

Regionaal Meetnet ILM2 in Zuidoost- Brabant: Jaarrapportage 2022

TNO 2023 R11852 – 7 november 2023

Regionaal Meetnet ILM2 in Zuidoost-Brabant: Jaarrapportage 2022

Auteurs	Daniëlle van Dinther, Ruben Goudriaan, Gerrit Jan de Bruin, Jun Zhang, Janot Tokaya, Sjaak Kaandorp, Marcus Blom
Rubricering rapport	TNO Intern
Titel	TNO Intern
Rapporttekst	TNO Intern
Bijlagen	TNO Intern
Aantal pagina's	71 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	AiREAS – Consortium Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant
Projectnaam	AiREAS - ILM2
Projectnummer	060.34603

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2023 TNO

Terminologie

CAIREBox	De CAIREBox is het meetplatform waarmee het Regionaal Meetnet is opgebouwd. De CAIREBox bevat sensoren voor metingen aan fijnstof en stikstofdioxide welke elke 10 minuten een meting uitvoeren.
Daggang	De daggang vertoont de gemiddelde gang van luchtvervuilende stoffen per uur over de dag.
Fijnstof (PM)	Fijnstof is een vorm van luchtvervuiling die bestaat uit deeltjes die blijven zweven. De afkortingen PM1, PM2.5 en PM10 staan voor de fijnstoffracties met deeltjesgroottes tot aan respectievelijk 1; 2,5; en 10 μm . De deeltjesgrootte is mede illustratief voor de bijdragende bron.
Grenslaag (hoogte)	Ook wel menglaag genoemd. In deze onderste laag van de atmosfeer is de invloed van het aardoppervlak direct merkbaar en zorgen turbulente wervels voor transport en menging van luchtverontreinigende stoffen. De grenslaag(hoogte) is de bovenkant van de grenslaag.
ILM1	Het ILM1 sensornetwerk is de voorloper van het huidige Regionaal Meetnet waarbij op 35 locaties in Eindhoven van 2013 tot en met 2018 de luchtkwaliteit gemeten werd.
ILM2	Dit is het huidige Regionaal Meetnet in Zuidoost-Brabant. Hierbij wordt op zo'n 50 meetlocaties de luchtkwaliteit gemeten en is aandacht voor zowel het stedelijk gebied, de invloed van de luchthaven als het buitengebied.
Jaarprofiel van daggemiddelde	In het jaarprofiel staan de daggemiddelde gemeten concentraties per stof getoond verdeeld over het jaar.
LML	Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, het referentie meetnet voor luchtkwaliteit van het RIVM.
Meetlocatie	De meetlocatie geeft de plek aan waar de luchtkwaliteit bemeaten wordt. Deze locaties hebben een uniek ID gevormd door de letters ILM plus een volgnummer.
Normering	Normen geven aan tot welke concentraties lucht-vervuilende stoffen, zoals fijnstof en stikstofdioxide, beperkt moeten worden. De WHO-advieswaarden uit 2021 (PM2.5: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO ₂ : 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zijn strenger dan de geldende wettelijke EU-grenswaarden (PM2.5: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, NO ₂ : 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
NO ₂	Stikstofdioxide. Deze stof komt vooral in de lucht terecht door uitlaatgassen van verkeer en industrie.
UFP	Ultrafijnstof, met deeltjesgroottes tot aan 0,1 μm .
Weekgang	De weekgang vertoont de gemiddelde gang van luchtvervuilende stoffen per uur over de week. Hierdoor wordt bijvoorbeeld het verschil in luchtkwaliteit tussen week- en weekenddagen inzichtelijk.
Windroosanalyses	Windroosanalyses onderzoeken hoe de concentraties per stof variëren over het jaar in relatie tot variaties in windrichting en windsnelheid. Daardoor wordt het mogelijk eventuele bronnen in de regio te identificeren.

Achtergrond

Het consortium ILM2 bestaat uit AiREAS, gemeente Eindhoven, Provincie Noord-Brabant, GGD Brabant-Zuidoost, RIVM, TNO, het IRAS instituut van de Universiteit Utrecht (UU-IRAS) en Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant. ILM2 wordt uitgevoerd met financiële steun van de Provincie Noord-Brabant, gemeente Eindhoven, Omgevingsdienst Zuidoost-Brabant en deelnemende regiogemeenten: Asten, Bergeijk, Best, Boxtel, Cranendonck, Deurne, Eersel, Eindhoven (partner en deelnemer), Geldrop-Mierlo, Gemert-Bakel, Heeze-Leende, Helmond, Laarbeek, Meierijstad, Nuenen, Oirschot, Reusel-De Mierden, Son en Breugel, Valkenswaard, Veldhoven en Waalre. Daarnaast heeft een aantal gemeenten deelname in beraad of wacht op officiële besluitvorming.

Met de aanleg van het Innovatief Luchtmeetnet 2.0 (ILM2) wordt de luchtkwaliteit in de regio Zuidoost-Brabant bemeten op ongeveer 50 meetlocaties. De aandachtsgebieden zijn het stedelijk gebied, het gebied rond de luchthaven en het buitengebied met veel veehouderij. Alle data zijn daarbij openbaar beschikbaar, zoals via [Dustmonitor](#) en [Samen Meten](#). ILM2 legt hiermee een unieke basis voor onderzoek naar en innovatie in de leefomgeving van Zuidoost-Brabant: door bewustwording van de heersende luchtkwaliteit, het bieden van handelingsperspectieven en/of verschillende samenwerkingsvormen wordt in co-creatie gewerkt aan een gezondere regio.

Het ILM2 is door het consortium geïnitieerd ter ondersteuning van beleid voor een gezondere samenleving. Met dat doel in het achterhoofd is het logisch dat ook veel van de deelnemende overheden bij de initiatiefnemers van het Schone Lucht Akkoord horen. Het doel van dit akkoord is om de luchtkwaliteit in Nederland permanent te verbeteren. Concreet streven de deelnemende partijen naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016. Om dit te bereiken zijn er themagroepen ingericht en heeft het RIVM gezondheids-indicatoren ontwikkeld waarmee het rijk, provincies en gemeenten hun ambitie kunnen monitoren. Een belangrijk onderdeel in de rekenketen is het vaststellen van concentraties en blootstelling. Dat is mede waar het ILM2 aan moet gaan bijdragen.

Dit rapport betreft de tweede jaarrapportage van het ILM2 voor het jaar 2022.

Rol RIVM en UU-IRAS in het onderzoek

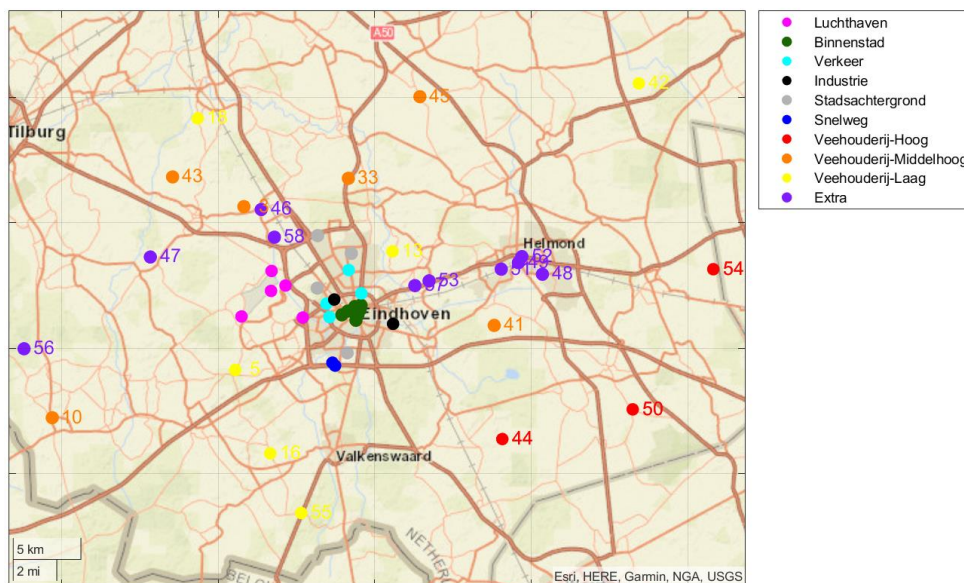
Dit rapport geeft de visie van TNO weer, zoals door de auteurs beschreven. Het RIVM en UU-IRAS waren als kennispartner bij het onderzoek betrokken en hebben vooraf geadviseerd over de opzet en uitvoering van het ILM2-meetnet. Als tegenlezers hebben het RIVM en UU-IRAS feedback gegeven op de conceptversie van het eindrapport. De eindverantwoordelijkheid voor de inhoud van de rapportage ligt bij TNO.

Samenvatting

Het Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant

Overzicht 2022

Het Innovatief Luchtmeetnet 2.0 (ILM2) onderzoekt de luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant. De meetlocaties van het ILM2 zijn bepaald door TNO, RIVM en UU-IRAS. Via deze meetlocaties wordt de stedelijke luchtkwaliteit, luchtkwaliteit rond de luchthaven en de luchtkwaliteit in het buitengebied, waaronder de invloed van veehouderij hierin, onderzocht. Op elke meetlocatie worden de concentraties fijnstof in verschillende groottes, namelijk PM1, PM2.5, PM10, en stikstofdioxide (NO₂), gemeten met sensoren. Ook wordt in het luchthavengebied UFP gemeten. Deze stoffen zijn voor een belangrijk deel verantwoordelijk voor de gezondheidslast gerelateerd aan luchtvervuiling en daarmee (regionale) luchtkwaliteit.



Het ILM2 meetnet in Zuidoost-Brabant in 2022. Alleen operationele meetlocaties staan getoond.

In 2022 zijn er drie meetlocaties toegevoegd aan het vaste meetnet tot een totaal van 47 vaste meetlocaties:

- Er zijn 25 meetlocaties in het stedelijk gebied. Dit zijn 21 vaste meetlocaties in Eindhoven en 4 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties in Helmond.
- Er zijn 3 meetlocaties in het luchthavengebied rond Eindhoven Airport. Op deze 3 meetlocaties wordt ook UFP gemeten.
- De selectie van de meetlocaties in het buitengebied is gedaan op basis van de GCN kaart met de veehouderij bijdragen van stallen op de PM10 concentraties. Er zijn 15 meetlocaties in het buitengebied: dit zijn 6 meetlocaties met een verwachte lage bijdrage PM10 vanuit veehouderij (< 1 µg/m³), 6 meetlocaties met een verwachte middelhoge bijdrage PM10 (1-5 µg/m³) en 3 meetlocaties met een verwachte hoge bijdrage PM10 (> 5 µg/m³).

- Daarnaast zijn 4 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties geplaatst in de regio: 2 in Best (beide op verkeersbelaste locaties) en 1 in Reusel-de Mierden en 1 in Oirschot (beiden regionale achtergrond).
- Er is op 2 meetlocaties in Nuenen tijdelijk gemeten als onderdeel van een tijdelijke meetcampagne gericht op het inzichtelijk maken van de invloed van lokaal verkeer op de luchtkwaliteit.

Werking meetnet in 2022

Een belangrijk aandachtspunt binnen het ILM2 meetnet is het meten van de luchtkwaliteit met sensoren in netwerkverband te evalueren en verder te optimaliseren. De gemiddelde uptime van het meetnet ligt in 2022 rond de 98%, in verhouding tot de maximaal aantal beschikbare meetdagen na plaatsing van een meetpunt. Dit betekent dat er voor 98 van de 100 mogelijke meetdagen meetgegevens zijn waarop een daggemiddelde zou kunnen worden berekend.

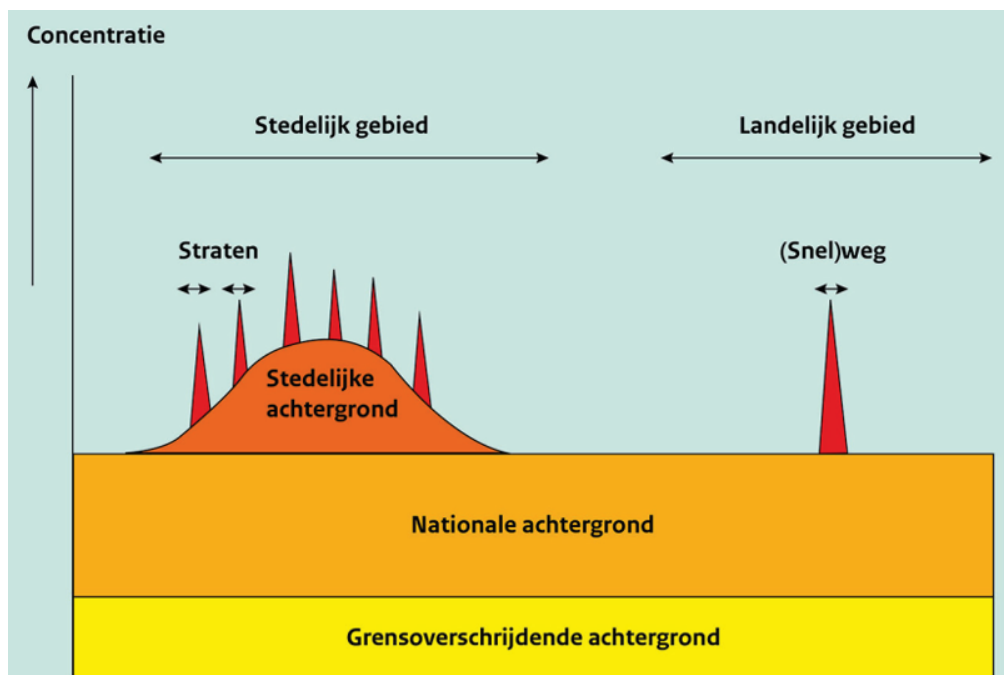
De fijnstofsensoren presteren vergelijkbaar aan 2021. De sensoren correleren qua dagelijkse variatie goed met het LML aan de Genovevalaan, met een correlatie⁷ van 0,82 op basis van daggemiddelde waarden voor de ILM2 meetlocatie naast het LML. Uit verschillende analyses blijkt dat er ongeveer tot 20% sensor specifieke onzekerheid zit op de gemiddelde meetwaarden over een langere periode (een aantal maanden tot een jaar), waarbij sommige sensoren hoger en sommige lager meten dan de referentie (en daarmee tot elkaar). Op kortere tijdschalen kan er meer verschil optreden, bijvoorbeeld omdat op deze korte tijdschaal kleine bronnen in de omgeving voor korte pieken kunnen zorgen.

In 2021 werden met name tijdens de zomermaanden afwijkende metingen zichtbaar voor NO₂. In 2022 is actief ingezet op additioneel onderhoud om deze afwijkingen tot een minimum te beperken. Daarnaast is voor deze rapportage een selectie gemaakt van de beschikbare NO₂ meetgegevens. Wanneer er hoge correlaties ontstaan tussen de NO₂ - meetgegevens en ozon (correlatie > 0.5) en/of anti correlatie tussen NO₂ en relatieve luchtvochtigheid (correlatie < -0.5) worden de meetgegevens niet gebruikt voor de analyses in dit rapport. Deze controlestep is per week uitgevoerd, hiermee blijven zo'n 56% van de meetgegevens beschikbaar voor analyse.

Aanpak analyses

Gelijk aan 2021 worden de analyses van de regionale luchtkwaliteit uitgevoerd op verschillende schaalniveaus. Deze sluiten aan bij de opbouw zoals getoond in onderstaand figuur. De achtergrondconcentraties beschreven in dit rapport zijn bepaald door voor heel 2022 voor elk uur het 10-percentiel (oftewel laagste 10% van de metingen) te bepalen over alle sensormeetwaarden in het gehele ILM2 meetnet. Hierdoor wordt inzicht verkregen in hoeverre concentraties van luchtvervuilende stoffen kunnen worden gereduceerd door interventies te doen in Zuidoost-Brabant zelf. Er wordt daarnaast een vergelijking gemaakt van de gemiddelde concentraties per maand tussen het stedelijk gebied, het buitengebied en het luchthavengebied en groepen van locaties binnen deze aandachtsgebieden. Binnen deze drie aandachtsgebieden wordt op individuele meetlocaties ingezoomd om een beeld te krijgen van meer lokale bijdrages.

⁷ Correlatie geeft aan hoeveel samenhang er tussen twee grootheden zit. Hoe dichterbij één hoe meer samenhang er tussen de grootheden is.



Generieke opbouw van concentraties van (verkeersgerelateerde) luchtvervuilende stoffen (Bron: RIVM)

Analyse metingen van regionale luchtkwaliteit

Vergelijking met normen

De gebruikte sensoren zijn geen referentieapparatuur en kunnen dus niet gebruikt worden om aan te tonen of normen gehaald worden. Desalniettemin geven de sensoren een indicatie dat op geen van de meetlocaties de wettelijke EU-Grenswaardes (jaargemiddelde PM_{2.5}: 20 µg/m³, PM₁₀: 40 µg/m³, NO₂: 40 µg/m³) worden overschreden. De WHO advieswaarden uit 2021 (jaargemiddelde PM_{2.5}: 5 µg/m³, PM₁₀: 15 µg/m³, NO₂: 10 µg/m³) liggen veel lager dan de EU-Grenswaardes². De meest recente WHO advieswaarden worden voor alle genoemde stoffen in 2022 op vrijwel alle meetlocaties wel overschreden. Dit stemt overeen met het beeld voor grote delen van Nederland (Maas et al., 2022).

Fijnstof in de regio

De metingen laten zien dat fijnstofconcentraties relatief homogeen zijn en als het ware als een deken over de regio heen liggen. Over het hele meetnet was de gemiddelde PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀ concentratie respectievelijk 10,3; 12,7; en 18,9 µg/m³. Dat is een fractie lager dan de gemiddelde concentraties gemeten door het ILM2 in 2021, respectievelijk 11,5; 13,9; en 19,3 µg/m³. De maandgemiddelde gemeten PM concentraties zijn tijdens de meeste maanden van het jaar 2022 vergelijkbaar in stedelijk en buitengebied: in het najaar liggen de gemiddelde PM concentraties in het stedelijk gebied iets hoger. In het luchthavengebied worden wel hogere PM waarden gezien, wat waarschijnlijk komt door nabijgelegen (weg)werkzaamheden (en niet met activiteiten op de luchthaven) tussen juni en begin september in de buurt van het meetpunt aan de Landardseweg. In Q1 en Q4 worden in alle gebieden relatief gezien meer fijne deeltjes gemeten (hogere PM_{2.5}/PM₁₀ ratio). Dit was ook in 2021 het geval en hangt waarschijnlijk samen met een toename van emissies uit

² Bron: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>

verbrandingsprocessen voor vervoer en verwarming. Een toename van roet in de regio in de wintermaanden, zichtbaar binnen het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, onderschrijft dit.

Gedurende 2022 bestaat naar inschatting ongeveer 73% van de gemiddeld gemeten PM10 concentraties in de regio Zuidoost-Brabant uit achtergrond. Dit deel van het fijnstof komt waarschijnlijk vrijwel volledig van buiten de regio. De dynamiek in deze achtergrondconcentraties over de tijd hangt sterk samen met variaties in windrichting. Bij wind uit een NO en ZO gaan de gemeten concentraties PM in de hele regio omhoog, een patroon dat we in geheel Nederland terugzien. Dit geldt ook voor wind uit het ZW: wat hier precies de oorzaak van is zou verder moeten worden onderzocht. Daarnaast bewegen de regionale PM (achtergrond-)concentraties mee met de grenslaaghoogte in de atmosfeer.

Stikstofdioxide in de regio

Stikstofdioxide wordt sterker lokaal bepaald dan PM. Hierbij is zichtbaar dat locaties met relatief hoge verkeersdrukte, net als in 2021, over het algemeen hogere concentraties NO₂ kennen. Daarmee is het logisch dat de gemiddeld gemeten concentraties NO₂ in het stedelijk gebied hoger zijn dan in het buitengebied. Binnen stedelijk gebied en luchthavengebied zijn twee NO₂ concentratiepieken zichtbaar op een gemiddelde werkdag, welke te koppelen zijn aan de ochtend- en avondspits. In het weekend is de ochtendpiek minder goed zichtbaar. De gemeten piek in de middag ligt over het algemeen hoger dan de piek in de ochtend. Waarschijnlijk veroorzaakt door een afnemende grenslaaghoogte in de atmosfeer gedurende de namiddag/avond in combinatie met verkeersemissies. In het buitengebied zijn deze twee pieken ook zichtbaar maar gemiddeld over alle meetlocaties minder uitgesproken.

Luchthavengebied

Binnen het luchthavengebied vallen met name de fijnstofconcentraties aan de Landardseweg (I14) op. Deze zijn van juni tot begin september in 2022 sterk verhoogd (voor PM10 gemiddeld 6 µg/m³ hoger gedurende deze periode). De verhogingen zijn met name zichtbaar in de namiddag, de wekelijkse gang laat pieken zien tot 60 µg m⁻³ (in vergelijking met 25 µg/m³ zonder werkzaamheden). Voor alle windrichtingen wordt de verhoging waargenomen. Deze verhogingen hebben waarschijnlijk te maken met nabijgelegen wegwerkzaamheden in de buurt deze meetlocatie. Mogelijk hangt dit samen met de aanleg van een tunnel onder de A2/N2 welke in deze periode plaats vindt.

Voor UFP zien we hetzelfde beeld als in 2021. De UFP concentraties zijn verhoogd op de meetlocaties wanneer de wind vanaf de start- en landingsbaan of platforms van de luchthaven naar de meetlocaties staan. Ook de dagelijkse gang toont aan dat UFP vanaf de luchthaven zichtbaar is op de meetlocaties; voor alle locaties zien we een piek in de ochtend wanneer het vliegverkeer begint. Het patroon is daarmee vergelijkbaar met dat gemeten op het platform van de luchthaven door van Dinther et al. (2022). Het maximum van de ochtendpiek is binnen ILM2 wel significant lager dan op het platform (18.000 tegen 150.000 deeltjes per cm³). Dit zal deels veroorzaakt worden, doordat de metingen in Van Dinther et al. (2022) dicht bij de vliegtuigen en daarmee de bron hebben plaatsgevonden. Anderzijds, zal ook de gebruikte apparatuur (high-end tegen sensoren) van invloed zijn, aangezien sensoren een ondergrens hebben van 10 nm en high-end apparatuur van 7 nm. De meeste deeltjes bevinden zich juist in deze hele kleine klasse. Aan de Landardseweg zijn ook verhogingen in UFP geconstateerd vanuit het oosten vanaf de A2/N2. Daarmee zijn dus ook invloeden van wegverkeer zichtbaar.

Stedelijk gebied

Net als in 2021 worden de laagste concentraties, zowel voor PM als NO₂, gemeten op stadsachtergrondlocaties. Voor NO₂ is in de dagelijkse gang de ochtend- en avondspits duidelijk waarneembaar, met name op drukke verkeerslocaties (zoals Fellenoord, Vestdijk, Willemstraat en Beukenlaan). De verhoging van NO₂ concentraties op verkeersintensieve meetlocaties sluit aan gemeten jaargemiddelde concentraties door Palmes buisjes welke verspreid in Eindhoven te vinden zijn (https://data.eindhoven.nl/explore/dataset/stikstofdioxide-metingen/table/?disjunctive.locatie&sort=jrgem_2022) Ook op een locatie in de stad (Finistérelaan, I04) lijkt de invloed van werkzaamheden waarneembaar met pieken in PM10 oplopend tot boven de 50 µg m⁻³ uurgemiddeld voor een korte periode medio augustus.

In het stedelijk gebied wordt net als op de andere meetlocaties voor fijnstof een naar rato hoger aandeel PM2.5 binnen PM10 gemeten in de wintermaanden. Zichtbaar aan de LML meetlocaties is wel dat de hoeveelheid roet in het stedelijk gebied in die periode hoger ligt dan in het buitengebied, wat duidt op de effecten van toenemende verbrandingsemissies in deze gebieden. Uit analyse van de milieuzone van Eindhoven rond de binnenstad, lijken de gemiddeld gemeten PM concentraties over het algemeen licht lager te zijn in de milieuzone dan vlak daarbuiten. Dit geeft een indicatie dat de milieuzone een positieve invloed heeft op de luchtkwaliteit. Voor NO₂ is dit minder duidelijk zichtbaar in de sensormetingen, ook al zien we ook voor NO₂ vaker lagere concentraties binnen de milieuzone dan daarbuiten.

Buitengebied

In het buitengebied wordt onderzocht of de bijdrage van veehouderij aan heersende PM concentraties in beeld kan worden gebracht. Uit literatuur is bekend dat veehouderij met name een effect heeft op PM10 (Winkel et al., 2018). Net als in 2021 zijn er voor de fijnere fracties PM1 en PM2.5 inderdaad niet veel verschillen zichtbaar tussen de verschillende meetlocaties in het buitengebied. De locaties nabij veehouderijen laten geen substantieel andere temporele patronen voor PM1 en PM2.5 zien dan de andere locaties in het buitengebied. Gemiddeld is het ook niet zo dat de sensoren een groot verschil meten tussen locaties in de buurt van veehouderij en andere meetlocaties wat betreft PM10.

Wat opvallend blijft, en ook in 2021 is geconstateerd, is dat op een aantal meetlocaties in de nabijheid van veehouderijen jaarrond concentratiepieken van PM10 zichtbaar zijn welke niet worden gemeten op meetlocaties die niet bij veehouderij in de buurt staan. De windrozen laten zien dat deze verhogingen worden gemeten en mogelijk samenhangen met wind uit de richting van de stallen. Tegelijkertijd vertonen niet alle meetlocaties gericht op veehouderij deze concentratiepieken van PM10. Dit duidt erop dat lokale omstandigheden hier een rol spelen, zoals het type veehouderij, specifieke activiteiten en/of emissie-reducerende technieken die bij de ene veehouderij wel aanwezig zijn en bij de andere niet. Ook eventuele andere invloeden vanuit de directe omgeving vallen niet uit te sluiten.

Aanbevelingen

De resultaten van de analyses uit 2022 bouwen grotendeels voort op de eerste inzichten opgedaan in 2021. De aanbevelingen voor verdere inbedding van het meetnet in de regio Zuidoost-Brabant zijn daarmee in grote mate gelijkend aan de aanbevelingen gedaan in de eerste jaarrapportage.

Er is op een aantal vlakken behoefte aan meer informatie om betere duiding van de meetgegevens mogelijk te maken: dit gaat bijvoorbeeld over informatie over verkeersintensiteit, verkeerssamenstelling, aantallen vluchten, staltypes en aantallen dieren. Daarmee kunnen verbanden in tijd en ruimte tussen luchtkwaliteit en mogelijke bronnen

onderzocht worden. Ook kan gedacht worden aan aanvullende metingen om bijvoorbeeld de invloed van houtstook op de luchtkwaliteit in het stedelijk domein beter te kunnen kwantificeren. Daarnaast is de suggestie om de UFP sensoren die nu in het luchthavengebied worden gebruikt aanvullend in te zetten langs (snel)wegen. Daarmee kan naast de UFP deeltjesaantallen in het luchthavengebied ook de deeltjesaantallen rond wegen in de regio inzichtelijk worden gemaakt.

Het behalen van de meeste gezondheidswinst gerelateerd aan de luchtkwaliteit hoeft niet alleen te gaan over het verminderen van concentraties (ultra)fijnstof en NO₂ in de atmosfeer: niet overal heeft luchtvervuiling dezelfde impact. Dit hangt bijvoorbeeld ook samen met waar en wanneer mensen daadwerkelijk worden blootgesteld aan slechte lucht. Zie bijvoorbeeld de rapportage van de GGD over blootstelling in Brabant hoe dit op jaargemiddelde basis in kaart kan worden gebracht (Denissen, 2022). En de schadelijkheid van fijnstof is mede afhankelijk van de deeltjesgrootte en chemische samenstelling wat weer verband houdt met het type bron. Een gezondheidsgerichte aanpak rond luchtkwaliteit richt zich daarmee naast het verlagen van heersende concentraties van luchtvervuilende stoffen op het verminderen van blootstelling en het identificeren van bronnen met de meeste gezondheidsimpact.

Uit de analyse van de meetgegevens van 2022 komen een aantal aandachtspunten als het gaat om de luchtkwaliteit voor de onderzoeksgebieden stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied:

- Het onderzoeken van mogelijkheden om in de wintermaanden emissies van fijnstof gerelateerd aan verbrandingsprocessen te reduceren is aanbevolen. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruik van efficiënte verwarmingsbronnen te stimuleren en het optimaliseren van voorlichting over houtstook (zoals gebruik van stookwijzer). Ook kan aanvullend onderzoek naar de bronnen van deze toename van de PM_{2.5} fractie in de winter helpen om tot gerichte maatregelen te komen.
- Binnen het stedelijk gebied is verkeer, volgens verwachting, een belangrijke bron voor de lokaal heersende luchtkwaliteit. Uit de analyse blijkt dat de stadsachtergrondlocaties de laagste waarden van PM en NO₂ registreren in het stedelijk gebied. Vergroening binnen de stad, waar mogelijk, en daarmee deels ook het weghalen van bronnen op bepaalde locaties zal zorgen voor een verbetering van de luchtkwaliteit. De milieuzone lijkt een licht positief effect te hebben op de luchtkwaliteit binnen de Ring. Een milieuzone, waarbij de schadelijkste voertuigen worden geweerd, danwel het weghalen van emissiebronnen is met name relevant op plekken waar veel mensen samenkomen.
- Vliegverkeer zorgt voor verhogingen van UFP in het luchthavengebied. Wat nog niet kan worden vastgesteld is hoe ver deze invloed reikt in de regio. Voor een eerste indicatie van deze verspreiding is het gebruik van verspreidingsmodellen een optie, met name om te zien of er substantiële verhogingen in UFP te verwachten zijn in woon- en werkgebieden rond de luchthaven. Ook zichtbaar in de metingen is dat er een bijdrage is van UFP uit wegverkeer. Het is daarmee aanbevolen ook metingen te gaan verrichten aan drukke wegen waar veel mensen komen.
- In het buitengebied worden op een aantal meetlocaties op regelmatige basis PM₁₀ concentratiepieken gemeten welke mogelijk samenhangen met veehouderij in de nabijheid van die meetlocaties. Op andere meetlocaties waar ook veehouderijen in de nabijheid staan is dit niet het geval. Het is daarom van belang om vast te gaan stellen of 1) deze concentratiepieken inderdaad direct te relateren zijn aan veehouderij in de nabijheid van de meetlocatie, 2) welke type veehouderij, activiteiten, en omstandigheden deze concentratiepieken veroorzaken en 3) of er mogelijkheden zijn deze concentratiepieken te reduceren.

- In 2022 lijkt het zo dat nabijgelegen (weg)werkzaamheden kunnen leiden tot een duidelijk waarneembare stijging van PM en daarmee een verslechtering van de luchtkwaliteit. Het is daarmee aan te raden (weg)werkzaamheden waar mogelijk te beperken en stofbeperkende maatregelen te nemen. Ook kan er advies gegeven worden bepaalde plekken op het moment van de werkzaamheden te vermijden. Voor personeel dat werkzaamheden uitvoert waarbij veel stof ontstaat is het, indien nog niet van toepassing, aan te raden beschermmiddelen te gebruiken om de blootstelling zoveel mogelijk te beperken.

Inhoudsopgave

Terminologie	4
Achtergrond	5
Samenvatting	6
Inhoudsopgave	13
1 Inleiding	14
2 Methode en Meetlocaties	16
2.1 Meten met sensoren	16
2.2 Meetlocaties ILM2	16
2.3 Aanpak analyse regionale luchtkwaliteit	20
3 Performance meetnet	22
3.1 Data beschikbaarheid	22
3.2 Datakwaliteit	24
3.2.1 Consistentie meetresultaten in 2022	24
3.2.2 ILM2 vergelijking met het LML	26
4 Regionale luchtkwaliteit 2022	30
4.1 Algemeen beeld Zuidoost-Brabant	30
4.1.1 Regionaal overzicht 2022	30
4.1.2 Meetgemiddelde per meetlocatie	31
4.1.3 Achtergrondconcentraties fijnstof en NO ₂	33
4.2 Vergelijking onderzoeksgebieden in Zuidoost-Brabant	36
4.3 Het luchthavengebied – ruimtelijke en temporele variatie	40
4.4 Het stedelijk gebied – ruimtelijke en temporele variatie	44
4.5 Het buitengebied – ruimtelijke en temporele variatie	50
4.6 Mobiele meetboxen	52
5 Conclusies en aanbevelingen	56
5.1 Conclusies	56
5.2 Aanbevelingen	57
6 Referenties	60
7 Ondertekening	63
Bijlagen	
Bijlage A: Meetlocaties ILM2	63
Bijlage B: Data beschikbaarheid	67
Bijlage C: Data selectie NO ₂	68

1 Inleiding

Het Innovatief Luchtmeetnet 2.0 (ILM2) is geïnitieerd ter ondersteuning van beleid voor een gezondere samenleving. Door de regionale luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant te bemeten en te analyseren wordt onderzocht waar mogelijkheden zijn om de luchtkwaliteit te verbeteren. Er is daarbinnen specifieke aandacht voor de invloed van de stedelijke gebieden, de luchthaven en de intensieve veehouderij in het buitengebied op de luchtkwaliteit in deze regio. De meetlocaties van het ILM2 zijn ingericht met sensoren die fijnstof (PM) en stikstofdioxide (NO₂) meten. Deze stoffen zijn voor een belangrijk deel verantwoordelijk voor de gezondheidslast gerelateerd aan luchtvervuiling in Nederland (Fischer et al., 2015). Het ILM2 meetnet is sinds september 2020 actief. Een eerste jaarrapportage over het meetjaar 2021 beschrijft de werking van het meetnet en de eerste meetgegevens (Goudriaan et al., 2022). Dit rapport beschrijft de meetgegevens van het jaar 2022.

De meetlocaties van het ILM2 zijn geselecteerd door TNO, RIVM en UU-IRAS met input van GGD, de Gemeente Eindhoven, de Provincie Noord-Brabant en de ODZOB. Binnen het ILM2 meetnet wordt gebruik gemaakt van het meetplatform CAIREBox. Tijdens het ILM1, lopend van 2013 tot en met 2018, zijn de CAIREBoxen ook ingezet in het stedelijk gebied van Eindhoven (zie ook www.aireas.com; Otjes, 2014; Otjes, 2015; Van Dinther et al., 2017). Het onderzoeken van de stedelijke luchtkwaliteit via sensoren sluit aan bij een trend waarin gelijkende netwerken worden gerealiseerd in veel steden rond de wereld (Morawska et al., 2018). Naast het stedelijk gebied is er binnen het ILM2 aandacht voor de invloed van veehouderij gelegen in het buitengebied op de luchtkwaliteit in de regio. Uit verschillende onderzoeken blijkt dat intensieve veehouderij negatieve gevolgen kan hebben op de lokale luchtkwaliteit en de gezondheid van omwonenden (Lelieveld et al., 2015; Air Quality Expert Group, 2018; Maassen et al. 2016; Hagenaars et al., 2017; Wouters et al., 2019). Op de drie meetlocaties van het ILM2 in het luchthavengebied wordt ook ultrafijnstof (UFP, deeltjes kleiner dan 100 nm) gemeten, omdat vliegtuigen UFP uitstoten (onder andere van Dinther et al., 2019; Voogt et al., 2019; Voogt et al., 2023).

In algemene zin heeft de inzet van sensoren om de luchtkwaliteit te monitoren zich snel ontwikkeld in het afgelopen decennium. Hoewel deze technologie niet geschikt is om op geaccrediteerde wijze (i.e. niet rechtsgeldig om normen te verifiëren) de heersende luchtkwaliteit vast te stellen, kan deze technologie wel gebruikt worden om indicaties te krijgen en invloed van uiteenlopende activiteiten op de luchtkwaliteit in beeld te brengen. Een belangrijk aandachtspunt binnen het ILM2 meetnet is dan ook de meerwaarde van het meten van de luchtkwaliteit met sensoren in netwerkverband te evalueren en verder te optimaliseren. In de vorige ILM2 rapportage van 2021 was zichtbaar dat de ILM2 metingen van fijnstof en UFP over het algemeen van voldoende kwaliteit waren om gebruikt te worden voor trendanalyses van de heersende concentraties (Goudriaan et al., 2022). In 2021 waren in de NO₂ metingen, met name in de zomerperiode, wel verstoringen in de metingen zelf zichtbaar. Deze verstoringen zijn gelijkend aan observaties die in andere studies ook worden genoemd (Fattoruso et al., 2020; Nowack et al., 2021). Het resultaat is dat binnen meetstudies vaak slechts enkele maanden aan NO₂ meetgegevens bruikbaar zijn (van Zoest et al., 2019; van Ratingen et al., 2021). In

2022 zijn enkele verbeteringen uitgevoerd om een hogere beschikbaarheid van NO₂ meetgegevens te bereiken binnen het ILM2 meetnet. Deze worden beschreven in dit rapport.

Uit de eerste analyses van het ILM2 over 2021 kwam het beeld naar voren dat fijnstof zich als een deken over de regio heen beweegt waarbij windrichting, tijd van het jaar en grenslaaghoogte van grote invloed zijn (Goudriaan et al, 2022). Tegelijkertijd lijken er wel lokale invloeden zichtbaar te zijn op locaties met veel verkeer en nabij veehouderij. NO₂ is meer lokaal bepaald waarbij verkeersdrukte een belangrijke factor is. Met name op drukke verkeerswegen zijn verhoogde concentraties zichtbaar waarbij de hoogste concentraties worden gezien tijdens de ochtend- en (met name) de avondspits. De UFP-metingen bij het vliegveld tonen zowel invloeden van vlieg- als wegverkeer. Dit uit zich in de windrozen alsmede de gemiddelde gang van UFP concentraties over de dag en week. Deze tweede jaarrapportage bouwt voort op deze eerdere bevindingen en presenteert de metingen en analyses van de luchtkwaliteit in de regio Zuidoost-Brabant voor het jaar 2022.

De meetgegevens per meetlocatie zijn via verschillende webapplicaties toegankelijk, zoals <https://ilm2.site.dustmonitoring.nl/> van TNO en het portaal <https://samenmeten.rivm.nl/> van RIVM.

2 Methode en Meetlocaties

2.1 Meten met sensoren

Op de meetlocaties van het ILM2 wordt de luchtkwaliteit bemeten via het meetplatform CAIREBox. Dit meetplatform is ontwikkeld door en eigendom van TNO en haar rechtsvoorganger ECN. TNO werkt samen met Admatec Europe B.V. voor de verzorging van deze apparatuur voor ILM2.

Het meetplatform kan verschillende typen sensoren bevatten: de CAIREBoxen gebruikt in het ILM2 zijn uitgerust met sensoren voor het meten van fijnstof en NO₂. Daarnaast wordt op drie locaties UFP gemeten via een additionele sensor. Elke CAIREBox bevat ook sensoren om de luchtvochtigheid en temperatuur in de box te meten. De CAIREBox is uitgerust met een accu waarmee deze indien volgeladen minimaal 18 uur kan werken zonder stroomvoorziening. Daardoor kan de CAIREBox op uiteenlopende locaties worden opgehangen; binnen het ILM2 is dit meestal aan een lichtmast (figuur 1). Op iedere meetlocatie wordt per 10 minuten voor iedere component de meetwaarde vastgesteld. Via het gsm-netwerk worden de meetgegevens vervolgens verzonden naar een server van TNO en ontsloten via verschillende online kanalen.



Figuur 1: Een CAIREBox van het Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant.

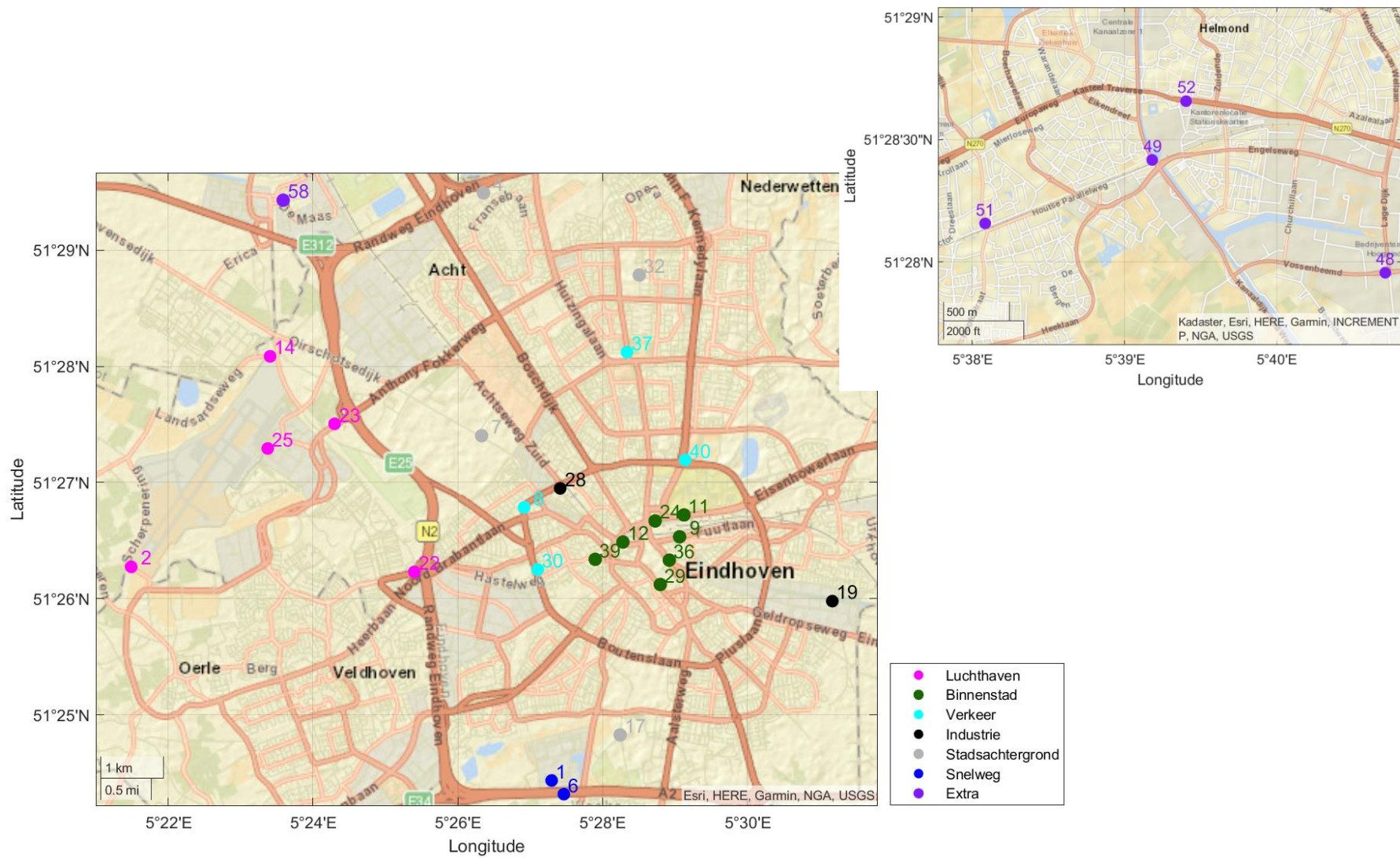
Het kalibreren van de CAIREBoxen vindt plaats in Alkmaar waarbij de boxen voor minimaal twee weken naast referentieapparatuur worden geplaatst. Voor PM is dit een Fidas® 200 S, voor NO₂ een EcoPhysics CLD 700 AL. De periode van kalibreren hangt af van de variatie in concentraties in de buitenlucht. Er is voldoende variatie in concentraties nodig om de meetapparatuur te kunnen kalibreren. De meetapparatuur en manier van kalibreren staat uitgebreid omschreven in de eerste jaarrapportage van het Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant (Goudriaan et al., 2022).

2.2 Meetlocaties ILM2

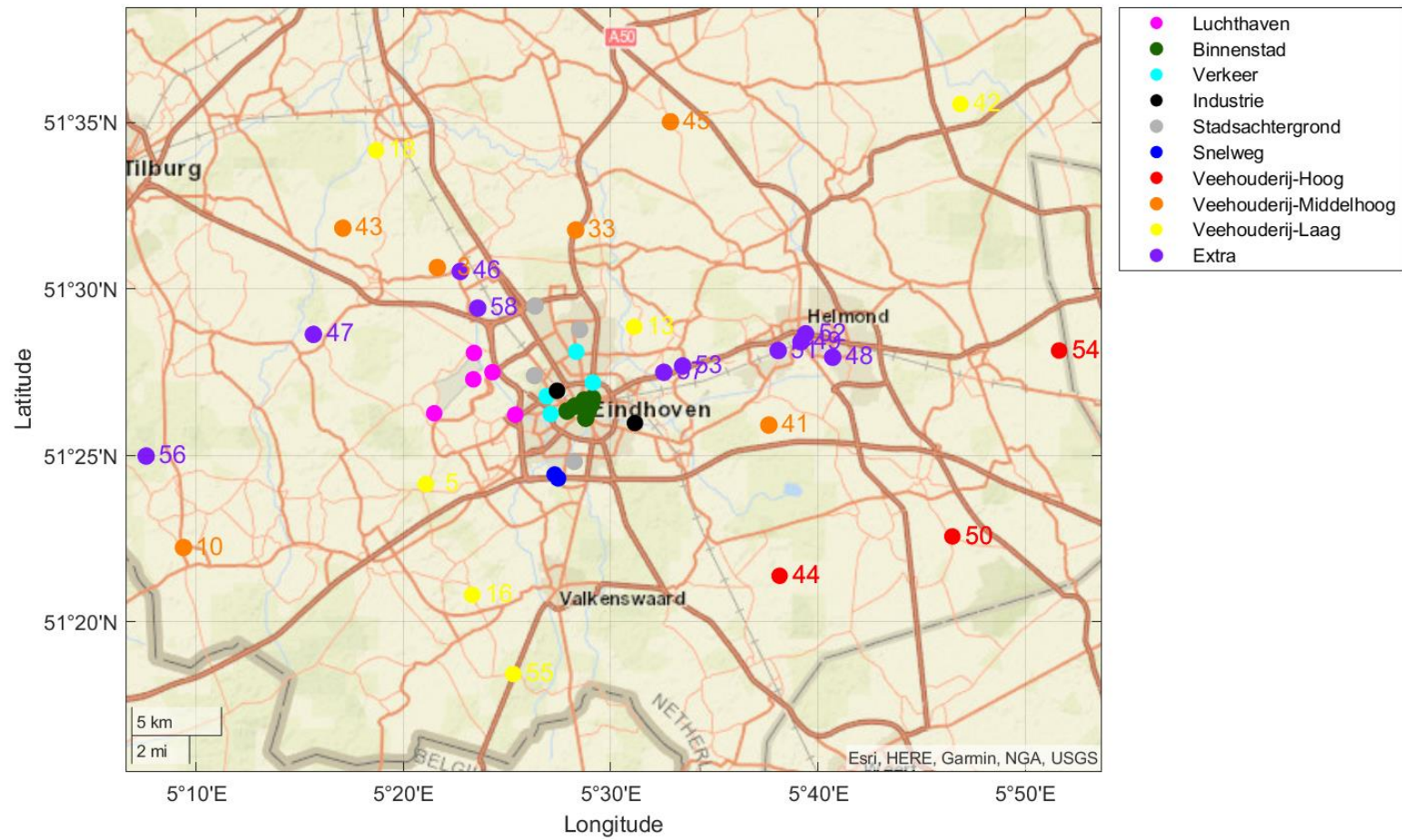
In totaal is er in 2022 op 49 meetlocaties gemeten. Dit is inclusief twee tijdelijke meetlocaties geïnstalleerd in Nuenen. De meetlocaties zijn geïdentificeerd door TNO, RIVM en UU-IRAS en staan in detail toegelicht in Bijlage A. Binnen het ILM2 meetnet wordt aandacht besteed aan het stedelijk gebied, het vliegveld en het buitengebied. De stedelijke meetlocaties en de meetlocaties in het

luchthavengebied staan gepresenteerd in figuur 2. Het gehele meetnet in 2022 is zichtbaar in figuur 3. Per deelgebied zijn verschillende soorten meetlocaties te onderscheiden:

- *Stedelijk gebied:* In 2022 waren 21 permanente meetlocaties actief in het Eindhoven en 4 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties in Helmond. De meetlocaties in Eindhoven zijn verdeeld over verschillende subcategorieën: Stadsachtergrond (n=4), Binnenstad (n=7), Verkeersintensief (n=4), Industrie (n=2), en Snelweg (n=4). Er zijn 2 meetlocaties bijgeplaatst in 2022 langs de A67, zowel ten noorden als ten zuiden van de snelweg. De meetlocatie I01 ten noorden van de A67, op het High Tech Campus terrein, is geplaatst op 7 juni 2022. De meetlocatie I06 aan de Waalre-kant van de A67 is geplaatst op 4 november 2022.
- *Luchthavengebied:* Binnen het luchthavengebied in Eindhoven zijn 3 meetlocaties actief. Op deze 3 meetlocaties wordt ook UFP gemeten. Ultrafijnstof metingen zijn een belangrijk onderdeel in het vaststellen van luchtkwaliteit rond vliegvelden. Dit wordt bevestigd in recente onderzoeken rond Schiphol (Tromp et al., 2021; Voogt et al., 2019; van Dinther et al., 2019).
- *Buitengebied:* In 2022 waren er 19 meetlocaties actief in de regio, exclusief de stedelijke agglomeraties van Helmond en Eindhoven. Dit betreffen 15 meetlocaties van het vaste meetnet: op 19 januari 2022 is meetlocatie I50 is bijgeplaatst aan de Meijelseweg in Asten. De andere meetlocaties waren ook in 2021 al actief. Voor het selecteren van de vaste meetlocaties is gebruik gemaakt van de GCN-kaart voor fijnstof afkomstig van veehouderijstallen van het jaar 2019 (beschikbaar gesteld door RIVM). De te verwachten bijdrage aan PM10 concentraties vanuit veehouderijen was leidend in de locatiekeuze. Daarbij is voor de 15 meetlocaties onderscheid gemaakt tussen 6 meetlocaties met een verwachte lage bijdrage PM10 vanuit veehouderij ($< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 6 meetlocaties met een verwachte middelhoge bijdrage PM10 ($1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en 3 meetlocaties met een verwachte hoge bijdrage PM10 ($> 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Daarnaast zijn er 2 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties in Best (langs doorgaande wegen). De gemeentelijk gefinancierde locaties in Oirschot en Reusel betreffen locaties waar waarschijnlijk vooral de regionale achtergrond gemeten wordt.
- *Tijdelijke meetlocaties:* Binnen het ILM2 zijn er 6 mobiele meetboxen beschikbaar voor meetcampagnes om vraagstukken van individuele gemeentes te onderzoeken. In 2022 zijn er twee mobiele meetboxen ingezet in de gemeente Nuenen voor een vraagstuk rond luchtvervuiling gerelateerd aan verkeersdrukke. Deze zijn in april en mei 2022 geplaatst aan de Geldropse Dijk en Zandsche Put en hebben daar vervolgens tot het einde van het jaar gestaan.

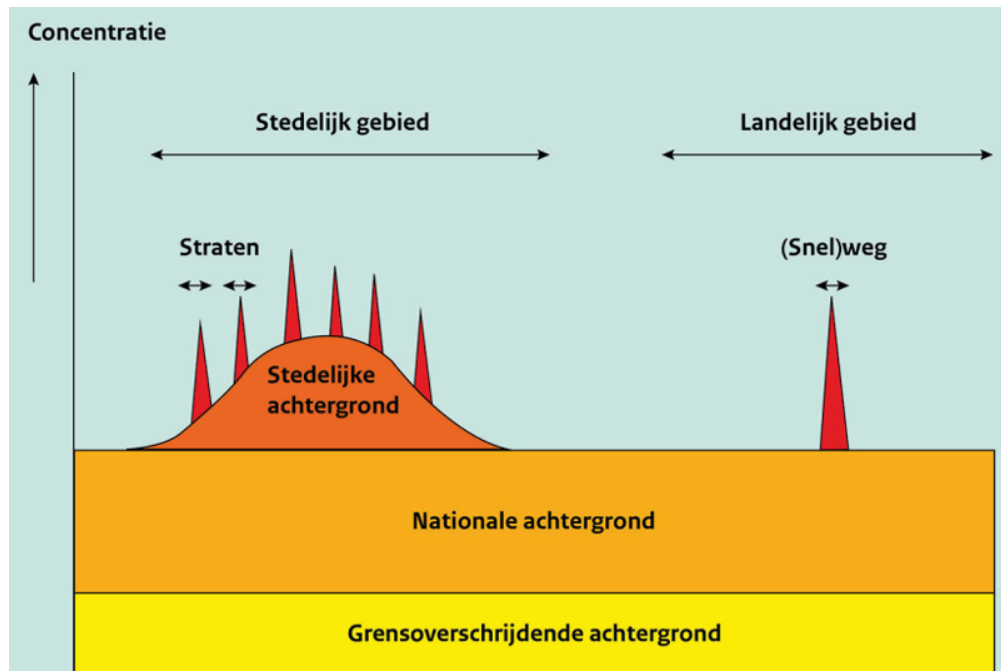


Figuur 2 Overzicht van de meetlocaties in het stedelijke gebied van Eindhoven en Helmond in 2022.



Figuur 3 Het ILM2 meetnet in Zuidoost-Brabant in 2022.

2.3 Aanpak analyse regionale luchtkwaliteit

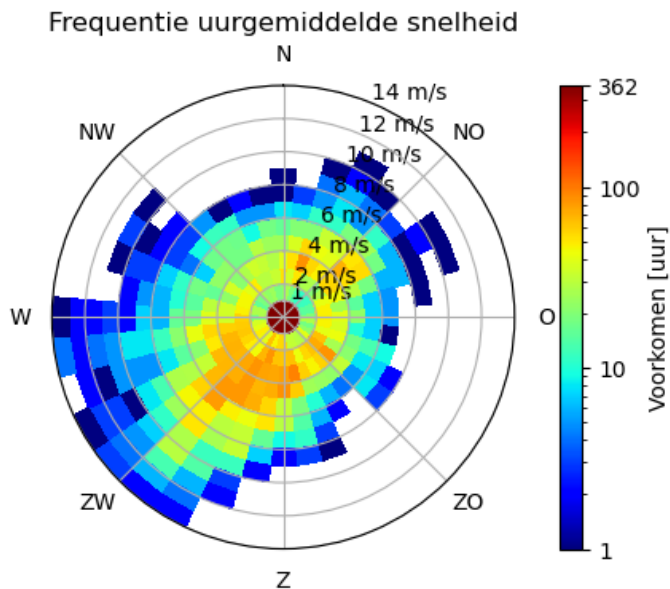


Figuur 4 Generieke opbouw van concentraties van (verkeer gerelateerde) luchtvervuilende stoffen. Bron: RIVM

Deze rapportage behandelt de metingen van het ILM2 voor het jaar 2022. Het doel is daarbij de regionale luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant te onderzoeken, met daarbij aandacht voor het stedelijke gebied, vliegveld en het buitengebied met veehouderij. Daarbij worden ook mogelijke bronnen van luchtvervuilende stoffen onderzocht. De analyse van de regionale luchtkwaliteit wordt uitgevoerd op verschillende schaalniveaus. Deze sluiten aan bij de opbouw getoond in figuur 4.

- Eerst wordt de gemiddelde luchtkwaliteit over het gehele meetnet beschouwd voor het jaar 2022 en voor de vier kwartalen afzonderlijk. Er worden gemiddelden bepaald per week, maand en jaar (sectie 4.1.1 en 4.1.2).
- De nationale en grensoverschrijdende, hier ook regionale te noemen, achtergrond is zeer bepalend voor de gemiddelde luchtkwaliteit van de regio als geheel. De berekening van de achtergrondconcentratie is niet triviaal. Er is voor gekozen de 10-percentiel waarde over alle sensoren per uur als achtergrond te nemen, hierdoor wordt deze niet bepaald door één sensor. Het 10-percentiel betekent dat 10% van de metingen binnen ILM2 onder deze waarde liggen. De aanname daarbij is dat er op die 10-percentiel waarde (vrijwel) geen luchtvervuiling afkomstig van emissies uit de regio worden gemeten (sectie 4.1.3).
- Binnen de regio wordt een vergelijking gemaakt tussen de gemiddelde concentraties van de verschillende luchtvervuilende stoffen in het stedelijk gebied, het buitengebied en rondom het vliegveld. Dit wordt gedaan per jaar, kwartaal, maand en week. Hierdoor worden variaties in luchtkwaliteit door het jaar heen inzichtelijk gemaakt. Ook geeft dit een eerste indicatie van dominante bronnen binnen deze drie aandachtsgebieden (sectie 4.2).

- Binnen deze drie aandachtsgebieden wordt een vergelijking gemaakt tussen de types meetlocaties beschreven in sectie 2.2. Hierdoor wordt bijvoorbeeld inzichtelijk hoe stadsachtergrondlocaties en locaties met veel verkeer zich verhouden. Daarbij zijn een aantal individuele meetpunten uitgelicht die inzicht geven in het belang van lokale bronnen op de heersende luchtkwaliteit in het luchthavengebied, stedelijk gebied en buitengebied (sectie 4.3, 4.4 en 4.5).
- Voor de windroosfiguren wordt gebruik gemaakt van meteorologische informatie van het KNMI-station op Eindhoven Airport. De aanname is dat dit station representatief is voor de hele regio vanwege het veelal vlakke terrein. Het kan zijn dat deze aanname leidt tot een onder- of overschatting van de windsnelheid op sommige meetlocaties. Dit geldt ook voor de windrichting, welke mede afhankelijk is van gebouwen, bossen of juist open gebied. In figuur 5 is zichtbaar hoe combinatie van windrichting en windsnelheid varieert in het jaar. We zien dat de wind voornamelijk uit het zuidwesten komt.



Figuur 5 Deze windroos laat zien hoeveel uur de verschillende windrichtingen en windsnelheden werden waargenomen. Hoe verder van het centrum, hoe hoger de windsnelheid. De kleur van elk blokje vertegenwoordigt het totaal aantal uren dat de wind uit die specifieke richting blies met de aangegeven snelheid. Let op: de kleurschaal is logaritmisch.

3 Performance meetnet

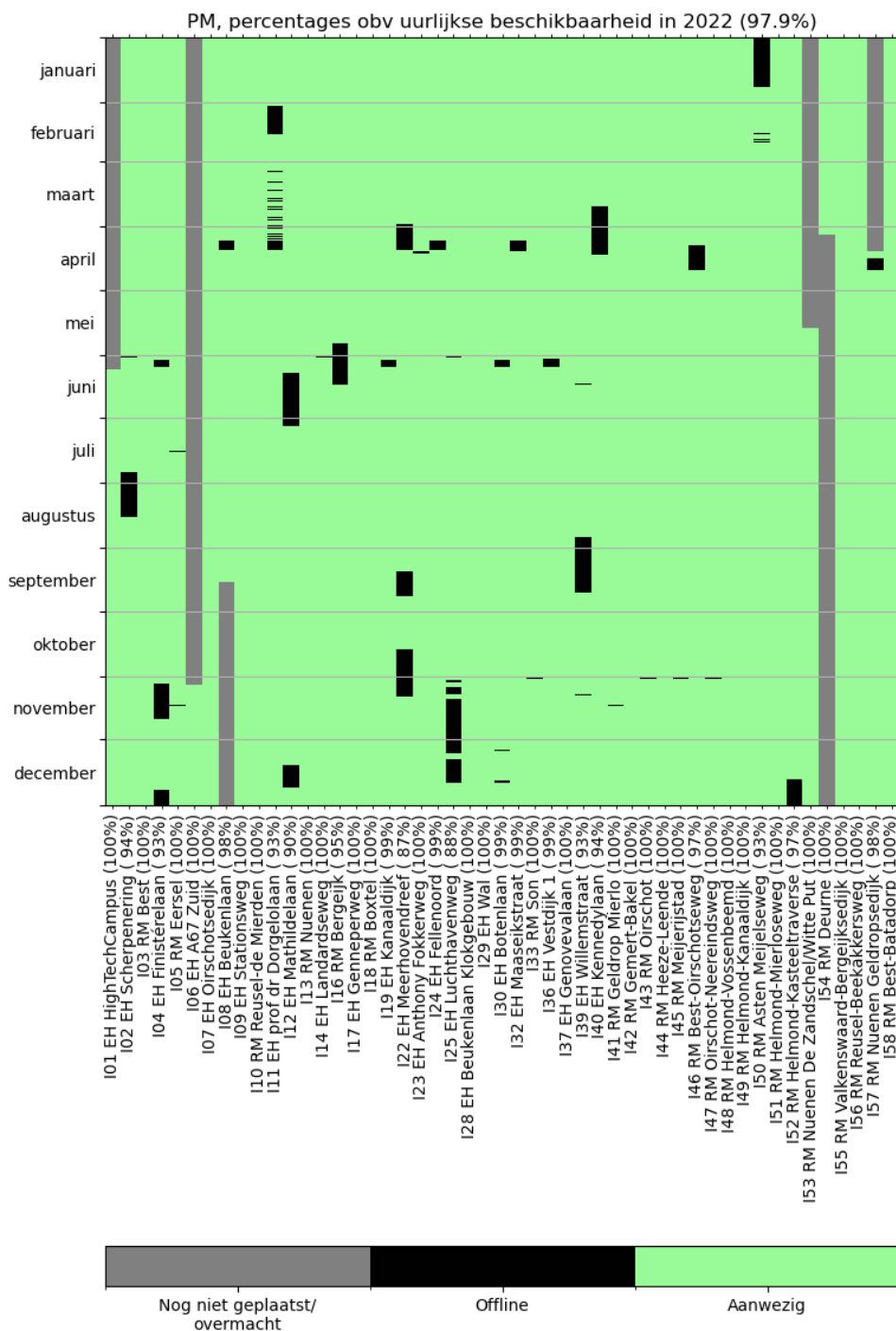
3.1 Data beschikbaarheid

De data beschikbaarheid in 2022 per meetlocatie is over het algemeen hoog. figuur 6 toont de beschikbare meetgegevens per meetlocatie tussen installatiedatum en 31 december 2022. Het maximale aantal meetdagen is daarmee 365 voor een meetlocatie die op of voor 1 januari 2022 is geïnstalleerd.

De gemiddelde uptime van het meetnet ligt in 2022 rond de 98%, in verhouding tot de maximaal aantal beschikbare meetdagen na plaatsing van een meetpunt. Op verschillende manieren vindt er monitoring plaats op de beschikbaarheid van meetgegevens en werking van de CAIREBoxen om de uptime en kwaliteit van het ILM2 meetnet zo hoog mogelijk te krijgen. Dit gebeurt onder andere via:

- Automatische checks op afwijkende meetresultaten, zoals negatieve waarden en excessieve ruis.
- Automatische checks op meetresultaten die verkregen zijn bij temperaturen of luchtvochtigheden buiten de specificaties van de sensor.
- Automatische checks op de status van de batterij, GPS-locatie en oriëntatie van de box. Zo kan bijvoorbeeld gecontroleerd worden of de box (onrechtmatig) is verplaatst door derden.
- Enkele malen per week een handmatige check op beschikbaarheid van meetgegevens via de verschillende kanalen.
- Eenmaal per maand een check op alle meetboxen waarbij zowel beschikbaarheid als waarschijnlijkheid van de meetgegevens door een specialist wordt beoordeeld.

Een overzicht van verlies van meetgegevens per locatie in 2022 is zichtbaar in Bijlage B. Er zijn twee locaties waarbij de CAIREBox verloren is gegaan, dit zijn 108 Eindhoven Beukenlaan en 154 Deurne Paardekopweg. Hier worden in 2023 alternatieven voor gezocht.



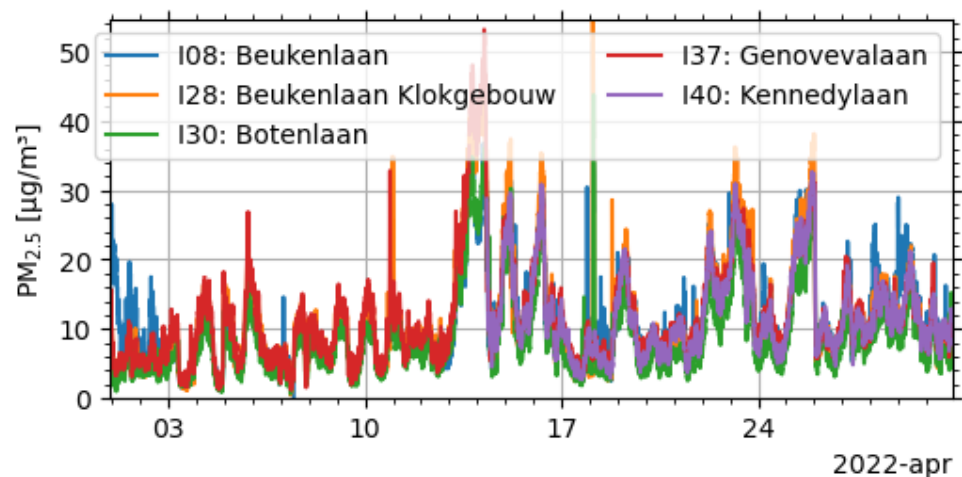
Figuur 6 Overzicht van de meetdagen in 2022 per meetlocatie. Groen staat voor succesvolle metingen, zwart staat voor een uitgevallen metingen, grijs staat voor nog niet in gebruik dan wel langdurig uitgevallen metingen door overmacht.

3.2 Datakwaliteit

In deze sectie wordt de kwaliteit van de metingen na plaatsing in het ILM2 meetnet beschreven. Dit wordt gedaan door te kijken naar het gedrag en absolute waarden gemeten door de sensoren onderling en in vergelijking met de referentieapparatuur aan het LML Genovevalaan.

3.2.1 Consistentie meetresultaten in 2022

Fijnstof: De fijnstofsensoren vertonen veelal, net als in 2021, consistente meetresultaten gedurende 2022. Een voorbeeldgrafiek van PM_{2.5} van april 2022 van verkeer belaste meetlocaties in de Eindhovense binnenstad is zichtbaar in figuur 7. Voor fijnstof komen de patronen over alle meetlocaties overeen wat correspondeert met het te verwachten gedrag van fijnstof over de regio. Dit uit zich in een relatief hoge gemiddelde correlatiecoëfficiënt R over alle meetlocaties bezien in 2022 van 0,87 voor PM₁, 0,88 voor PM_{2.5}, en 0,77 voor PM₁₀.



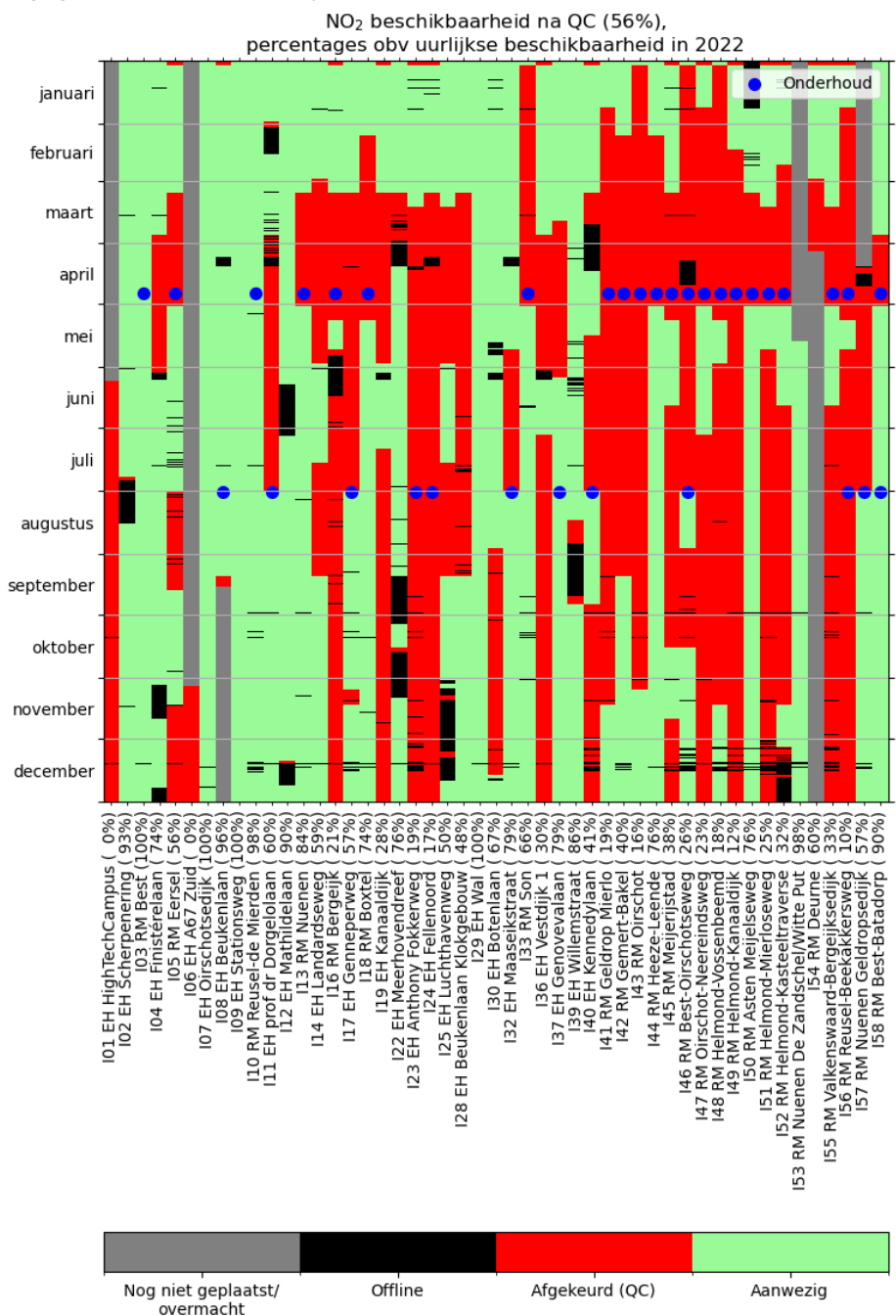
Figuur 7 Tijdseries van de PM_{2.5} meetresultaten op 10 minuten van verschillende verkeer belaste meetlocaties in de Eindhovense binnenstad voor de maand april 2022.

NO₂: In 2021 zijn er in de zomerperiode afwijkingen gesignaleerd in het NO₂ signaal welke samenvielen met hoge correlaties tussen de gegeven NO₂ meetgegevens en dynamiek in luchtvochtigheid en ozonconcentraties in de atmosfeer (Goudriaan et al., 2022). In 2022 zijn stappen ondernomen om zoveel mogelijk bruikbare meetgegevens te verzamelen:

- Tijdens 2022 zijn met regelmaat boxen vervangen voor (regulier) groot onderhoud. Hierbij zijn meetboxen, die afwijkend NO₂ meetgedrag vertoonden, met prioriteit vervangen door andere boxen. De vervangen meetboxen werden tijdens het groot onderhoud onder andere voorzien van nieuwe sensoren.
- Begin mei en begin augustus zijn bij afwijkende boxen cartridges, die de NO₂ sensoren nodig hebben om juist te functioneren, binnen het NO₂ meetsysteem vernieuwd. Dit heeft op deze locaties veelal geleid tot een directe verbetering van het NO₂ meetsignaal. Dit is zichtbaar door een direct hogere correlatie met de LML-meetgegevens van het dichtstbijzijnde LML-station.
- Ter voorbereiding op de analyse in deze rapportage is op de volledige NO₂ dataset een selectie toegepast op welke data wel en niet gebruikt kan worden. Daarbij worden per week de metingen afgekeurd als:

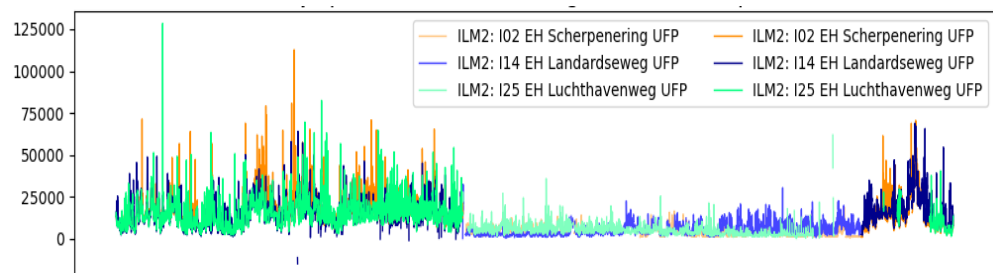
- o Correlatie tussen de NO₂ en O₃ concentraties een waarde heeft tussen de 0.5 en 1. De O₃ concentraties van het LML Genovevalaan zijn gebruikt en worden als representatief gezien voor de dynamiek in O₃ in de gehele regio.
- o Een correlatie tussen de NO₂ concentraties en luchtvochtigheid met een waarde tussen de -0.5 en -1. De luchtvochtigheid wordt gemeten door een sensor in de CAIREBoxen zelf.

In Bijlage C worden deze drempelwaarden verder onderbouwd. Op basis van bovenstaande voorwaarden blijft 56% van de maximaal beschikbare meettijd (hier wordt de tijd dat boxen offline zijn geweest in meegerekend) aan NO₂ meetgegevens over voor analyse.



Figuur 8 Selectie van NO₂ meetgegevens gebruikt voor analyse in 2022 na selectieprocedure.

UFP: De UFP-sensoren van de drie meetlocaties rond het vliegveld zijn in juni 2022 vervangen voor onderhoud. Hierbij bleek dat de nieuw geplaatste sensoren afwijkend gedrag lieten zien ten opzichte van de eerste drie. De UFP-sensoren die van juni 2021 tot en met juni 2022 aan het vliegveld hebben gestaan zijn in november 2022, na onderhoud, weer teruggeplaatst. Na overleg met de fabrikant is besloten de data tussen juni 2022 en november 2022 niet te gebruiken voor analyse. Voor deze rapportage is besloten de periode juli 2021 tot en met juni 2022 voor UFP te analyseren, zodat er toch naar een volledig jaar aan data gekeken kan worden. In die aaneengesloten periode lijken alle drie de sensoren consistent meetgedrag te vertonen.



Figuur 9 UFP-meetresultaten in aantal deeltjes per cm^3 in 2022 voor de drie meetlocaties rond het vliegveld. Van juni tot en met november is de beschreven trendbreuk zichtbaar.

3.2.2 ILM2 vergelijking met het LML

In deze sectie omschrijven we de vergelijking tussen de LML-meetwaarden aan de Genovevalaan en de metingen van het ILM2 voor PM10 en NO₂. Er zijn aan de Genovevalaan binnen het LML geen metingen voor PM1, PM2.5, en UFP beschikbaar en deze stoffen kunnen hier dan ook niet worden vergeleken.

Fijnstof: Het LML-meetinstrument (PM10; FH-62) is equivalent aan het referentie-instrument voor dagwaarden (filtermetingen door Leckel of Derenda). In tabel 1 staan de correlatiecoëfficiënt R, de richtingscoëfficiënt R_c, en de root-mean-square-error RMSE tussen LML en ILM2, voor BOX015, BOX019 en BOX039 op basis van daggemiddelde PM10 meetresultaten voor de periode van 17 augustus tot en met 16 november 2022. Een tijdsserie van de daggemiddelde PM10 concentraties is zichtbaar in figuur 10. Daar zijn een aantal observaties uit te halen welke relevant zijn voor het gebruik van de ILM2 data:

- De correlatie tussen de verschillende boxen en het LML is relatief hoog met $R=0.83$. De correlatie tussen de boxen onderling voor daggemiddelde concentraties zijn wat lager (tabel 1). Dit hangt samen met een periode waarbij de CAIREboxen onderling niet goed corresponderen in augustus, zoals zichtbaar in figuur 10. Van 17 september tot en met 16 november is de correlatie tussen de boxen zeer hoog te noemen met een R van 0,99. figuur 12 toont de correlaties voor het gehele jaar van BOX015 (meetlocatie I37). De correlatiecoëfficiënt van de daggemiddelde waarde van het LML-station en I37 is 0,82.
- Gemiddeld meet I37 hoger dan het LML. Dit is zichtbaar in figuur 12. De andere CAIREBoxen, getoond in tabel 1, meten allemaal iets lager en komen daarmee qua absolute concentraties dichterbij het LML. Gelijk aan 2021 zitten de boxen binnen de 20% afwijking in de hellingshoek ten opzichte van elkaar en van het LML. Dit betekent dat de absolute gemiddelde waarde van fijnstof minder dan 20% afwijkt van het LML over langere periodes. De

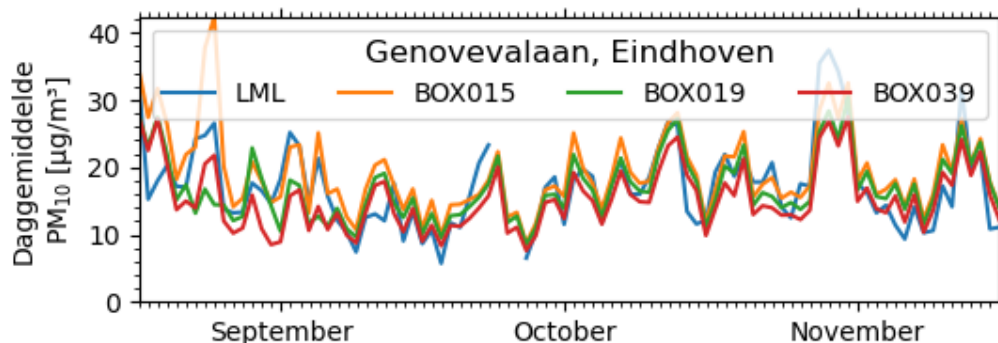
boxen kunnen op individuele momenten meer van elkaar verschillen, zichtbaar is wel dat de trends over het algemeen gelijkend zijn.

- De RMSE tussen LML en ILM2 ligt tussen de 4,4 en 4,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gebaseerd op de boxen aan de Genovevalaan. De RMSE gezien vanuit I37 ten opzichte van het LML is in de winter hoger dan in de zomer. De RMSE tussen I37 en de andere twee CAIREBoxen is 4,6 en 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

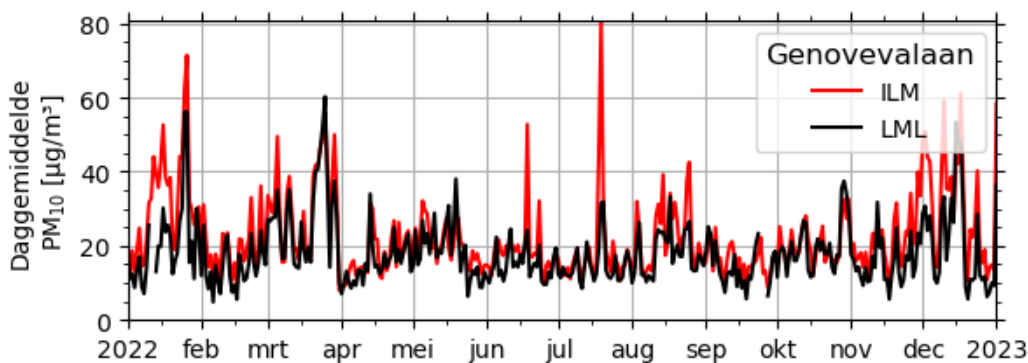
Kijkend naar het jaarprofiel in figuur 11 is zichtbaar dat de generieke gang van concentraties door het jaar heen gelijkend is. Met name tijdens hoge concentratiepieken wordt er met regelmaat door het ILM2 hoger gemeten dan door het LML. Het is momenteel onduidelijk waardoor dit precies veroorzaakt wordt.

Tabel 1 Correlatiecoëfficiënt R, richtingscoëfficiënt Rc, en root-mean-square-error RMSE in dagelijkse PM10 meetgegevens van drie CAIREBoxen en het LML Genovevalaan van 17 augustus t/m 16 november 2022. Onderling is het ILM vergeleken met BOX015.

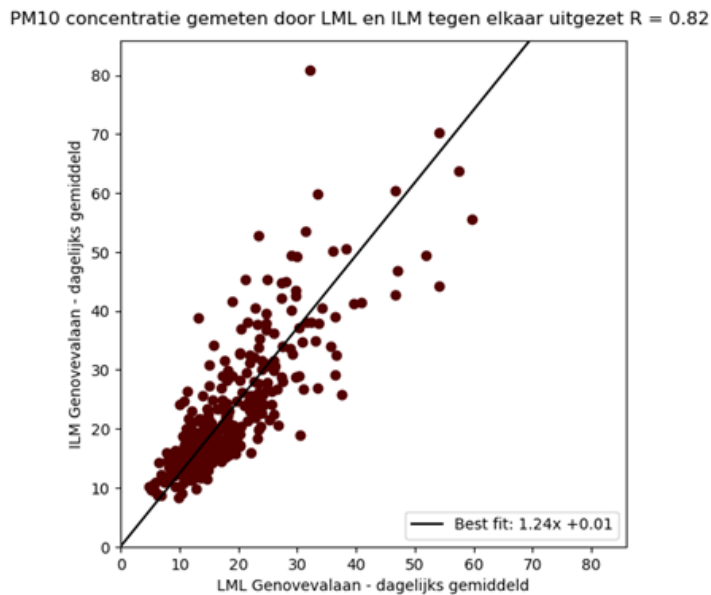
CAIREBox	R		Rc		RMSE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	ILM	LML	ILM	LML	ILM	LML
BOX015	1	0,86	1	1,12	0	4,7
BOX019	0,78	0,83	0,86	0,96	4,6	4,4
BOX039	0,90	0,85	0,79	0,88	4,9	4,4



Figuur 10 Daggemiddelde concentraties PM10 gemeten aan de Genovevalaan door zowel LML als drie meetboxen van het ILM2 van 17 augustus tot en met 16 november 2022.



Figuur 11 Tijdsprofielen van PM10 meetresultaten aan de Genovevalaan van het LML en ILM2 meetlocatie I37 over 2022. De ILM2 meetbox hangt aan een rek naast het LML.



Figuur 12 Correlatiediagram tussen PM10 meetresultaten van het LML Genovevalaan en ILM2 meetlocatie I37 over 2022.

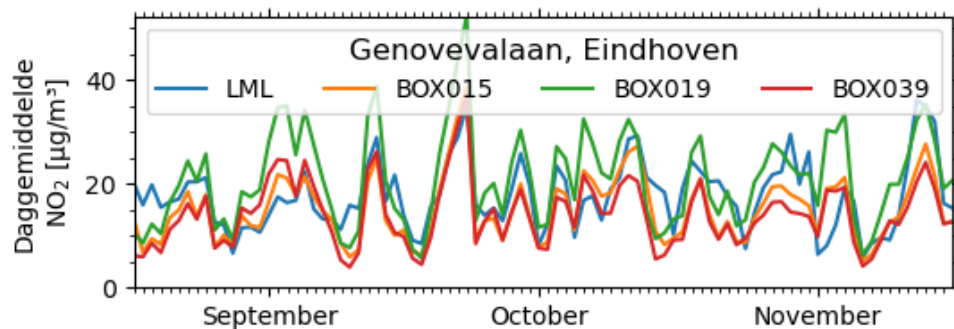
NO₂: Een overzichtstabel van een vergelijking tussen drie CAIREBoxen en het LML voor de periode 17 augustus tot en met 16 november, waarbij al deze boxen naast het LML hingen, wordt getoond in tabel 2. Daarnaast wordt deze periode getoond in figuur 13. In figuur 14 en figuur 15 staat de selectie van NO₂ meetgegevens voor de ILM2-meetlocatie (I37) aan het LML Genovevalaan getoond ten opzichte van de meetgegevens van het LML zelf.

Daar zijn een aantal observaties uit te halen welke relevant zijn voor het gebruik van de ILM2 data:

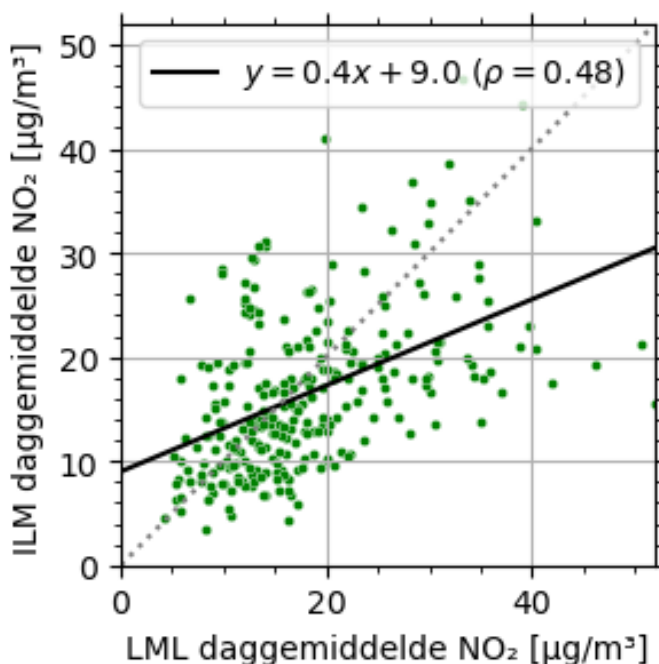
- In figuur 13 zijn de NO₂ meetwaarden van de drie meetboxen en het LML Genovevalaan zichtbaar in een tijdserie van daggemiddelden. Zoals tabel 2 ook laat zien zijn de trends in beide datasets gelijkend. Er zit echter, zeker kijkend naar BOX019, met regelmaat verschil tussen de absolute concentraties gemeten door het LML Genovevalaan en de drie meetboxen van het ILM2. Dit laat zien dat hoewel er meer stabiliteit zichtbaar is in de NO₂ metingen over 2022 er nog steeds uitdagingen zijn met het gebruik van sensoren om NO₂ nauwkeurig te kunnen meten.
- Het is zichtbaar dat met name in juli verschil zichtbaar is tussen de ILM2- en LML-meetwaarden. Begin augustus is de cartridge op de ILM2-meetlocatie vervangen waarbij direct zichtbaar is dat de metingen meer in lijn komen te liggen met het LML. Wel wordt hiermee duidelijk dat ook met selectiecriteria op de NO₂ meetgegevens er nog verbeteringen mogelijk zijn.

Tabel 2 Correlatiecoëfficiënt R, richtingscoëfficiënt Rc, en root-mean-square-error verkregen met lineaire regressie van daggemiddelde NO₂ van drie CAIREBoxen en het LML Genovevalaan van 17 augustus tot en met 16 november 2022. Onderling is het ILM vergeleken met BOX015.

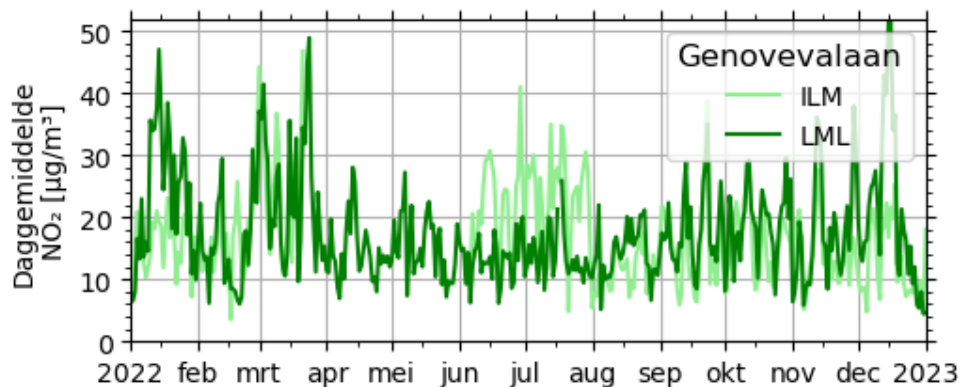
CAIREBox	R		Rc		RMSE [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
	ILM	LML	ILM	LML	ILM	LML
BOX015	-	0,74	-	0,70	-	4,2
BOX019	0,95	0,66	1,37	0,90	2,8	6,8
BOX039	0,95	0,62	0,95	0,59	2,0	4,9



Figuur 13 Daggemiddelde concentraties van NO₂ gemeten aan het LML Genovevalaan door zowel LML als drie meetboxen van het ILM2. Het betreft de periode 17 augustus 2022 tot en met 16 september 2022.



Figuur 14 Spreidingsdiagram van daggemiddelde NO₂ meetwaarden tussen het LML- en het ILM2-metstation aan de Genovevalaan in 2022.



Figuur 15 Tijdsprofiel van daggemiddelde NO₂ meetwaarden aan de Genovevalaan.

4 Regionale luchtkwaliteit 2022

4.1 Algemeen beeld Zuidoost-Brabant

4.1.1 Regionaal overzicht 2022

De gemiddelde PM en NO₂ concentraties per jaar en per kwartaal gemeten door het ILM2 staan getoond in tabel 3. Over het hele meetnet was de gemiddelde PM1, PM2.5 en PM10 concentratie respectievelijk 10,3; 12,7; en 18,9 µg/m³. Dat is een fractie lager dan de gemiddelde concentraties gemeten door het ILM2 in 2021, respectievelijk 11,5; 13,9; en 19,3 µg/m³. We zien dat de 25-percentiel voor alle fijnstoffracties meer onder het gemiddelde liggen dan dat de 75-percentiel erboven ligt. Dit betekent dat lagere waarden vaker voorkomen dan hoge waarden. Van PM10 massa concentraties wordt bijna 50% veroorzaakt door deeltjes met diameter kleiner dan 1 µm en ruim 60% kleiner dan 2.5 µm.

Tabel 3 Jaarlijkse en kwartaal gemiddelde concentraties van fijnstof en NO₂ gemeten door het ILM2 in 2022. Hiernaast zijn de 25 en 75 percentiel concentratie weergegeven om de spreiking te laten zien in de metingen.

Periode	Gemiddelde meetnet ILM2 (25- en 75-percentiel over alle metingen)				Deeltjesverdeling (%)	
	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]	PM1/PM10	PM2.5/PM10
Jaar 2022	10,3 (4,2-13,1)	12,7 (5,6-16,1)	18,9 (10,7-23,9)	18,2 (8,1-24,1)	49,7 (35,6-63,9)	61,7 (49,3-74,6)
Q1 2022 (Jan-Mar)	14,9 (6,8-22,5)	18,6 (9,4-26,0)	24,4 (14,8-32,4)	23,6 (11,7-30,7)	57,5 (42,4-72,1)	72,1 (61,6-83,3)
Q2 2022 (Apr-Jun)	7,8 (3,9-9,4)	9,6 (5,3-11,6)	15,9 (10,2-19,3)	19,1 (8,1-25,4)	46,6 (33,5-59,2)	58,0 (47,1-69,0)
Q3 2022 (Jul-Sep)	6,6 (3,0-7,5)	7,9 (4,0-9,0)	13,9 (8,7-16,2)	16,7 (7,6-22,4)	43,6 (30,4-55,7)	53,2 (41,4-64,6)
Q4 2022 (Okt-Dec)	11,8 (5,2-16,2)	14,8 (7,1-19,1)	21,7 (12,5-27,8)	13,2 (6,4-17,8)	51,6 (37,0-65,5)	64,3 (51,8-76,7)

Wanneer de gemiddelde fijnstofconcentratie per kwartaal bekeken wordt valt op dat deze met name is verhoogd tijdens Q1 en Q4, oftewel in de wintermaanden. In 2021 van ILM2 was hetzelfde patroon zichtbaar (Goudriaan et al, 2022).

Waarschijnlijke oorzaak hiervan is enerzijds de invloed van de grenslaag. Die is over het algemeen lager in de winter, waardoor bij eenzelfde emissie de stoffen over een kleiner oppervlakte wordt gemengd en de concentraties oplopen (Pan et al., 2019; Van Dinther & Plomp, 2019). Anderzijds zijn in de winter verbrandingsemissies hoger voor verwarming van huizen en wegverkeer (Bloemen, 2008). Deze bijdrage van verbrandingsemissies lijkt ook zichtbaar in een hogere PM2.5/PM10 ratio in Q1 en Q4. Daarnaast is er op de LML meetlocaties aan de Noordbrabantlaan in Eindhoven, de Europalaan in Veldhoven en de Vredeweg in Vredepeel, een toenemende hoeveelheid roet in de lucht zichtbaar in de winter (www.luchtmeetnet.nl) wat hier ook op wijst. In de stedelijke gebieden ligt de hoeveelheid roet hoger dan in het landelijk gebied.

De gemiddeld gemeten NO₂ concentratie was 18,2 µg/m³ in 2022. In 2021 was dit 21,2 µg/m³. Een één op één vergelijk tussen deze twee jaren is echter niet direct mogelijk doordat in 2021 van slechts een korte periode data is gebruikt en geen meetlocaties uit het buitengebied konden worden meegenomen. Opvallend in 2022 is dat voor Q1 de concentraties het hoogst zijn en deze aflopen gedurende het jaar. Analyse van de trend in NO₂ concentraties wordt bemoeilijkt, doordat niet alle CAIREBoxen gedurende het gehele jaar NO₂ beschikbaar hebben. Over het algemeen zijn de NO₂ concentraties in de zomer lager. Dit komt omdat NO₂ onder invloed van zonlicht reageert tot NO en O. Deze O is dan weer beschikbaar om met O₂ te reageren tot O₃, wat vervolgens weer reageert met NO tot NO₂ en O₂. In de zomer zijn daarom met name overdag de NO₂ concentraties over het algemeen relatief laag. Daarnaast ligt in de zomer de grenslaag over het algemeen hoger, waardoor concentraties van luchtvervuiling afnemen.

4.1.2 Meetgemiddelde per meetlocatie

In tabel 5 worden de gemiddeld gemeten concentraties PM1, PM2.5, PM10, en NO₂ in µg/m³ per meetlocatie in 2022 gepresenteerd. Bij een installatiedatum later dan 1 januari 2022 is de periode vanaf installatie tot en met 31 december 2022 beschouwd. De gemiddelde NO₂ waarde per meetlocatie is bepaald op enkel de geselecteerde meetgegevens over 2022.

Zoals al eerder aangegeven zijn de metingen van de sensoren niet geschikt om op geaccrediteerde wijze onder- of overschrijdingen van normen aan te geven. Daarvoor moet gebruik worden gemaakt van geaccrediteerde meetapparatuur per doelstof. Desalniettemin is het toch interessant te zien of sensoren een indicatie geven dat de atmosferische gehalten boven of onder een afgesproken norm liggen. Een vergelijking tussen tabel 4 en tabel 5 laat zien dat het niet voor de hand ligt dat er op een van de ILM2 meetlocaties de EU-grenswaarden worden overschreden. De gemeten concentraties in het ILM2 liggen over het algemeen wel boven de WHO-advieswaarden van 2021. Dit geldt overigens ook voor vele andere delen van Nederland (Maas et al., 2022).

Tabel 4 EU-grenswaarden en WHO-advieswaardes geldig in 2022, voor jaargemiddelde PM2.5, PM10 en NO₂ concentraties³.

Jaargemiddelde concentraties	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]
EU-Grenswaarde	20	40	40
WHO-advieswaarde	5	15	10

Tabel 5 Gemiddeld gemeten concentraties per meetlocatie in 2022. Data cursief en onderstreept wanneer de databeschikbaarheid gedurende het jaar onder de 50% ligt.

	Locatie	Type	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]
I02	EH Scherpenering	Luchthaven	11,9	15,1	22,3	<u>19,5</u>
I14	EH Landardseweg	Luchthaven	14,2	16,8	23,6	16,2
I25	EH Luchthavenweg	Luchthaven	9,5	12,2	20,3	<u>18,6</u>
I04	EH Finistérelaan	Stadsachter.	10,0	12,1	19,5	20,2
I07	EH Oirschotsedijk	Stadsachter.	8,0	9,9	15,6	19,7
I17	EH Genneperweg	Stadsachter.	10,7	13,5	18,9	15,3
I32	EH Maaseikstraat	Stadsachter.	10,9	13,4	19,0	21,2
I09	EH Stationsweg	Centrum	10,7	13,1	17,4	17,7
I11	EH Pr. Dr. Dorgelolaan	Centrum	10,7	13,4	19,8	17,9

³ Bron: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>

	Locatie	Type	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]
I12	EH Mathildelaan	Centrum	9,6	12,3	19,4	14,7
I24	EH Fellenoord	Centrum	10,1	12,1	19,5	<u>35,2</u>
I29	EH Wal	Centrum	8,4	10,9	17,5	19,7
I36	EH Vestdijk	Centrum	12,4	15,5	22,9	<u>25,6</u>
I39	EH Willemstraat	Centrum	10,3	12,7	16,8	25,6
I08	EH Beukenlaan	Verkeersint.	9,1	10,2	14,5	28,1
I30	EH Botenlaan	Verkeersint.	10,6	13,7	22,2	19,7
I37	EH Genovevalaan	Verkeersint.	12,9	15,9	22,4	16,9
I40	EH Kennedylaan	Verkeersint.	13,7	16,1	22,6	<u>24,6</u>
I22	EH Meerhovendreef	Aanrijroute	9,4	11,8	19,0	25,1
I23	EH Anthony Fokkerw.	Aanrijroute	9,9	12,1	19,1	<u>22,7</u>
I01	EH HTC 1	Snelweg	9,2	12,3	23,2	-
I06	Waalre A67 Zuid	Snelweg	<u>16,5</u>	<u>19,8</u>	<u>25,4</u>	-
I19	EH Kanaaldijk	Industrie	10,5	13,4	21,9	<u>24,4</u>
I28	EH Klokgebouw	Industrie	12,0	14,5	18,4	<u>22,8</u>
I05	Eersel Zandoerleseweg	Regio laag	14,5	17,0	22,7	<u>15,2</u>
I13	Nuene Soeterbeekseweg	Regio laag	9,5	11,8	15,3	8,4
I16	Bergeijk Dorpsstraat	Regio laag	12,0	14,9	25,3	<u>15,1</u>
I18	Boxtel Mijlstraat	Regio laag	9,0	10,8	16,5	13,3
I41	Geldrop Mierlo Voortje	Regio laag	11,4	14,0	20,6	<u>15,4</u>
I55	Valkenswaard Bergeijksedijk	Regio laag	9,9	12,3	16,8	<u>14,6</u>
I03	Best Kapelweg	Regio mid.	9,4	11,6	17,7	18,6
I10	Reusel Mierdseweg	Regio mid.	11,1	13,1	18,0	13,9
I33	Son & Breugel Sonniuswijk	Regio mid.	10,9	13,3	19,5	16,8
I42	Gemert-Bakel Keizersven	Regio mid.	12,0	14,6	23,0	<u>11,1</u>
I43	Oirschot Krukkerd	Regio mid.	10,8	13,3	20,3	<u>14,1</u>
I45	Meierijstad Zonveldstraat	Regio mid.	9,2	11,8	16,1	<u>25,9</u>
I44	Heeze-Leende Ronde Bleek	Regio hoog	9,0	11,0	19,4	18,4
I50	Asten Meijelseweg	Regio hoog	9,0	11,0	14,8	12,6
I54	Deurne Paardekopweg	Regio hoog	<u>11,6</u>	<u>13,5</u>	<u>16,9</u>	<u>12,8</u>
I48	Helmond Vossenbeemd	Extra (Stad)	10,7	13,4	18,4	<u>20,6</u>
I49	Helmond Kanaaldijk	Extra (Stad)	10,9	13,4	17,8	<u>21,4</u>
I51	Helmond Mierloseweg	Extra (Stad)	9,5	11,7	15,1	<u>28,1</u>
I52	Helmond Kasteel-traverse	Extra (Stad)	9,3	11,4	15,9	<u>24,2</u>
I46	Best Ringweg	Extra (Regio)	10,8	13,1	18,0	<u>14,8</u>
I47	Oirschot Neereindsweg	Extra (Regio)	8,3	10,8	15,7	<u>15,8</u>
I56	Reusel Beekakkersweg	Extra (Regio)	11,3	13,9	17,9	<u>15,9</u>
I58	Best Looierstraat	Extra (Regio)	9,6	11,7	15,8	<u>25,6</u>
I53	Nuene Zandse Put ^d	Tijdelijk	6,2	7,5	11,1	18,2
I57	Nuene Geldropse Dijk	Tijdelijk	11,8	13,5	18,9	<u>14,8</u>

Naast jaarlijkse limiet waarden zijn er ook limiet waardes op andere tijdschalen die een beperkt aantal keren overschreden mag worden. Deze waardes zijn weergegeven in tabel 6, zowel de EU-grenswaardes als de WHO-advieswaardes.

^d De fijnstofwaardes van deze meetlocatie zijn opvallend laag, maar vertonen niet perse afwijkende patronen door de tijd heen ten opzichte van de andere meetlocaties. Zie ook sectie 4.6.

Tabel 6 EU-grenswaardes en WHO-advieswaardes geldig in 2022, voor PM2.5, PM10 en NO₂ concentraties.⁵

	EU-grenswaarde			WHO-advieswaarde		
	Concentratie [µg/m ³]	Tijdsschaal	Maximaal overschrijdingen per jaar	Concentratie [µg/m ³]	Tijdsschaal	Maximaal overschrijdingen per jaar
PM2.5	-	-	-	15	24 uur	3-4
PM10	50	24 uur	35	45	24 uur	3-4
NO ₂	200	1 uur	18	25	24 uur	3-4

Voor PM10 lijkt deze EU-norm op dagwaardes op geen van de meetlocaties overschreden te worden. De genoemde PM10 concentratie wordt het vaakst overschreden (20 keer) door I14 aan de Landardseweg in Eindhoven. Mogelijke oorzaak hiervan wordt in sectie 4.3 in meer detail besproken. De door de WHO geadviseerde overschrijdingsdagen worden op bepaalde meetlocatie wel overschreden. Op 33 van de 49 meetlocaties is dit voor PM10 het geval. Voor PM2.5 geldt dit voor alle meetlocaties. Dit is vergelijkbaar met gegevens van het landelijk meetnet luchtkwaliteit waar de WHO voor PM10 op 61 van de 80 locaties overschreden worden en voor PM2.5 overschrijdingen zijn op alle 57 locaties.

4.1.3 Achtergrondconcentraties fijnstof en NO₂

Een groot deel van de gemeten concentraties bestaat uit een (supra-)regionale achtergrond. Deze achtergrondconcentraties, berekend volgens de methodiek beschreven in sectie 2.3, en de ratio hiervan met de gemiddeld gemeten concentraties over alle meetpunten (zoals getoond in tabel 3) geven een indicatie van de globale invloed van lokale/regionale bronnen op de regionale luchtkwaliteit ten opzichte van externe factoren. In tabel 7 wordt het berekende percentage achtergrond per doelstof gepresenteerd.

Tabel 7 Regionale achtergrondconcentraties per jaar en per kwartaal. Daarnaast staat de verhouding tussen deze berekende achtergrond en het regionaal gemiddelde zoals getoond in tabel 3 per component getoond.

Periode	Percentage achtergrond van regionaal gemiddelde concentraties			
	PM1 [%]	PM2.5 [%]	PM10 [%]	NO ₂ [%]
Jaar 2022	72	74	73	46
Q1 2022 (Jan-Mar)	78	80	81	50
Q2 2022 (Apr-Jun)	69	72	73	42
Q3 2022 (Jul-Sep)	57	59	63	46
Q4 2022 (Okt-Dec)	75	76	71	45

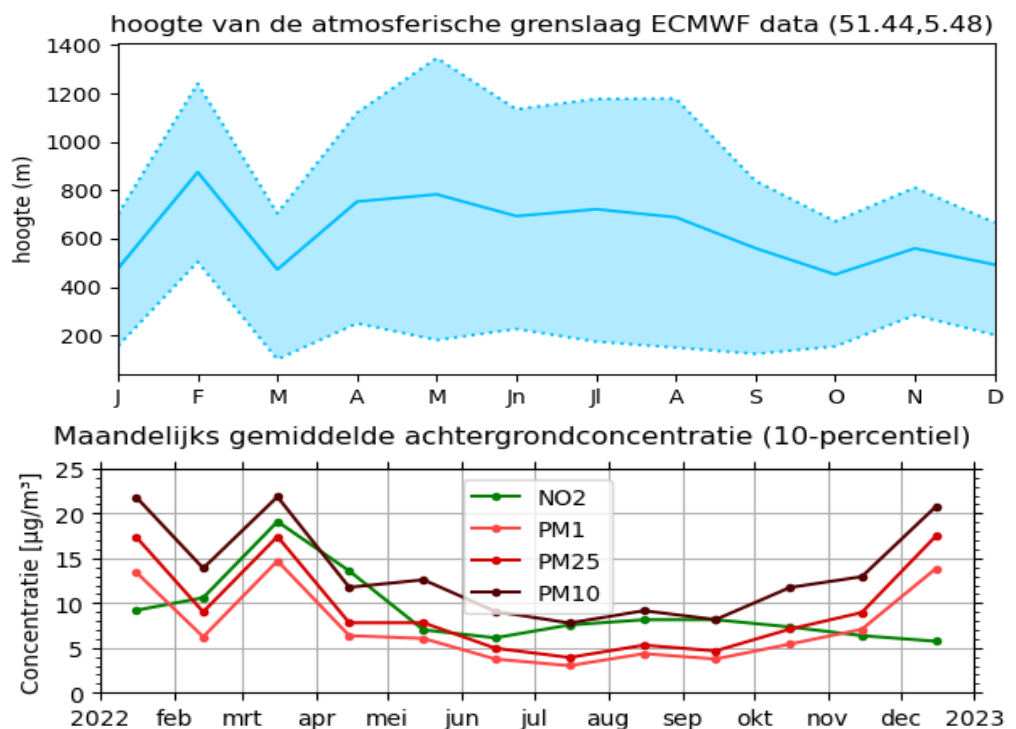
Op basis van de metingen van het ILM2 zou iets meer dan 70% van de gemeten PM10 concentraties in 2022 kunnen worden gezien als achtergrond. In de literatuur wijzen berekeningen met atmosferisch-chemische verspreidingsmodellen uit dat ongeveer twee derde van het fijnstof in Nederland kan worden toegeschreven aan buitenlandse bronnen (zowel antropogeen als natuurlijk). Door de lange verblijftijd van het stof in de atmosfeer, kan stof grote afstanden afleggen waardoor een grootschalig verspreidingspatroon ontstaat (RIVM, 2013). In Maas et al. (2022) wordt genoemd dat voor 2016, 25% van de

⁵ Bron: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>

fijnstofconcentraties in Nederland gerelateerd wordt aan binnenlandse emissiebronnen, bijna 40% aan bronnen uit het buitenland en 35% door natuurlijke emissies of onbekende bron. Dit is in lijn met de berekende percentages hier gepresenteerd. Als er wordt gekeken naar verschil in de achtergrondconcentratie in de stad in vergelijking met de regio is deze voor PM tussen de 2 en 5% hoger.

Voor NO₂ is de achtergrondconcentratie berekend vanuit het ILM2 goed voor 46% (zie tabel 7). De NO₂ berekening wordt bemoeilijkt omdat niet op elk moment van alle meetlocaties informatie beschikbaar is. Het laat wel zien dat lokale bronnen, zoals verkeer, relatief veel invloed hebben op de heersende concentraties NO₂. Dit sluit aan bij de observatie gedaan in Maas et al. (2022): hier wordt gesteld dat buitenlandse bronnen in 2016 in Nederland verantwoordelijk zijn voor 35% aan de NO₂ concentraties terwijl binnenlandse bronnen voor gemiddeld 65% bijdroegen (met hogere aandelen in de steden). Voor NO₂ is het verschil in achtergrondconcentratie tussen de stad en de regio groter dan voor fijnstof met 14% verhoging in de stad.

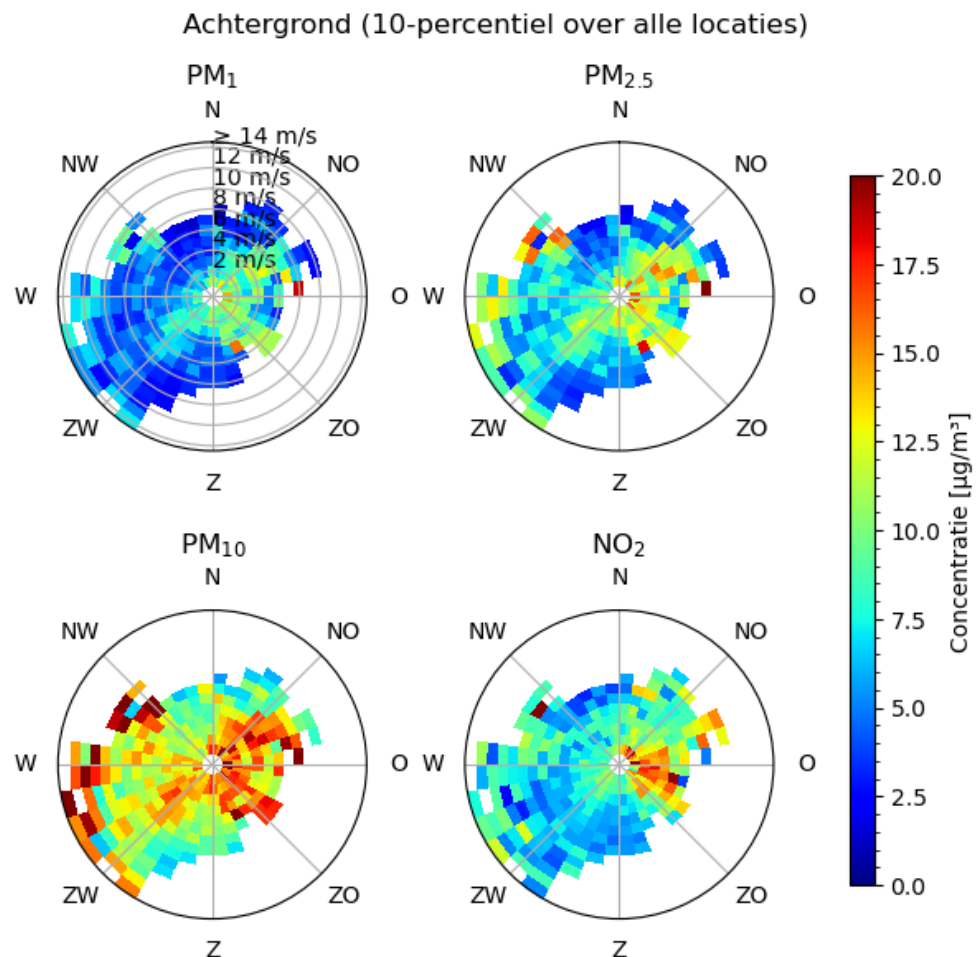
De achtergrondconcentraties staan onder invloed van fluctuaties in de grenslaaghoogte. figuur 16 toont hoe de gemiddelde PM achtergrondconcentraties per maand meebewegen met de grenslaaghoogte verkregen uit de ERA5 reanalysis dataset van ECMWF⁶. Dit is met name in de eerste drie maanden van het jaar zichtbaar. In de winter ontstaat aan de grond een relatief koude luchtlaag welke minder makkelijk mengt met de warmere lucht hogerop in de atmosfeer (Van Dinther & Plomp, 2019).



Figuur 16 De maandelijkse veranderingen in de grenslaaghoogte, verkregen vanuit de ERA5 reanalysis dataset van ECMWF, met de 25-75% percentiel (boven); de maandelijkse gemiddelde achtergrondconcentraties van PM en NO₂ in µg/m³ (onder).

⁶ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

Uit figuur 17 blijkt dat de hoogste achtergrondconcentraties van PM₁, PM_{2.5}, en, in iets mindere mate, PM₁₀ zich voordoen bij wind uit oostelijke richting. Dit komt waarschijnlijk doordat de aangevoerde lucht uit die richting een langere weg over het continent heeft afgelegd. Dit is in lijn met ILM2 data van 2021 (Goudriaan et al., 2022), hoewel NO-wind daar iets sterker naar voren kwam. Er is ook enige verhoging te zien in de fijnstofconcentraties bij wind uit het ZW, met uitzondering van harde wind. Bij hele hoge windsnelheden zien we in sommige gevallen relatief hoge waarden, dit komt mede doordat deze op een klein sample van metingen worden berekend (zie ook figuur 5). Hogere achtergrondconcentraties NO₂ zijn vooral zichtbaar bij oostenwind. Gelijkelijk aan de windroosplots van PM zijn de achtergrondconcentraties NO₂ bij wind vanuit het Z tot ZW relatief laag, wat lijkt aan te geven dat er geen significante bronnen zijn te vinden in die richting met een significante NO₂ bijdrage reikend tot aan Zuidoost-Brabant. Er moet aangetekend worden dat de exacte bronlocaties welke van invloed zijn op verhogingen van de regionale achtergrond niet via een windroosanalyse te bepalen zijn. Een air mass trajectory analyse zou dit mogelijk inzichtelijk kunnen maken (Perez, 2015). Dit valt echter buiten de huidige scope van het project.



Figuur 17 De regionale achtergrondconcentraties uitgetzet in een windroos voor PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ en NO₂ in µg/m³.

4.2 Vergelijking onderzoeksgebieden in Zuidoost-Brabant

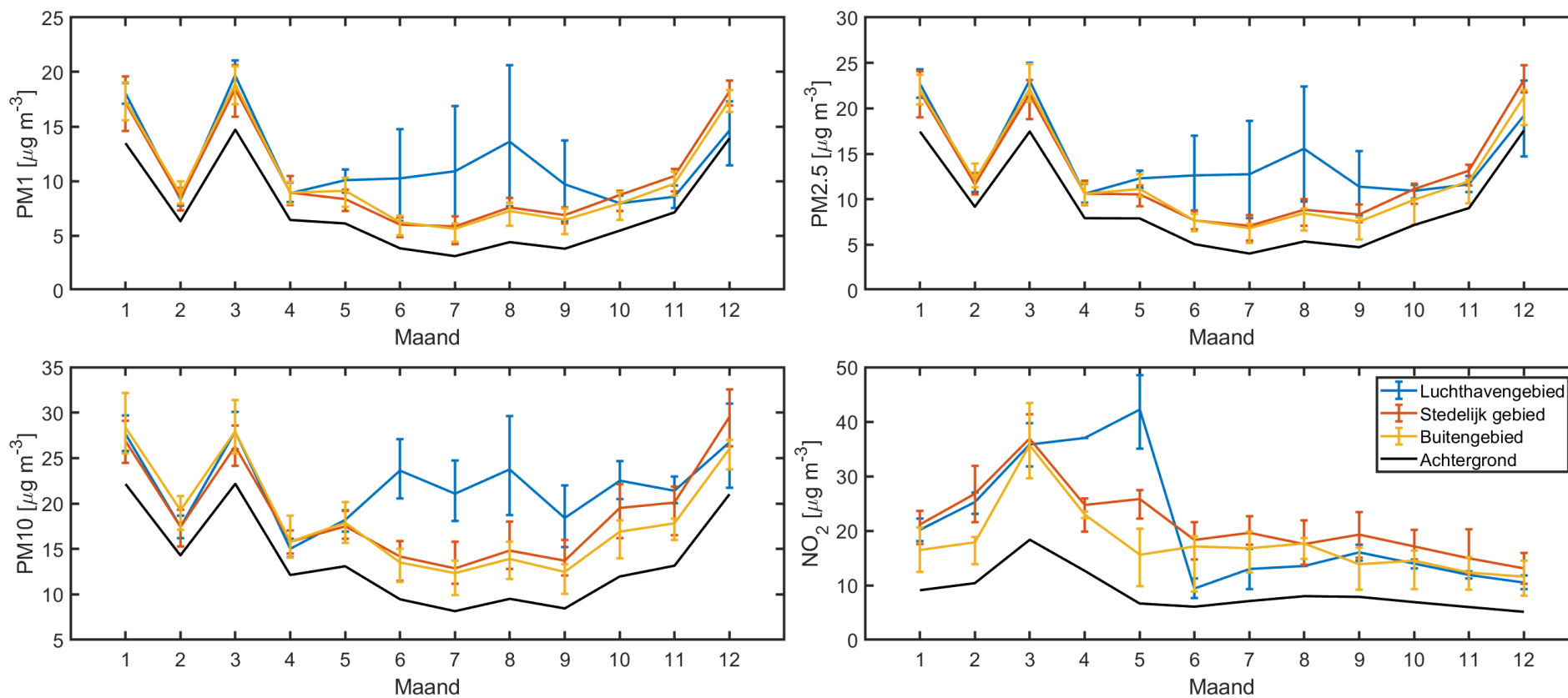
De gemiddeld gemeten concentraties per sub-gebied zijn zichtbaar in tabel 8. In figuur 18 worden de maandelijks gemiddeld gemeten concentraties fijnstof en NO₂ in het stedelijk gebied, het luchthavengebied en het buitengebied over het jaar 2022 getoond. De maandelijks gemiddelde PM10 en NO₂ waardes van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant staan getoond in respectievelijk figuur 19 en figuur 20.

Tabel 8 Gemiddeld gemeten concentraties binnen het stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied in 2022 in µg/m³, met tussenhaakjes de 25- en 75-percentielwaarde.

Periode	Componenten	Sub-regionale concentraties Gemiddelde (25- en 75-percentiel)		
		Stedelijk gebied	Buitengebied	Luchthavengebied
Jaar 2022	PM1	10.6 (4.4-14.0)	10.5 (4.5-13.4)	11.9 (4.5-14.6)
	PM2.5	13.1 (5.8-16.9)	12.9 (5.8-16.3)	14.7 (6.3-18.1)
	PM10	19 (10.7-24.3)	18.7 (10.7-24.3)	22.1 (12.5-24.3)
	NO ₂	21.1 (9.9-27.9)	16.3 (6.9-21.4)	18.3 (7.6-24.3)

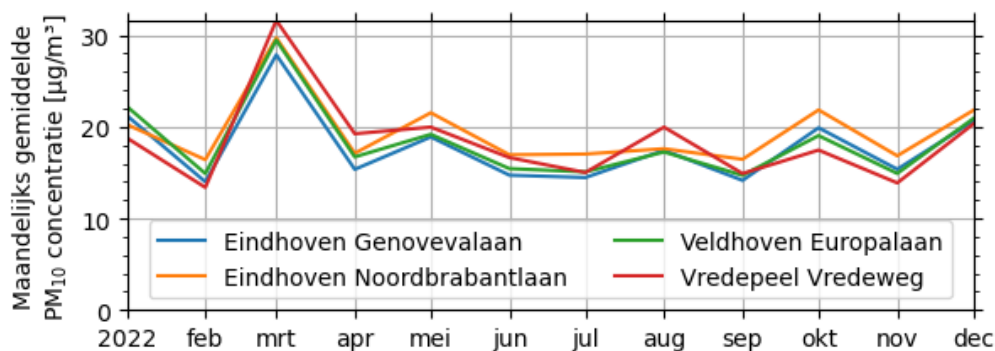
Hierbij valt op dat de gemiddeld gemeten fijnstofconcentraties in 2022 in het luchthavengebied verhoogd zijn. Dit komt voornamelijk door een periode van sterk verhoogde fijnstofconcentraties tussen juni en begin september op de meetlocatie aan de Landardseweg (zie Figuur 20 en sectie 4.3 voor meer uitleg). Doordat er binnen het luchthavengebied slechts drie meetlocaties staan heeft dit een zeer groot effect op het gemeten gemiddelde van dit gebied. Wanneer de gemiddelde concentraties per gebied met 2021 vergeleken worden (zie Tabel 7 in Goudriaan et al., 2022) valt op dat de gemiddelde fijnstofconcentraties in het buitengebied iets lager zijn (rond de 2 µg/m³). Deze afname wordt met name veroorzaakt doordat er in het eerste kwartaal van 2021, een periode met overwegend hoge fijnstofconcentraties, nog geen metingen waren in het buitengebied. Het ILM2 meetnet was toen nog in opbouw. De gemeten fijnstofconcentraties in het stedelijk gebied zijn gelijkend over 2021 en 2022.

Voor NO₂ is de jaarlijks gemiddelde concentratie met name in het stedelijk gebied verhoogd. In het buitengebied zijn de concentraties het laagst. Dit stemt overeen met het beeld in 2021. De gemiddeld gemeten NO₂ concentraties in stedelijk en luchthavengebied zijn gelijkend tussen beide jaren. Voor NO₂ was er geen gemiddelde concentratie gegeven voor 2021 voor het buitengebied door een gebrek aan voldoende meetgegevens.



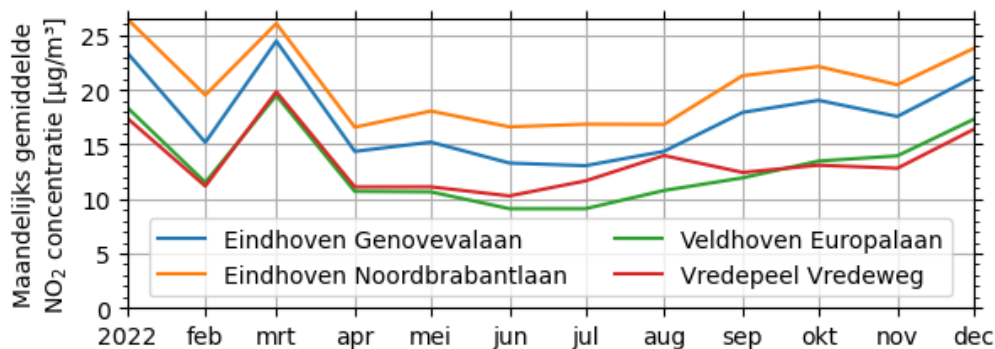
Figuur 18 De maandelijks gemiddelde gemeten concentraties en 25 en 75 percentiel, en ook de regionale achtergrondconcentraties van PM1 (linksboven), PM2.5 (rechtsboven), PM10 (linksonder), NO₂ (rechtsonder) in Zuidoost-Brabant, verdeeld over het stedelijk gebied, het luchthavengebied, en het buitengebied.

De gemeten fijnstofconcentraties aan het landelijk gelegen LML-station Vredepeel zijn in augustus hoger dan op de andere meer stedelijke meetlocaties. Dit verschil tussen buitengebied en stedelijk gebied is in ILM2 in die periode niet zichtbaar. In de rest van het jaar zijn de PM concentraties veelal gelijkend over de vier meetlocaties, gelijk aan het beeld dat het ILM2 geeft wat betreft de variatie tussen de verschillende gebieden. De PM metingen van het ILM2 lijken in de wintermaanden wel iets hoger te liggen dan de metingen van het LML. Daarbij is in de laatste maanden van 2022 zichtbaar dat de door het ILM2 gemeten concentraties PM in de stad iets hoger liggen dan in het landelijk gebied. Het LML-station aan de Noord-Brabantlaan meet tussen maart en december iets hogere PM concentraties in vergelijking tot de andere stedelijke meetlocaties.



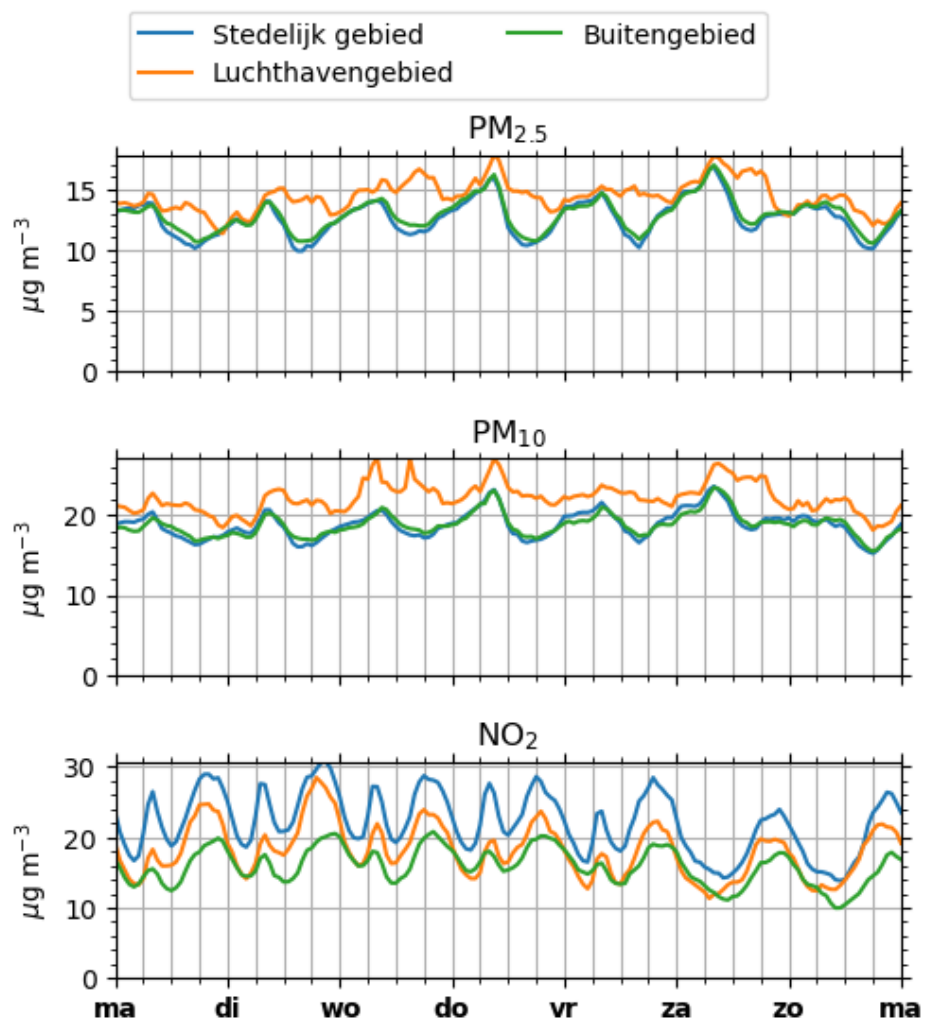
Figuur 19 Maandelijks gemiddelde meetwaarde PM10 van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant.

De gemeten NO₂ concentraties door het ILM2 zijn in het stedelijk gebied het hoogst gevolgd door de meetlocaties bij de luchthaven. In het buitengebied liggen de gemiddeld gemeten NO₂ concentraties lager. Ook op de LML-stations, getoond in figuur 20, meten de stedelijke meetlocaties hogere NO₂ concentraties dan de meetlocaties op minder verkeersbelaste locaties. Zowel bij het ILM2 als bij het LML lijkt de variatie in de grenslaaghoogte zichtbaar tussen januari en maart.



Figuur 20 Maandelijks gemiddelde meetwaarde NO₂ van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant.

figuur 21 toont de gemiddelde weekgang van de gemeten concentraties in 2022 per onderzoeksgebied. Het verloop van de PM concentraties over de dag vertonen sterke overeenkomsten met de daggang van de PM achtergrondconcentraties. Een uitzondering is het luchthavengebied waarbij werkzaamheden bij de Landardseweg duidelijk invloed hebben op het gemiddelde verloop van de concentraties (meer detail hierover in sectie 4.3). Zichtbaar is dat de NO₂ concentraties in het stedelijk gebied gemiddeld hoger zijn dan in het buiten- en luchthavengebied. Ook is een duidelijk verschil waarneembaar van het dagelijks verloop van NO₂ concentraties tussen week- en weekenddagen. Tijdens de weekdagen is de ochtendspits duidelijk waarneembaar terwijl deze piek in het weekend niet zichtbaar is.



Figuur 21 Gemiddelde weekgang van de gemeten PM_{2.5}, PM₁₀ en NO₂ concentraties in µg/m³ door het ILM2 in Zuidoost-Brabant in 2022, gemiddeld over de meetlocaties van het luchthavengebied, het stedelijk gebied en het buitengebied.

4.3 Het luchthavengebied – ruimtelijke en temporele variatie

Op drie meetlocaties rondom Eindhoven Airport worden PM1, PM2.5, PM10, NO₂, en UFP bemeaten. Voor UFP is echter niet het gehele kalenderjaar 2022 beschikbaar, maar is gekeken naar data van juli 2021 tot juni 2022 (zie sectie 3.1 voor meer details).

In tabel 9 staan de gemiddeld gemeten concentraties per stof op de drie meetlocaties. Wanneer naar fijnstof wordt gekeken valt op dat de Landardseweg verhoogd is ten opzichte van de andere twee locaties. Waarschijnlijk wordt dit deels veroorzaakt door nabije wegwerkzaamheden welke hebben plaatsgevonden tussen juni en begin september. Wegwerkzaamheden zijn een bekende bron waarbij fijnstofemissies plaatsvinden. Studie van Faber et al. (2015) toont aan dat in Duitsland wegwerkzaamheden voor 17% bijdrage aan de totale PM10-emissies. Gedurende deze periode zijn er aanmerkelijk hogere PM concentraties gemeten voor alle fracties op deze meetlocatie (PM1, PM2.5, en PM10). In tabel 10 staan de gemiddelde meetwaarden per component voor het gehele jaar, tijdens de nabijgelegen wegwerkzaamheden en zonder de wegwerkzaamheden voor deze specifieke meetlocatie, waarin deze verschillen nog duidelijk zichtbaar zijn.

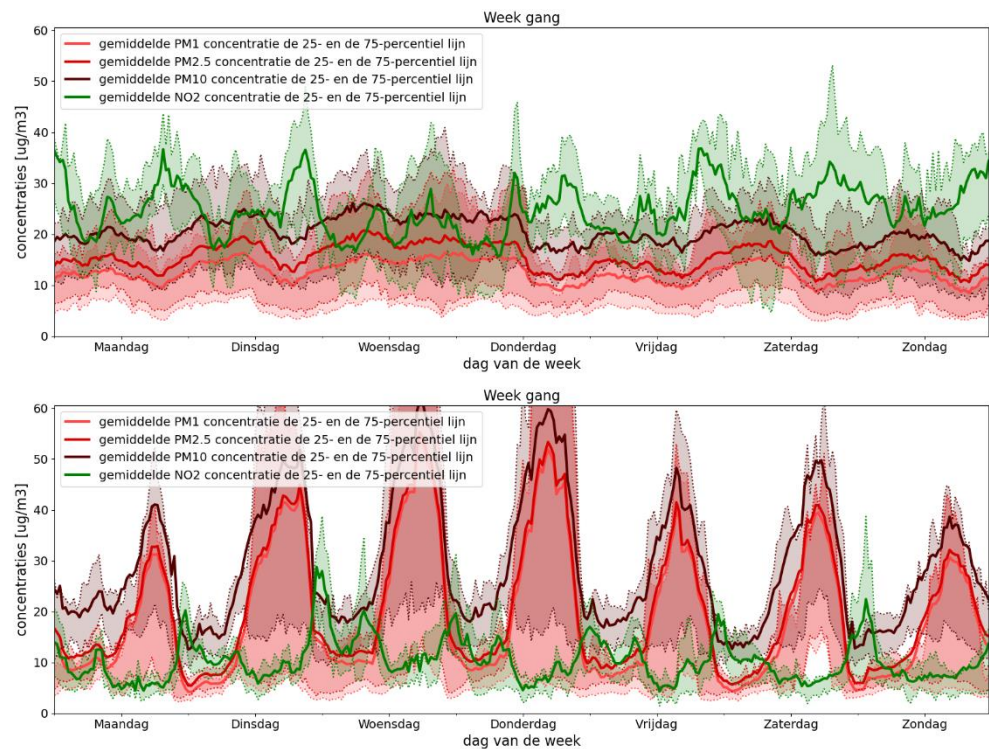
Tabel 9 Gemiddelde meetwaardes in 2022 per meetlocatie in het luchthavengebied. De UFP-concentratie is bepaald van juni 2021 tot juli 2022.

	Meetlocatie	UFP* [#/cm ³]	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]
I02	EH Scherpenering	14,6	11,4	14,5	22,3	19,5
I14	EH Landardseweg	14,3	13,9	16,4	23,6	16,2
I25	EH Luchthavenweg	14,9	9,6	12,3	20,6	18,6

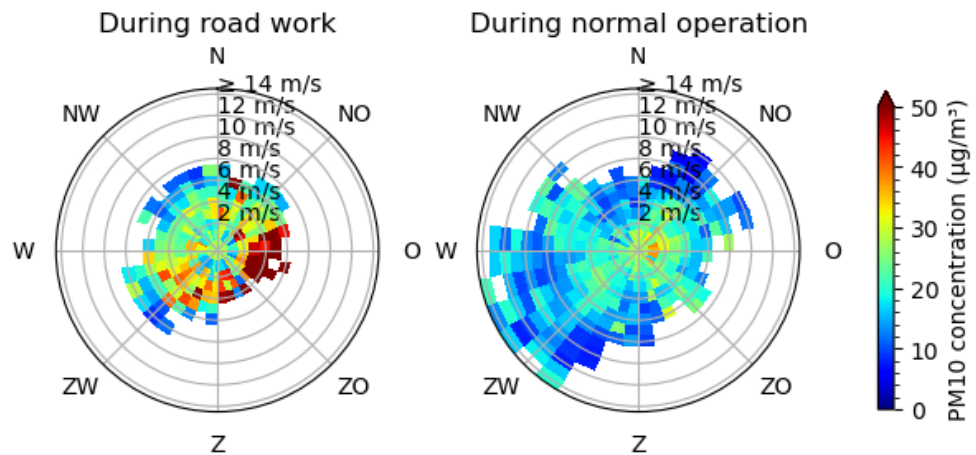
Tabel 10 Gemiddelde meetwaardes in 2022 aan de Landardseweg (I14) voor PM1, PM2.5, PM10, en NO₂ voor geheel 2022, periode met en zonder nabijgelegen wegwerkzaamheden.

Periode	PM1 [µg/m ³]	PM2.5 [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]	NO ₂ [µg/m ³]
Jaar	13,9	16,4	23,6	16,2
Werkzaamheden	18,0	19,8	27,8	12,0
Geen werkzaamheden	12,1	14,9	21,7	17,4

In figuur 22 is de wekelijkse gang geplote van de periode met en zonder wegwerkzaamheden. Er is een duidelijke dagelijkse gang van verhoogde PM concentraties zichtbaar in de periode met wegwerkzaamheden. De PM10 concentraties lopen op tot bijna 60 µg/m³ op woensdagen en donderdagen, kijkend naar de gemiddelde PM10 concentratie over de gehele periode. Voor alle PM fracties is dit patroon zichtbaar. De PM1 fractie gaat het meest omhoog tijdens de wegwerkzaamheden, van maximum zonder werkzaamheden onder de 20 µg/m³ naar waardes tijdens de werkzaamheden tot 50 µg/m³. Dit laat zien dat lokale activiteiten invloed uit kunnen oefenen op de fijnstof concentratie en we die kunnen waarnemen binnen het ILM2 netwerk. Opvallend is dat de NO₂ concentratie juist naar beneden gaat tijdens de wegwerkzaamheden. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat er minder verkeer langs de locatie komt. Er zijn echter geen activiteiten gegevens beschikbaar om deze hypothese te verifiëren.



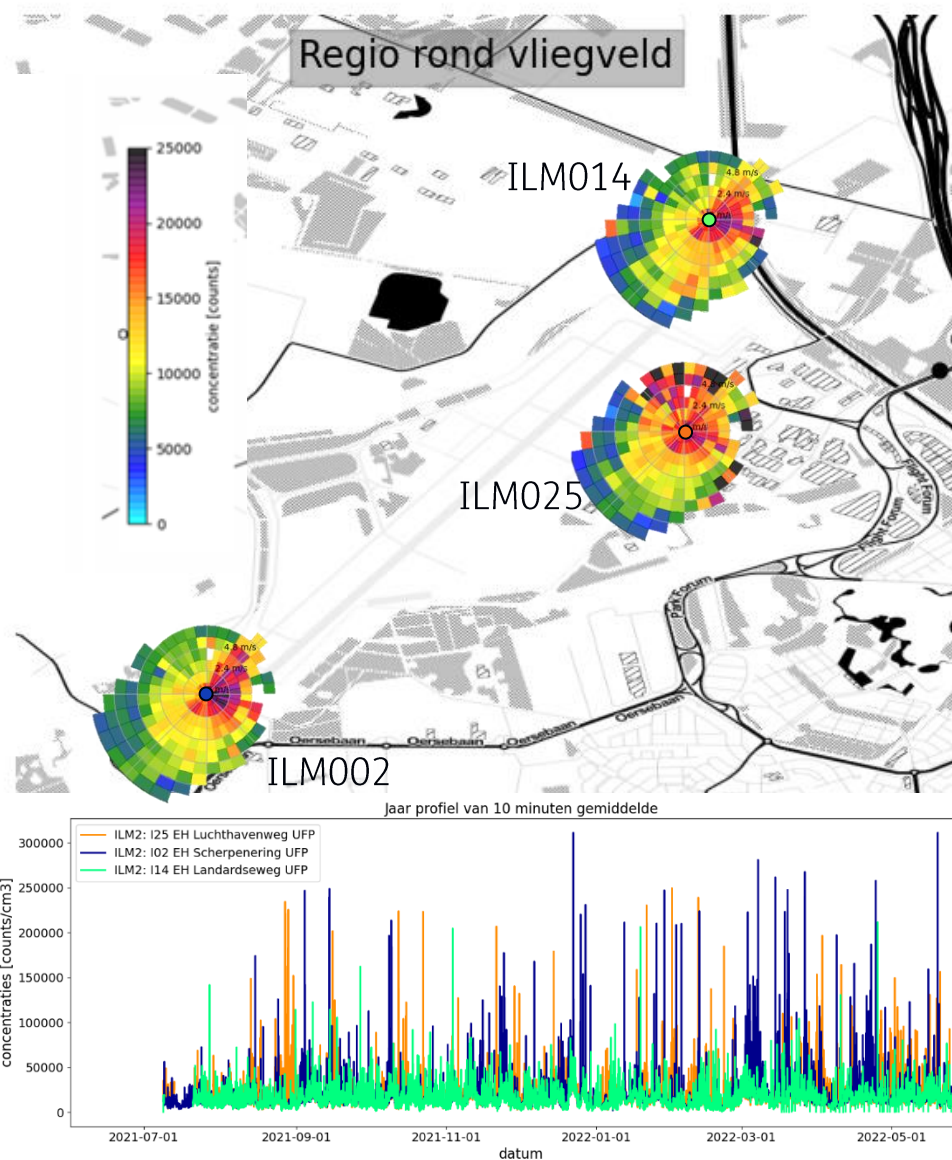
Figuur 22 Wekelijkse gang voor de Landardseweg (I14) voor de periode zonder wegwerkzaamheden (boven, januari tot en met mei) en met wegwerkzaamheden (onder, juni tot en met augustus).



Figuur 23 Windrozen van PM10, waarbij de achtergrondconcentratie eraf getrokken is, voor de Landardseweg (I14) met werkzaamheden (links) en zonder werkzaamheden (rechts). De kleurlegenda is gelijk voor beide figuren.

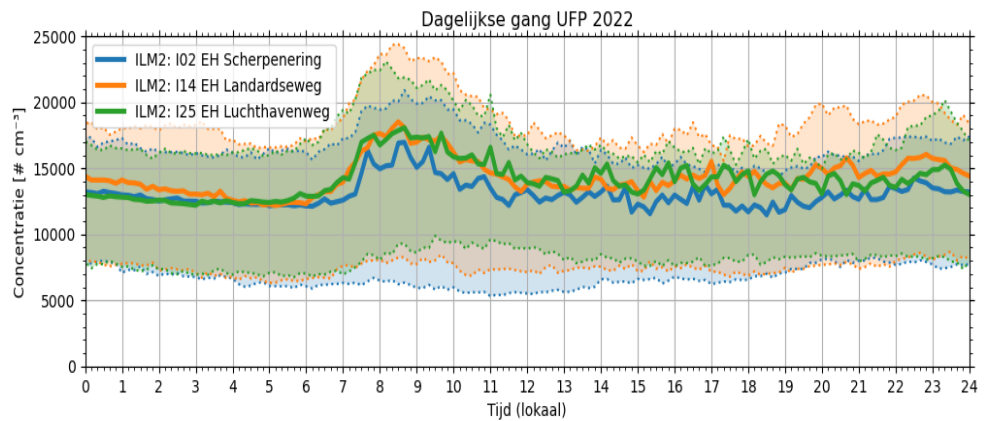
Om te bekijken of de verhogingen uit een bepaalde windrichting komen staan de windrozen in figuur 23. De windrozen van de periode met werkzaamheden is smaller, omdat dit een korte periode bevat. In de windroos is te zien dat ten opzichte van geen werkzaamheden de PM10 concentratie vanuit alle windstreken verhoogd is. Wat ook opvalt is dat de windsnelheid gedurende deze periode ook relatief laag was, maximum ligt op 6 m/s maar over het algemeen is de windsnelheid 4 m/s of lager (gemeten op 22 m hoogte op het KNMI-station te Eindhoven). Dit doet vermoeden dat de werkzaamheden dicht bij de CAIREBox plaats hebben gevonden. De sterkste PM10 verhoging is zichtbaar vanuit het zuidoosten (gehele hoek tussen oost- tot zuidenwind is verhoogd). Mogelijk vallen

deze verhogingen daarmee te koppelen aan de aanleg van een nieuwe tunnel onder de A2/N2 ter hoogte van bedrijventerrein GDC Acht, wat ongeveer in deze periode heeft gespeeld.



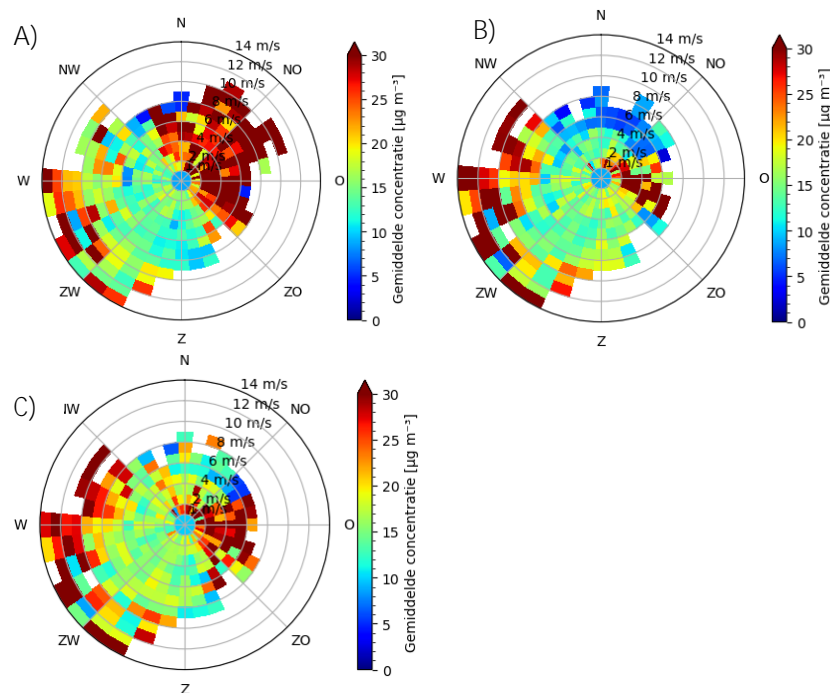
Figuur 24 De grafiek toont de gemeten deeltjesaantallen UFP tussen juli 2021 en juni 2022 op 10-minutenbasis. De kaart toont de windroosplots van UFP voor de 3 meetlocaties rond het vliegveld.

In het luchthavengebied is de gemiddeld gemeten UFP-concentratie op elke meetlocatie tussen de 14.000 en 15.000 deeltjes per cm³. Wanneer naar de windrozen van UFP in figuur 24 gekeken wordt valt op dat op alle drie de locaties UFP-verhogingen worden waargenomen vanaf de start- en landingsbaan en de platforms van Eindhoven Airport. Voor I14 valt op dat ook vanaf de snelweg ten westen van het station verhogingen worden waargenomen. Dit was ook al zichtbaar in 2021. De wegwerkzaamheden nabij de Landardseweg hebben geen invloed hierop, want deze periode is niet meegenomen in deze analyse (in verband met problemen met de UFP sensoren).



Figuur 25 De dagelijkse gang van UFP-concentratie op de drie meetlocaties rond het vliegveld in 2022.

De gemiddelde dagelijkse gang van UFP is zichtbaar in figuur 25. De UFP-concentratie heeft een duidelijke piek in de ochtend rond 9:00. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het vliegverkeer wat in de ochtend opstart. Eenzelfde patroon was zichtbaar op de platforms van Eindhoven Airport in van Dinther et al. (2022). Hier was de piek zichtbaar om 8 uur 's ochtend met een maximum tot 150.000 deeltjes per cm^3 (bijna een factor 10 hoger). De hogere UFP-concentraties gevonden in Van Dinther et al. (2022) zal enerzijds veroorzaakt worden doordat de metingen veel dichterbij de vliegtuigen plaatsvonden (op de platforms) anderzijds kan het ook veroorzaakt worden door de meetapparatuur. In Van Dinther et al. (2022) is gebruik gemaakt van high-end apparatuur met een ondergrens van 7 nm, terwijl de sensoren die gebruikt zijn binnen ILM2 een ondergrens hebben van 10 nm. Het aantal deeltjes in deze fractie met de kleinste deeltjes is over het algemeen relatief hoog bij emissies vanuit vliegtuigen, waardoor de sensoren de UFP-concentraties mogelijk onderschatten.



Figuur 26 Windrozen van de NO₂ concentratie op locatie Scherpenering (I02, A), Landardseweg (I14, B) en Luchthavenweg (I25, C) in 2022.

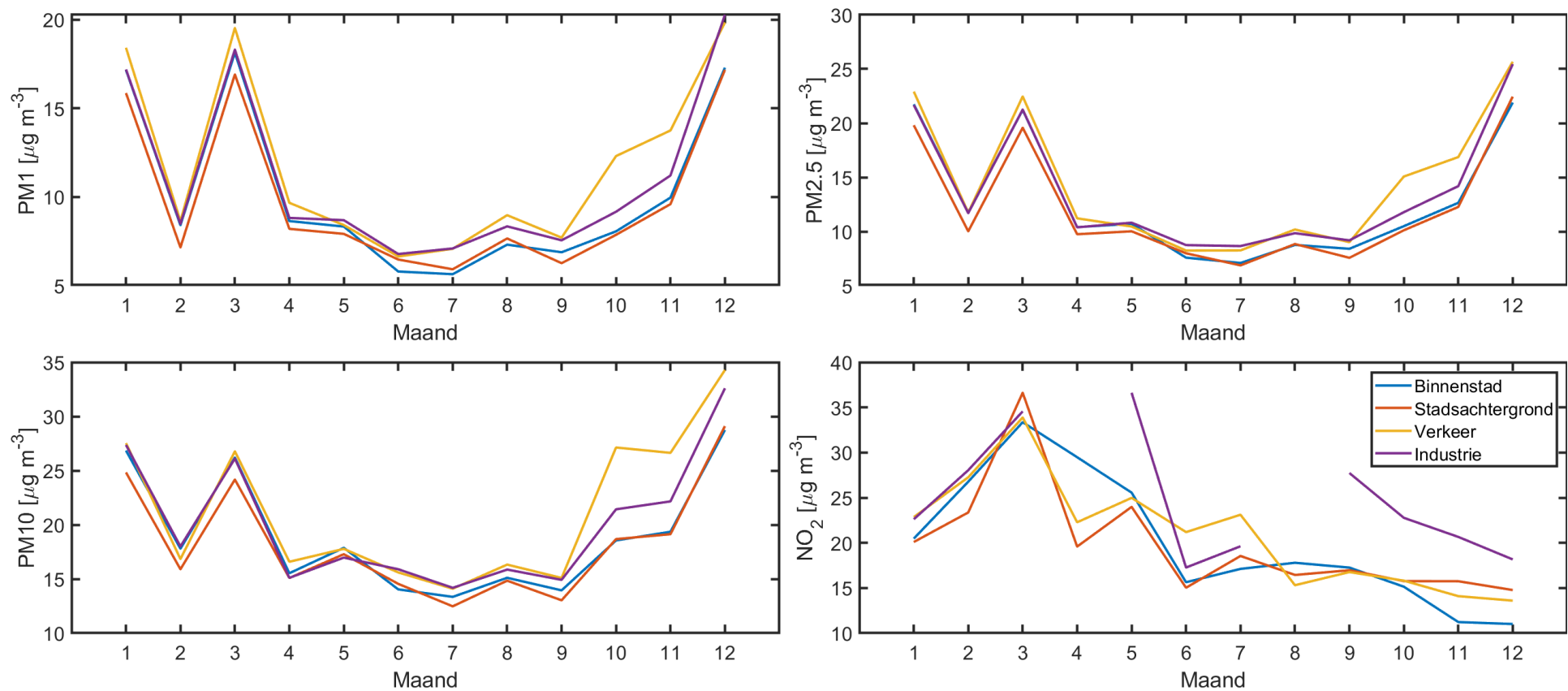
De jaarlijks gemiddelde NO₂ concentraties zijn op het luchthavengebied vergelijkbaar met andere locaties binnen het ILM2 netwerk (zie tabel 5). De grootste bron van NO₂ is over het algemeen verkeer. In figuur 26 staan de windrozen van NO₂ voor de drie locaties in het luchthavengebied. Bij Scherpenering worden de hoogste NO₂ concentraties gemeten bij noordoostenwind. In deze richting zit de start/landingsbaan van Eindhoven airport en de snelweg A2. Zowel lucht- als wegverkeer stoot NO₂ uit en daarmee zijn dit dan ook de meest waarschijnlijke bronnen van NO₂. Ook bij de Landardseweg zien we de invloed van de A2 terug, omdat hier verhogingen vanuit het oosten worden waargenomen. Ook aan de Luchthavenweg zijn er NO₂ verhogingen zichtbaar vanuit het oosten. Dit zal deels veroorzaakt worden door de stad en deels door de A2. Verder valt op dat alle drie de CAIREBoxen verhogingen zien vanuit het zuidwesten tot westen met hoge windsnelheid. Het is belangrijk op te merken dat deze windcondities slechts enkele malen voorkomen in het jaar (slechts vijf keer of minder). Dit maakt dat de onzekerheid op deze waarde hoger is. Dat deze verhogingen met name met hoge windsnelheid worden gemeten, duidt op een bron verder weg. In deze windhoek zijn geen snelwegen of grote steden in de regio. Meest waarschijnlijke bron is dan ook N-wegen in de regio (de N269 en/of N395).

4.4 Het stedelijk gebied – ruimtelijke en temporele variatie

De CAIREBoxen binnen Eindhoven zijn onderverdeeld in vijf klassen om een indicatie te krijgen van verschillen binnen de stad. Deze klassen zijn als volgt gedefinieerd:

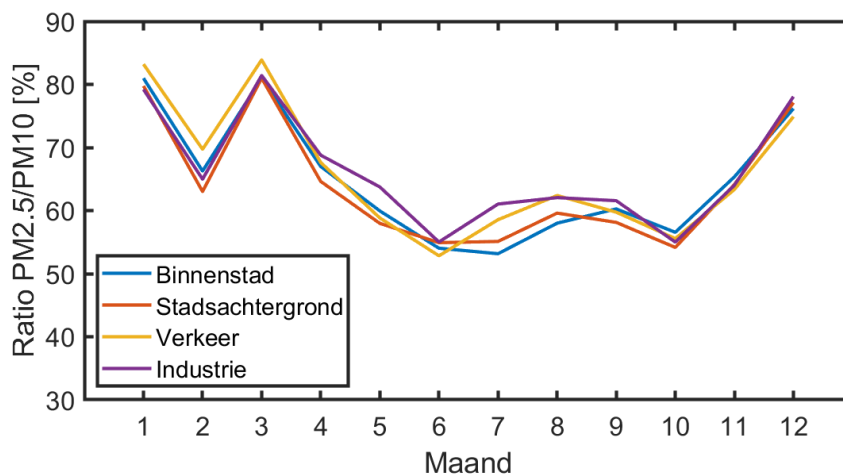
- Binnenstad (n=7): meetlocaties binnen De Ring in Eindhoven;
- Stadsachtergrond (n=4): meetlocaties waar relatief ‘schone’ lucht wordt verwacht
- Industrie (n=2): meetlocaties nabij biomassaverbrandingsfabriek en DAF-fabriek;
- Verkeersintensief (n=4): meetlocaties met intensief verkeer binnen Eindhoven;
- Snelweg (n=4): meetlocaties langs de snelweg en de aanrijroutes richting Eindhoven Airport;

figuur 27 toont de maandelijks gemiddelde concentratie voor de verschillende klassen. De snelweglocaties worden op dit moment buiten beschouwing gelaten voor de 2022 data-analyse, omdat twee locaties gedurende het jaar zijn geplaatst (I01 is geplaatst op 7 juni 2022 en I06 op 4 november 2022). Wat opvalt is dat over het algemeen de stadsachtergrond de laagste concentratie registreert. In 2021 was dit ook het geval (Goudriaan et al., 2022). Het ontbreken van bronnen dicht bij deze meetlocaties is waarschijnlijk de voornaamste reden hiervoor. Hiernaast valt op dat met name de verkeers- en industrielocaties verhoogde fijnstofconcentraties laten zien. Met name in de tweede helft van 2022 is dit het geval, waarbij in oktober en november met name de verkeersgerelateerde meetlocaties hogere concentraties laten zien. Het is niet precies duidelijk waardoor dit komt. Wel is het zo dat deze meetlocaties, zowel gericht op verkeer als op industrie, dicht bij typische stedelijke bronnen zitten waarbij in de wintermaanden ook nog eens meer activiteit in deze gebieden wordt verwacht.



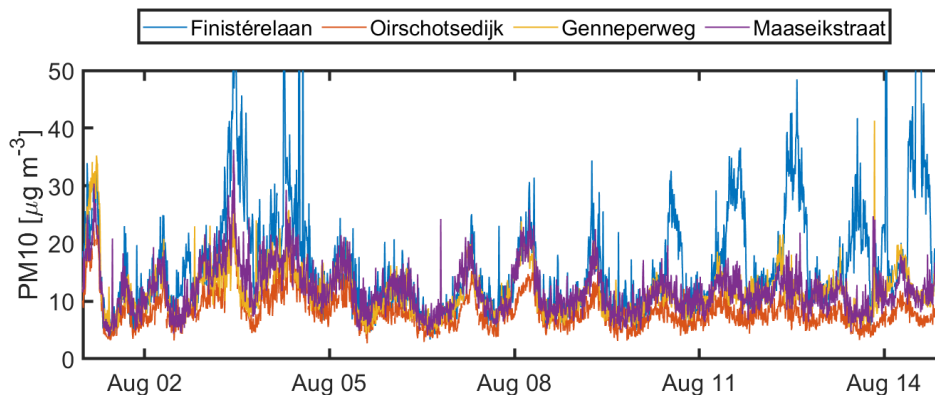
Figuur 27 Maandelijks gemiddelde PM1 (a), PM2.5 (b), PM10 (c) en NO₂ (d) concentraties in $\mu\text{g/m}^3$ in de vier stedelijke klassen in Eindhoven.

figuur 28 toont de ratio tussen PM2.5 en PM10 gedurende het gehele jaar. De verschillende klassen laten over het algemeen vergelijkbare ratio's zien gedurende het jaar. Dit betekent dat zaken die effect hebben op deze ratio zich over de hele stad verspreiden. Wat opvalt is dat deze ratio gedurende de wintermaanden over het algemeen hoger is. Dit betekent dat er dan relatief meer deeltjes onder de 2,5 µm aanwezig zijn in het stedelijk gebied ten opzichte van de zomer. Deze gang over het jaar was in de rapportage van het ILM2 van 2021 ook zichtbaar (Goudriaan et al., 2022). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een toename van verbrandingsprocessen die deze relatief kleine deeltjes uitstoten in de winterperiode. Hierbij kan gedacht worden aan uitstoot van verschillende vormen van gemotoriseerd verkeer en verwarming van huishoudens, via de cv ketel danwel houtkachels.



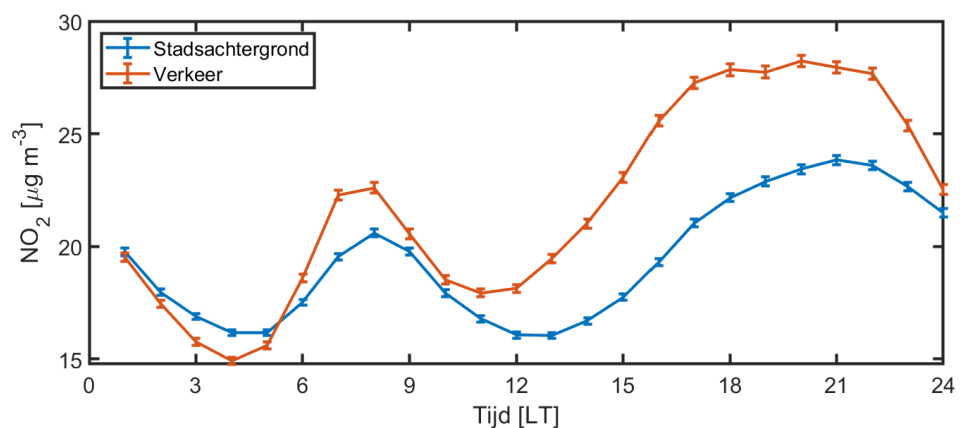
Figuur 28 Maandelijks gemiddelde ratio tussen PM2.5 en PM10 (in %) in de vier stedelijke klassen.

In figuur 29 zijn de uurlijkse gemiddelde PM10 concentraties voor een aantal meetlocaties in Eindhoven zichtbaar. Medio augustus zijn op dagelijkse basis de PM10 concentraties aan de Finistérelaan verhoogd. Hierbij is een dagelijkse gang van PM10 concentraties zichtbaar die vergelijkbaar is aan de daggang zichtbaar aan de Landardseweg (zoals eerder beschreven in dit rapport). In dit geval zijn er geen wegwerkzaamheden in de omgeving van de Finistérelaan geweest. Mogelijk veroorzaken andere werkzaamheden in de omgeving verhoogde PM concentraties.



Figuur 29 Tijdsree van PM10 concentraties (10 minuten) in µg/m³ voor meetlocaties in Eindhoven.

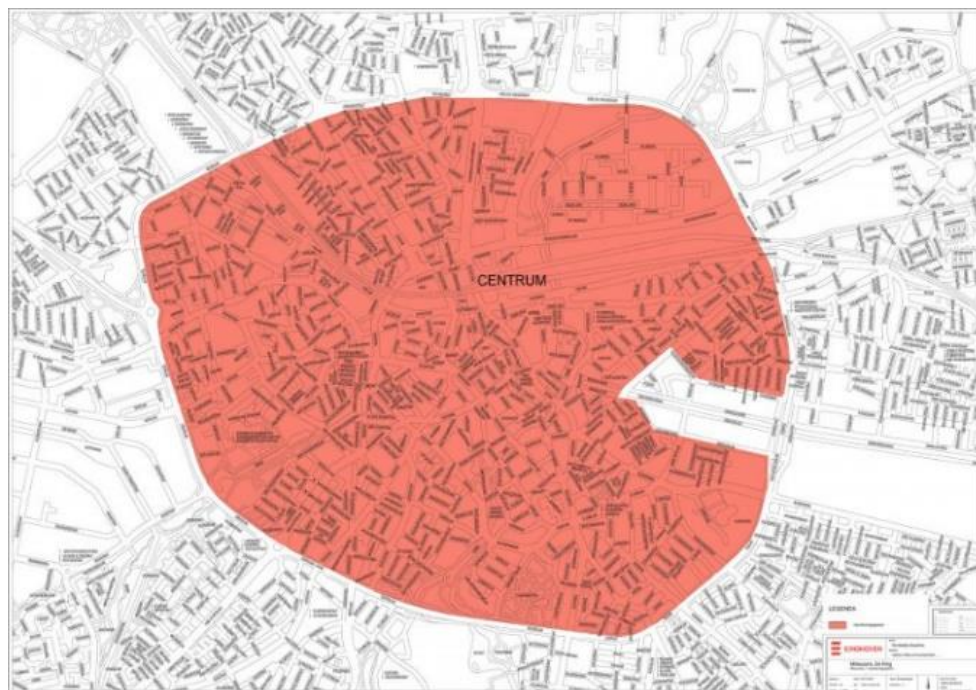
Voor NO₂ verwachten we met name een lokale bijdrage van verkeer. Om te onderzoeken of dit het geval is, hebben we de dagelijkse gang van stadsachtergrond (oftewel verkeersarmgebied) vergeleken met verkeersintensiefgebied (zie figuur 30). Voor beide locaties is een duidelijk dagelijks patroon te zien met een duidelijke piek in de ochtend (tussen 7 en 8 uur) en verhogingen in de avond. Dit toont de duidelijke link aan met verkeer, aangezien we het effect van uitstoot tijdens de ochtendspits duidelijk waar kunnen nemen. De avondspits lijkt uitgesmeerd over een langere periode (tussen 18 en 21 uur), dit komt waarschijnlijk mede door de grenslaaghoogte die afneemt na zonsondergang. Hiernaast valt op dat, zoals verwacht, de piek in NO₂ aanmerkelijk hoger is binnen een verkeersintensief gebied ten opzichte van stadsachtergrond. Hierdoor komt binnen het ILM2 meetnetwerk duidelijk naar voren dat de NO₂ concentratie verhoogd is op plekken met veel verkeer.



Figuur 30: Dagelijkse gang van NO₂ voor stadsachtergrond en verkeersintensiefgebied in Eindhoven in 2022.

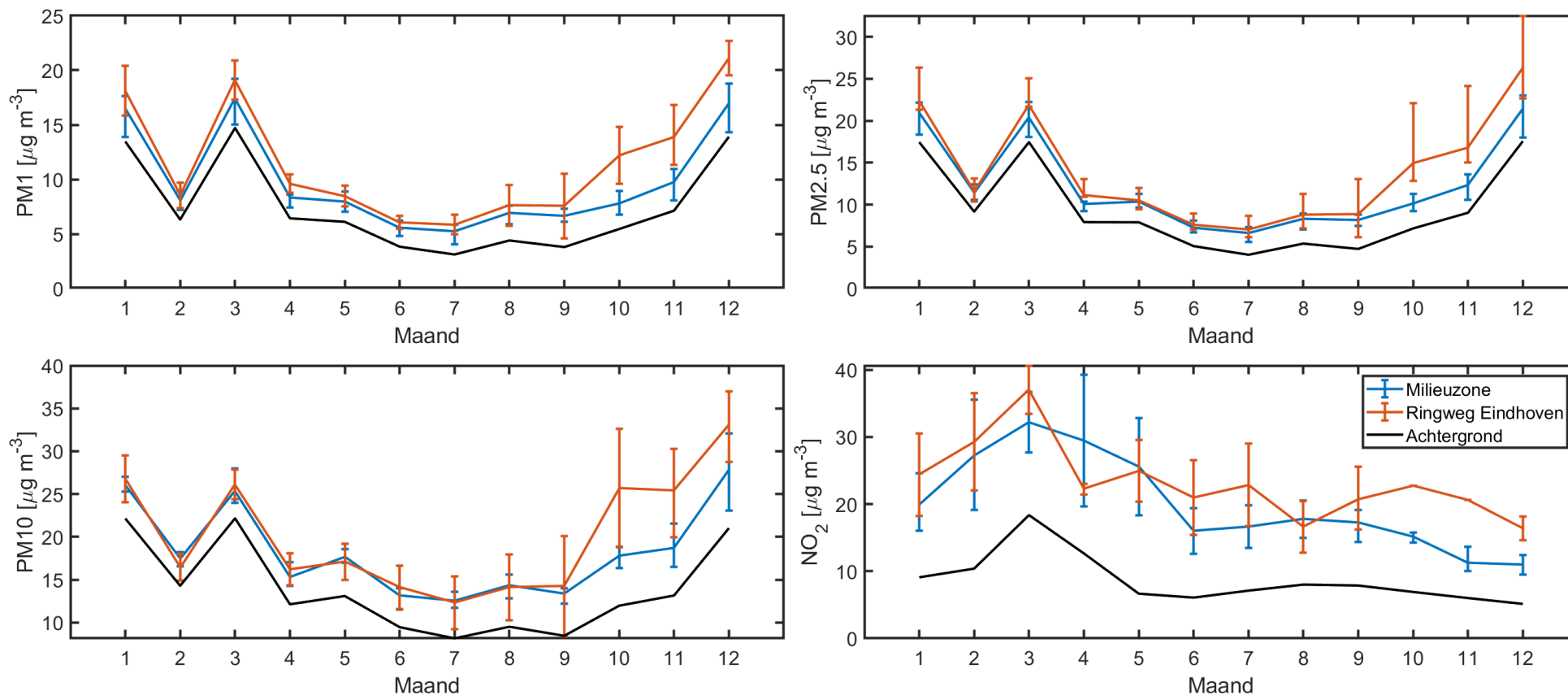
Op het portaal <https://data.eindhoven.nl/explore/dataset/stikstofdioxiide-metingen/table/?disjunctive.locatie> staat een overzicht van gemeten jaarlijkse NO₂ concentraties via Palmes buisjes binnen de gemeente Eindhoven. Ook daar is zichtbaar dat de verkeersintensieve locaties hogere NO₂ concentraties laten zien dan verkeersarme locaties. Verkeersintensieve locaties liggen aan De Ring, zoals Kennedylaan (jaargemiddelde van 25-35 µg/m³; ILM2 meetpunt geeft hier gemiddeld 24,6 µg/m³ (zie tabel 5)) en Botenlaan (22 µg/m³; ILM2 19,7 µg/m³) maar ook binnenstedelijke meetlocaties zoals de Vestdijk (21-22 µg/m³; ILM2 25,6 µg/m³) en Wal (21 µg/m³; 19,7 µg/m³). De meetlocatie binnen het H. Dunantpark, wat gezien kan worden als achtergrondlocatie, heeft volgens de Palmes buisjes een jaargemiddelde NO₂ concentratie van 12 µg/m³.

Binnen de stad Eindhoven is er een milieuzone ingesteld, vanaf de Ring richting het centrum (zie figuur 31). Vanaf januari 2022 is deze zone alleen toegankelijk voor vrachtauto's, bussen en touringcars vanaf emissieklasse 6. Sinds 1 april 2022 wordt binnen het gehele gebied gehandhaafd. Er zijn verschillende meetlocaties binnen dit gebied (I09, I11, I12, I24, I29 en I39) en een aantal net erbuiten langs de Ring (I08, I28, I30 en I40).



Figuur 31: Milieuzonegebied (rood) in Eindhoven.

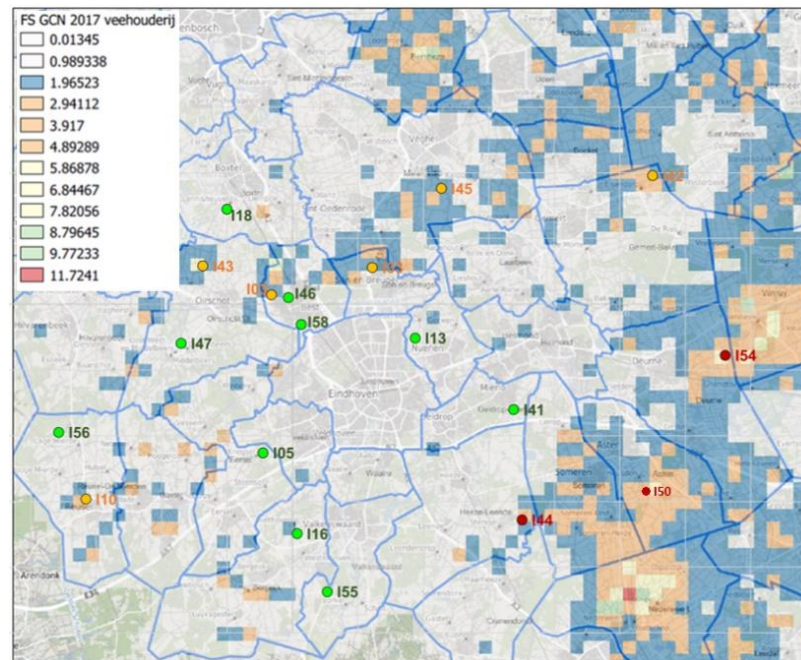
In figuur 32 staan de maandgemiddelde concentraties binnen de milieuzone, op de Ringweg en de achtergrond. Voor fijnstof is zichtbaar dat deze binnen de milieuzone over het algemeen licht lager is dan daarbuiten. Voor PM1 en PM2.5 is dit het gehele jaar het geval. Voor PM10 is er met name een verschil zichtbaar vanaf september, ook uitschieters naar boven komen vaker voor buiten de milieuzone. Wat hier mee kan spelen is dat I08 vanaf 17 september 2022 data uitval heeft (in verband met defecte lichtmast). Op deze locatie werden relatief lage PM concentraties gemeten. Voor NO₂ is er enig verschil in concentraties zichtbaar tussen de milieuzone en de Ringweg. Over het algemeen liggen de NO₂ concentratie binnen de milieuzone iets lager dan aan de Ring, op enkele maanden na. Hier kan ook databeschikbaarheid een rol spelen, aangezien die voor NO₂ lager ligt dan voor fijnstof.



Figuur 32 Maandgemiddelde PM1, PM2.5, PM10 en NO₂ concentraties in 2022 met als errorbar de 25 en 75-percentiel waarde binnen het handhavinggebied van de Milieuzone, ringweg Eindhoven (net buiten de Milieuzone) en de achtergrondconcentraties.

4.5 Het buitengebied – ruimtelijke en temporele variatie

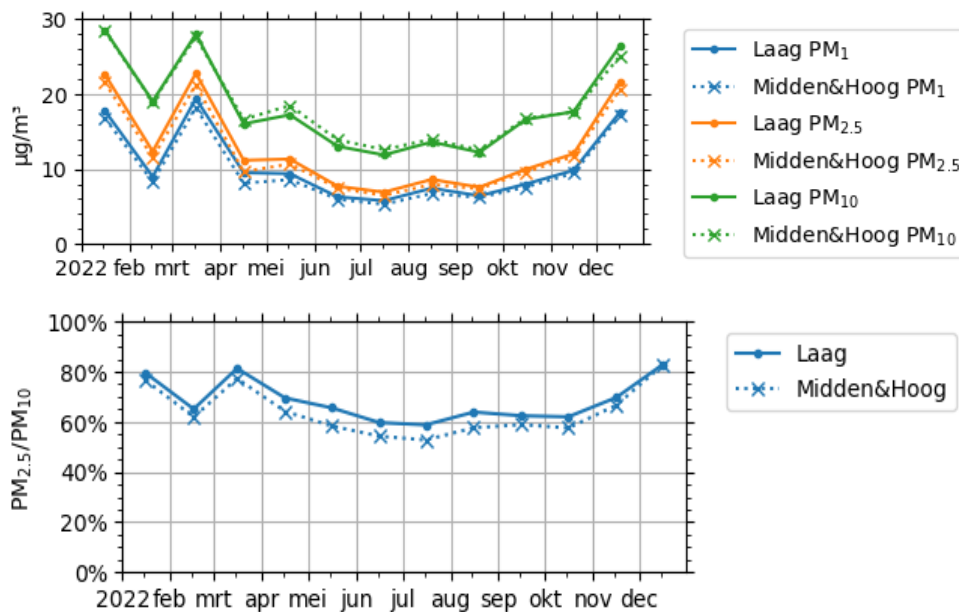
In het buitengebied meet het ILM2 op negentien meetlocaties de luchtkwaliteit. De selectie van de meetlocaties in het buitengebied is gedaan op basis van de GCN kaart met de veehouderij bijdragen van stallen op de PM10 concentraties. In figuur 33 zijn in groen de meetlocaties met een verwachte lage bijdrage ($< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vanuit veehouderijemissies gevisualiseerd. In totaal zijn dit tien meetlocaties: de extra meetlocaties in Best, Oirschot en Reusel-de Mierden zijn alle vier toegevoegd aan deze categorie. In oranje zijn de meetlocaties gevisualiseerd met een verwachte middelhoge bijdrage ($1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$); dit betreffen zes meetlocaties. In rood zijn de meetlocaties gevisualiseerd met een verwachte hoge bijdrage ($>5 \mu\text{g}/\text{m}^3$); dit betreffen drie meetlocaties actief in 2022.



Figuur 33 De ILM2 meetlocaties in het buitengebied geplote op de GCN kaart 2017 van verwachte bijdrage aan PM vanuit veehouderij in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De rode, gele en groene punten representeren meetlocaties waar de verwachte bijdrage PM respectievelijk hoog, medium en laag wordt ingeschat.

De gemiddeld gemeten concentraties fijnstof per locatiecategorie staan gepresenteerd in figuur 34. De klassen middelhoog en hoog zijn samengevoegd in deze vergelijking; hiermee worden de maandgemiddelde meetwaarden berekend over een groter aantal meetlocaties wat de vergelijking minder kwetsbaar maakt voor uitbijters. In de zomermaanden zijn de gemeten concentraties fijnstof lager dan in de wintermaanden. Het algemene beeld correspondeert met 2021 waarbij er geen grote verschillen in gemeten PM concentraties zichtbaar zijn tussen de categorieën laag en (middel)hoog (Goudriaan et al., 2022). Wat hierin mogelijk meespeelt is dat het de GCN kaart relatief lage bijdrages $1-5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ van veehouderij laat zien op een relatief hoge achtergrondconcentratie fijnstof ($10-30 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Het onderscheid kan daardoor moeilijk terug te zien zijn in de metingen. Maar misschien speelt ook overschatting van de bijdrage veehouderij een rol. Net als in 2021 lijkt de fractie PM2.5 binnen PM10 voor de naar verwachting laag belaste locaties iets kleiner dan op de

naar verwachting middelhoog tot hoog belaste locaties. In de wintermaanden worden gemiddeld een grotere fractie kleinere deeltjes gemeten in alle categorieën.

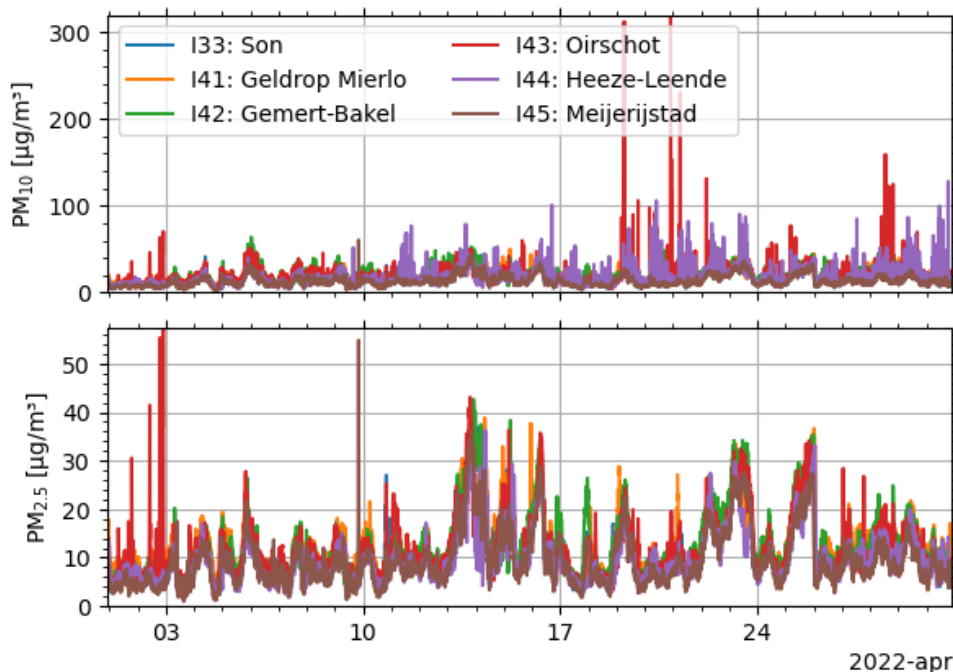


Figuur 34 De gemiddeld gemeten fijnstofconcentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (boven) en ratio tussen $\text{PM}_{2.5}$ en PM_{10} (onder) op meetlocaties waarbij de verwachte bijdrage aan PM_{10} concentraties vanuit veehouderij respectievelijk laag (< 1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en middelhoog (1-5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)/ hoog (> 5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) worden ingeschat op basis van de GCN kaart (boven).

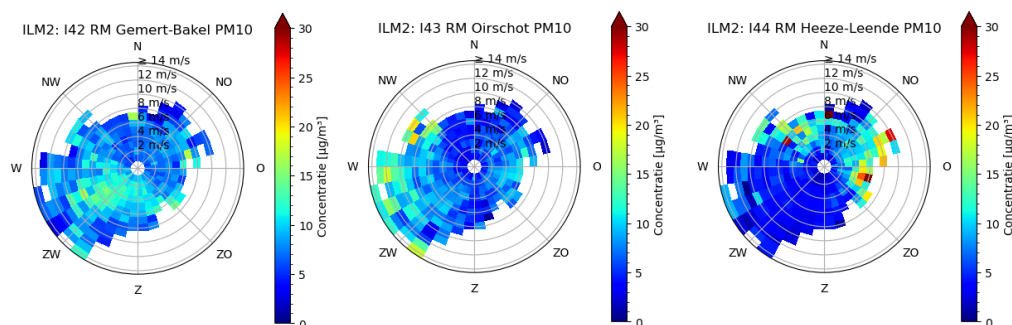
In 2021 zijn er een aantal meetlocaties geïdentificeerd die concentratiepieken lieten zien die mogelijk samenvallen met de aanwezigheid van veehouderijen in de nabije omgeving (Goudriaan et al., 2022). Dit was het geval voor I42 (Keizersven - Gemert Bakel), I43 (Oirschot – Krukkerd) en I44 (Ronde Bleek - Heeze-Leende). Ook in 2022 zijn deze concentratiepieken zichtbaar voor deze meetlocaties in de meetgegevens per 10 minuten. Zo toont figuur 35 metingen van een aantal meetlocaties in de regio, waaronder meetlocaties I42, I43 en I44. Daarbij is zichtbaar dat PM_1 en $\text{PM}_{2.5}$ op alle meetlocaties een vrijwel identiek verloop over de tijd kennen. In de gemeten concentraties PM_{10} echter zijn met enige regelmaat concentratiepieken zichtbaar op de meetlocaties I42, I43 en I44. Ook tonen de gemeten PM_{10} concentraties sterkere fluctuaties (naar boven) dan de andere meetlocaties. Dit komt waarschijnlijk door kleine variaties in windrichting waardoor emissiepluimen net wel of net niet over de meetlocatie komen. Dat deze fluctuaties naar boven met name zichtbaar zijn in PM_{10} fractie is in lijn met onderzoek van Lopez et al. (2011), waar aangetoond is dat fijnstof afkomstig uit boerderijen van biologische oorsprong met name een diameter heeft boven de $4 \mu\text{m}$.

figuur 36 toont de windrozen van PM_{10} behorende bij deze drie meetlocaties. De gemeten concentraties PM_{10} naar windrichting verschillen zichtbaar in de windroosplots. Hierbij is gecorrigeerd voor het aandeel achtergrondconcentratie in de meting. Waar veehouderijen ten opzichte van de meetlocaties I42 en I43 zich voornamelijk (zuid-)westelijk van de meetlocaties bevinden, is dit ten opzichte van I44 (zuid-)oostelijk. Dit verschil lijkt terug te zien in de gemeten gemiddelde concentraties per windrichting op deze drie meetlocaties (figuur 36). Er zijn ook meetlocaties gericht op veehouderij waar de beschreven pieken in PM_{10} concentraties niet uitgesproken zichtbaar zijn. Dit geldt bijvoorbeeld voor de meetlocatie I54 in Deurne, waar geen uitgesproken PM_{10} pieken zichtbaar zijn. Mogelijk dat het type veehouderij hiermee samenhangt. Bij I42, I43 en I44 staat een pluimveehouderij in de nabije omgeving van de meetlocatie. Volgens ‘Fijnstof - Kenniscentrum InfoMil’ worden

pluimveehouderijen als belangrijkste veroorzakers van primair fijnstof gezien binnen de broncategorie veehouderij, gevolgd door varkenshouderijen, kalverbedrijven, melkvee- en vleesbedrijven en geitenbedrijven.⁷ Mogelijk dat de gemeten pieken samenhangen met bepaalde activiteiten, maar om dit verder te kunnen duiden zouden hier gegevens over beschikbaar moeten worden gemaakt.



Figuur 35 Maandoverzicht van april 2022 voor PM2.5 en PM10 in µg/m³ van een aantal meetlocaties in de regio Zuidoost-Brabant. Het is zichtbaar dat de metingen van PM10 op de meetlocaties I42, I43 en I44 op regelmatige basis concentratiepieken vertonen die niet zichtbaar zijn op de andere meetlocaties.



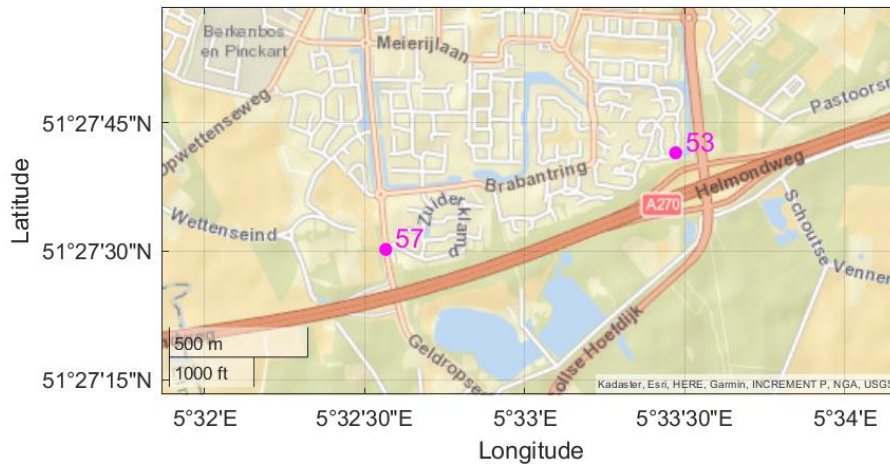
Figuur 36 Windrozen PM10 in µg/m³ zonder achtergrondconcentraties van I42 in Gemert-Bakel I43 in Oirschot en I44 in Heeze-Leende.

4.6 Mobiele meetboxen

In 2022 zijn er twee van de zes mobiele meetboxen ingezet binnen het ILM2. Beide boxen zijn geplaatst in Nuenen met name om naar verkeersinvloeden te kijken. I53 is geplaatst aan de Zandschel/Witte put in Nuenen en I57 aan de Geldropsedijk. Hiermee liggen ze beide ten

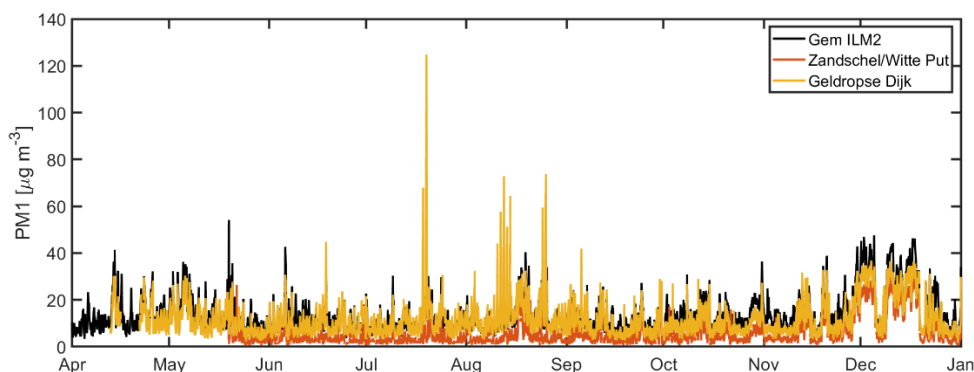
⁷<https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/gezondheid/handreiking/gezondheidseffecten/welke-stoffen-zorgen/fijnstof>

noorden van de A270 (zie figuur 37). Bij I53 ligt tevens de af- en aanrijroute naar de snelweg dichtbij ten oosten van het meetpunt. I53 is op 19 mei 2022 geplaatst en I57 op 12 april 2022.



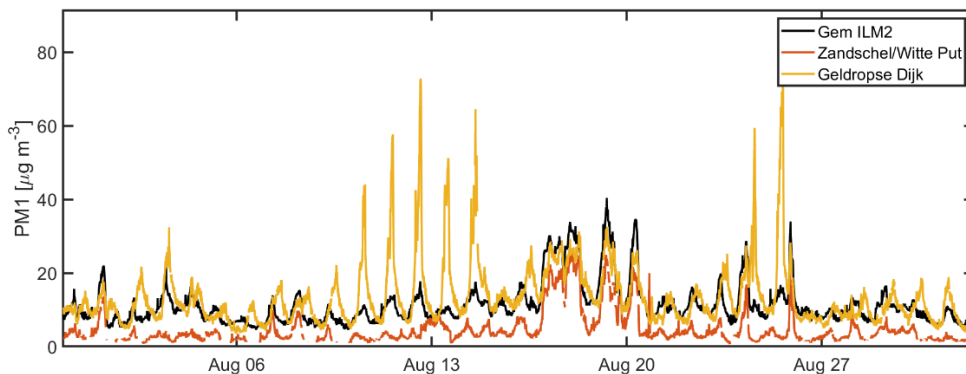
Figuur 37: Overzichtskaart van de mobiele meetpunten in Neunen, met I053 aan de Zandschel/Witte put en I057 aan de Geldropse dijk.

De gehele tijdserie van PM1, op 10 minuten basis, is geplot in figuur 38. Wat hierbij opvalt is dat de Geldropse Dijk over het algemeen hetzelfde patroon en PM1 concentratie vertoont als het gemiddelde van alle ILM2 boxen. Wel zijn er momenten dat de Geldropse Dijk hogere piekwaardes laat zien, dit zijn waarschijnlijk events in de omgeving die de PM1 concentratie lokaal verhogen. Voor de Zandschel/Witte put zien we dat de PM1 concentratie over het algemeen lager ligt dan die gemiddeld over het gehele PM1 netwerk (en als de Geldropse Dijk). De dynamiek door de tijd heen is wel gelijkend. Waarschijnlijk worden deze lager gemeten concentraties deels veroorzaakt door een niet juiste kalibratie van de box. Het is onwaarschijnlijk dat op deze locatie substantieel lagere PM1 concentraties liggen voor de gehele periode. Vergelijkbare patronen zijn zichtbaar voor PM2.5 en PM10 (hier niet zichtbaar).



Figuur 38: Tijdseries van PM1 concentratie op 10 minuten gemiddeld over gehele ILM2-netwerk (zwart), Zandschel/Witte put (oranje) en Geldropse Dijk (geel).

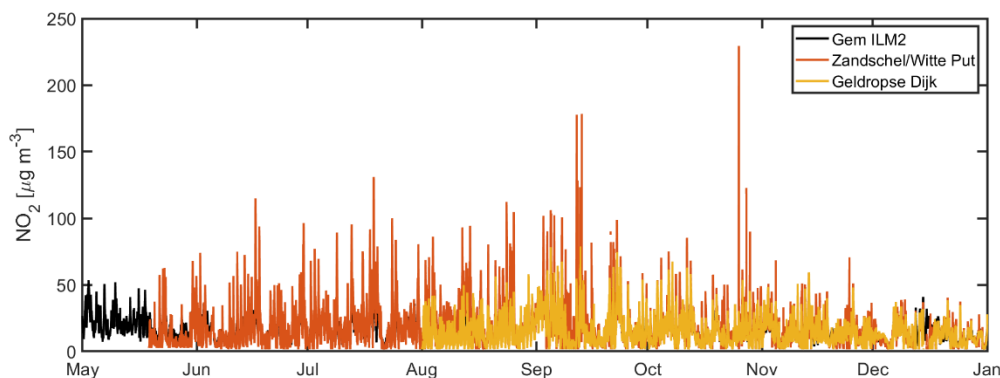
In figuur 39 is duidelijk te zien dat er midden augustus een aantal dagen zijn dat de PM1 concentratie op de Geldropse Dijk sterk verhoogd is ten opzichte van gemiddelde ILM2 waarden. Dit is een vergelijkbaar patroon als eerder waargenomen is op Landardseweg in het luchthavengebied; verhoogde concentraties overdag. Het is op dit moment onduidelijk wat dit veroorzaakt.



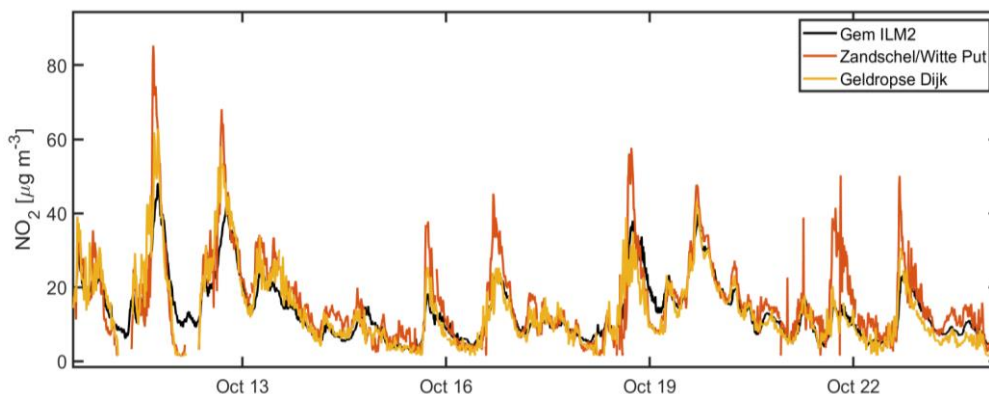
Figuur 39: Tijdseries van PM1 concentratie op 10 minuten gemiddeld over gehele ILM2-netwerk (zwart), Zandschel/Witte put (oranje) en Geldropse Dijk (geel) ingezoomd in augustus.

De tijdserie voor NO₂ is getoond in figuur 40. Op locatie Zandschel/Witte put is de NO₂ data voor de eerste paar maanden afgekeurd. Wat verder opvalt is dat de NO₂ concentratie op de twee locaties ook over algemeen oploopt met de gemiddelde ILM2 concentraties. Pieken naar boven worden voor NO₂ vaker waargenomen op de Zandschel/Witte Put. In figuur 41 is ingezoomd op een specifieke periode: gezien de timing van de bovenliggende piek (eind van de middag/begin van de avond) is de meest waarschijnlijke bron van deze verhoogde NO₂ concentratie verkeer.

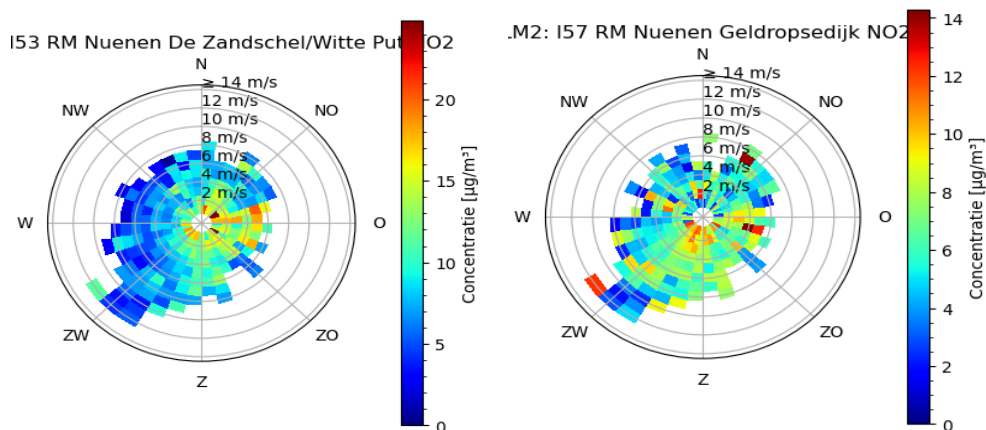
Om de invloed van verkeer in meer detail te onderzoeken staan de windrozen van NO₂ voor de locaties in Nuenen geplot in figuur 42. Voor I53 zien we met name verhogingen van NO₂ uit het oosten en het zuiden. In het oosten is de toegangsroute naar de snelweg en een wat drukker tweebaansweg. In het zuiden ligt de snelweg A270. Voor I57 zien we met name verhoogde NO₂ concentraties vanuit het zuiden, waar de snelweg ligt. Ook vanuit het oosten zijn er NO₂ verhogingen zichtbaar, waarschijnlijk vanaf de Geldropse Dijk zelf, aangezien het meetpunt ten westen van de weg ligt.



Figuur 40: Tijdseries van NO₂ concentratie op 10 minuten gemiddeld over gehele ILM2-netwerk (zwart), Zandschel/Witte put (oranje) en Geldropse Dijk (geel).



Figuur 41: Tijdsree van NO₂ concentratie op 10 minuten gemiddeld over gehele ILM2-netwerk (zwart), Zandschel/Witte put (oranje) en Geldropse Dijk (geel) ingezoomd in oktober.



Figuur 42 Windrosen NO₂ in µg/m³ zonder achtergrondconcentraties van I53 aan de Zandschel/Witte put en I57 aan de Gedropse Dijk in Neunen.

Deze mobiele meetpunten zijn geplaatst om de invloed van verkeer te onderzoeken. Met name de gemeten NO₂ concentraties laten zien dat deze invloeden van verkeer er inderdaad zijn. Dit geldt met name voor de meetlocatie I53 Zandschel/Witte put, waar met enige regelmaat concentratiepieken zichtbaar zijn die samenhangen met de verwachte patronen in de tijd qua verkeersdrukke. De windrosen laat dit ook zien, waarbij met name verhogingen ontstaan bij wind komende vanaf de oprit van de snelweg en uit de richting van de snelweg zelf.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In 2022 is op 49 meetlocaties in Zuidoost-Brabant de luchtkwaliteit bemeaten. De performance van het meetnet in 2022 is in belangrijke mate gelijkend aan de performance van het ILM2 meetnet in 2021:

- De uptime van de meetkasten is gemiddeld gezien hoog met rond de 98% databeschikbaarheid.
- De PM meetgegevens zijn relatief stabiel over de tijd heen. Ten opzichte van referentieapparatuur is een bias tot ongeveer 20% zichtbaar per individuele box, wat gezien mag worden als een relatief lage bias voor sensoren.
- Ten opzichte van 2021 is er een selectiemechanisme gebruikt om NO₂ meetgegevens te selecteren voor analyse. Hiermee bleef 56% van de maximale hoeveelheid meetgegevens beschikbaar voor analyse.
- Voor UFP waren de meetgegevens van juli tot en met november 2022 afwijkend door problemen met de meetsensoren. Daarmee is ervoor gekozen de periode juli 2021 tot en met juni 2022, en daarmee een jaar aan metingen, te analyseren in deze rapportage.

De analyses van het meetjaar 2022 bevestigen voor een belangrijk deel de grootschalige patronen die ook in 2021 zichtbaar waren. De metingen maken inzichtelijk dat PM zich voor voornamelijk als een deken over de regio heen beweegt. Daarbij stijgen bij met name wind uit oostelijke richting de concentraties in de gehele regio. Wel zijn op individuele meetlocaties waarschijnlijk invloeden zichtbaar van lokaal gegenereerde PM emissies.

Opvallende meetlocaties zijn:

- Aan de meetlocatie I14 aan de Landardseweg worden van van juni tot en met begin september sterk verhoogde PM concentraties gemeten gedurende de dag. Dit hangt waarschijnlijk samen met de nabijgelegen uitvoering van werkzaamheden aan de weg.
- In het buitengebied is er zowel in 2021 als 2022 gemiddeld geen duidelijk onderscheid gezien in gemeten fijnstofconcentraties op meetlocaties waar wel of geen verhoogde bijdrage wordt verwacht uit veehouderij. Wel zijn er, gelijk aan 2021, een aantal meetlocaties die met enige regelmaat pieken in PM concentraties laten zien. Dit is het geval voor I42 (Keizersven - Gemert Bakel), I43 (Oirschot – Krukkerd) en I44 (Ronde Bleek - Heeze-Leende). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door specifieke lokale omstandigheden. Alle drie deze locaties liggen in de buurt van pluimveehouderijen, mogelijk speelt dit hierbij een rol.
- In de winter worden hogere PM concentraties gezien waarbij een relatief hoger percentage deeltjes kleiner dan PM_{2.5} aanwezig is. In het landelijk meetnet luchtkwaliteit (LML, luchtmeetnet.nl) is zichtbaar dat de hoeveelheid roet in de regio, met name ook binnen stedelijk gebied, toeneemt in de wintermaanden. Deze toename wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verbrandingsprocessen die deze relatief kleine deeltjes uitstoten. Hierbij kan gedacht worden aan uitstoot van verschillende vormen van gemotoriseerd verkeer en verwarming van huishoudens, via de cv ketel danwel houtkachels.

NO₂ kent een sterker lokaal karakter waarbij verkeer een belangrijke bron is. In het stedelijk gebied liggen de gemiddeld gemeten concentraties daarbij, volgens verwachting, hoger dan in het landelijk gebied. Zowel ochtend- als avondspits zijn zichtbaar in de meetresultaten waarbij gemeten concentraties tijdens de avondspits hoger lijken dan in de ochtend.

Opvallend is verder:

- Binnen het stedelijk gebied meten CAIREBoxen in verkeersgebieden hogere NO₂ concentraties ten opzichte van stadsachtergrondlocaties. Meetlocaties waar dit onder andere zichtbaar is zijn Fellenoord, Vestdijk, Willemstraat en Beukenlaan.
- Zowel in de ochtend- als de avondspits is een hogere NO₂ concentratie gedurende werkdagen waarneembaar. Opvallend is dat de piek van NO₂ in de weekenden in de ochtend gemiddeld gezien vrijwel ontbreekt, ook in stedelijk gebied. Dit verschil in piekconcentraties in de ochtend tussen week- en weekenddagen geeft enig inzicht in wat er met verkeersmaatregelen te winnen is.
- In de mobiele meetcampagne uitgevoerd in Nuenen is deze dagelijkse gang goed terug te zien op meetlocatie I53 Zandschel/Witte put. De windroos laat daarbij zien dat verhogingen in NO₂ met name zichtbaar is bij wind komende vanaf de oprit van de snelweg en uit de richting van de snelweg zelf. Dit zijn tevens locaties waar veel verkeer wordt verwacht.

De UFP-meetgegevens tonen invloeden van weg- en vliegverkeer. Dit blijkt uit de dagelijkse trends en windrozen aan de meetlocaties rond Eindhoven Airport. Gemeten concentraties zijn daarbij aanzienlijk hoger dan de achtergrondconcentraties UFP (pieken op uurbasis tot 25.000 deeltjes per cm³ ten opzichte van achtergrond waarden tussen de 3.000 en 5.000 deeltjes per cm³). Voor de meetlocaties I02 en I25 toont de windroos dat verhogingen in UFP met name gemeten worden bij wind vanaf de start- en landingsbaan en platforms van de luchthaven. Bij I14 aan de Landardseweg lijkt ook de invloed van de snelweg A2 zichtbaar.

De gebruikte sensoren zijn geen referentieapparatuur. Het is toch aannemelijk dat op geen van de meetlocaties de wettelijke EU-grenswaarden voor de jaargemiddelde concentraties PM_{2.5}, PM₁₀ of NO₂ worden overschreden. De WHO-advieswaarden uit 2021 worden, volgens de metingen van het ILM2, op de meeste locaties wel overschreden. Dit stemt overeen met het beeld voor grote delen van Nederland (Maas et al., 2022).

5.2 Aanbevelingen

De resultaten van de analyses uit 2022 bouwen grotendeels voort op de eerste inzichten opgedaan in 2021. De aanbevelingen voor verdere inbedding van het meetnet in de regio Zuidoost-Brabant zijn daarmee in grote mate gelijkend aan de aanbevelingen gedaan in de eerste jaarrapportage.

Er is op een aantal vlakken behoefte aan meer informatie om betere duiding van de meetgegevens mogelijk te maken: dit gaat bijvoorbeeld over informatie over verkeersintensiteit, verkeerssamenstelling, aantallen vluchten, staltypes en aantallen dieren. Daarmee kunnen verbanden in tijd en ruimte tussen luchtkwaliteit en mogelijke bronnen onderzocht worden. Ook kan gedacht worden aan aanvullende metingen om bijvoorbeeld de invloed van houtstook op de luchtkwaliteit in het stedelijk domein beter te kunnen kwantificeren. Daarnaast is de suggestie om de UFP sensoren die nu in het luchthavengebied worden gebruikt aanvullend in te zetten langs (snel)wegen. Daarmee kan naast de UFP

deeltjesaantallen in het luchthavengebied ook de deeltjesaantallen rond wegen in de regio inzichtelijk worden gemaakt.

Het behalen van de meeste gezondheidswinst gerelateerd aan de luchtkwaliteit hoeft niet alleen te gaan over het verminderen van concentraties (ultra)fijnstof en NO₂ in de atmosfeer: niet overal heeft luchtvervuiling dezelfde impact. Dit hangt bijvoorbeeld ook samen met waar en wanneer mensen daadwerkelijk worden blootgesteld aan slechte lucht. Zie bijvoorbeeld de rapportage van de GGD over blootstelling in Brabant hoe dit op jaargemiddelde basis in kaart kan worden gebracht (Denissen, 2022). En de schadelijkheid van fijnstof is mede afhankelijk van de deeltjesgrootte en chemische samenstelling wat weer verband houdt met het type bron. Een gezondheidsgerichte aanpak rond luchtkwaliteit richt zich daarmee naast het verlagen van heersende concentraties van luchtvervuilende stoffen op het verminderen van blootstelling en het identificeren van bronnen met de meeste gezondheidsimpact.

Uit de analyse van de meetgegevens van 2022 komen een aantal aandachtspunten als het gaat om de luchtkwaliteit voor de onderzoeksgebieden stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied:

- Het onderzoeken van mogelijkheden om in de wintermaanden emissies van fijnstof gerelateerd aan verbrandingsprocessen te reduceren is aanbevolen. Dit kan bijvoorbeeld door het gebruik van efficiënte verwarmingsbronnen te stimuleren en het optimaliseren van voorlichting over houtstook (zoals gebruik van stookwijzer). Ook kan aanvullend onderzoek naar de bronnen van deze toename van de PM_{2.5} fractie in de winter helpen om tot gerichte maatregelen te komen.
- Binnen het stedelijk gebied is verkeer, volgens verwachting, een belangrijke bron voor de lokaal heersende luchtkwaliteit. Uit de analyse blijkt dat de stadsachtergrondlocaties de laagste waarden van PM en NO₂ registreren in het stedelijk gebied. Vergroening binnen de stad, waar mogelijk, en daarmee deels ook het weghalen van bronnen op bepaalde locaties zal zorgen voor een verbetering van de luchtkwaliteit. De milieuzone lijkt een licht positief effect te hebben op de luchtkwaliteit binnen de Ring. Een milieuzone, waarbij de schadelijkste voertuigen worden geweerd, danwel het weghalen van emissiebronnen is met name relevant op plekken waar veel mensen samenkomen.
- Vliegverkeer zorgt voor verhogingen van UFP in het luchthavengebied. Wat nog niet kan worden vastgesteld is hoe ver deze invloed reikt in de regio. Voor een eerste indicatie van deze verspreiding is het gebruik van verspreidingsmodellen een optie, met name om te zien of er substantiële verhogingen in UFP te verwachten zijn in woon- en werkgebieden rond de luchthaven. Ook zichtbaar in de metingen is dat er een bijdrage is van UFP uit wegverkeer. Het is daarmee aanbevolen ook metingen te gaan verrichten aan drukke wegen waar veel mensen komen.
- In het buitengebied worden op een aantal meetlocaties op regelmatige basis PM₁₀ concentratiepieken gemeten welke mogelijk samenhangen met veehouderij in de nabijheid van die meetlocaties. Op andere meetlocaties waar ook veehouderijen in de nabijheid staan is dit niet het geval. Het is daarom van belang om vast te gaan stellen of 1) deze concentratiepieken inderdaad direct te relateren zijn aan veehouderij in de nabijheid van de meetlocatie, 2) welke type veehouderij, activiteiten, en omstandigheden deze concentratiepieken veroorzaken en 3) of er mogelijkheden zijn deze concentratiepieken te reduceren.
- In 2022 lijkt het zo dat nabijgelegen (weg)werkzaamheden kunnen leiden tot een duidelijk waarneembare stijging van PM en daarmee een verslechtering van de luchtkwaliteit. Het is daarmee aan te raden (weg)werkzaamheden waar mogelijk te beperken en stofbeperkende maatregelen te nemen. Ook kan er advies gegeven worden

bepaalde plekken op het moment van de werkzaamheden te vermijden. Voor personeel dat werkzaamheden uitvoert waarbij veel stof ontstaat is het, indien nog niet van toepassing, aan te raden beschermmiddelen te gebruiken om de blootstelling zoveel mogelijk te beperken.

6 Referenties

Air Quality Expert Group (2018). Air Pollution from Agriculture. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aqeg/2800829_Agricultural_emissions_vfinal2.pdf (bezocht op 7 juli 2022)

Bloemen H.J.T., Mooibroek D., Cassee F.R., van Putten E.M. (2008). Composition and sources of fine particulate matter (PM_{2.5}) in the Netherlands. RIVM rapport 863001007/2008. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/863001007.pdf> (bezocht op 7 juli 2022)

Faber, P., Drewnick, F., & Borrmann, S. (2015). Aerosol particle and trace gas emissions from earthworks, road construction, and asphalt paving in Germany: Emission factors and influence on local air quality. *Atmospheric Environment*, 122, 662-671.

Fattoruso G., Nocerino M., Toscano D., Pariota L., Sorrentino G., Manna V., Vito S. De, Carteni A., Fabbicino M., Francia G. Di. (2020). Site suitability analysis for low cost sensor networks for urban spatially dense air pollution monitoring. *Atmosphere*, 11(11). 10.3390/atmos11111215

Fischer P.H., Marra M., Ameling C.B. (2015). Air Pollution and Mortality in Seven Million Adults: The Dutch Environmental Longitudinal Study (DUELS). *Environ Health Perspect* 123(7):697-704 doi:10.1289/ehp.1408254

Denissen, S. (2022). Luchtkwaliteit en gezondheid in de provincie Noord-Brabant. GGD West-Brabant / GGD Hart voor Brabant / GGD Brabant-Zuidoost, mei 2022.

Goudriaan, R., Zhang, J., Tokaya, J., Hensen, A., van Dinther, D., Kaandorp, S., Blom, M., Plomp, A. (2022). Regionaal Meetnet ILM2 in Zuidoost-Brabant: Jaarrapportage 2021. TNO-Rapport R12396.

Hagenaars T., Hoeksma P., de Roda-Husman A.M., Swart A., Wouters I. (2017). Veehouderij en Gezondheid Omwonenden (aanvullende studies). Analyse van gezondheidseffecten, risicofactoren en uitstoot van bio-aerosolen, Bilthoven, RIVM, RIVM rapport nr 2017-0062, 69 p.

Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525: 367-371.

Maas R.J.M., Hoekstra J., Huitema M., de Vries W., Ruysenaars P.G. (2022). Inventarisatie van benodigde maatregelen om WHO-advieswaarden voor luchtkwaliteit in 2030 te realiseren. RIVM-briefrapport 2022-0094.

Maassen K., Smit L., Wouters I., van Duijkeren E., Janse I., Hagenaars, T., IJzermans J., van der Hoek W., Heederik D. (2016). Veehouderij en gezondheid omwonenden, Bilthoven, RIVM, RIVM rapport 2016-0058, 136 p.

Morawska L., Thai P. K., Liu X., Asumadu-Sakyi A., Ayoko G., Bartonova A., Bedini A., Chai F., Christensen B., Dunbabin M., Gao J., Hagler G. S. W., Jayaratne R., Kumar P., Lau A. K. H., Louie P. K. K., Mazaheri M., Ning Z., Motta N., Williams R. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? *Environment International*, 116(April), 286–299.

Nowack P., Konstantinovskiy L., Gardiner H., Cant J. (2021). Machine learning calibration of low-cost NO₂ and PM₁₀ sensors: Non-linear algorithms and their impact on site transferability. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(8), 5637–5655.
<https://doi.org/10.5194/AMT-14-5637-2021>

Nowak D., Heisler G.M. (2010). Air Quality Effects of Urban Trees and Parks. In National Recreation and Park Association Research Series.
https://www.nrpa.org/uploadedFiles/nrpa.org/Publications_and_Research/Research/Papers/Nowak-Heisler-Research-Paper.pdf?msclkid=411eb6e8ba7d11ec98e090c4aac95b32

Otjes R.P. (2014). Notitie Afronding ILM Fase 1 exclusief NO₂ sensoren, ECN, 8 Dec 2014.

Otjes R.P. (2015). Notitie Afronding ILM Fase 1: NO₂ sensoren, ECN, 15 Sept 2015.

Pan L., Jianming X., Xuexi T., Mao X., Gao W., Chang L. (2019). Long-term measurements of planetary boundary layer height and interactions with PM_{2.5} in Shanghai, China. *Atmospheric Pollution Research*, Volume 10, Issue 3, May 2019, Pages 989-996.

Perez I.A., Artuso F., Mahmud M., Kulshrestha U., Luisa Sánchez M., Ángeles García M. (2015). Application of Air Mass Trajectories. *Advances in Meteorology*, 2015 (284213).

Tromp P.C., van Dinther D., de Bie S.E., Duyzer J., Lollinga J.P., Moerman M.M., Henke S.J. (2021). Verkennend onderzoek ultrafijnstof op het Schiphol terrein met behulp van mobiele metingen. TNO 2021 R11745, pp 66,
<https://nieuws.schiphol.nl/download/1093199/tnorapportr11745ufp-schiphol.pdf>.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) (2013). Dossier 'Fijn stof'. Versie 1 © RIVM, Bilthoven, januari 2013. <https://www.rivm.nl/sites/default/files/2018-11/Dossier%20fijn%20stof.pdf>

Van Dinther D., Weijers E., Otjes R., Klymko T. (2017). Metingen met sensoren in het Innovatief Lucht Meetnet in Eindhoven – resultaten en interpretatie. Maart 2017, ECN-E--17-015 <https://publicaties.ecn.nl/EEE/0/ECN-E--17-015>

Van Dinther D., Plomp A.J. (2019). CAIREBoxmetingen fijnstof en stikstofdioxide in Sliedrecht van 15 juni 2018 tot 1 augustus 2019. TNO 2019 R11447
<http://resolver.tudelft.nl/uuid:e54b0ac4-5547-4c2e-b389-84f2a0e7944f>

Van Dinther D., Blom M.J., van den Bulk W.C.M., Kos G.P.A., Voogt M. (2019). Metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes rond Schiphol gedurende ruim één jaar. Met medewerking van GGD Amsterdam, Leefomgeving team Luchtkwaliteit. TNO Rapport 10591.

Van Dinther D., Moerman M.M., Lollinga J.P., van Doorn L.B., Korstanje T.J. (2022). Concentraties ultrafijnstof op het platform van Eindhoven Airport. TNO Rapport 11315.

Van Ratingen S., Vonk J., Blokhuis C., Wesseling J., Tielemans E., Weijers E. (2021). Seasonal influence on the performance of low-cost NO₂ sensor calibrations. *Sensoren*, 21(23). <https://doi.org/10.3390/s21237919>

Van Zoest V.M., Osei F.B., Stein A., Hoek G. (2019). Calibration of low-cost NO₂ sensoren in an urban air quality network. *Atmospheric Environment*, 210(2), 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.048>

Voogt M., Zandveld P., Wesseling J., Janssen N. (2019). Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol: voor onderzoek naar de gezondheid van omwonenden. RIVM Rapport 2019-0074.

Voogt M., Zandveld P., Erbrink H., van Dinther D., van den Bulk P., Kos G., Blom M., de Jonge D., Helmink H., Meydam J., Visser J., Middel J., Hoek G., van Ratingen S., Wesseling J., Janssen N.A.H. (2023). Assessment of the applicability of a model for aviation-related ultrafine particle concentration for use in epidemiological studies. *Atmospheric Environment*, 309, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119884>.

Winkel A., Erbrink J.J., Wouters I.M., Huis in 't Veld J.W.H., Heederik D.J.J., Ogink N.W.M. (2018). Emissies van endotoxinen uit de veehouderij: eindrapport endotoxine. *Livestock Research Rapport 1092*.

Wouters I.M., Schothorst I.J. van, Scherpenisse P., Spithoven J., Hoek, G. Heederik, D. (2019). Monitoring van luchtkwaliteit in een veehouderijrijke omgeving in de provincie Limburg : inzicht in verschillen en overeenkomsten tussen componenten. Rapportage van metingen op meerdere locaties.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

AiREAS B.V.
Klaverhoekseweg 12B
5681 PX Best

In naam van het consortium Regionaal Meetnet Zuidoost Brabant

Namen van de projectmedewerkers:

Daniëlle van Dinther, Ruben Goudriaan, Gerrit Jan de Bruin, Jun Zhang, Janot Tokaya, Sjaak Kaandorp, Marcus Blom

Tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden:

Januari – December 2022

Autorisatie vrijgave

P.J. Petiet, MSc.
PIV. Research Manager

Bijlage A

Meetlocaties ILM2

In totaal is er in 2022 op 49 meetlocaties gemeten. Dit is inclusief 2 tijdelijke meetlocaties geïnstalleerd in Nuenen. In deze bijlage staan de meetlocaties gepresenteerd met toelichting.

Stad en luchthaven Eindhoven: In 2022 waren 24 meetlocaties actief in het Eindhoven, in totaal zijn er 25 permanente meetlocaties voorzien. Deze meetlocaties zijn, in afstemming met de gemeente Eindhoven, geïdentificeerd door TNO, RIVM en UU-IRAS.

Binnenstad: Op basis van voorziene grootschalige ruimtelijke verdichtingen (tot 2040 naar verwachting 35.000 woningen extra binnen De Ring) en rondom het station (zowel aan de zuidzijde als aan de noordzijde 10.000-12.000 woningen erbij in woontorens in 2025) zijn diverse meetlocaties binnen de ring ingericht. Dit zijn relatief drukke locaties waarbij naar verwachting soms een overschrijding van NO₂ te zien zal zijn.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I09	EH Stationsweg	11-12-2020
I11	EH prof dr. Dorgelolaan	21-12-2020
I12	EH Mathildelaan	11-12-2020
I24	EH Fellenoord	21-12-2020
I29	EH Wal	16-12-2020
I36	EH Vestdijk	14-10-2020
I39	EH Willemstraat	12-10-2020

Verkeersintensief: Als resultaat van de verwachte ontwikkeling van een autoluw en emissievrij stadscentrum zal het autoverkeer (deels) uit het stadscentrum naar buiten worden gedrukt. Het kan dus op de Ring drukker gaan worden waardoor de emissies naar lucht en het geluid mogelijk zullen toenemen. De Genovevalaan is een relatief drukke weg noordelijk van de ring. Hier heeft TNO een meetrek tot haar beschikking naast een referentie station van het LML. Aan dit meetrek kunnen meerdere CAIREBoxen parallel worden geplaatst, zowel ter referentie als reserve.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I08	EH Beukenlaan	25-1-2021
I30	EH Botenlaan	7-1-2021
I37	EH Genovevalaan	8-10-2020
I40	EH Kennedylaan	12-10-2020

Luchthaven: Langs de luchthaven zijn 3 meetlocaties ingericht waar in juli 2021 een NanoTracer UFP-sensor is toegevoegd. UFP-metingen zijn een belangrijk onderdeel in het vaststellen van luchtkwaliteit rond vliegvelden. Dit wordt bevestigd in recente onderzoeken rond Schiphol (Tromp et al., 2021; Voogt et al., 2019; van Dinther et al., 2019). Op dit moment wordt verondersteld dat de NO₂ emissies vanuit vliegtuigen relatief laag zijn in

vergelijking met de emissies vanuit stadsverkeer; dit kan mede onderzocht worden via deze metingen.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I02	EH Scherpenering	8-10-2020
I25	EH Luchthavenweg	9-10-2020
I14	EH Landardseweg	20-1-2021

Industrie: Daarnaast zijn een aantal meetlocaties ingericht om bepaalde puntbronnen te bemeten. Aan de Kanaaldijk is een meetlocatie geplaatst benedenwinds van de DAF-fabriek. Op het Klokgebouw (dit is de enige meetlocatie in het meetnet op hoogte) is een meetlocatie ingericht tegenover de biomassacentrale op Strijp-T.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I19	EH Kanaaldijk	6-1-2021
I28	EH Klokgebouw	4-2-2021

Stadsachtergrond: Op de achtergrondlocaties in de stad wordt weinig invloed van lokale bronnen, zoals verkeer, verwacht. Daardoor kan het verschil met meer drukke locaties, zoals in het centrum of bij de ring, worden onderzocht. Er zijn twee stadsachtergrond locaties in parken geselecteerd. Daarnaast zijn er twee meetlocaties met te verwachten lage concentraties uit het ILM1 netwerk opnieuw ingericht.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I04	EH Finistérelaan	7-1-2021
I07	EH Oirschotsedijk	11-1-2021
I17	EH Genneperweg	11-1-2021
I32	EH Maaseikstraat	16-12-2020

Snelweg: Een onderzoeksdoel is om de impact en de reikwijdte van de invloed van de snelwegen rond Eindhoven te onderzoeken; daarbij wordt gemeten op meetlocaties loodrecht op de rijbaan (beneden- en bovenwinds) van de A67. De gemeente Eindhoven houdt er daarnaast rekening mee dat in de toekomst de luchtvaart opnieuw zou kunnen gaan groeien. Lucht- en landzijdige bereikbaarheid zijn onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Meer/minder vliegverkeer betekent meer/minder autoverkeer. De invloed van het wegverkeer van en naar de luchthaven wordt op twee locaties gemonitord.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I01	EH High Tech Campus	07-06-2022
I06	EH A67 Zuid	04-11-2022
I23	EH Anthony Fokkerweg	25-1-2021
I22	EH Meerhovendreef	11-1-2021

Meetlocaties in de regio: In 2022 waren er 15 meetlocaties actief in de regio. Voor het selecteren van deze locaties is gebruik gemaakt van de GCN-kaart voor fijnstof afkomstig van veehouderij van het jaar 2019 (beschikbaar gesteld door RIVM). De te verwachten bijdrage aan PM10 concentraties vanuit veehouderijen was leidend in de locatiekeuze. Er is daarnaast gekeken naar de ruimtelijke verdeling over het gebied en over de deelnemende gemeentes. Ook zijn er meetlocaties die binnen bovenstaande voorwaarden invloed van verkeersstromen in beeld kunnen brengen.

Hoge bijdrage (> 5 µg/m³): Deze meetlocaties staan op plekken waar een hoge bijdrage aan concentraties PM10 vanuit emissies gerelateerd aan veehouderij wordt verwacht op basis van de GCN kaart. De locatie in Someren kon in 2022 nog niet worden geplaatst in afwachting van deelname van de gemeente aan het ILM2.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I44	Heeze-Leende – Ronde Bleek	7-6-2021
I54	Deurne - Paardekopweg	20-10-2021
I50	Asten – Meijelseweg	19-01-2022
NTB	Someren - Gezandebaan	-

Middelhoge bijdrage (1-5 µg/m³): Daarnaast zijn er meerdere meetlocaties geselecteerd met een naar verwachting middelhoge bijdrage van veehouderij in de nabije omgeving. Bij de meetlocatie in Son en Breugel kan mogelijk ook de invloed van de nabijgelegen snelweg in beeld worden gebracht.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I03	Best – Kapelweg	10-3-2021
I10	Reusel – Mierdseweg	17-3-2021
I33	Son - Sonniuswijk	15-3-2021
I42	Gemert-Bakel – Keizersven	7-6-2021
I43	Oirschot – Krukkerd	20-10-2021
I45	Meijerijstad – Zonveldstraat	28-5-2021

Lage bijdrage (< 1 µg/m³): Als contrast zijn meetlocaties ingericht op locaties waar een lage bijdrage aan PM10 vanuit stallen wordt verwacht (<1 µg/m³). Deze locaties fungeren als regionale achtergrondlocaties en geven inzicht in de heersende luchtkwaliteit zonder, momenteel bekende, uitgesproken lokale bronnen. De meetlocatie in Valkenswaard kent mogelijk invloed van verkeer over de N69.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I05	Eersel – Zandoerleseweg	17-3-2021
I13	Nuenen – Soeterbeekseweg	7-6-2021
I16	Bergeijk – Dorpsstraat	19-3-2021
I18	Boxtel – Mijlstaat	28-5-2021
I41	Geldrop Mierlo – Voortje	16-3-2021
I55	Valkenswaard – Bergeijkse Dijk	25-11-2021

Extra meetlocaties: Binnen het ILM2 zijn er 8 extra meetlocaties aangevraagd door deelnemende gemeentes. Deze meetlocaties worden door de betreffende gemeentes zelf gefinancierd. De meetlocaties zijn geselecteerd op mogelijke lokale vraagstukken danwel verder ondersteunend aan dit onderzoek naar de regionale luchtkwaliteit. Deze 8 meetlocaties staan beneden opgesomd. De locaties in Helmond en Best staan opgesteld langs (doorgaande) wegen. De extra locaties in Oirschot en Reusel betreffen locaties waar waarschijnlijk vooral de regionale achtergrond gemeten wordt.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I46	Best – Ringweg	6-8-2021
I47	Oirschot - Neereindsweg	6-8-2021

I48	Helmond – Vossenbeemd	8-6-2021
I49	Helmond – Kanaaldijk	8-6-2021
I51	Helmond – Mierloseweg	8-6-2021
I52	Helmond – Kasteeltraverse	8-6-2021
I56	Reusel – Beekakkersweg	5-8-2021
I58	Best - Looierstraat	6-8-2021

Tijdelijke meetlocaties: Binnen het ILM2 zijn er zes mobiele meetboxen beschikbaar voor meetcampagnes om vraagstukken van individuele gemeentes te onderzoeken. In 2022 zijn er twee mobiele meetboxen ingezet in de gemeente Nuenen voor een vraagstuk rond luchtvervuiling gerelateerd aan verkeersdrukte.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
I53	Nuenen – Zandsche Put	19-5-2022
I57	Nuenen – Geldropse Dijk	12-4-2022

Bijlage B

Data beschikbaarheid

In de tabel staat weergegeven op welke meetlocaties in 2022 meetgegevens verloren zijn gegaan en waardoor dit kwam.

	Meetlocatie	Van	Tot	Reden	Downtime [dagen]
I11	EH Dorgelolaan	2-2-2022	10-2-2022	Firmware update	9
I50	Asten Gezandebaan	14-2-2022	21-2-2022	Acculader	8
I40	EH JF Kennedylaan	22-3-2022	14-4-2022	Acculader	24
I22	EH Meerhovensedreef	30-3-2022	8-4-2022	Acculader	10
I54	Deurne Ommezwanksedijk	5-4-2022	31-12-2022	Vandalisme	271
I46	Best Oirschotseweg	9-4-2022	21-4-2022	Acculader	13
I16	Bergeijk Dorpsstraat	26-5-2022	15-6-2022	Acculader	21
I12	EH Mathildalaan	9-6-2022	4-7-2022	Uitval verlichting	26
I02	EH Scherpenering	26-7-2022	17-8-2022	Acculader	23
I39	EH Willemstraat	26-8-2022	21-9-2022	Uitval verlichting	27
I22	EH Meerhovensedreef	12-9-2022	23-9-2022	Acculader	12
I08	EH Beukenlaan	17-9-2022	31-12-2022	Aangereden	106
I22	EH Meerhovensedreef	19-10-2022	10-11-2022	Acculader	23
I04	EH Finisterelaan	4-11-2022	18-11-2022	Acculader	15
I25	EH Luchthavenweg	1-11-2022	31-12-2022	Uitval verlichting	36
I12	EH Mathildalaan	13-12-2022	23-12-2022	Acculader	11
I52	Helmond Kasteel- Traverse	19-12-2022	31-12-2022	Acculader	13
I04	EH Finisterelaan	25-12-2022	31-12-2022	Acculader	7

Bijlage C

Data selectie NO₂

Zoals genoemd in Sectie 3.2.1, is er een sterk vermoeden dat de kwaliteit van de NO₂-metingen in de CAIREBoxen terugloopt bij (1) een verhoogde ozonconcentratie en (2) een verlaagde relatieve luchtvochtigheid. Deze omstandigheden vinden vooral in de zomermaanden plaats. Een sterke correlatie (zowel negatief als positief) duidt erop dat de CAIREBox primair de ozonconcentraties of de luchtvochtigheid volgt, terwijl de NO₂-concentratie in de atmosfeer gevolgd dient te worden. We hebben de volgende drie stappen gevolgd om te komen tot een onderbouwde selectie van NO₂ meetgegevens voor analyse.

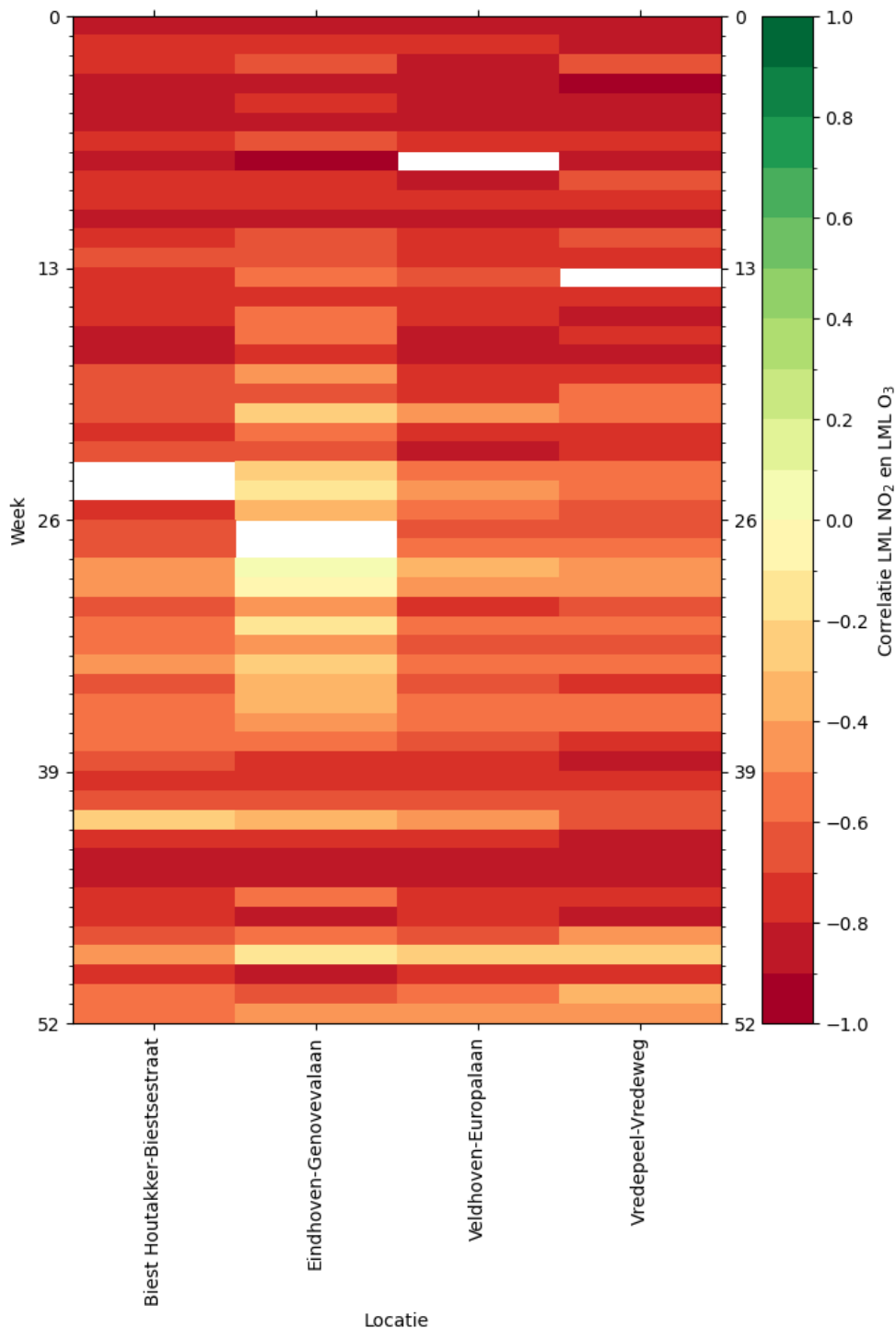
Allereerst hebben we onderzocht of er andere redenen kunnen zijn waardoor een sterke correlatie op kan treden tussen NO₂-concentratie enerzijds en de ozonconcentratie en relatieve luchtvochtigheid anderzijds. In figuur 43 laten we de correlatie tussen de NO₂-concentratie en ozonconcentratie zien, beide zoals gemeten op verschillende LML-locaties in omgeving Eindhoven. We observeren voornamelijk een sterk negatieve correlatie voor de meeste maanden en geen correlatie gedurende enkele zomermaanden. Een negatieve correlatie valt te verwachten, omdat NO_x onder invloed van zon wordt omgezet in O₃. We concluderen hieruit dat wanneer een positieve correlatie zichtbaar is tussen NO₂ en ozon de sensor kruisgevoelig is voor ozon. In figuur 44 laten we de correlatie tussen de NO₂-concentratie en de relatieve luchtvochtigheid (zoals gemeten door KNMI-station te Eindhoven) met de LML stations zien. We zien hier een overwegend positieve correlatie. Het vermoeden is dat de kwaliteit van de NO₂-metingen vooral bij een *verlaagde* luchtvochtigheid afneemt, en dat de metingen dan overwegend *te hoog* zijn. Een negatieve correlatie kan dus duiden op een slechte datakwaliteit door kruisgevoeligheid van de sensor met vocht.

Ten tweede, hebben we onderzocht per week wat de daadwerkelijke correlatie is tussen enerzijds de NO₂-concentratie en anderzijds de ozonconcentratie en relatieve luchtvochtigheid. In figuur 45 is de correlatie van NO₂-concentratie met de ozonconcentratie te zien voor alle sensoren binnen het ILM2 netwerk. We zien dat vooral in de zomermaanden een sterk positieve correlatie op veel CAIREBoxen te zien is met ozon. Dit toont aan dat de sensoren inderdaad een kruisgevoeligheid lijken te hebben met ozon. We zien dat enkele CAIREBoxen gedurende de hele meetperiode een negatieve correlatie laten zien (I07 en I09) en dus geen kruisgevoeligheid voor ozon lijken te hebben. In figuur 46 is de correlatie van NO₂-concentratie met de relatieve luchtvochtigheid te zien, waar voor sommige periodes een negatieve correlatie zichtbaar is (met name in het voorjaar). Dit toont aan dat er momenten zijn waar de sensoren kruisgevoelig voor vocht zijn. We zien duidelijk dat na een onderhoudsmoment de negatieve correlatie over het algemeen verdwijnt. We zien verder dat de correlatie overwegend negatief is, terwijl de LML-locaties een positieve correlatie laten zien.

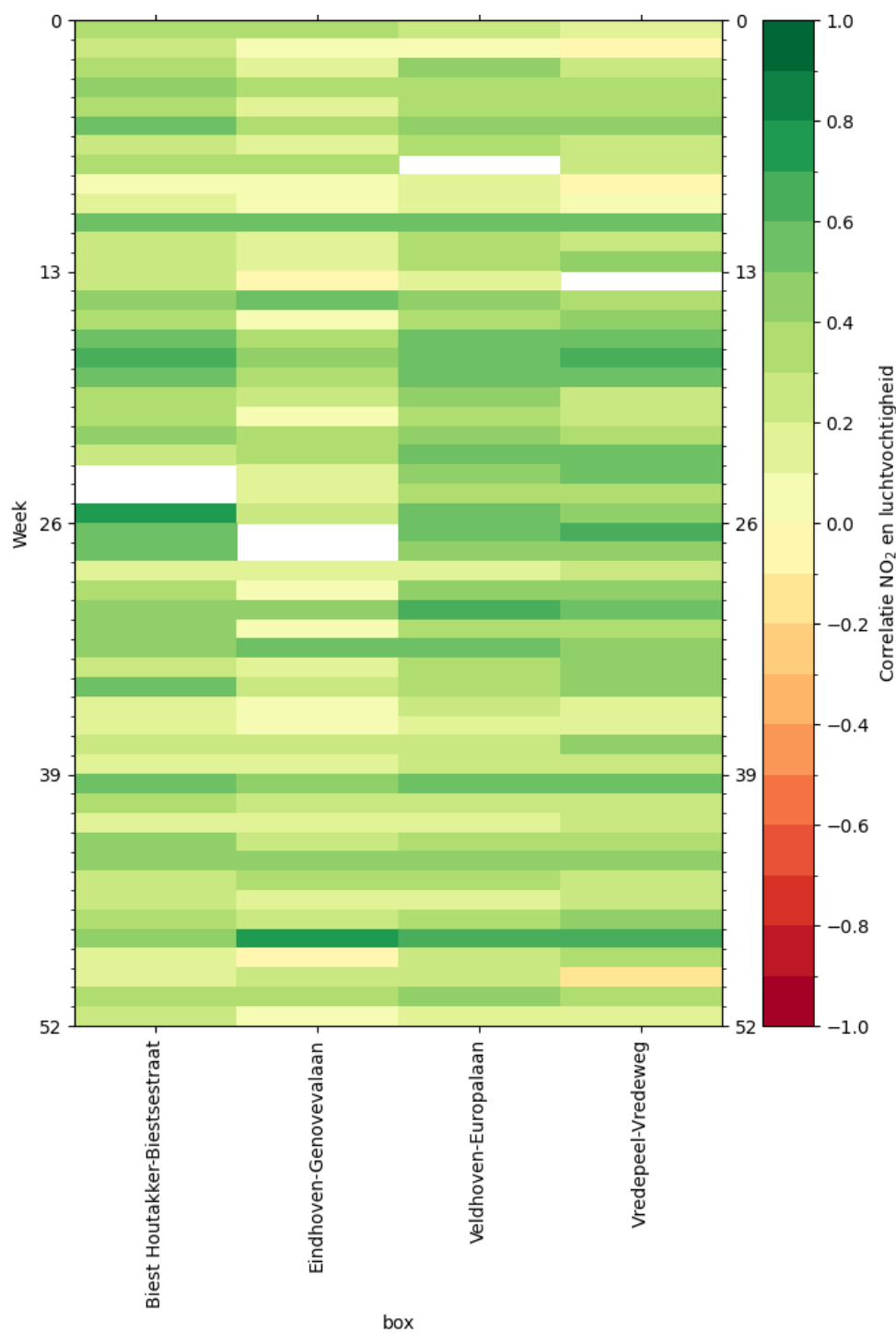
Ten derde, hebben we gezocht wat de beste drempelwaarde van correlaties zijn om NO₂ data van de sensoren af te keuren. Na handmatige inspectie van de meetresultaten zijn de volgende drempelwaardes voor correlatie gekozen:

- Ozon correlatie boven 0.5 wordt afgekeurd
- Relatieve luchtvochtigheid onder de -0.5 wordt afgekeurd

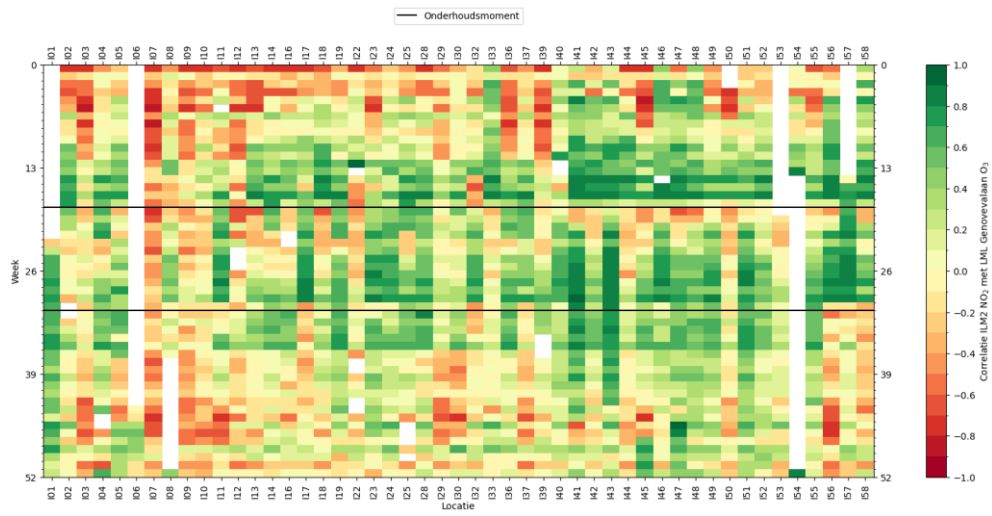
Correlaties zijn berekend op weekbasis. Hieruit volgt de selectie van NO₂-meetwaarden zoals weergegeven in H3.2.1 (zie figuur 8).



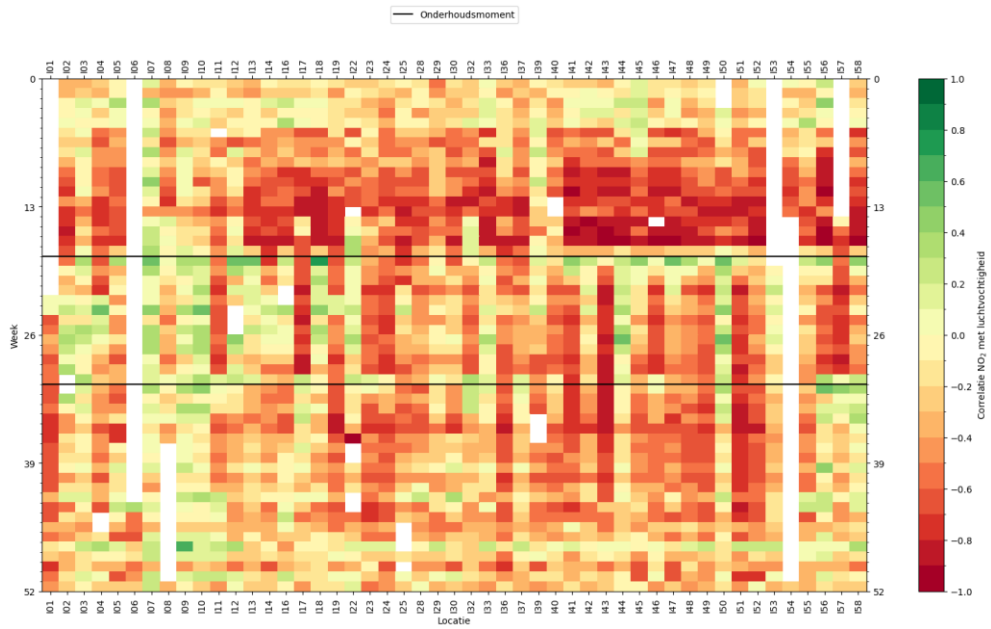
Figuur 43: Correlatie LML NO₂-concentratie en ozonconcentratie.



Figuur 44 Correlatie LML NO₂-concentratie met de luchtvochtigheid zoals gemeten door KNMI in Eindhoven.



Figur 45 Correlatie ILM NO₂-concentratie met LML-ozonconcentratie.



Figur 46 Correlatie NO₂-concentratie met relatieve luchtvochtigheid, beide gemeten in de CAIREbox.

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life