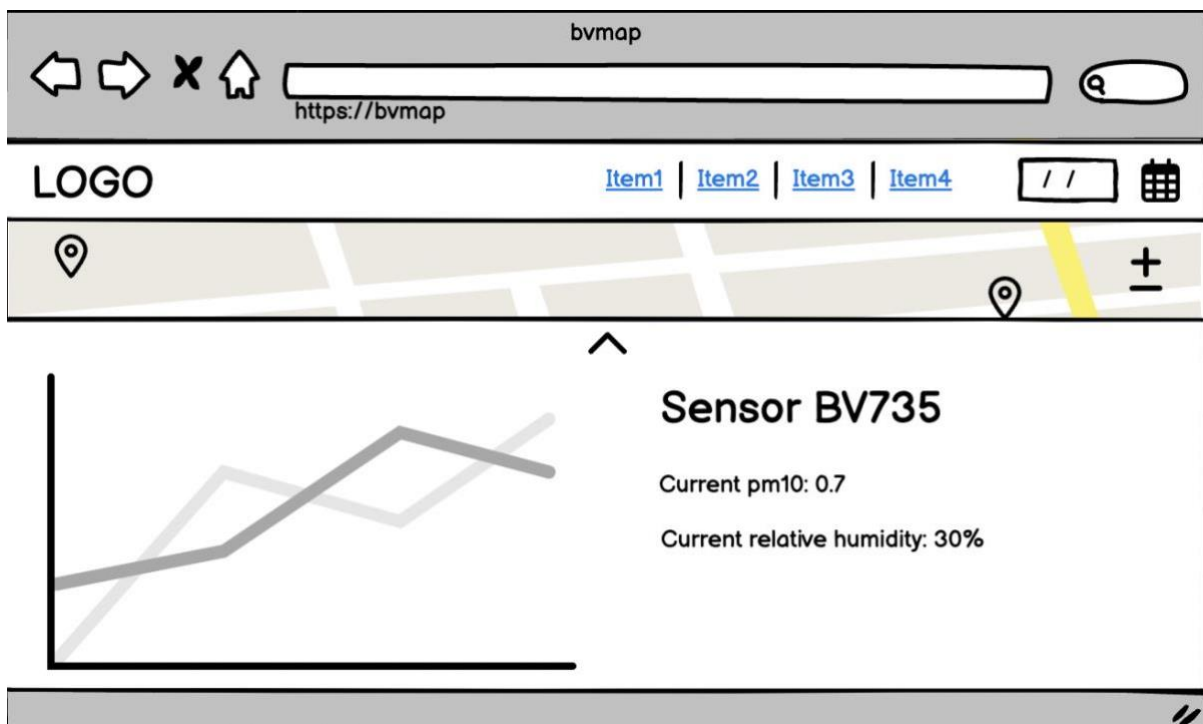


Figure 17: Sensor Data wireframe

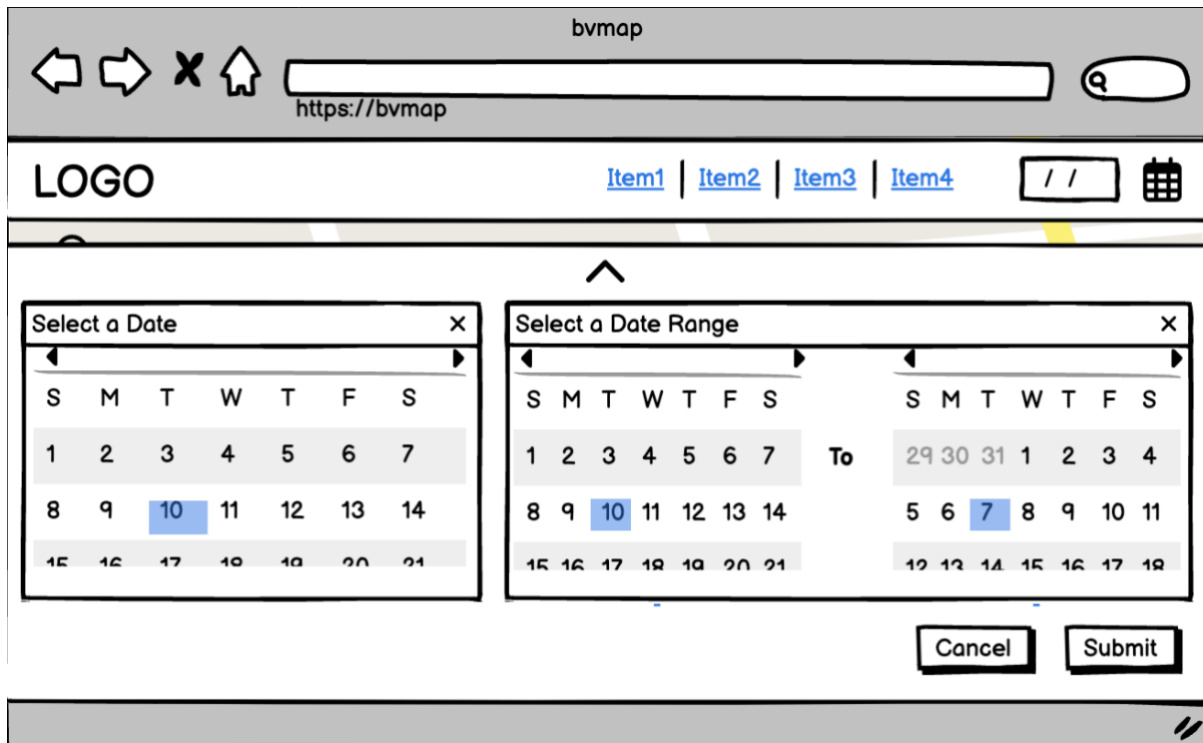


Figure 18: Time selection wireframe

Software Interfaces

Following software interfaces are used within the product:

- PostgreSQL
Database used to aggregate and store sensor readings.
- Flask
Python backend framework for organizing business logic of the application.
- Folium
Python library used for visualizing maps and data overlays.
- Other python libraries

Communication Interfaces

- Data API's
Application in its initial state utilizes single API (samenmeten.nl) for access to sensor data. Number of connected API's will increase in the future after deployment.
- MapBox API
Application uses MapBox raster satellite images provided by their API in 'on-demand' manner.

3.2.5.3 Implementation Phase

Environment and Tools

One of the main non-functional requirements to the project implementation is ease in maintenance, what means that application should be developed within single framework and code environment.

Application's both frontend and backend logic are developed within Flask framework, what implies that entire application is contained within python environment.

Technology Stack

Front-end	Python v3 (Flask framework)
Back-end	Python v3 (Flask framework)
External Libraries	Folium, Flatpickr, Ajax
Client Logic	JavaScript
Database	PostgreSQL
Hosting environment	Docker
Styles	Vanilla CSS, Bootstrap, fontAwesome

Frontend & Backend

Despite that Flask framework is considered a server-side framework, it can also be used for handling front-end logic via JS files. Therefore, no frontend framework like React, Vue or Angular is required to achieve completion of planned use-cases.

External Libraries

Application utilizes number of both Python and JavaScript libraries:

- Folium
Python library used for creating interactive maps. It leverages the Leaflet.js library to generate maps that can be embedded in web applications. Folium allows users to visualize data that's been manipulated in Python on an interactive leaflet map.
- FlatPickr.js
JavaScript library for creating customizable date and time pickers. It provides a user-friendly interface for selecting dates and times, with features such as date ranges, time selection, and multiple date selection.
- Ajax
JavaScript library designed to simplify the process of making asynchronous HTTP requests. Within the application it allows to fetch data client-side after html/js/css bundle was served by the server.

Client Logic

Application features require both server-side and client logic-side. Unfortunately, not much can be done with Flask alone since it runs on the server and therefore cannot handle basic user interactions that do not require change of URL parameters. One way to work-around Flask server-side nature is usage of client scripts. Within developed application client scripts are runtime JS files that are served to client's browser alongside with html bundle. It is also possible to bridge JS file back to Flask by exposing server API and then making requests to it from client browser via Ajax technique.

Hosting environment

Docker was chosen as a hosting service due to its ease of maintenance and ease of portability. Docker's containerization simplifies the deployment process and facilitates seamless migration between various platforms, what is one of non-functional requirements.

Styles

For styling purposes vanilla CSS was used. Some of the imported libraries like Flatpickr enforce its CSS bundles that require Bootstrap CSS framework.

Codebase Structure

Flask requires some components to be located within specific folders but gives freedom of choice in most of logic organization. The codebase is structured in accordance with Flask's framework conventions to ensure readability, ease of maintenance and application's stability.

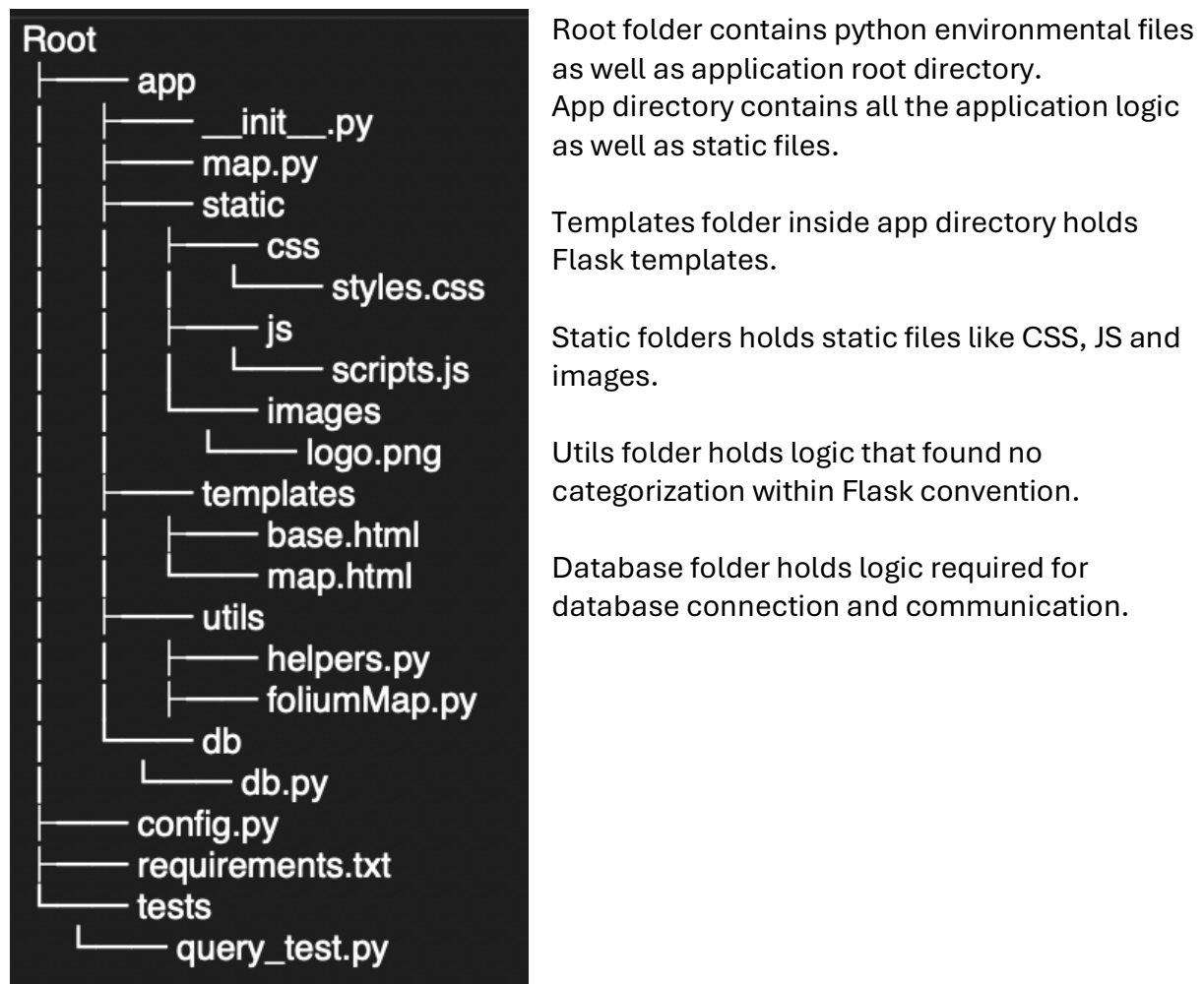


Figure 19: Codebase structure

Templates

Templates in Flask are essentially HTML files that contain placeholders for dynamic content. These placeholders are filled with actual data when the web page is rendered. Within this application there are only two templates: 'base.html' that holds layout for

every page and can nest other templates like 'map.html' that provides layout for the interactive map page.

Blueprints

Blueprints in Flask are a way to organize an application into modular components. These components group related routes, templates, and static files together, making the application more maintainable and scalable.

Since application holds single domain functionality (interactive map), there is only one blueprint present. Blueprint file is called 'map.py' and is located within application root. In this case map blueprint defines a servable url path '/map', retrieves necessary data and passes it to map-rendering component.

In other words, map blueprint is the entry point and a handler for every client request concerning interactive map domain.

```
1. bp = Blueprint('map', __name__, url_prefix='/map') #define blueprint
2.
3. @bp.route('/')
4.
5. def map():
6.     #{time variable logic}
7.     try:
8.         #{extensive data-fetching logic}
9.         return(foliumMap.compose(sensors, prepared_data)) #{pass data to composer}
10.    except Exception as e:
11.        print(e)
```

Line 1: Initialize a blueprint with 'map' prefix.

Line 3: Define a route for a function with python decorator. In this case single '/' means that whenever user accesses '/map', function 'map' underneath the decorator will be executed.

Line 5: Function retrieves data and passes it to the map composer

Database connection

Database communication logic is spread along multiple components. 'db.py' file performs connection setup and exposes 'db' object that is to be consumed by blueprints for corresponding operations.

In other words, 'db.py' concerns itself only with initializing and killing the connection. All the data-fetching logic (queries) is handled by the blueprint.

```
1. def get_db():
2.     if 'db' not in g: #Make sure there is only one instance of DB in application
3.         dbconfig = current_app.config['DATABASE'];
4.         g.db = psycopg2.connect(
5.             database=dbconfig['dbname'],user=dbconfig['user'],
6.             password=dbconfig['password'], host=dbconfig['host'],
7.             port=dbconfig['port']
8.         ) #Connect to database with credentials taken from config
9.     return g.db
10. def close_db():
11.     db = g.pop('db', None)
12.     if db is not None:
13.         db.close()
```

Code above ensures that only one instance of database connection exists per application instance. All credentials for connection are taken from environmental configuration that must not be shared via version control systems or any other way.

Time variable & Routing

High-level routing is handled by blueprint component. Routing between static and animated heatmap is based on type of time variable.

Accordingly to design phase, time variable must be one of two types: timestamp or time interval.

Time variable is defined as URL parameter. Timestamp type is defined as 'time' parameter and interval is defined as 'period' parameter.

This way if variable is of 'timestamp' type, URL would look the following way:
'http://localhost:5001/map?time={timestamp}'

If variable is of 'interval' type, URL would look like this:
'http://localhost:5001/map?period={timestamp}-{timestamp}'

Based on variable type, map blueprint decides what map-composer function will be called

```
1. @bp.route('/')
2. def map():
3.     cursor = get_db().cursor(); #consumes db object from db.py
4.     period_param = request.args.get('period') #attempts to get interval parameter
5.     time_param = request.args.get('time') #attempts to get timestamp parameter
6.     data = None
7.     sensors = None
8.     try:
9.         if period_param is not None: #means time variable is of type 'interval'
10.             #{extensive data-fetching logic for interval time variable}
11.             return(foliumMap.compose_animated(sensors, data))
12.         else:
13.             if time_param is not None: #means time variable is of type 'time'
14.                 #{extensive data-fetching logic for timestamp time variable}
15.             else: #means no time variable is specified
16.                 #{extensive data-fetching logic for default time variable}
17.             return(foliumMap.compose(sensors, prepared_data))
18.     except Exception as e:
19.         print(e)
```

Line 9: If variable is interval, proceed with required data-fetching and call function to compose animated heatmap

Line 13: If variable is timestamp, proceed with required data-fetching and call function to compose static heatmap

Line 15: If no variable is specified, proceed with default data-fetching and call function to compose static heatmap (default behavior)

Map rendering

All the map rendering logic is centralized inside 'foliumMap.py' (composer) file that is stored in 'utils' folder. Functions of composer are called from map blueprint only. Composer is responsible for rendering interactive Folium map.

Composer exposes 'compose' function that accepts sensor data as well as identifier that defines if map should be static or animated. In both cases function prepares iFrame html object, embeds client scripts and returns propagated map template.

```
1. def compose(sensors, data):
2.     m = prepare_map(sensors, data, False) #Gets map object.
3.     topicsData = mapper.groupDataByDomain(data) #Creates multiple layer for every
available reading topic
4.     for topic in topicsData:
5.         HeatMap(topic['data']).add_to(folium.FeatureGroup(name=topic['domain'],
overlay=False).add_to(m)) #for every available topic creates a heatmap
6.         folium.LayerControl().add_to(m) #plugin that adds layer control ui
7.         iframe = m.get_root()._repr_html_() #composing iFrame
8.         return render_template('map.html',iframe=iframe) #returns propagated template
9.
```

Map rendering requires initialization of Folium map object. After object is initialized it can be propagated with configurational objects from Folium library. After configuration is complete, an iframe is generated that is embedded to the map template that is then returned.

3.2.5.4 Tests

All parts of the application went through manual-testing, including usual cases as well as extreme one's that are unlikely to happen in the field due to preventive validation.

Unit tests covered 85% of application routing logic.

More unit tests are currently in development.

No automatized tests were performed on web-infrastructure yet.

Request Lifecycle overview

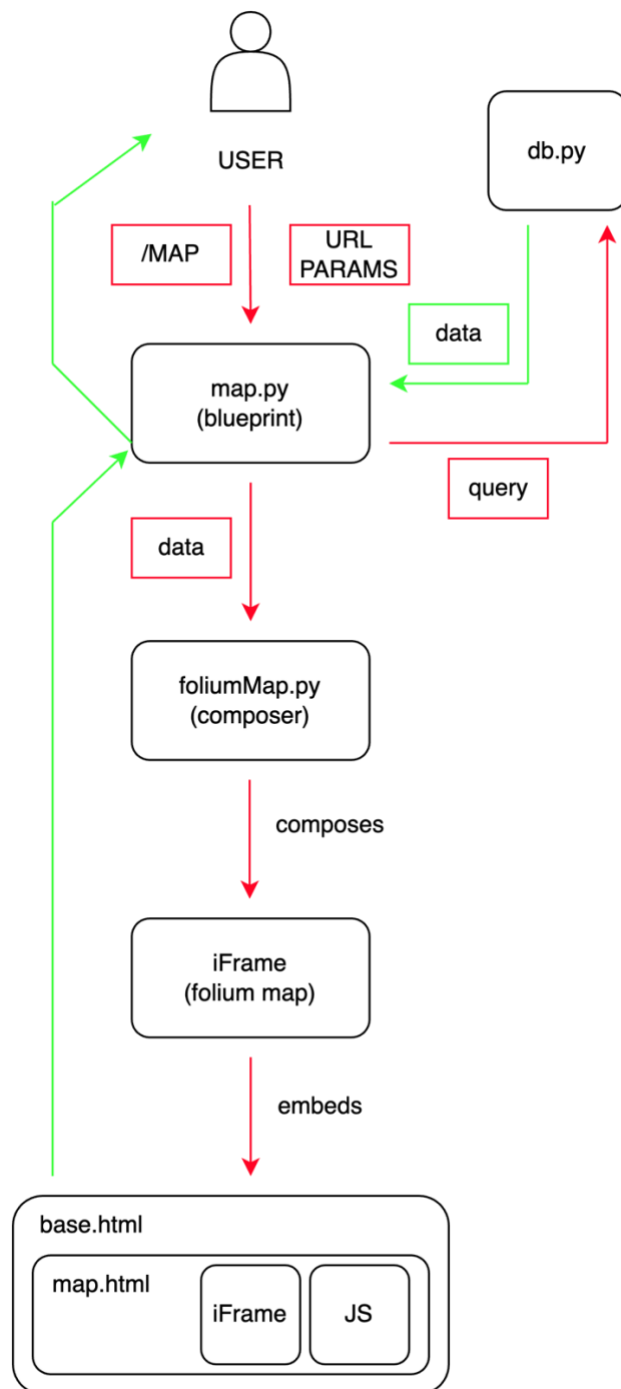


Figure 20: Request Lifecycle diagram

1. Flask links user request to registered blueprint
2. Blueprint checks time variable and makes corresponding request to the DB
3. Blueprint calls composer function and passes data as an argument.
4. Composer function prepares data, forms iFrame interactive map via Folium library, propagates template with iFrame and Client Scripts. Returns propagated template back to blueprint
5. Blueprint returns propagated template to the user

‘Exact time’ query issue

Due to periodic nature of sensor readings, a situation can appear where user requests data for timestamp between two reading entries.

Example

Database contains three sensor readings for three independent sensors:

- Reading “A” with timestamp of 2.40pm
- Reading “B” with timestamp of 2.40pm
- Reading “C” with timestamp of 7pm

If user sets time variable to 2:35pm, none of readings will be returned because no match on timestamp will occur. This situation can happen especially if sensors in question have different intervals between readings.

Solution

Design SQL queries in the way that readings are matched not by exact timestamp, but by closest available reading to provided timestamp. Queries must also limit the range of seek for closest timestamp based on other closest readings. (Example: So reading C is not returned if time variable is 2:35pm)

With such approach query would return readings “A” and “B” when time variable is set to 2:35pm

However, leaving this approach as only option would introduce another issue. In case if user values the exact timestamp, they provided they would be misinformed by the system. Solution to this is to leave user a choice between two modes of data-fetching: “Strict”, where readings are requested only for exact timestamp and “Closest to” that would fetch readings in manner described above.

Display static heatmap

To retrieve data for a static heatmap, blueprint executes following database query:

```
1. -- Select distinct latitude, longitude, domain, family, value, code, and read_time
2. SELECT DISTINCT
3.     d.latitude,
4.     d.longitude,
5.     d.domain,
6.     d.family,
7.     r.value,
8.     d.code,
9.     r.read_time
10. FROM
11.     device d
12. JOIN
13.     (
14.         -- Subquery to calculate the time difference for each reading
15.         SELECT
16.             r1.device_code,
17.             r1.read_time,
18.             r1.value,
19.             -- Calculate the absolute difference in seconds between read_time and the given
time_param_converted
20.             ABS(EXTRACT(EPOCH FROM to_timestamp(r1.read_time)) - {time_param_converted}) AS
time_diff
21.         FROM
22.             reading r1
23.     ) AS r
24. ON
25.     d.code = r.device_code
26. WHERE
27.     -- Filter to get the readings with the minimum time difference
28.     r.time_diff = (
29.         -- Subquery to find the minimum time difference
30.         SELECT
31.             MIN(ABS(time_diff))
32.         FROM
33.             (
34.                 -- Subquery to calculate the time difference for each reading again
35.                 SELECT
36.                     ABS(EXTRACT(EPOCH FROM to_timestamp(r2.read_time)) -
{time_param_converted}) AS time_diff
37.                 FROM
38.                     reading r2
39.             ) AS time_diff_table
40.     );
```

This query is designed to retrieve the readings on devices that are closest in time to provided timestamp, implementing the 'Exact time' issue resolution.

The query begins by selecting distinct attributes from the device table. It joins this table with a subquery that calculates the absolute time difference between each reading's timestamp and the specified `time_param_converted` variable. The subquery labeled as 'r', selects required attributes as well as calculated time difference for each reading from the reading table.

The main query then filters these results to include only the records where the time difference is the minimum absolute difference for each device. This is achieved via another subquery that finds the minimum time difference by recalculating the absolute

time difference for each reading. This way query ensures that only the readings with the smallest time difference to the specified timestamp are selected.

To retrieve data for heatmap animation, blueprint executes following database query:

```
1. -- Generate a series of timestamps at hourly intervals
2. WITH time_steps AS (
3.     SELECT generate_series({start_time}, {endtime}, {step} * 60) AS step_time
4. ),
5.
6. -- Find the closest readings to each generated timestamp
7. closest_readings AS (
8.     SELECT
9.         d.latitude,
10.        d.longitude,
11.        d.domain,
12.        d.family,
13.        r.value,
14.        d.code,
15.        r.read_time,
16.        ts.step_time,
17.        -- Assign a row number to each reading, partitioned by step_time and device_code,
18.        -- ordered by the time difference
19.        ROW_NUMBER() OVER (
20.            PARTITION BY ts.step_time, r.device_code
21.            ORDER BY ABS(EXTRACT(EPOCH FROM to_timestamp(r.read_time)) - ts.step_time)
22.        ) AS rn
23.     FROM
24.         device d
25.     JOIN
26.         reading r
27.     ON
28.         d.code = r.device_code
29.     JOIN
30.         time_steps ts
31.     ON
32.         true
33. )
34. -- Select the closest reading for each generated timestamp and aggregate the results into
35. -- JSON objects
36. SELECT
37.     step_time AS timestamp,
38.     json_agg(
39.         json_build_object(
40.             'latitude', latitude,
41.             'longitude', longitude,
42.             'domain', domain,
43.             'family', family,
44.             'value', value,
45.             'code', code,
46.             'read_time', read_time
47.         ) AS data
48.     FROM
49.         closest_readings
50. WHERE
51.     rn = 1
52. GROUP BY
53.     step_time
54. ORDER BY
55.     step_time;
```

Unlike previous query, this one generates a series of timestamps and then finds the closest device readings to each of these timestamps (as previous one). A group of readings retrieved for one timestamp in the series is called ‘frame’. Later, retrieved collection of frames is used to generate a timelapse of heatmaps, composing an animation. This query accepts 3 parameters: ‘start_time’ that defines first timestamp in

the timestamp series, 'end_time' that defines last timestamp in the timestamp series and 'step' that defines how often series will be generated within boundaries of start_time and end_time.

In other words, if user sets start_time to be 6pm, end_time to be 7pm and step to be 2 minutes, query will return series of 30 frames (frame for 6:02, frame for 6:04 ... frame for 6:56, frame for 6:58, frame for 7pm)

3.2.6 Conclusion

Research and development performed for this assignment successfully resulted in working prototype approved by stakeholders of the project. Approaches taken during analysis, design, implementation and testing phases of development serve as answer to research question.

3.2.6.1 Current State

Current State of the application fulfills all requirements described in the SRS. Although some secondary wishes are yet to be implemented as well as UX improvements. Current target of improvement is enhancement & testing of web-infrastructure (database communications, fetcher service etc.)

2.3.6.2 Future development & Deployment

The application currently fulfills the essential requirements as outlined in the project requirement specifications document. However, it is advisable to enhance the web infrastructure before proceeding with hosting and deployment. No automatized tests were performed on web-infrastructure, what is highly advisable before field-deployment.

2.3.6.3 Deployment

All components of the application are containerized via Docker, what contributes to ease of deployment and migration. Application containerization uses default environmental settings that are recommended and supported by Docker officials. More information on deployment can be found in legacy-documentation document that will be composed after the work on the codebase is fully complete.

4. Conclusion

By the end of the internship, two assignments were completed accordingly to the plan. Although many changes to the initial assignments were introduced during their execution, it took no significant effect on meeting deadlines or research quality.

First assignment resulted in research successfully conducted with valuable outcomes on best-fit correction models and sensor accuracy in general that answers research question.

Second assignment resulted in working prototype that fulfills requirements described in approved SRS document. Software went through all stages of development including analysis, design, implementation and testing.

Frequent feedback on both assignments contributed in execution efficiency and bottlenecks avoidance.

5. References

Flask documentation

<https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/>

Folium

<https://python-visualization.github.io/folium/latest/>

Python Folium: Create Web Maps From Your Data

<https://realpython.com/python-folium-web-maps-from-data/>

Particle matter UK analysis

<https://www.gov.uk/government/statistics/air-quality-statistics/concentrations-of-particulate-matter-pm10-and-pm25>

Copernicus Data Portal & Research

<https://policy.atmosphere.copernicus.eu/>

Time Series Clustering — Deriving Trends and Archetypes from Sequential Data

<https://towardsdatascience.com/time-series-clustering-deriving-trends-and-archetypes-from-sequential-data-bb87783312b4>

Official (reference) PM measurements

<https://www.luchtmeetnet.nl/meetpunten?station=NL10131&component=PM10>

Copernicus Toolbox

https://ineris.shinyapps.io/CAMS_ACT_map/

<https://policy.atmosphere.copernicus.eu/act.php>

RIVM report on humidity issue of SDS011

https://www.samenmeten.nl/sites/default/files/2018-07/Status_SDS011_12juli18.pdf

How users modify SDS011 to remove humidity

<https://github.com/opendata-stuttgart/sensors-software/issues/333>

Comparison of calculated LOTOS-EUROS with measured PM values

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590162122000272>

Belevingsonderzoek hinder en positieve gezondheid in Leunen / Veulen / Heide

Managementsamenvatting

Sjef Staps & Charlotte Sederel

22 november 2024

© 2024 Louis Bolk Instituut, Bunnik

Belevingsonderzoek hinder en gezondheid

Managementsamenvatting

Sjef Staps & Charlotte Sederel

9 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via
www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

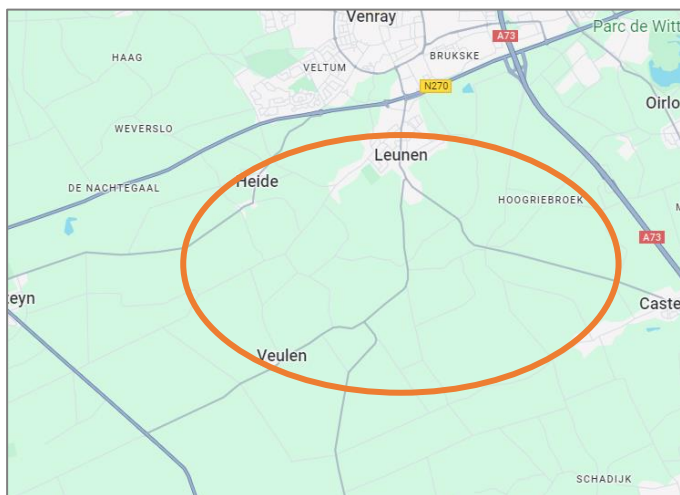
Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

✕ @LouisBolk

1 Inleiding

Binnen het project Grenzeloos Meten werken de gemeenten Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venray en de Provincie Limburg samen om meer inzicht te krijgen in het meten en beleven van de luchtkwaliteit. In het kader van dit project heeft het Louis Bolk Instituut (LBI) tussen januari 2023 en juni 2024 een belevingsonderzoek uitgevoerd in het gebied Heide – Leunen – Veulen in de gemeente Venray.



Figuur 1: Onderzoeksgebied

De primaire doelstelling was om inzicht te verkrijgen in de ervaren hinder van intensieve veehouderijen en de effecten daarvan op de gezondheid van de omwonenden. Daarnaast wordt onderzocht of er een verband kon worden gelegd tussen deze hinderbeleving en de geurwaarden die zijn gemeten in het kader van het project Grenzeloos Meten. Het belevingsonderzoek is uitgevoerd met behulp van de webapplicatie voor Positieve Gezondheid en Leefomgeving, die het LBI samen met de GGD Hart voor Brabant heeft ontwikkeld. Dit aard van dit onderzoek is exploratief en niet representatief. Desalniettemin geeft het waardevolle inzichten in de beleving van hinder en gezondheid, in bronnen van hinder en mogelijke oplossingsrichtingen. De onderzoeksresultaten zijn in detail weergegeven in de PowerPointpresentatie in de bijlage. Voorliggende rapportage behelst een beknopte samenvatting, aangevuld met aanbevelingen.

2 Uitgevoerde onderzoeksactiviteiten

Het onderzoek startte met een verkennende interviews met omwonenden (zes) en veehouders (drie), gevolgd door drie meetperiodes. Deze vonden plaats in september 2023, januari 2024 en mei 2024. Tijdens deze meetperiodes rapporteerden de deelnemers dagelijks via de webapplicatie over hun ervaren hinder en gezondheid. Hierbij werd geregistreerd of zij hinder ondervonden, om welk type hinder het ging, de ernst ervan en de mate waarin deze hinder hun

gezondheid beïnvloedde. Ook vond monitoring plaats op het gebied van overlast van geur, geluid, verkeer, licht, houtstook, ongedierte en gevoelens van onveiligheid. Na elke meetperiode organiseerden we een bewonersavond waarin we de resultaten presenteerden en met de deelnemers in gesprek gingen over knelpunten, positieve aspecten en mogelijke oplossingsrichtingen.

3 Resultaten

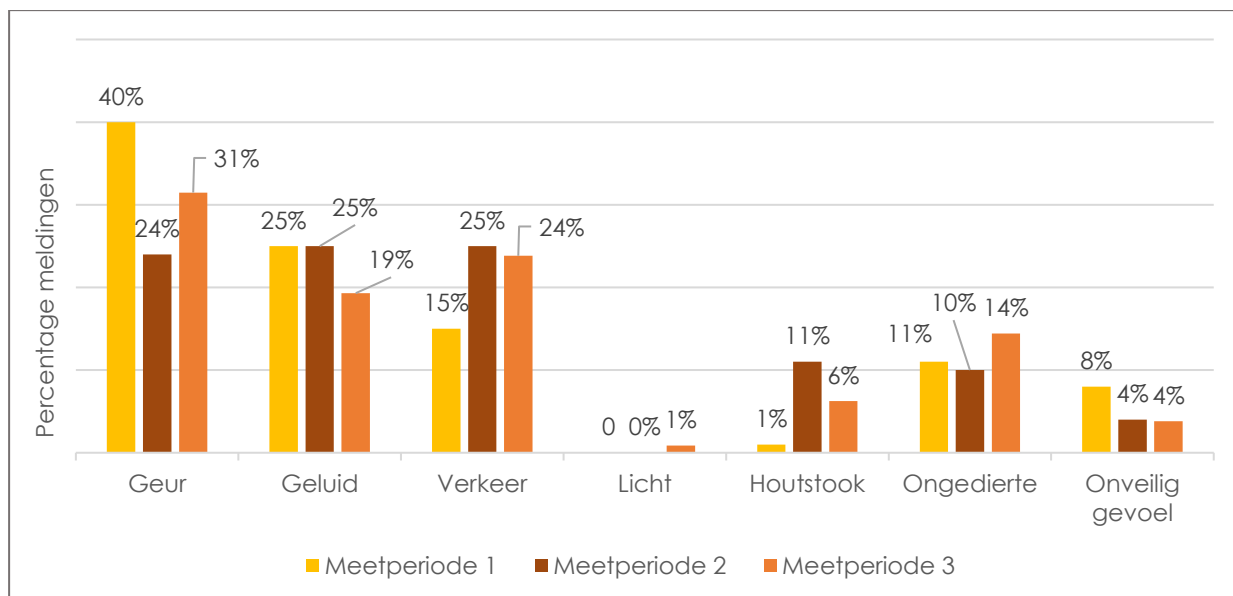
Tabel 1 laat een samenvatting van de drie meetperioden zien wat betreft deelnemers, meldingen en weersomstandigheden.

Tabel 1: Omstandigheden en gegevens meetperioden

	Meetperiode 1	Meetperiode 2	Meetperiode 3
Duur	3 weken	3 weken	4,5 weken
Data	4 t/m 25 sept	18 jan t/m 7 feb	1 apr t/m 1 mei
Bijzonderheden		Optie 'wel melding, geen hinder' toegevoegd	'Light'-versie met alleen hindermeldingen
Aantal deelnemers	17	40	34
Totaal aantal meldingen	275	640	853
Totaal aantal hindermeldingen	275 (100%)	378 (59%)	364 (43%)
Gemiddeld aantal meldingen per dag	13,6	27	28
Gemiddelde temperatuur	18,5	6,2	15
Dominante windrichtingen	O, ZO, ZW en W	ZW en WZW	ZW en ZO

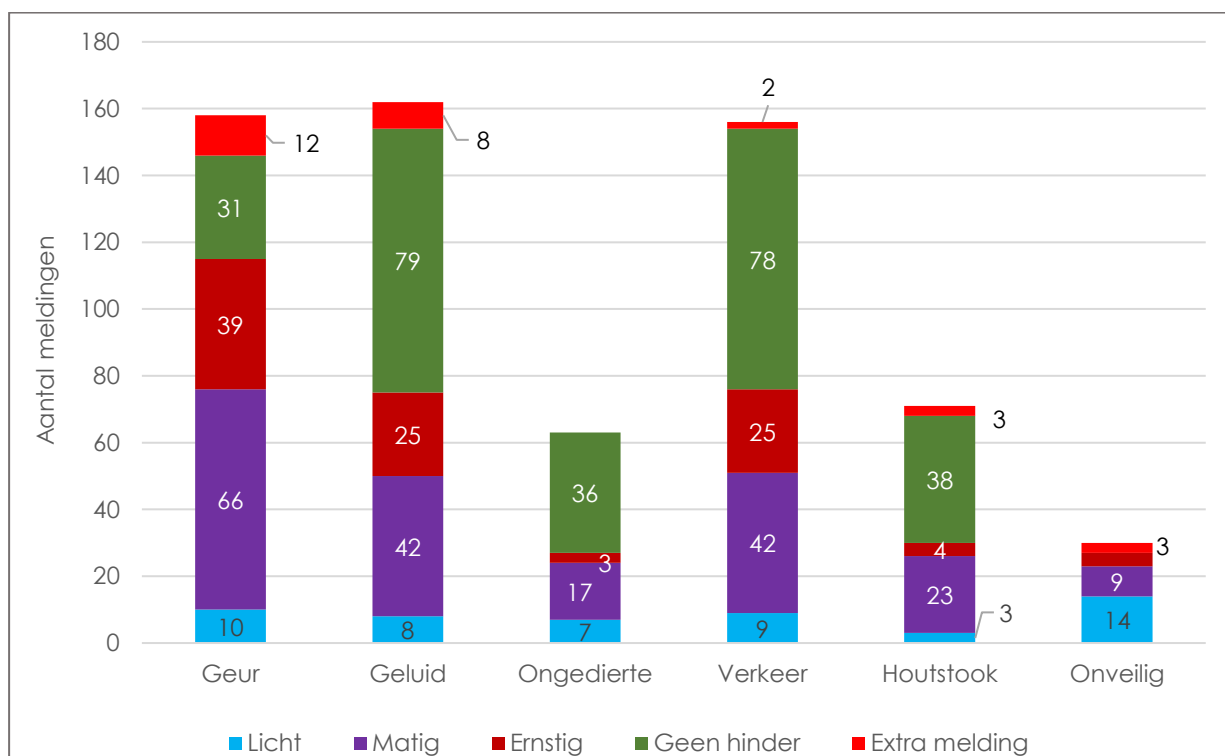
Meetperiode 3 was een 'light'-versie met een focus op hindermeldingen (en niet op positieve gezondheid) die 10 dagen langer duurde. Ook is de optie 'wel geur/geluid/licht/etc., maar geen hinder' aan de meldingsopties is toegevoegd.

Figuur 2 laat het percentage hindermeldingen per type hinder zien tijdens de drie meetperioden. De eerste kolom laat bijvoorbeeld zien dat 40% van alle hindermeldingen tijdens meetperiode 1 geurhinder betrof. Geur-, geluids- en verkeershinder zijn tijdens de drie meetperioden het meest dominant.



Figuur 2: Percentage meldingen per type hinder voor alle meetperioden

Ter illustratie van de aantallen geeft figuur 3 inzicht in het aantal hindermeldingen per type hindermelding tijdens meetperiode 2. In de eerste kolom is bijvoorbeeld te zien dat er 39 meldingen zijn gedaan van ernstige geurhinder en dat er 31 keer 'wel geur maar geen hinder' is gemeld. Het getal 12 geeft aan dat er gedurende meetperiode 2 12 extra meldingen zijn gedaan van geurhinder, bovenop de dagelijkse meldingen. In de kolommen van geluid en verkeer is te zien dat beide veel aanwezig zijn geweest, maar dat dit in de helft van de gevallen niet als hinderlijk werd ervaren.



Figuur 3: Aantal meldingen per type hinder tijdens meetperiode 2 (jan - feb 2024, totaal 640 meldingen)

3.1 Geurhinder

Geurhinder gaat in dit geval met name over permanente stallucht, chemische lucht (luchtwaters) en mestlucht. De genoemde bron is de agrarische bedrijvigheid in de buurt. Als psychisch gerelateerde klachten zijn voornamelijk onvrede over de woonomgeving (73 %), bezorgdheid (63 %) en spanningen (35 %) genoemd. Van de deelnemers geeft 17 % aan geen psychische klachten te ondervinden ten gevolge van geurhinder.

3.2 Geluidshinder

De meeste geluidshinder wordt ondervonden van landbouwverkeer en continue draaiende motoren. In mindere mate gaat het om geluidsoverlast van feesten. De verkeersoeverlast duurt op enkele dagen van 's morgens vroeg tot 's avonds laat. Genoemde bronnen zijn vooral gelieerd aan verkeer zoals het gebruik van landbouwmachines en veewagens, maar ook het sportpark en carnaval zijn genoemd. Meest genoemde psychische gevolgen van de geluidshinder zijn onvrede over de woonomgeving (60 %), slaapproblemen (60 %) en spanningen (40 %).

3.3 Verkeershinder

Naast geluidsoverlast ervaren omwonenden verkeershinder door het te hard rijden door zwaar landbouwverkeer over smalle wegen.

3.4 Overige vormen van hinder

- Lichtoverlast: speelt (bijna) niet.
- Ongedierte: gaat om vliegen, muggen, motten en slakken waarbij de intensieve veehouderij en stilstaand water als bron worden genoemd.
- Houtstook: is beperkt genoemd en speelde enkel in koude perioden, gaat om houtkachels van burens.
- Onveilige gevoelens: angst voor gifstoffen, bezorgdheid om gezondheid, onrust en twijfel over wel of niet verhuizen worden het meest genoemd.

3.5 Wel melding, geen hinder

Tijdens meetperiode 2 en 3 is de optie 'wel melding, geen hinder' toegevoegd aan de meldingsopties omdat men soms bijvoorbeeld wel mest ruikt of landbouwmachines hoort maar hier geen hinder van ondervindt. Tijdens meetperiode 2 betrof 41 % van de meldingen geen hinder, en in meetperiode 3 ging het om 57% van de meldingen.

3.6 Positieve aspecten

Het onderzoek omvatte tevens kwaliteiten van de leefomgeving die juist bijdragen aan positieve gezondheid. Vooral ruimte om te wandelen en bewegen, groen, natuur en biodiversiteit worden door meerdere deelnemers genoemd. Ook gezelligheid in de buurt en meedoen aan dorpsactiviteiten zijn belangrijke elementen. In meetperiode 2 is het landschap ook vaker genoemd.

3.7 Overige opmerkingen

De deelnemers gaven aan dat het niet altijd eenvoudig was om de gevolgen van de hinder te melden omdat zij een soort 'basis-onveiligheidsgevoel' ervaren waar men zich niet altijd bewust van is. Ook werd aangegeven dat zij de overlast al vaak bij de gemeente hebben gemeld maar dat hier voor hun gevoel weinig mee is gedaan. Dit leidt tot onvrede en een gevoel van '*waar doen we het voor?*'.

3.8 Verband tussen ervaren hinder en gemeten waarden

Het onderzoek naar een eventueel verband tussen ervaren geurhinder en gemeten geurwaarden loopt nog. Er kon binnen dit onderzoek geen link worden gelegd tussen beleefde hinder en windrichting.

4 Conclusies

Dit belevingsonderzoek heeft zich gericht op de beleving van hinder en gezondheid, de invloed van de lokale omgeving hierop en de mogelijke link met bedrijfsactiviteiten in de omgeving.

Op basis van de resultaten van de drie meetperioden, interviews en bewonersavonden kunnen we het volgende concluderen:

- Er is een groep omwonenden die aangeeft dagelijks, voortdurend en constant hinder te ondervinden;
- De grootste vormen van hinder zijn geur-, geluids- en verkeershinder;
- Bij warmer weer (meetperiode 1 en deels ook meetperiode 3) is er meer geurhinder;
- Op basis van dit onderzoek is geen verband gevonden tussen de windrichting en de ervaren hinder. Het onderzoek naar een vergelijking tussen gemeten waarden en beleefde hinder loopt op het moment van schrijven nog.
- De impact van de ervaren hinder op Positieve Gezondheid is deze het grootst op de domeinen 'Mentaal welbevinden', 'Kwaliteit van leven', 'Lichaamsfuncties' en 'Dagelijks

functioneren'. Dit gaat voornamelijk over spanningen, onvrede over de woonsituatie, bezorgdheid over gezondheid, slaapproblemen en luchtwegproblemen;

- Er is ook een groep omwonenden die zegt weinig tot geen hinder te ondervinden;
- In meetperiode 3 zijn er meer meldingen zonder hinder, dan meldingen met hinder gedaan;
- De 'light-versie' in meetperiode 3, met minder vragen, heeft niet geleid tot meer hindermeldingen per deelnemer.

5 Aanbevelingen en handelingsperspectief

Dit exploratieve onderzoeksproject beperkt zich tot het inzichtelijk maken van de door bewoners ervaren hinder en gezondheid. Met betrekking tot de aanbevelingen die daaruit volgen is door de projectleiding van het project Grenzeloos Meten verzocht met name aandacht te besteden aan het handelingsperspectief van de bewoners zelf.

- Vanuit omwonenden is naar aanleiding de huidige situatie kritiek geuit op 'de overheid', en met name op de Regionale UitvoeringsDienst (RUD) Noord-Limburg. Dit lijkt meer een structureel landelijk probleem dan een plaatselijk gemeentelijk probleem, maar kan voor de bewoners wel een belangrijke rol spelen. De tekortkomingen van de Omgevingsdiensten werden al eerder gerapporteerd door zowel de commissie Van Aartsen als Investico, de Rekenkamer en TwijnstraGudde. Los daarvan kunnen ook op lokale schaal verbeterroutes voor de rol van de overheid worden ingezet. Deze worden hieronder benoemd.
- Een deel van de oplossingsroute voor het verminderen van de ervaren hinder kan liggen in frequenter overleg tussen ondernemers en omwonenden, en eventueel de gemeente. Het is een mogelijkheid om dit (in eerste instantie) door een gespreksleider te laten begeleiden. Daarbij kan worden aangesloten bij het Bolk-model voor Positieve Gezondheid en Leefomgeving dat ook voor het onderhavige onderzoek is ingezet. In een integraal, participatief proces kunnen dan achtereenvolgens knelpunten, kwaliteiten en oplossingen worden geïdentificeerd. Dan dient bij voorkeur gefaseerd plaats te vinden: eerst afzonderlijk met groepen die wel, respectievelijk geen hinder ervaren, en later in gezamenlijk overleg. Dit zou kunnen leiden tot afspraken over bijvoorbeeld de tijdstippen van bedrijfsactiviteiten die voor veel geur- en geluidsoverlast zorgen, of aanpassingen in de tijdperiodes van zwaar vrachtverkeer. Het voeren van direct overleg werd ook door de deelnemers zelf als oplossingsrichting genoemd.
- Het handelingsperspectief van de overheid spitst zich vooral toe op vergunningverlening, normstelling, toezicht en handhaving.
Specifiek voor de gemeente kan gedacht worden aan:

- Het (laten) faciliteren en begeleiden van overleg (zie vorige punt)
- Vergunningverlening, toezicht en handhaving, met name de aansturing van de Regionale UitvoeringsDienst.
- Het verbeteren van het functioneren Regionale UitvoeringsDienst (kwaliteit, capaciteit, financiën, zie bovengenoemde rapportages)
- Het duidelijk communiceren over waar de gemeente wel en niet over gaat.
- Als handelingsperspectieven voor de ondernemers kunnen worden genoemd:
 - Meer communicatie met bewoners en gemeente (zie het vorige punt). Alleen al het feit dat bewoners vooraf op de hoogte worden gesteld van bedrijfsactiviteiten die tot hinder kunnen leiden, kan voor meer begrip zorgen.
 - Gerichte aanpassing van de bedrijfsvoering om hinder te voorkomen (bijvoorbeeld aanpassen stalsystemen, optimaliseren luchtwassers en voer- en mestmanagement, en aanplanten groenstroken als natuurlijke geluidsbarrière).
- Het handelingsperspectief voor bewoners is beperkt. Zij ondergaan momenteel vooral de huidige situatie, terwijl anderen aan de knoppen zitten. Dat betreft bijvoorbeeld ondernemers, transporteurs, vergunningverleners, toezichthouders en andere bewoners en (tijdelijk) aanwezigen in het gebied.

Er kan worden gedacht aan:

- Actief en persoonlijk het gesprek aangaan met ondernemers in de buurt (zie eerder genoemde oplossingsroute)
- Afhankelijk van de overlast die zij ervaren, binnen blijven en ramen en deuren gesloten houden
- De was binnenshuis drogen
- Geen houtkachels stoken.

6 Literatuur

Adviescommissie Vergunningverlening, Toezicht en Handhaving ('Commissie Van Aartsen'). Om de Leefomgeving. Omgevingsdiensten als gangmaker voor het bestuur. maart 2021.

Algemene Rekenkamer. Handhaven in het duister. De aanpak van milieucriminaliteit en – overtredingen, deel 2. 2021.

Blokland, J., T. Boertien, S. de Jong, M. Koop, J. Voets, M. de Hoog, R. van de Loo en P. Pasveer. Omgevingsdiensten in beeld. TwynstraGudde rapport. 2021.

Estrada, A. en T. Staal. Stinken zonder straf. Investico, November 2021.

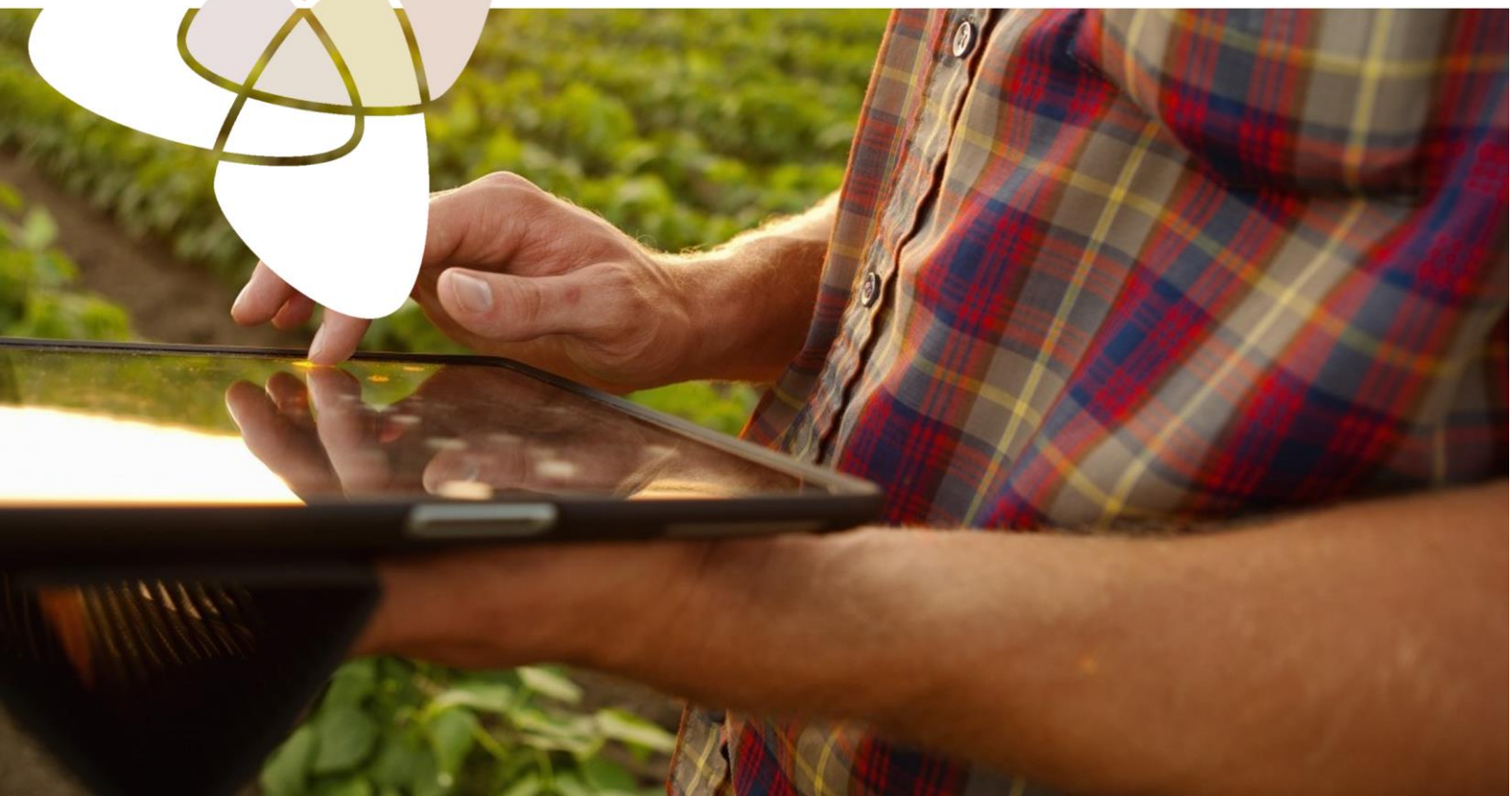
GRENZELOOS METEN | ONDERZOEK GEURSTOFFEN METEN

Angela van der Sanden
Specialist Smart Farming
a.vandersanden@connectingagriandfood.nl
06 53 38 53 23

Roland Mumm, Bioscience, Wageningen University and Research (Wageningen UR)
Onderzoeker luchtanalysen
Roland.mumm@wur.nl

Kristel Mulder
Specialist Smart Farming
k.mulder@connectingagriandfood.nl

Datum
12-3-2025



Samenvatting

In de Regio Noord Limburg hebben de gemeente Horst aan de Maas, gemeente Peel en Maas, gemeente Venray en de provincie Limburg samen het project Grenzeloos Meten opgezet om te onderzoeken hoe de luchtkwaliteit verbeterd kan worden op basis van continue metingen.

Geur is een van de meest besproken aspecten als het gaat om de beleving van luchtkwaliteit in niet stedelijk gebied. Het continu meten van geur uit stallen is nog niet uitontwikkeld en er zijn nog weinig sensoren op de markt verkrijgbaar die geur(stoffen) continu kunnen meten. Dit deelonderzoek richt zich op het meten van geurstoffen, waarbij een geurstoffensensor is ingezet op verschillende veehouderijbedrijven. Met deze geurstoffensensoren is continu gemeten en waren de gemeten waardes continu inzichtelijk op een online dashboard. Tevens is de samenstelling van de stallucht gemeten en is een vergelijking gemaakt met weerparameters. Daarnaast zijn in het veld luchtzakmonsters genomen en zijn de luchtzakmonsters middels een laboratoriummethode geanalyseerd en vergeleken met de waarden van de sensor.

In de pilot is onderzocht of het mogelijk is om geurstoffen continu te meten, waarbij inzichten worden verkregen in geurstoffenpatronen die kunnen resulteren in handelingsperspectief. Het continue meten met de sensor gaf waardevolle inzichten voor de ondernemers. Het laboratoriumonderzoek gaf verschillende resultaten, waarbij er sprake was van een meetonzekerheid. Op basis van het laboratoriumonderzoek en de metingen in het veld wordt geconcludeerd dat de sensor een goede monitoringssensor is. De sensor meet geen geur, dit was vooraf bekend, maar geeft inzicht in patronen gerelateerd aan geurstoffen. Deze patronen geven waardevolle inzichten en sturingshandvatten voor de ondernemers. Op basis van de patronen kunnen snel afwijkingen worden geïdentificeerd, die anders later - of niet - zouden zijn waargenomen, en kan hierop actie worden ondernomen.

Voor het deelonderzoek geurstoffen meten zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd: (1) Is de Canairy een geschikte sensor om in te zetten voor geurmetingen? (2) Geeft de sensor inzichten voor handvatten voor verbetering? (3) Wat is de relatie met luchtsamenstelling?

De onderzoeksvragen kunnen als volgt worden beantwoord: de canairy meet geen geur, maar is een waardevolle sensor om geurstoffenpatronen te meten ten behoeve van het verkrijgen van (2) inzicht en handvatten voor ondernemers om hierop te kunnen sturen en (3) er is een relatie gevonden met de luchtsamenstelling.

In het onderzoek zijn diverse praktische voorbeelden naar voren gekomen, waarbij afwijkingen snel zichtbaar werden door afwijkingen in de gemeten patronen door de Canairy. Anderzijds is duidelijk dat er nog onzekerheden zijn. Enerzijds door de analysemethode vanuit het wetenschappelijk onderzoek (Wageningen University & Research) en anderzijds doordat de canairy een niet specifieke sensor is (meet geen individuele geurstoffen).

In het algemeen geeft het werken met de sensor handvatten voor ondernemers, overheden en inwoners door de inzichten die het geeft in geurstoffenpatronen. De sensor meet een breed spectrum aan geur gerelateerde stoffen, en meet dan ook geen 'geur'. Het biedt handvatten om te sturen, door de inzichten die de sensordata geeft en het biedt handvatten voor ondernemers, overheden en inwoners om te werken aan meer bewustwording en wederzijds begrip. Onderzoekers realiseren zich dat hier ook een sociale uitdaging ligt.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	2
1 AANLEIDING EN DOELSTELLING	4
Onderzoeksvragen.....	4
2 MATERIAAL EN METHODEN.....	5
3 RESULTATEN	8
4 DISCUSSIE EN CONCLUSIES	23

1 Aanleiding en doelstelling

Voor de Regio Noord Limburg is een gezonde leefomgeving een belangrijk aspect in het beleid. Eén van de speerpunten hierbij is luchtkwaliteit. Luchtkwaliteit is niet gebonden aan grenzen van bedrijven, van gemeenten, regio's of landen. Het is grensoverschrijdend en door over (gemeente)grenzen heen te kijken, is een beter beeld te verkrijgen van de huidige situatie, de lokale bronnen en de verbetermogelijkheden. Met behulp van metingen is de actuele kwaliteit in kaart te brengen en dit biedt inzicht in de mogelijkheden om de luchtkwaliteit te verbeteren. De ambitie is dat dit leidt tot een regio met een schonere leefomgeving voor alle inwoners. In dit proces worden de inwoners en bedrijven actief betrokken. Het is een gezamenlijke inspanning met elkaar en voor elkaar. Uiteindelijk streven de gemeenten ernaar om de luchtkwaliteit aantoonbaar te verbeteren en door de inwoners ook zo wordt ervaren.

In de Regio Noord Limburg hebben de gemeente Horst aan de Maas, gemeente Peel en Maas, gemeente Venray en de provincie Limburg samen de handschoen opgepakt. Zij hebben het project Grenzeloos Meten opgezet om hier in gezamenlijkheid te onderzoeken hoe de luchtkwaliteit verbeterd kan worden op basis van continue metingen.

Geur is een van de meest besproken aspecten als het gaat om de beleving van luchtkwaliteit in niet stedelijk gebied. Het continu meten van geur uit stallen is nog niet uitontwikkeld en er zijn nog weinig robuuste en betaalbare sensoren op de markt verkrijgbaar die geur(stoffen) continu in een stalomgeving kunnen meten.

Geurbeleving is nog complexer dan geur, er is naast de chemische samenstelling van stoffen ook een psychisch aspect bij geurbeleving. In Grenzeloos Meten worden zowel de beleving als de sensormetingen meegenomen. Dit deelonderzoek richt zich op het continu meten van geurstoffen door het inzetten van een geurstoffensensor op verschillende veehouderijbedrijven. In het onderzoek is gebruik gemaakt van zogenaamde geurstoffen-sensoren (de Canairy) een sensor die de cumulatie van vluchtige organische en anorganische componenten (cVOC) meet als indicatie van geurstoffenpatronen. Deze techniek is niet vergelijkbaar met de officiële luchtmetingen maar geeft wel een indruk van patronen van bepaalde stoffengroepen.

Onderzoeksvragen

In de pilot is onderzocht of het mogelijk is om geurstoffen continu te meten, waarbij inzichten worden verkregen in geurstoffenpatronen die kunnen resulteren in handelingsperspectief.

Voor het deelonderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Is de Canairy een geschikte sensor om in te zetten voor geurmetingen?
2. Geeft de sensor inzichten voor handvatten ter verbetering?
3. Wat is de relatie met luchtsamenstelling?

2 Materiaal en Methoden

In het project zijn op verschillende veehouderijlocaties geurstoffensensoren geplaatst voor continue metingen. Tevens zijn parameters van de stallucht gemeten met Slimme Stal sensoren, zijn weergegevens verzameld, heeft er continue dashboard monitoring plaatsgevonden en is een logboek met bijzonderheden bijgehouden. Metingen hebben plaats gevonden van augustus 2023 tot en met december 2024.

Geurstoffensensoren

In het project is gewerkt met de Canairy sensor van Techni Solutions. Deze sensor is een breed spectrum gevoelig en detecteert een cumulatie van vluchtige organische componenten (cVOC[ppm]). De sensor richt zich op het in beeld brengen van patronen en afwijkingen in patronen. De sensor geeft een cumulatief signaal hiervan, om dit vereenvoudigd weer te geven wordt in dit rapport de term cVOC gebruikt.

Geur bestaat uit een combinatie van vluchtige componenten. Elke VOC heeft een eigen geurkarakter. Dit karakter wordt sterk bepaald door de subjectieve waarneming enerzijds, de concentratie, en de geurdrempelwaarde anderzijds. De canairy sensor meet een cumulatie aan componenten en houdt hierbij geen rekening met de subjectieve waarneming en de geurdrempel. De canairy is daarmee geen sensor die de 'geur' bepaalt. De sensor richt zich op het in beeld brengen van patronen en afwijkingen in patronen.

De sensor is geplaatst op twee varkensbedrijven en drie pluimveebedrijven. Op alle bedrijven zijn twee meetpunten gerealiseerd. Op de pluimveebedrijven is dit (1) een representatief punt waar de lucht dat stal inkomt en (2) een representatief punt waar de lucht de stal verlaat. Oftewel, inlaat en uitlaat. Op beide varkensbedrijven waar is gemeten is een luchtwasser aanwezig. De meetpunten zijn daar gerealiseerd (1) voor de luchtwasser en (2) na de luchtwasser. Op deze manier wordt de lucht uit de stal gemeten, voordat deze door de luchtwasser gaat en nadat deze door de luchtwasser is gegaan en de stal verlaat.



Fig 1. Installatie bij varkensbedrijf



Fig 2a en b. Sensoren bij pluimveebedrijf;
a) ingaand, b) uitgaand

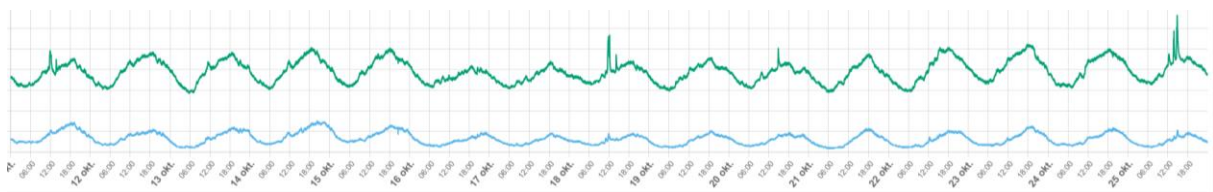
Slimme stal sensoren | RV, T, CO₂, (NH₃)

Op basis van analyses van de gemeten cVOC ontstond de vraag wat de relatie is met de samenstelling van de stallucht. Hierop zijn in juli en augustus 2024 ook Slimme Stal sensoren op de bedrijven geplaatst. Deze sensoren meten continu de temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en de CO₂-concentratie van stallucht (iedere 10 minuten een meetmoment). De Slimme Stal sensoren zijn naast de Canairy-sensoren geplaatst, waardoor zij dezelfde lucht bemonsterden. In de pluimveestallen zijn de Slimme Stal sensoren voor de ventilatoren gehangen en bij de varkensstallen voor de luchtwasser. Op één van de pluimveebedrijven is tevens een Slimme Stal ammoniaksensor geplaatst.

Dashboard en lokale weergegevens

De data van de sensoren zijn ontsloten via een online dashboard. Het dashboard is gemakkelijk toegankelijk via een persoonlijke inlogcode en alleen toegankelijk voor gebruikers die toestemming hebben om de data in te zien. In het dashboard kon teruggekeken worden naar bepaalde periodes en ook ingezoomd worden bij bijzonderheden. Naast de waarden van de canairy-sensor zijn op het dashboard ook data van de lokale weeromstandigheden en de data van de Slimme Stal sensoren (CO₂, RV, Temperatuur, NH₃) beschikbaar.

Op het dashboard zijn continu de gemeten waarden zichtbaar. Tevens kunnen data hieruit onttrokken worden voor nadere analyses.



Figuur 3. Grafiek van Slimme Stal dashboard met verloop van gemeten cVOC

Continue monitoring en logboek

Gedurende de meetperiode hadden de veehouders en de onderzoekers van Connecting Agri & Food continu inzicht in de meetwaarden via het online dashboard. Op basis van bijzonderheden in de waarden (bijv. afwijkingen in patronen) was er frequent contact tussen de onderzoekers en veehouders (wekelijkse monitoring). De onderzoekers hebben een logboek bijgehouden met bijzonderheden en de mogelijke relaties met de afwijkingen in de gemeten waarden.

Luchtmonsters en laboratoriumanalysen

Gedurende de meetperiode zijn er luchtmonsters genomen van de lucht nabij de Canairy sensoren. De lucht is daarbij middels luchtzakken (10L, PTFE) via de zogenaamde longmethode bemonsterd (Fig. 4).



Figuur 4 a en b. Luchtmonstername

De luchtzakmonsters zijn vervolgens in het laboratorium van Wageningen University & Research meestal binnen 8, maar uiterlijk binnen 20 uur geanalyseerd. De laboratoriummethode is gebaseerd op gaschromatografie gekoppeld met verschillende detectietechnieken (GC-MS, GC-SCD). Hierin wordt het complexe mengsel in de lucht uit elkaar gerafeld in verschillende vluchtige componenten. De hoeveelheid van bepaalde vluchtige stoffen die in het monster worden gevonden worden omgezet in een chromatogram. Voor een vooraf gekozen selectie van geurstoffen worden de concentraties middels referentiestandaarden bepaald. Op basis van bestaande kennis is door Wageningen University & Research een geurprofiel ontwikkeld voor 'varkenslucht'. Voor 'pluimveelucht' is een dergelijk profiel nog niet beschikbaar.

Wageningen University & Research maakt daarnaast gebruik van een methode om een weging aan verschillende componenten te geven. De Odour Activity Value (OAV) methode is gebaseerd op de Odour Threshold Value (OTV), oftewel de laagste concentratie van een geurstof die een mens kan ruiken. Geurcomponenten die een hogere subjectieve waarneming geven bij de mens worden zwaarder gewogen dan componenten met een lagere subjectieve waarneming. Resultaten van de laboratoriumanalyses van Wageningen University & Research worden uitgedrukt in de OAV van een geurstof.

Relatie ervaring omwonenden

In deze pilot is tevens een belevingsonderzoek uitgevoerd. In dit onderzoek is door inwoners een beperkt aantal momenten aangegeven waarop er naar hun beleving meer geur was dan op andere momenten. Dit is vergeleken met de gemeten cVOC-patronen van de Canairy-sensor.

3 Resultaten

Inzet canairy als sensor voor geurstoffen

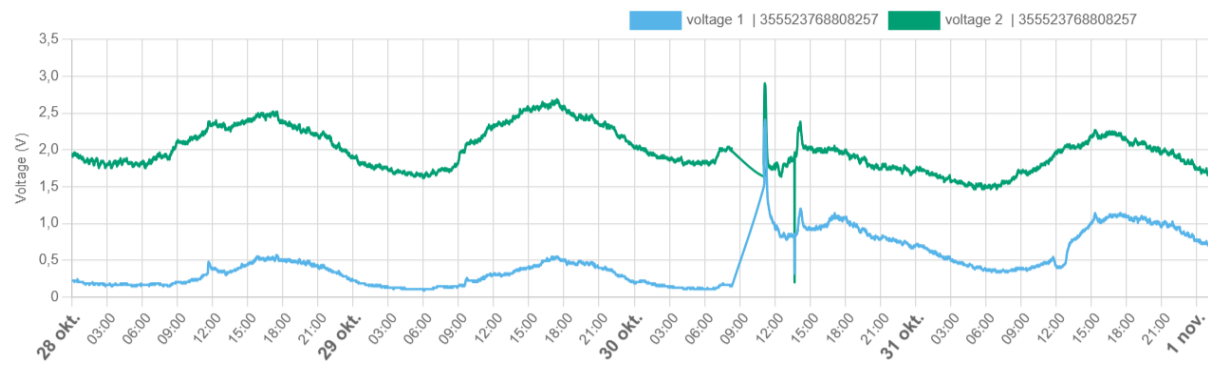
De Canairy sensor meet de cumulatie aan ontbrandbare vluchtige organische en anorganische componenten (cVOC). Deze cumulatie zegt niet direct iets over geurbeleving, omdat het geen rekening houdt met de subjectieve waarneming en de geurdrempel van individuele of mengsels van componenten. De patronen die worden weergegeven zijn te verklaren door activiteiten en gebeurtenissen die van invloed zijn op de cVOC, veelal hangt dit samen met geurstoffen waarneembaar voor de mens. Het vormen van stof heeft ook een invloed op de gemeten waarden. Stof is een organisch component dat ook verbonden is met geur.

Iedere 10 minuten werd de luchtsamenstelling gemeten door de Canairy en in beeld gebracht via een online dashboard. Door de data achter elkaar te plaatsten werd inzicht over een langere periode verkregen (figuur 5). Hierin konden verschillende patronen worden herkend. Patronen waren grotendeels gerelateerd aan bedrijfsomstandigheden, waarbij in de tijd vergelijkbare patronen zichtbaar waren bij vergelijkbare omstandigheden. Denk hierbij aan momenten waarop dieren actief werden (bijv. bij zonsopkomst, of moment dat het licht aangaat), voermomenten, of het verloop van het patroon gedurende een ronde.



Figuur 5. Voorbeeld van grafiek van de Canairy-sensorop dashboard (bij een varkensbedrijf). De groene lijn geeft de gemeten cVOC weer voor de luchtwasser en de blauwe lijn de gemeten cVOC na de wasser.

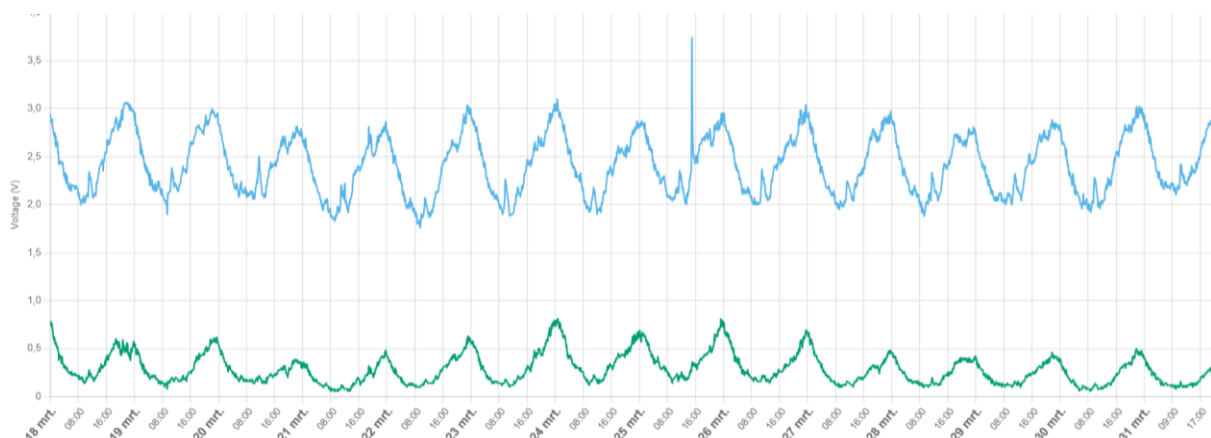
Onderzoekers hebben bij bijzonderheden in de waarden contact gelegd met de veehouders. Een groot deel van de bijzonderheden kon worden verklaard door bedrijfsomstandigheden, waarbij in de tijd vergelijkbare patronen zichtbaar waren bij vergelijkbare omstandigheden (zie figuur 6). Denk hierbij aan momenten waarop dieren gedurende de dag actief werden, of het verloop van het patroon gedurende een ronde. Bij het opbouwen van ervaring met het werken met de sensoren worden patronen vaak snel herkend. De onderzoekers herkenden al snel de patronen en konden de oorzaken dan vaak al duiden voor de verificatie bij de veehouder. Niet alle afwijkingen konden worden verklaard.



Figuur 6. Voorbeeld van waargenomen afwijking in het patroon. De afwijking werd veroorzaakt door werkzaamheden aan het stroomnet, waardoor ventilatie en wasser korte tijd uitgeschakeld werden.

De connectiviteit van de logger van de Canairy-sensor was goed. Data werden voortdurend verstuurd naar de omgeving in de 'cloud'. Bij een van de locaties kwamen data gedurende enkele dagen niet binnen, omdat er geen stroomverbinding was. Het bleek dat per abuis een medewerker het stopcontact had gebruik voor werkzaamheden en was vergeten de stekker van de sensor terug te plaatsen. Door de continue monitoring door de onderzoekers van Connecting Agri & Food werd de missende data snel opgemerkt en werd het probleem vervolgens verholpen. De sensor beschikt over een geheugenkaart, hiermee kunnen data worden uitgelezen die niet zijn verstuurd.

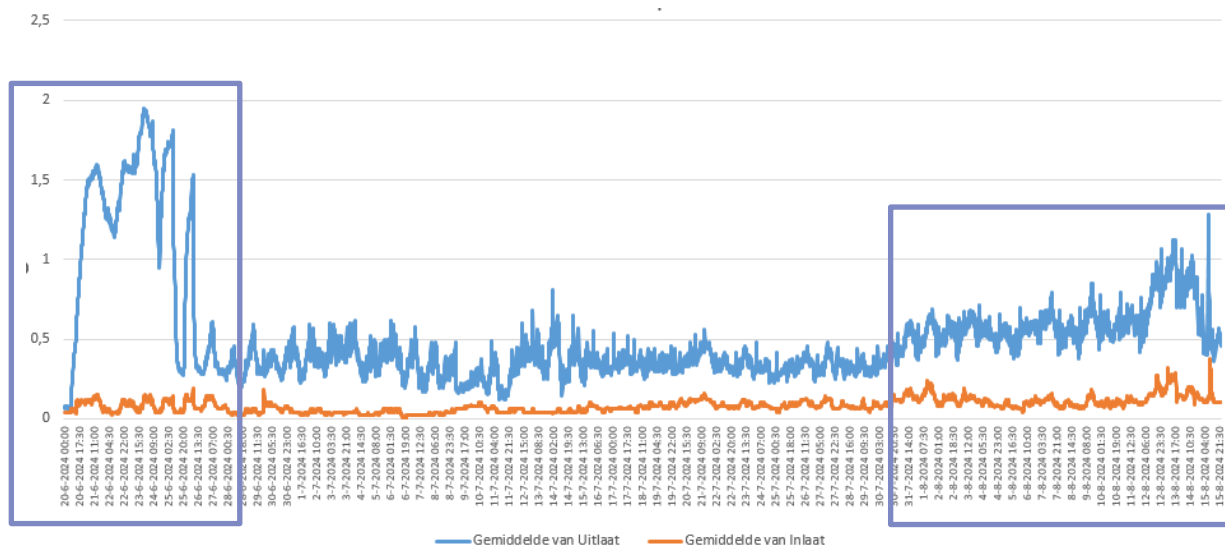
De gemeten waarden kunnen opgedeeld worden in tijdsperioden om patronen inzichtelijk te maken. Het meest in het oog springende patroon op alle bedrijven is het dagpatroon. In het voorbeeld in figuur 7 is zichtbaar dat de gemeten cVOC het laagst zijn rond 9:00 's ochtends en vanaf dan oplopen tot circa 23:00 uur in de avond.



Figuur 7. Voorbeeld van dagpatroon bij een van de varkensbedrijven. De blauwe lijn geeft de gemeten cVOC voor de luchtwasser weer en de groene lijn de cVOC na de wasser.

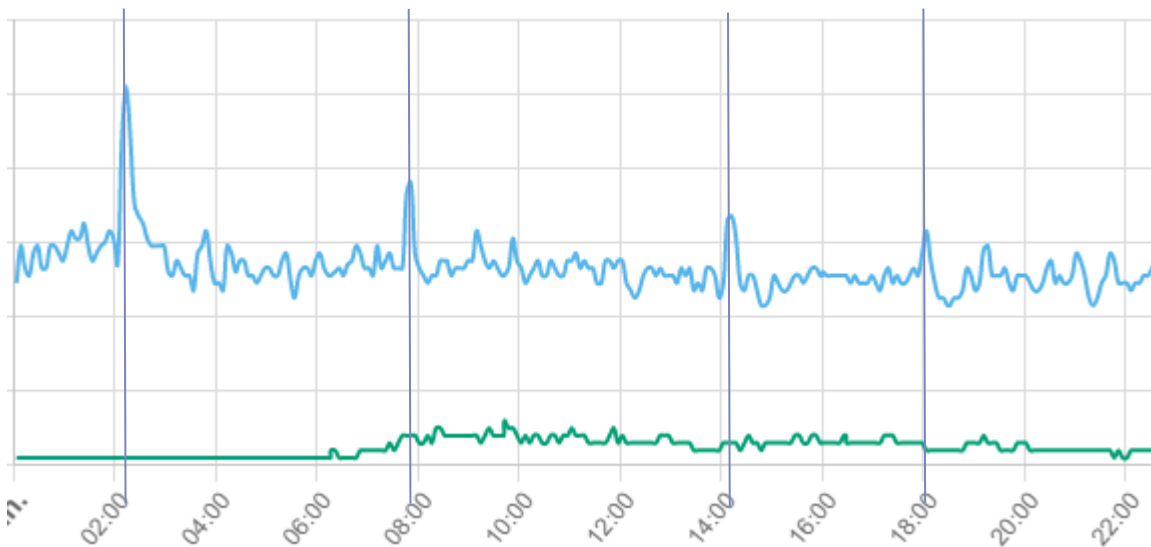
Figuur 8 geeft een ronde weer op een vleeskuikenbedrijf. Bij vleeskuikenbedrijven is een patroon per ronde zichtbaar. De dieren in het voorbeeld zijn opgezet op 20 juni en geslacht op 15 augustus. De eerste dagen worden meer cVOC gemeten. De ventilatie is aan het begin van de ronde meestal laag, omdat de dieren bij opzet nog klein zijn, waardoor geurstoffen 'ophopen' en de gemeten

cVOC bij de uitlaat hoger is (cumulatie van geurstoffen). De dieren zijn aan het begin van de ronde nog klein en produceren zelf nog relatief weinig geurstoffen en mest. In het begin van een ronde komen vaak geurstoffen vrij van het strooisel dat vaak plantaardige stoffen bevat. Dit veroorzaakt mogelijk de hoge waarden cVOC aan het begin van de ronde. Later in de ronde vindt meer verdunning van de lucht plaats, door middel van ventilatie, en is de cVOC lager. De laatste dagen van de ronde is een toename in gemeten cVOC zichtbaar. De dieren zijn dan ouder en produceren meer mest en geurstoffen.



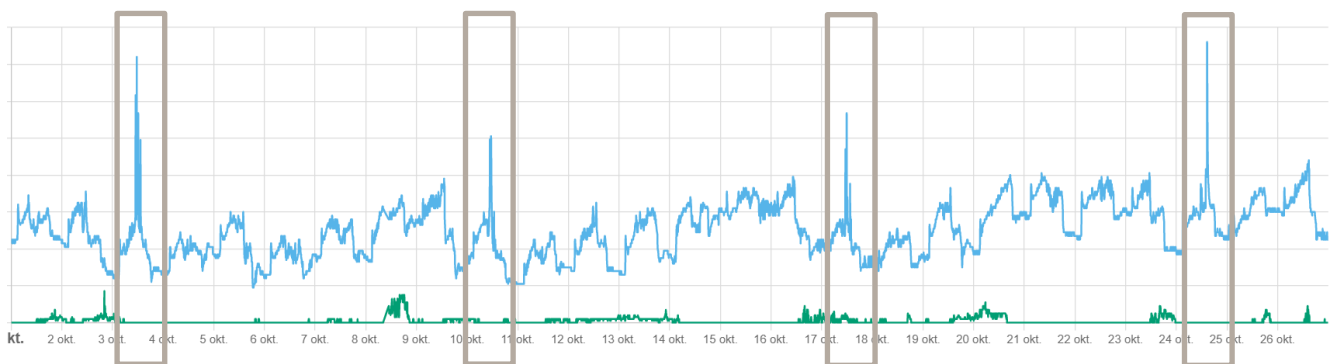
Figuur 8. Ronde vleeskuikens. Bij start van de ronde is de gemeten cVOC hoger en ook aan het einde van de ronde neemt de gemeten cVOC toe.

Bij de vleeskuikens is daarnaast een duidelijk dagpatroon zichtbaar waarbij op vier momenten een piek(je) zichtbaar is in de gemeten waarden (figuur 9). Deze hangt vooral samen met de voerbeurten (tijden wisselen gedurende de meetperiode, in figuur 9 rond 2:00; 8:00; 14:00 en 18:00 uur), en ook met het lichtregime. Zodra het licht wordt, worden de dieren actief en komt er beweging in het strooiselbed. De eerste piek is het hoogste. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat de dieren een langere periode in rust in groepjes bij elkaar hebben gelegen, waarbij ze juist eventuele emissies vanuit het strooiselbed tegengaan.



Figuur 9. Voorbeeld dagpatroon op één van de vleeskuikenbedrijven. De blauwe lijn geeft de gemeten cVOC bij de luchtuitlaat weer en de groene lijn de gemeten cVOC bij de ingaande lucht.

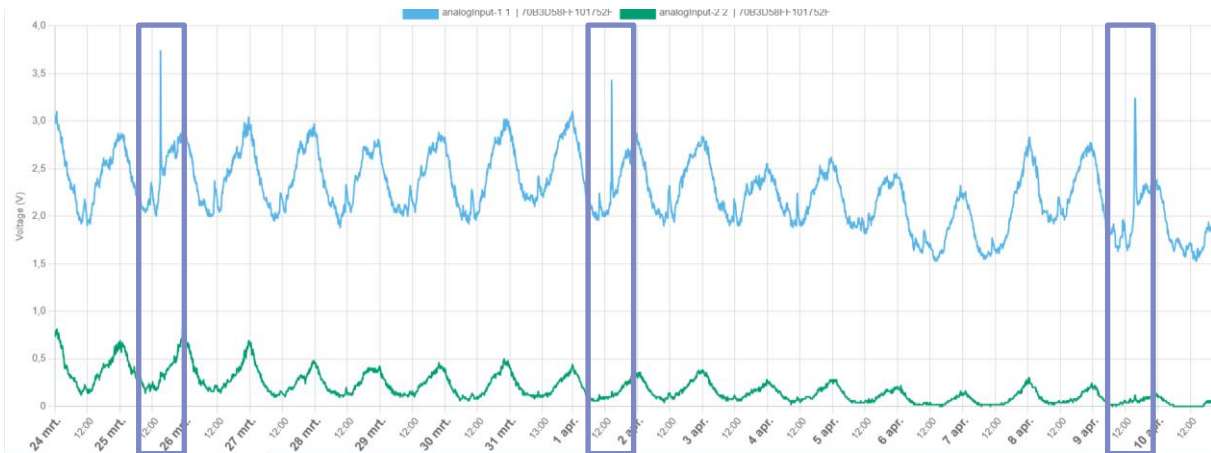
Naast de dagpatronen en patronen per ronde zijn ook terugkerende werkzaamheden zichtbaar die van invloed zijn op de gemeten cVOC, zoals het frezen van het strooisel in een pluimveestall, of het merken van dieren in een varkensstal. Bij het frezen in een pluimveestall wordt het strooisel omgewoeld en wordt er veelal ook bijgestrooid, zodat het strooiselbed droog en rul blijft, wat van belang is voor gezondheid van de dieren (poten en voetzolen). Bij het omwoelen van het strooiselbed komt er stof, geur en ammoniak vrij. De sensor laat op deze momenten kortstondig hogere waarden zien, wat ook zichtbaar is in figuur 10.



Figuur 10. Waarden van Canairy-sensor op een pluimveebedrijf. De aangegeven pieken komen overeen met de momenten dat de strooisellaag wordt gefreesd. De blauwe lijn geeft de gemeten cVOC bij de luchtuitlaat weer en de groene lijn de gemeten cVOC bij de ingaande lucht.

Daarnaast is het merken van dieren zichtbaar in de metingen op een vleesvarkensbedrijf. De merkspray bevat propaan en butaan, dit zijn vluchtige organische componenten en worden gedetecteerd door de Canairy sensor, waardoor tijdens het merken een piek in de gemeten waarden zichtbaar is (figuur 11). Dit voorbeeld laat ook zien dat niet iedere piek van de Canairy tot een

hogere geur leidt. De alcoholverbindingen waar de Canairry hier op aanslaat zijn zeer vluchtig en worden door de menselijke neus niet tot nauwelijks waargenomen.

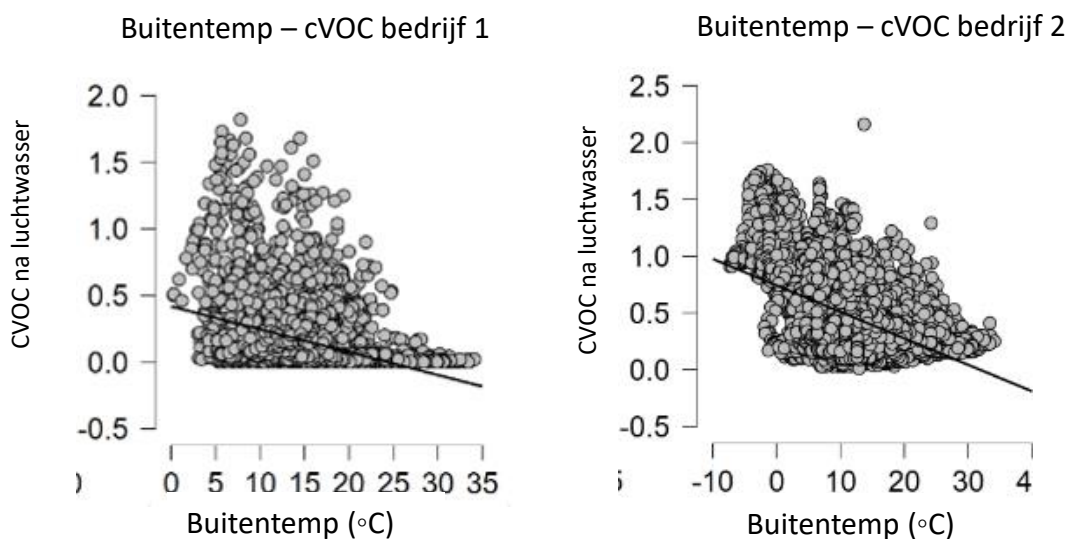


Figuur 11. Dashboard met pieken veroorzaakt door merken met spray met organische componenten. Blauwe lijn toont de gemeten cVOC voor de luchtwasser, de groene lijn na de luchtwasser.

Weersomstandigheden in relatie tot gemeten cVOC

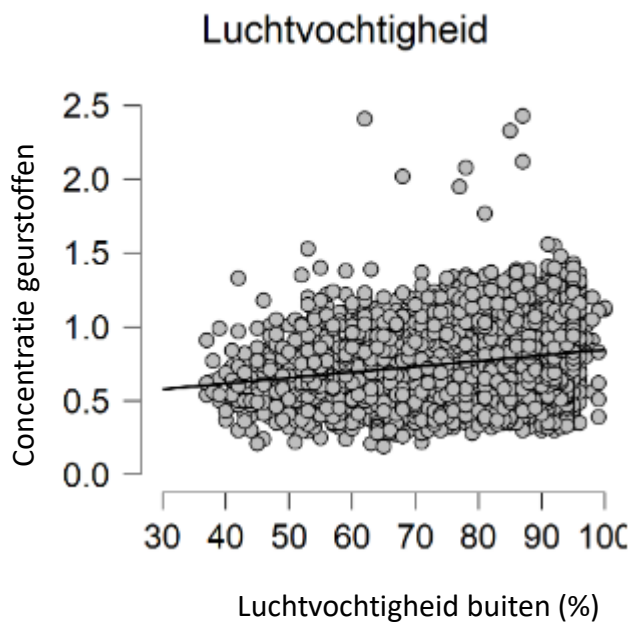
De relatie tussen de gemeten cVOC en weersomstandigheden is onderzocht. Hierbij is gekeken naar de relaties met temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windrichting, windsnelheid en neerslag. De relaties met weersomstandigheden waren beperkt en met name terug te voeren op de invloed van het weer op de mate van ventilatie. De concentratie per kuub geventileerde lucht is lager als er veel geventileerd wordt.

Op beide varkensbedrijven werd een relatief sterke relatie gevonden met de buitentemperatuur (correlatie van -0,50 en -0,38; figuur 12). In figuur 12 is hierbij wel een relatief grote spreiding zichtbaar. De gevonden relatie wordt naar verwachting met name bepaald doordat bij een hogere buitentemperatuur minder geurstoffen na de luchtwasser worden gemeten.



Figuur 12. Spreidingsdiagrammen van de buitentemperatuur en gemeten cVOC na de luchtwasser bij twee varkensbedrijven.

Bij de vleeskuikenbedrijven verschilden de gevonden relaties sterk per ronde en was hieruit geen eenduidig verband zichtbaar. Bij de leghennen waren de correlaties met de weerparameters beperkt en werd de sterkste relatie gevonden met de luchtvochtigheid. In figuur 13 is zichtbaar dat bij een hogere luchtvochtigheid buiten meer cVOC gemeten waarden door de Canairy-sensor. De trendlijn door de puntenwolk laat een lichte stijging zien van de gemeten cVOC bij een hogere luchtvochtigheid. De spreiding neemt ook licht toe bij een hogere luchtvochtigheid.



Figuur 13. Spreidingsdiagram van de luchtvochtigheid buiten en gemeten CVOC bij de luchtuitlaat op een van de pluimveebedrijven.

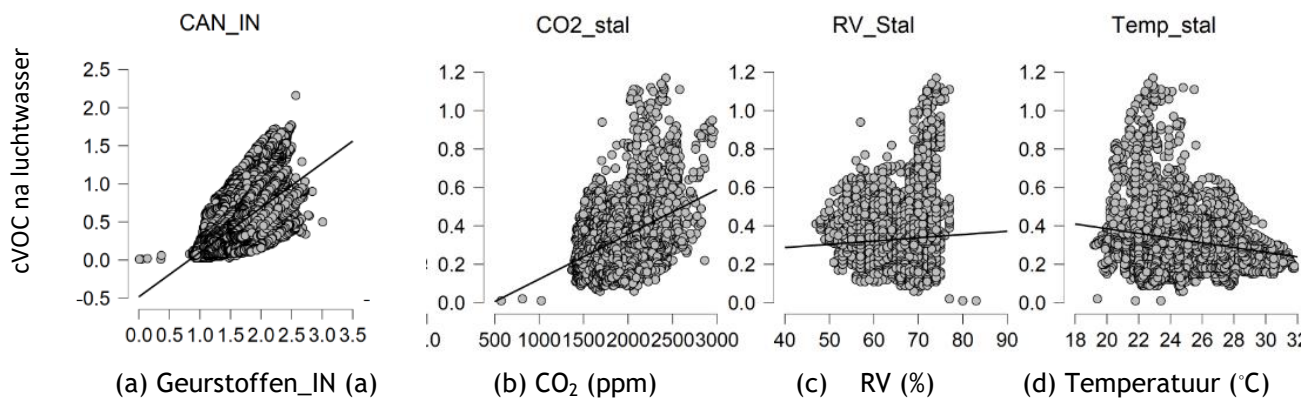
Stallucht samenstelling in relatie tot gemeten cVOC

In juli en augustus 2024 zijn Slimme Stal sensoren geplaatst in de uitgaande lucht. Bij de vleesvarkensbedrijven werden deze in de lucht voor de luchtwasser geplaatst en bij de pluimveebedrijven in de uitgaande stallucht voor de ventilator. Tevens zijn de ventilatiegegevens opgevraagd bij de bedrijven. Deze waren beschikbaar op één pluimvee- en één varkensbedrijf. De ventilatiegegevens van het pluimveebedrijf bleken door een fout in de klimaatcomputer van het bedrijf onbruikbaar voor analyses. De ventilatiegegevens van het varkensbedrijf vormden een indicatie. Het betrof data van één van de twee afvoerkanalen waar de ventilatie wordt gemeten. Deze bleken te onzeker om mee te nemen in de resultaten.

varkens

Bij de metingen op de varkensbedrijven is er sprake van een sterk effect van de luchtwasser op de gemeten cVOC. De hoeveelheid cVOC worden sterk gereduceerd door de luchtwasser. Op één van de bedrijven (bedrijf 2) is het rendement zeer hoog en is er nauwelijks tot geen samenhang met cVOC voor de wasser. De Canairy meet dat de gemeten cVOC grotendeels worden verwijderd door de luchtwasser, ongeacht de aanvoer van cVOC. Op het andere bedrijf is het rendement wat lager en

zijn de gemeten cVOC na de luchtwasser hoger op het moment dat er voor de luchtwasser ook meer cVOC gemeten worden.



Figuur 14. Spreidingsdiagrammen varkensbedrijf 1: relatie tussen cVOC na luchtwasser met (a) de cVOC voor de wasser, (c) CO₂-concentratie uitgaande lucht voor de wasser, (d) Relatieve Luchtvochtigheid voor de wasser en de (e) Temperatuur voor de wasser.

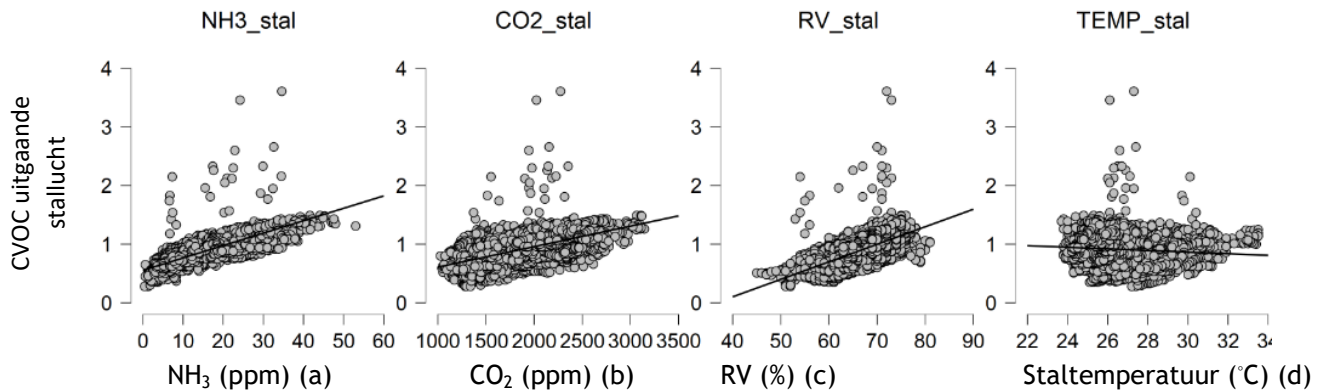
Op beide varkensbedrijven is een positieve relatie zichtbaar tussen de gemeten cVOC na de wasser en de gemeten CO₂-concentratie in de uitgaande stallucht. De relatie is vergelijkbaar op beide bedrijven en de correlatie is ongeveer 0,42 (Tabel 1). Een lagere CO₂-concentratie hangt normaal gesproken samen met meer ventilatie. Dit betekent dat meer lucht wordt ververst en de gemeten cVOC afneemt. Een lagere CO₂-concentratie hangt dan samen met een lagere gemeten cVOC.

Tabel 1. Gemiddelden van de correlaties tussen de cVOC na de luchtwasser, klimaatparameters voor de luchtwasser en buitentemperatuur van de twee varkensbedrijven.

CORRELATIES	CO ₂ _Stal	RV_Stal	Temp_Stal	Rendement	Buitentemp.
CVOC_UIT	0,42	-0,04	-0,11	-0,96	-0,44

De hoeveelheid gemeten cVOC na de wasser hangt tevens samen met de staltemperatuur. De relatie is beperkt (gemiddeld -0,11) en duidelijk minder sterk dan met de buitentemperatuur (gemiddeld -0,44). In de varkensstallen wordt gestuurd op de staltemperatuur, deze wordt binnen bepaalde waarden gehouden en daarbij zo constant mogelijk gehouden. Zichtbaar is dat er met name meer spreiding is in cVOC binnen de streefwaarden van de staltemperatuur en dat de gemeten geurstoffen afnemen bij een hogere staltemperaturen. Deze relatie hangt naar alle waarschijnlijkheid samen met de verdunning van cVOC door meer ventilatie bij hogere temperaturen.

Pluimvee



Figuur 15. Spreidingsdiagrammen relatie tussen gemeten cVOC uitgaande stallucht met (a) NH₃-concentratie (ppm), (b) CO₂-concentratie (ppm), (c) Relatieve Luchtvochtigheid (%) en (d) temperatuur van de uitgaande stallucht.

Bij de leghennenstal is de correlatie van de gemeten cVOC die de stal uitgaan met de gemeten ammoniakwaarden relatief hoog met een waarde van 0,80. Ammoniak is een VOC en is een van de stoffen die door de sensor wordt gedetecteerd. Ammoniak heeft een relatief hoge geurdrempel voor de mens (ca. 2-4 ppm). Zeker buiten de stal neemt de ammoniakconcentratie snel af. Daarmee heeft ammoniak vaak een laag effect op de waargenomen geur buiten de stal.

Daarnaast is er sprake van een duidelijke correlatie met zowel de CO₂-concentratie in de stallucht, als de relatieve luchtvochtigheid, met een waarde van respectievelijk 0,56 en 0,65. Een lagere CO₂ hangt normaal gesproken samen met meer ventilatie, waardoor meer lucht wordt ververst en de gemeten cVOC afneemt.

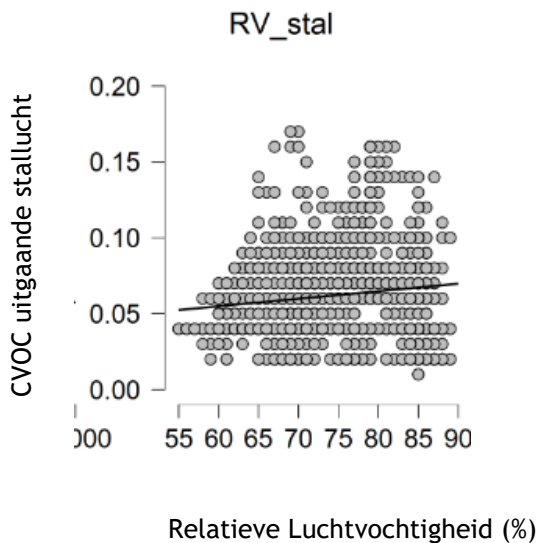
Bij een hogere luchtvochtigheid in de stal is de verwachting dat er meer biologische processen plaats vinden in het strooiselbed, waardoor meer organische componenten, waaronder geurstoffen, worden geproduceerd.

Opvallend is dat de relatie tussen de gemeten cVOC in de uitgaande lucht en de temperatuur in de stal laag is met een correlatie van -0,09. De gemeten temperaturen van de stallucht lagen tussen de 24 en 34 °C.

Tabel 2. Correlaties van cVOC met andere klimaatparameters in de uitgaande stallucht

Correlatie	NH ₃ _stal	CO ₂ _stal	RV_stal	Temp_stal
VOC_UIT	0,80	0,56	0,65	-0,09

De parameters van de uitgaande stallucht zijn op één vleeskuikenbedrijf gemeten. Ook met de gemeten parameters in de uitgaande stallucht werden geen duidelijke correlaties gevonden. De correlatie van cVOC met CO₂-concentratie en temperatuur bedroegen beiden 0,08 en met de relatieve luchtvochtigheid bedroeg deze 0,15. Bij de relatieve luchtvochtigheid hing dit met name samen met de kleinere spreiding bij een lagere luchtvochtigheid (zie figuur 16).



Figuur 16. Spreidingsdiagram relatie gemeten cVOC en de Relatieve luchtvochtigheid in de uitgaande stallucht op een vleeskuikenbedrijf.

Resultaten luchtzakmonsteranalyse onderzoek Wageningen University & Research

De Canairy-sensor detecteert als niet gas-selectieve sensor veel vluchtige organische componenten en geeft een cumulatief signaal hiervan (cVOC). Om meer inzicht te krijgen in hoeverre verschillen in het cVOC signaal van de Canairy gerelateerd zijn aan de samenstelling van geurcomponenten is in de pilot ervoor gekozen om op 3 momenten luchtzakmonsters te nemen (april, mei, oktober 2024) en deze met een laboratoriummethode te analyseren. De eerste twee meetmomenten zijn er zowel op twee varkensbedrijven, als op twee pluimveebedrijven monsters genomen. In de pluimveehouderij is minder bekend over verwachte geuractiviteit door bepaalde vluchtige stoffen. Tijdens het laatste monsternamemoment zijn enkel op de varkensbedrijven monsters genomen, deze zijn vergeleken met het geurprofiel van 'varkenslucht'. Tevens is een extra onderzoek gedaan waarbij op twee varkensbedrijven luchtzakmonsters zijn genomen op de door de Canairy gemeten piek- en dalmomenten van een dag.

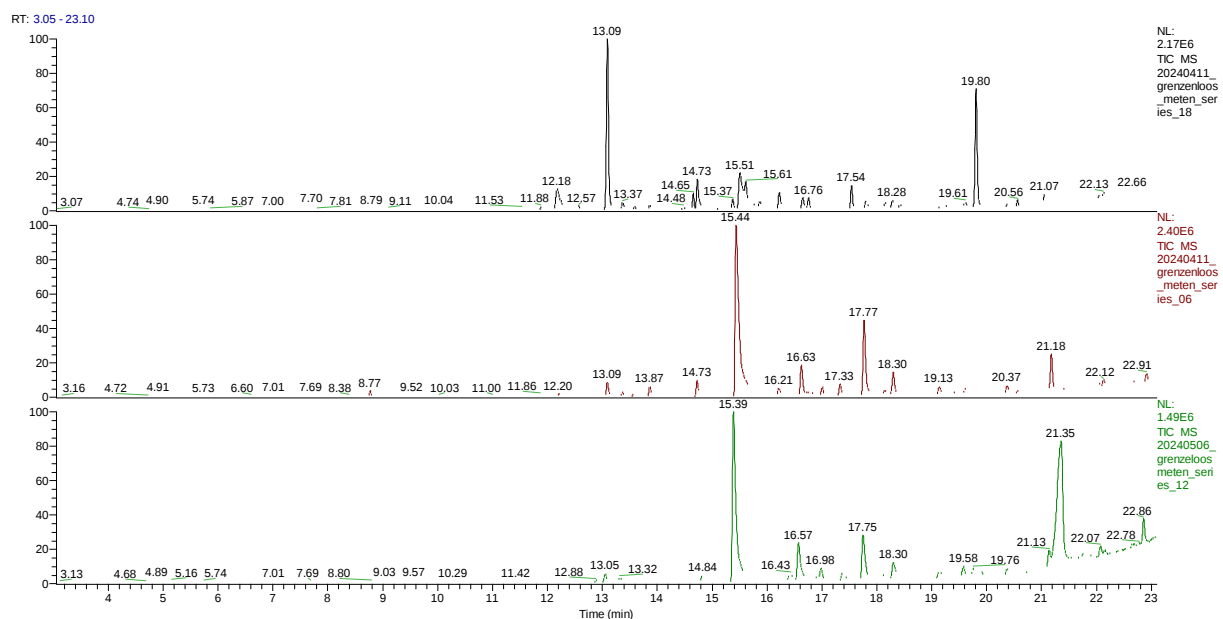
Voor een betrouwbare en reproduceerbare analyse is het correct nemen van een monster cruciaal. Zo kunnen bijvoorbeeld het materiaal en maat van de zakken en de aanzuigleidingen van invloed zijn op de bewaarbaarheid en de chemische samenstelling van het monster. Bij voorkeur worden inerte materialen zoals PTFE (Teflon) voor zakken en leidingen gebruikt. Leidingen naar de bemonsteringspunten dienen schoon en zo kort mogelijk te zijn en bij voorkeur direct voor de bemonstering geplaatst te worden om mogelijke contaminatie met geurstoffen te minimaliseren. Omdat de bewaarbaarheid van een geurmonster in een luchtzak beperkt is zijn monsters steeds zo snel mogelijk vanuit het veld naar het lab gebracht en uiterlijk binnen 20 uur geanalyseerd.

Wageningen University & Research heeft veel ervaring met monsternames na luchtwassers op varkensbedrijven. Van deze ervaring is gebruik gemaakt. Uit de meetgegevens van de gas chromatografie analyses zijn door Wageningen UR geurprofielen van 'varkenslucht' samengesteld.

Hierbij is gefocust op een aantal vluchtige stoffen waarvan uit eerder gepubliceerd onderzoek bekend was dat ze vanwege de verwachte concentratie en geuractiviteit een belangrijke rol bij de geur uit de varkenshouderij spelen. De geurstoffen behoren voornamelijk tot de zwavelhoudende componenten, vluchtige vetzuren, fenolische en indolische verbindingen. Vanwege de ondergeschikte rol van ammoniak bij de geurwaarneming is deze stof niet meegenomen in de analyse.

Deze geurprofielen zijn gebruikt om een vergelijk te maken met de profielen die uit de gaschromatograaf kwamen. Deze proefielen zijn tevens gebruikt voor de weging van de geurcomponenten gemeten bij de varkensbedrijven. Hierbij is een weging gegeven aan de geurstoffen op basis van de geurdrempel en de daardoor verwachte bijdrage van deze stof aan een waargenomen geur.

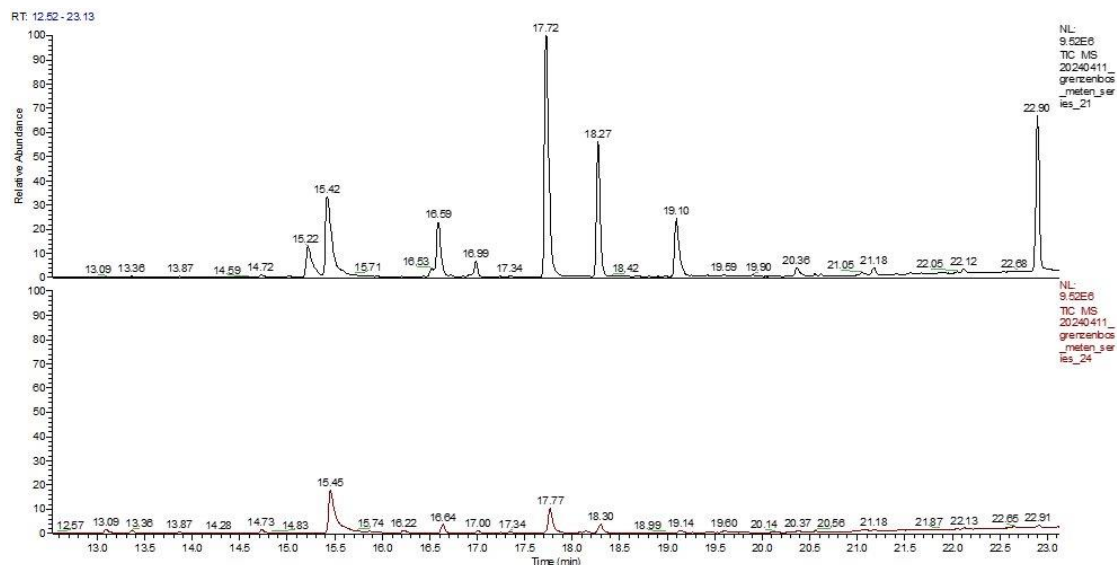
Op de pluimveestallen is een verschil in de geurpatronen tussen lucht uit een vleeskuikenstal en een stal met leghennen gemeten (figuur 17). Het verschil qua diercategorie was groter dan de variatie van de profielen in de tijd (figuur 17 midden en onder).



Figuur 17. Chromatogrammen van de geurstoffenprofielen van uitgaande lucht bij pluimvee. De bovenste grafiek is van bedrijf 1 (vleeskuikens) en de twee onderste op twee verschillende weken op bedrijf 2 (legghennen).

In de uitgaande lucht van pluimveestallen lagen de berekende concentraties van cVOC van de Canairy ca. 100-300 keer hoger dan via de GC berekende concentraties van geuractieve componenten. Dat suggereert dat de Canairy meer vluchtige verbindingen detecteert dan alleen stoffen die bijdragen aan geur. Dit was binnen de verwachting. De concentraties van geurstoffen van de ingaande lucht lagen vaak rond of onder het detectielimiet van beide analysetechnieken. Vanwege de lage beginconcentraties en de offset in gemeten concentraties van de uitgaande lucht was een directe vergelijking van beide analysetechnieken weinig betekenisvol. De Canairy detecteert meer VOCs dan de gaschromatografie-analyse van de luchtzakmonsters. Aangezien door de Canairy ook niet of weinig geuractieve componenten worden gedetecteerd, is dit waarschijnlijk met een overschatting met betrekking tot geur.

Bij de twee varkensbedrijven is de analyse voornamelijk gericht op een vergelijking tussen de geurstoffenconcentratie direct voor en na de luchtwasser. Naast ammoniak verwijderen luchtwassers over het algemeen ook vluchtige geurstoffen, zoals in het voorbeeld in figuur 18 te zien. Het bovenste patroon is gemeten van een monster genomen voor de luchtwasser en het onderste patroon is van een monster genomen na de luchtwasser. Zichtbaar is het verschil in de gemeten pieken (geurstoffen). De pieken voor de luchtwasser zijn hoger dan de pieken na de luchtwasser.



Figuur 18. Resultaten gas-chromatograaf van monsters voor en na de luchtwasser in een varkensstal.

Vervolgens is er gekeken of de gemeten verschillen in gemeten concentraties van geurstoffen (chemische analytische methode) en cVOC (Canairy) voor en na de luchtwassers vergelijkbaar waren voor de twee technieken. Hiervoor is het rendement van de luchtwassers berekend. Het rendement is een maat voor hoe effectief een luchtwasser vluchtige componenten, inclusief geurcomponenten, kan verwijderen. Het rendement wordt als een percentage uitgedrukt, een rendement van 0% betekent dat niets wordt verwijderd, terwijl er bij een rendement van 100% geen vluchtige componenten meer na de luchtwasser te detecteren zijn. In tabel 3 zijn de resultaten weergegeven.

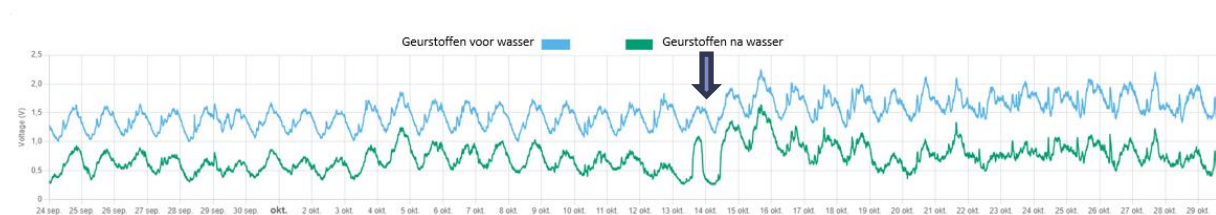
Tabel 3. Vergelijk in het berekende luchtwasserrendement gemeten met Canairy en gaschromatografie methode op zeven verschillende meetmomenten bij twee varkensbedrijven

Monstername moment	1	2	3	4	5	6	7
'Rendement' gaschromatografie	76%	75%	65%	81%	63%	17%	55%
'Rendement' Canairy	98%	97%	72%	76%	77%	88%	86%

Het berekende luchtwasserrendement op basis van de Canairy sensor ligt met een uitzondering doorgaans hoger dan bij de analytische methode die zich alleen richt op geuractieve componenten. De variatie in de afwijkingen tussen de twee technieken is met 5-71% aanzienlijk. Op 3 momenten van monsternamen zijn de resultaten nagenoeg vergelijkbaar, op 4 momenten wijkt het sterk af. Er was geen eenduidige reden aan te wijzen waarom de afwijkingen soms groter waren. Naast een onzekerheid in de monsternamen, was een observatie dat op meetmomenten waar de berekende rendementsverschillen tussen de twee technieken groot waren, de verwijdering van zwavelcomponenten lager dan gemiddeld was. Mogelijkerwijs is de Canairy sensor voor deze componenten minder gevoelig dan voor andere groepen van geurstoffen.

Praktijkvoorbeelden

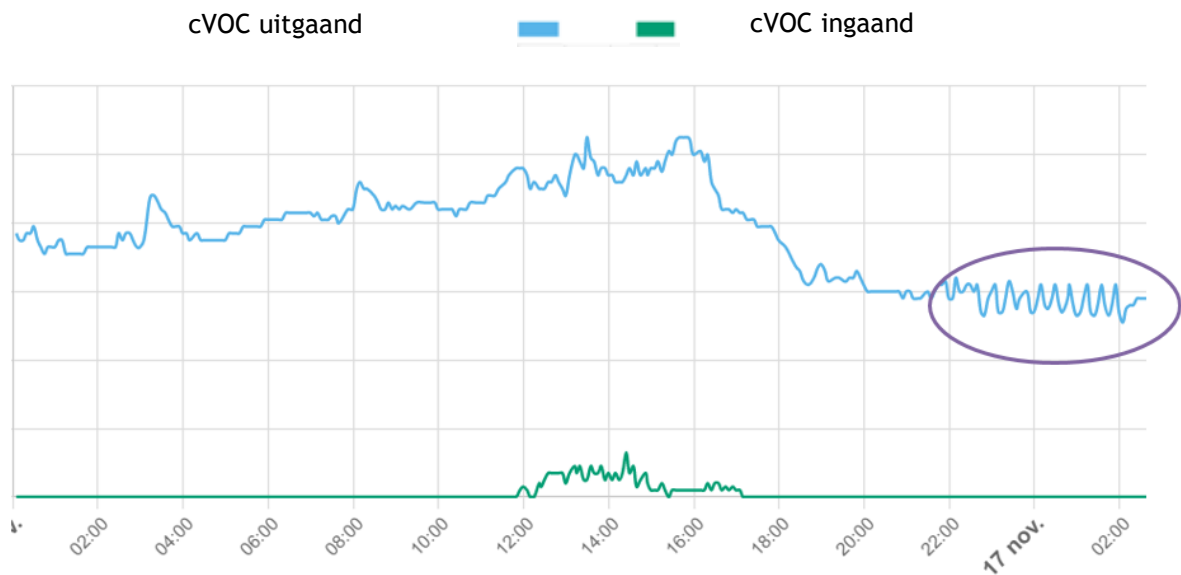
Uit de wekelijkse monitoring van het dashboard kwamen naast de eerder genoemde voorbeelden ook andere inzichten naar voren waarbij 'afwijkingen' in patronen konden worden gerelateerd aan omstandigheden op of rond het bedrijf.



Figuur 19. Patroon gemeten cVOC voor en na luchtwasser op een varkensbedrijf. Hierin is het moment dat er een probleem met de wasser ontstond aangegeven met de blauwe pijl.

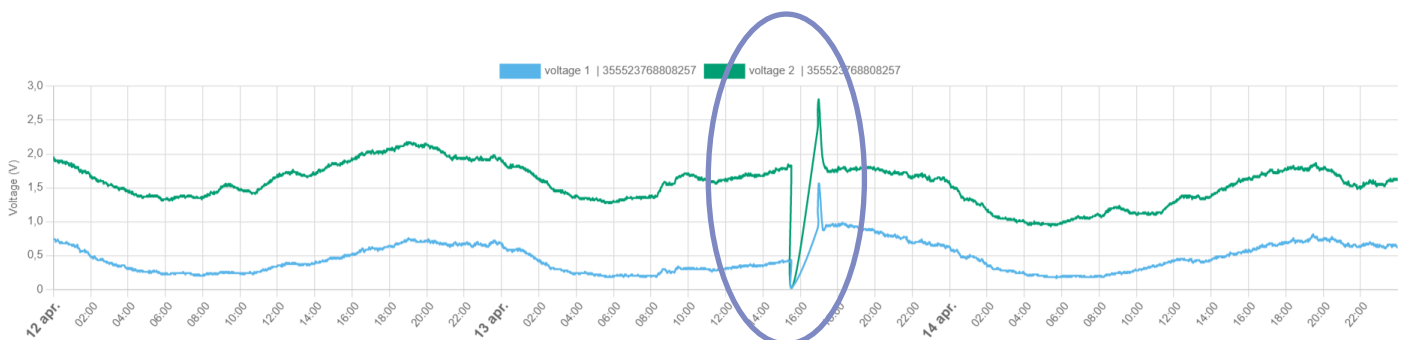
In figuur 19 is een voorbeeld weergegeven van de gemeten cVOC met de Vanairy-sensor op een vleesvarkensbedrijf. Zichtbaar is het dagpatroon, maar daarnaast is ook het moment aangegeven waarop een afwijking zichtbaar was in het patroon. Hier bleek er sprake te zijn van problemen met de luchtwasser, waarna deze weer hersteld is. In het onderzoek is zichtbaar dat het, met name wanneer de luchtwasser een langere periode uit heeft gestaan, langer duurt voor de luchtwasser weer in balans is. Op momenten dat de stroom een korte periode van de wasser was (minder dan een uur) was een snel herstel van de wasser zichtbaar.

Op een pluimveebedrijf was het patroon in figuur 20 zichtbaar. De uitgaande cVOC schommelden plotseling sterk. Bij nader onderzoek bleek op deze momenten dat de temperatuur die nacht schommelde rond de ingestelde waarden van de ventilatiecomputer, waarop de ventilatie in- of uitgeschakeld werd, waardoor ook de gemeten cVOC bij de uitgaande lucht telkens toe- en afnamen.



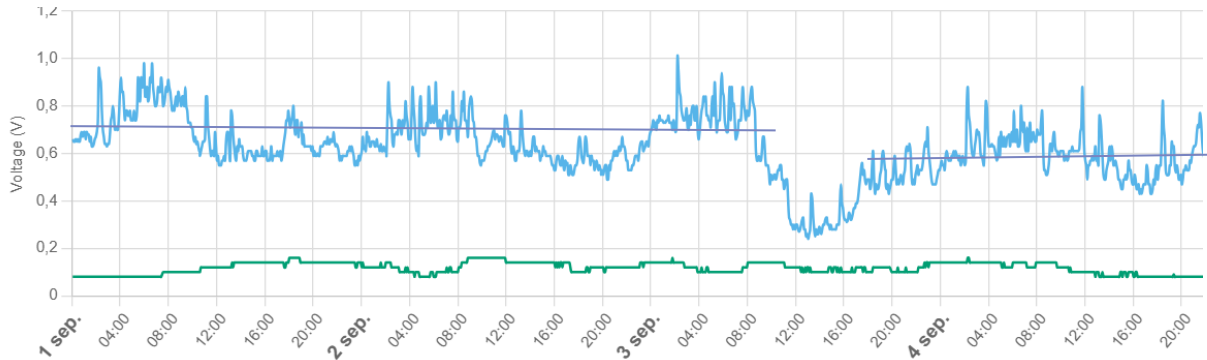
Figuur 20. Patroon op pluimveebedrijf. Paarse cirkel geeft de nacht aan waarop ventilatie steeds aan en uit werd geschakeld doordat de temperatuur bij de voeler van het ventilatiesysteem rond het omslagpunt schommelde. Blauwe lijn is uitgaande lucht, groene lijn is ingaande lucht.

Figuur 21 is een ander voorbeeld van het identificeren van een probleem bij de luchtwasser. Dit voorbeeld geeft een afwijking in het patroon weer op het moment dat er sprake was van korte stroomuitval, waardoor een gedeelte van de luchtwasser korte tijd uitviel. Zichtbaar is dat de gemeten cumulatie aan Vluchtige Organische Componenten zowel voor als na de luchtwasser terugvielen en vervolgens een piek laten zien. Dit patroon ontstaat doordat er geen componenten door de luchtwasser gaan (dal), de componenten hopen zich dan op, waarna deze vervolgens tegelijk door de luchtwasser gaan als de luchtwasser weer in werking is (piek). Daarna herstelt het patroon zich weer.



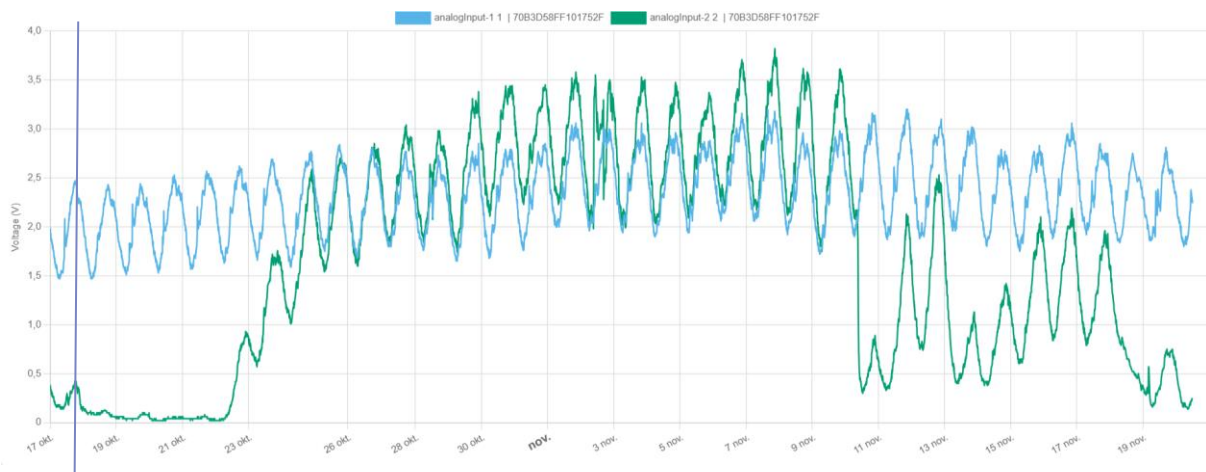
Figuur 21. Voorbeeld stroomuitval bij luchtwasser op een varkensbedrijf.

Figuur 22 laat een voorbeeld zien van een moment op een pluimveebedrijf, waarop een additief is toegevoegd aan het drinkwater dat bijdraagt aan een goede darmgezondheid. Kort na het moment van toediening is een afname in de gemeten cVOC zichtbaar. Dit kan mogelijk worden gerelateerd aan een betere darmverteerbaarheid, waardoor minder gasvorming in de dieren plaatsvindt en er minder emissies vanuit de mest van de dieren vrijkomen, waaronder ammoniak. De reactie vindt zeer snel plaats en was ook zichtbaar op een ander momenten waarop het additief op het drinkwater werd gezet.



Figuur 22. Voorbeeld met op 3 september afwijkend patroon, kort nadat bij het pluimveebedrijf een additief op het drinkwater is gezet.

Op het einde van de looptijd van het onderzoek deed zich nog een praktisch voorbeeld voor. Eén van de luchtwassers in het project gaf afwijkende waarden, hierop heeft de ondernemer een monteur onderhoud laten plegen. Op basis van de gemeten waarden bleek echter dat dit onderhoud niet het gewenste resultaat had opgeleverd. Hierop heeft de ondernemer een aantal werkzaamheden uitgevoerd, zoekende naar de oorzaak van en de oplossing voor het probleem. Met behulp van de sensorwaarden werd steeds gemonitord of de oplossing werd gevonden. Na ruim vier na eerste constatering van het probleem is zichtbaar dat de luchtwasser weer voldoende in balans komt. Zonder de monitoring van de sensor was dit probleem niet, of veel later pas, geconstateerd.



Figuur 23. Voorbeeld van een afwijking op varkensbedrijf. Op 17 oktober wordt eerste afwijking geconstateerd en vindt een onderhoudsbeurt plaats. Op 23 oktober wordt een defect geconstateerd. Op 1 november wordt door de monteur een reparatie uitgevoerd. Waarna op basis van de meetwaarden wordt geconstateerd dat het probleem nog niet verholpen is. Hierop zijn diverse acties uitgevoerd en is blijvend gemonitord. Vanaf 19 november wordt zichtbaar dat de wasser weer in balans komt.

Relatie ervaring omwonenden

De data uit het onderzoek over beleving was beperkt beschikbaar voor een vergelijking met de sensordata in dit onderzoek. Uit de bijeenkomsten hebben de onderzoekers een aantal momenten kunnen identificeren dat een inwoner uit het gebied aangaf meer geur te ervaren dan op andere momenten.

Eén van genoemde regelmatig terugkerende momenten op een dag, genoemd als moment waarop regelmatig geur werd waargenomen, is mogelijk te relateren aan het dagpatroon op één van de bedrijven. Op hetzelfde tijdstip was in het dagpatroon het hoogste aantal cVOC zichtbaar (rond 22:00 uur in de avond). Het andere genoemde moment (rond 17:00 uur) is niet te relateren aan de gemeten cVOC waarden.

4 Discussie en conclusies

Het onderzoek heeft geleid tot interessante resultaten. De metingen met de Canairy-sensor geven waardevolle inzichten voor de ondernemers. Het biedt mogelijkheden om patronen van vluchtige emissies te monitoren en hierin snel inzicht te krijgen. Enerzijds zijn dit inzichten in de relatie tussen gemeten waarden en bedrijfsactiviteiten, anderzijds zijn dit inzichten in wanneer er een afwijkend patroon plaats vindt. Met name afwijkingen in patronen geven potentiële praktische handvatten om snel in te kunnen grijpen, zoals bij een storing van een luchtwasser, als een luchtwasser geleidelijk slechter functioneert, of afwijkingen in dagpatronen die veroorzaakt kunnen worden door veranderingen in het stalklimaat. Door eerder in te kunnen grijpen, kunnen mogelijk pieken in geur voorkomen of gereduceerd worden. De Canairy is een goede sensor voor dit doel. De sensitiviteit van de sensor voor specifieke geurstoffen die relevant zijn voor de geuremissie en -beleving is beperkt. Op basis van het analyseren van geurmonsters met GCMS kan ervoor gekozen worden om aanvullend sensoren bij te plaatsen die specifiek belangrijke geurstoffen meten die op het bedrijf voorkomen.

Het vergelijk van de resultaten van de laboratorium-analyses op basis van de metingen in het veld roepen nog vragen op. Een aantal metingen geven een duidelijk goed vergelijk op basis van het rendement (meten voor en na de luchtwasser op varkensbedrijven), terwijl er ook duidelijke verschillen zichtbaar zijn. Onderzoekers geven aan dat de Canairy een geschikte sensor is om op hoofdlijnen patronen van vluchtige emissies te monitoren. Met betrekking van het meten van geur en geurverwijdering door luchtwassers lijken de Canairy resultaten optimistischer te zijn vergeleken met de laboratoriummethode die specifiek op geuractieve stoffen gericht is. Een kanttekening hierbij is dat de laboratoriummetingen gebaseerd zijn op momentopnames terwijl de Canairy met de continu metingen een beter beeld over patroonveranderingen kan geven. Het is waardevol om aanvullend onderzoek hiernaar te doen.

Een aanbeveling is het uitbreiden van de metingen, of het onderzoek met de metingen, met een sensor/sensoren die specifieke stoffen meten.

Antwoord op onderzoeksvragen

1. Is de Canairy een geschikte sensor om in te zetten voor geurmetingen?
2. Geeft de sensor inzichten voor handvatten voor verbetering
3. Wat is de relatie met luchtsamenstelling?

1. Is de Canairy een geschikte sensor om in te zetten voor geurmetingen?

De canairy is geschikt voor indicatieve metingen van geurstoffenpatronen in de tijd. De patronen zijn een indicatie voor de hoeveelheid geurstoffen in de lucht op een bedrijf en geven een indicatie van de geurintensiteit. Wanneer er afwijkingen in het patroon zichtbaar zijn, kunnen deze een belangrijke indicator zijn voor bijvoorbeeld een probleem met een luchtwasser en kan hierop snel worden ingegrepen.

De canairy geeft een cumulatief patroon van gemeten stoffen en geeft geen weging aan de gemeten stoffen met betrekking tot hun bijdrage aan de waargenomen geur (geuractiviteit). Waarbij het goed is om te noemen dat de Canairy sensor geen odeur units, vergelijkbaar met een sensorische meting, meet en dus geen geurbeleving meet.

2. Geef de sensor inzichten voor handvatten voor verbetering?

Ja, de patronen zijn een goede indicatie en bieden handvatten voor de ondernemers om te monitoren en hierop te sturen.

3. *Wat is de relatie met de luchtsamenstelling?*

Er is een relatie met de luchtsamenstelling. De precieze relatie is op basis van dit onderzoek niet goed te duiden. Duidelijk is dat er een relatie is en dat dit ook de basis vormt voor waardevolle inzichten. Dit blijkt ook uit de praktische voorbeelden uit het project.

Het is duidelijk dat er nog onzekerheden zijn. Enerzijds door de analysemethode en het correct nemen van de luchtzakmonsters vanuit het wetenschappelijk onderzoek (Wageningen University & Research) en anderzijds doordat de Canairy een sensor is die geen individuele geurstoffen kan meten.

Handvatten voor ondernemers, overheden en inwoners.

Op verzoek van de opdrachtgevers van het onderzoek zijn de potentiële handvatten voor zowel de ondernemers, overheden als inwoners weergegeven.

- **Ondernemers:** inzichten in geurstoffenpatronen. Inzicht in welke activiteiten meer of minder bijdragen aan het ontstaan van geurstoffen. Mogelijkheden tot continue monitoring van geurstoffenpatronen uit de stal en de mogelijkheid hier snel op te reageren bij afwijkingen in de patronen. Dit kan mede door het systeem een alert uit te laten sturen bij afwijkingen in het verwachte patroon. Duidelijk voorbeeld dat naar voren is gekomen uit het onderzoek is het monitoren van de geurstoffenpatronen bij een luchtwasser. Met de sensorwaarden is het mogelijk deze patronen te monitoren en snel te kunnen handelen bij afwijkingen, waardoor mogelijke hinder kan worden beperkt of voorkomen.
- **Overheden:** het bieden van ondersteuning op het gebied van het verminderen van uitstoot van geurstoffen, door de mogelijkheid aan te bieden de geurstoffenpatronen te monitoren met sensoren. Dit geeft inzicht en kan in een tweede stap leiden tot bewustwording en wederzijds begrip. Wanneer een inwoner die hinder ervaart, inzicht krijgt in waarom en hoe lang dit naar verwachting duurt (m.a.w. het duidelijk is waarom iets plaats vindt), dan kan dit leiden tot meer begrip voor elkaar en een constructiever dialoog mogelijk maken.
- **Inwoners:** het monitoren van indicatieve geurstoffenpatronen geeft inzicht, wat kan leiden tot bewustwording en wederzijds begrip. Wanneer een inwoner die hinder ervaart, inzicht krijgt in waarom en hoe lang dit naar verwachting duurt (m.a.w. het duidelijk is waarom iets plaats vindt), dan kan dit leiden tot bewustwording en wederzijds begrip. De patronen kunnen niet altijd aangepast worden, omdat ze samenhangen met activiteiten die nodig zijn voor goede omstandigheden van de dieren.
Ervaart een inwoner een afwijking in de geurstoffenbeleving dan kan dit worden geregistreerd en kan samen met de ondernemer, eventueel via overheid, worden gekeken of dit te relateren is aan de geurstoffen uit de stal en of hier oplossingen voor zijn.

Algemene contactgegevens:

Connecting Agri & Food BV
Oostwijk 5
Postbus 511
5400 AM Uden
info@connectingagriandfood.nl
www.connectingagriandfood.nl
Tel. 0413 33 68 00

Colofon

Deze publicatie is in opdracht van:

Gemeente Venray
Postbus 500
5800 AM VENRAY

Foto's

Connecting Agri & Food BV

Vormgeving en realisatie

Connecting Agri & Food BV

Disclaimer

De in deze publicatie neergelegde opvattingen zijn gebaseerd op door Connecting Agri & Food BV betrouwbaar geachte gegevens en informatie, die op zorgvuldige wijze in onze analyses en prognoses zijn verwerkt. Noch Connecting Agri & Food, noch ingeschakelde derden kunnen aansprakelijk worden gesteld voor in deze publicatie eventuele aanwezige onjuistheden. De weergegeven opvattingen en prognoses houden niet meer in dan onze eigen visie en kunnen zonder nadere aankondiging worden gewijzigd.

© Connecting Agri & Food, 2024

Deze publicatie is alleen voor eigen gebruik. Het gebruik van tekstdelen en/of cijfers is slechts toegestaan indien de bron duidelijk vermeld wordt. Verveelvoudiging en/of openbaarmaking van deze publicatie is niet toegestaan, behalve indien hiervoor vooraf schriftelijke toestemming is verkregen van Connecting Agri & Food BV.

Dit is een samenwerking met



Mede mogelijk gemaakt door

Bestuurlijk Programma Vitaal Platteland
- Zuidoostelijke Zandgronden

