

TNO PUBLIEK

TNO-rapport
R12396**Energy & Materials Transition**Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Pettenwww.tno.nl

T +31 88 866 50 65

**Regionaal Meetnet ILM2 in Zuidoost-Brabant:
Jaarrapportage 2021**

Datum	30 november 2022
Auteur(s)	Ruben Goudriaan, Jun Zhang, Janot Tokaya, Arjan Hensen, Daniëlle van Dinther, Sjaak Kaandorp, Marcus Blom, Arjan Plomp
Oplage	1.0
Aantal pagina's	88 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	AiREAS – Consortium Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant
Projectnaam	AiREAS - ILM2
Projectnummer	060.34603

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

TNO PUBLIEK

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 meer dan 40 meetlocaties de luchtkwaliteit gemeten en is aandacht voor zowel het stedelijk gebied, de invloed van de luchthaven als het buitengebied.
Jaarprofiel van het daggemiddelde	In het jaarprofiel staan de daggemiddeld 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 bemeten wordt. Deze locaties hebben een uniek ID gevormd door de letters ILM plus een volgnummer.
Normering	Normen geven aan tot welke concentraties luchtvervuilende stoffen, zoals fijnstof en stikstofdioxide, beperkt moeten worden om ernstige gezondheidsschade te voorkomen. 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-Grenswaardes (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 micrometer.
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 bemeaten op meer dan 40 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 eerste jaarrapportage van het ILM2 voor het jaar 2021. In deze eerste rapportage wordt een uitgebreide toelichting gegeven op de meetlocaties zelf en de gebruikte meetapparatuur. Daarnaast worden de eerste analyses van de regionale luchtkwaliteit beschreven aan de hand van de metingen.

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.

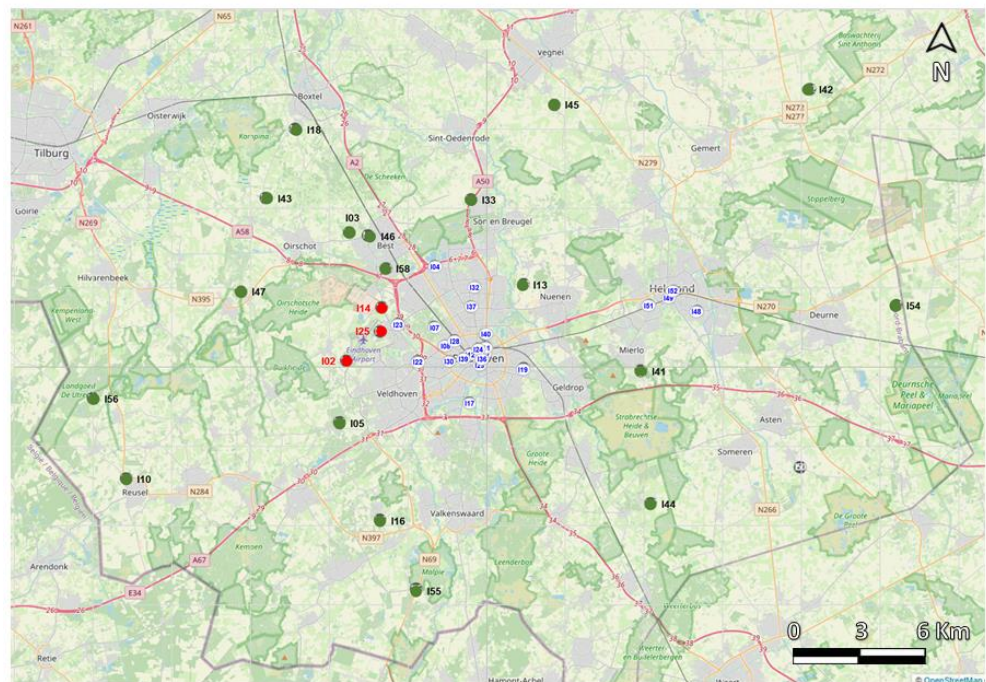
Samenvatting

Het Regionaal Meetnet Zuidoost-Brabant

Overzicht 2021

Het Innovatief Luchtmeetnet 2.0 (ILM2) onderzoekt de luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant. Het doel hiervan is om de regionale luchtkwaliteit te bemeten en te analyseren en waar mogelijk handelingsperspectief te bieden om deze luchtkwaliteit te verbeteren. 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.

Het ILM2 meetnet is gedurende 2021 verder uitgerold. Op 1 januari 2021 bestond het ILM2 meetnet uit 12 meetlocaties. Op 31 december 2021 waren dit er 44. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het meetplatform CAIREBox van TNO: op elke meetlocatie worden de concentraties van 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 getoond op OpenStreetMap. Alleen operationele locaties in 2021 zijn zichtbaar. De witte meetlocaties betreffen het stedelijk domein, de groene meetlocaties het buitengebied en de rode meetlocaties staan rond het vliegveld.

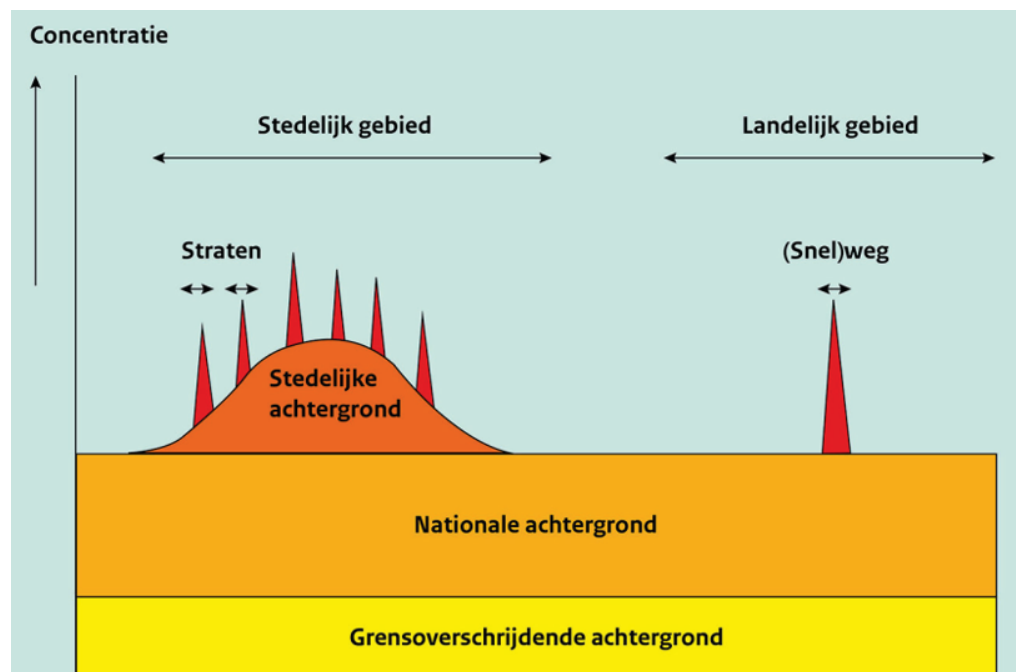
De plattegrond hierboven toont de meetlocaties waar gemeten is in 2021. Deze 44 meetlocaties zijn als volgt samengesteld:

- Er zijn 23 meetlocaties actief in het stedelijk gebied. Dit zijn 19 locaties in Eindhoven van het reguliere meetnet. Deze locaties zijn bijvoorbeeld gericht op het meten van stadsachtergrondconcentraties, invloed van industrie of verkeer. Daarnaast staan er 4 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties in Helmond.

- Er zijn 3 meetlocaties gerealiseerd in het gebied rond Eindhoven Airport. Op deze 3 meetlocaties is ook een UFP sensor aangesloten.
- 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 14 meetlocaties in het buitengebied gerealiseerd: dit zijn 6 meetlocaties met een verwachte lage bijdrage PM10 vanuit veehouderij (<math><1 \mu\text{g}/\text{m}^3</math>), 6 meetlocaties met een verwachte middelhoge bijdrage PM10 (1-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en 2 meetlocaties met een verwachte hoge bijdrage PM10 (>5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Daarnaast zijn 4 gemeentelijk gefinancierde meetlocaties geplaatst in de regio: 2 in Best (2 locaties gericht op verkeersinvloeden) en 1 in Reusel-de Mierden en 1 in Oirschot (beiden regionale achtergrond).

Aanpak analyses

De analyse van de regionale luchtkwaliteit wordt 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 2021 voor elk uur de laagste gemiddelde meetwaarden per stof in het gehele ILM2 meetnet te bepalen. De aanname daarbij is dat er op die momenten geen bijdrage van emissies uit de regio wordt gemeten op de meetlocatie waar deze laagste meetwaarde wordt verkregen. 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 tussen de gemiddelde concentraties van de verschillende luchtvervuilende stoffen tussen en binnenin het stedelijk gebied, het buitengebied en het luchthavengebied. Binnen deze drie aandachtsgebieden wordt op individuele meetlocaties ingezoomd om een beeld te krijgen van meer lokale bijdrages.



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

Werking meetnet in 2021

Een belangrijk aandachtspunt binnen het ILM2 meetnet is het meten van de luchtkwaliteit met sensoren in netwerkverband te evalueren en verder te optimaliseren. Over het algemeen is de operationele werking van de meetapparatuur zeer goed waardoor er veel meetgegevens beschikbaar zijn per meetpunt. De uptime per meetpunt ligt boven de 99% gemiddeld van begin 2021/ moment van installatie tot en met eind 2021. Dit betekent dat er voor 99 van de 100 mogelijke meetdagen meetgegevens zijn waarop een daggemiddelde zou kunnen worden berekend.

De fijnstofsensoren werken naar behoren en vertonen sterke onderlinge vergelijkbaarheid. Dit is zichtbaar tijdens de kalibratieperiode en na plaatsing in het meetnet. Ook correleren de sensoren qua dagelijkse variatie goed met het LML aan de Genovevalaan, met een R van 0,80 op basis van daggemiddelde waarden voor de ILM2 meetlocatie naast het LML. Dit maakt de sensoren zeer goed bruikbaar om lokale en regionale patronen over de tijd heen te duiden. 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. Bij het gebruik van de ILM2 meetgegevens voor de vaststelling en/of vergelijking van absolute concentraties PM10 op, met name, individuele meetlocaties moet met genoemde onzekerheid rekening gehouden worden.

Van maart tot oktober zijn er afwijkingen zichtbaar in de NO₂ metingen op veel meetlocaties in het ILM2 meetnet. Na onderzoek blijkt dat dit waarschijnlijk komt door interferentie van luchtvochtigheid met de metingen in deze periode. Daarmee was voor 2021 een beperkte dataset bruikbaar. In november heeft TNO een wijziging in het NO₂ meetsysteem aangebracht, gemeten dag- en weekgangen in de aansluitende periode zijn aannemelijk. Desalniettemin is er in de toekomst verdere aandacht nodig om de NO₂ data van het meetnet verder te verbeteren en het gebruik ervan te optimaliseren. De ervaringen in 2021 voor de UFP sensoren zijn goed te noemen waarbij geen uitgesproken afwijkingen zichtbaar waren.

Eerste inzichten regionale luchtkwaliteit

Vergelijking met normen

De gebruikte sensoren zijn geen referentieapparatuur: het is desalniettemin aannemelijk dat op geen van de meetlocaties de wettelijke EU-Grenswaarden (jaargemiddelde PM_{2.5}: 20 µg/m³, PM₁₀: 40 µg/m³, NO₂: 40 µg/m³) worden overschreden. Voor PM_{2.5} worden jaargemiddelde concentraties gemeten door het ILM2 tot 18,7 µg/m³, maar veelal lager. Voor PM₁₀ is dit tot 24,5 µg/m³. Voor NO₂ is zoals hierboven beschreven een kortere tijdsperiode beschikbaar, daarin komen gemiddeld gemeten concentraties niet boven de 30 µg/m³. 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-Grenswaarden¹. Daarmee zouden deze nieuwste WHO advieswaarden op veel locaties wel worden overschreden. Dit stemt overeen met het beeld voor grote delen van Nederland (Maas et al., 2022).

¹ Bron: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>

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. De jaargemiddeld gemeten concentraties over alle meetpunten bezien waren respectievelijk $11,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $13,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $19,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀. In de periode april tot en met juli zijn in het buitengebied de gemeten maandgemiddelde PM₁₀ concentraties 5 tot 20% hoger dan in het luchthaven- en stedelijk gebied. De maandgemiddelde gemeten PM concentraties zijn tijdens de andere maanden van het jaar 2021 in stedelijk gebied, luchthavengebied en het buitengebied gelijkend. In Q1 en Q4 worden in alle gebieden relatief gezien meer fijne deeltjes gemeten (hogere PM_{2.5}/PM₁₀ ratio) wat waarschijnlijk samenhangt met een toename van emissies uit verbrandingsprocessen voor vervoer en verwarming.

Gedurende 2021 zou volgens eerder beschreven aanpak minimaal 70% van de regiogemiddeld gemeten PM₁₀ concentratie in Zuidoost-Brabant uit achtergrond bestaan en daarmee een oorzaak hebben die buiten de regio ligt. De dynamiek in deze achtergrondconcentraties over de tijd hangt sterk samen met variaties in windrichting. Bij noordoostelijke wind, komend over het continentale plat, komt er meer fijnstof de regio in en gaan de gemeten concentraties in de hele regio omhoog. Daarnaast bewegen de regionale PM (achtergrond-)concentraties mee met de grenslaaghoogte, zowel door het jaar heen als op dagbasis. De lagere grenslaaghoogte in Q1 en Q4 valt samen met gemiddeld hogere PM concentraties in deze periodes. Per meetlocatie kan het aandeel achtergrond variëren: op meetlocaties nabij een lokale bron is het aandeel achtergrond in de gemiddeld gemeten concentraties kleiner dan op meetlocaties in afgelegen gebied.

Stikstofdioxide in de regio

De gemiddeld gemeten concentratie NO₂ binnen het ILM2 meetnet in de maanden januari-februari en november-december is $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierbij geldt dus de eerdere aantekening dat de NO₂ meetwaarden met voorzichtigheid beschouwd moeten worden en vooral een indicatief beeld verstrekken. Op basis van de beschikbare meetresultaten voor NO₂ tijdens deze vier maanden komt ongeveer 36% van de gemeten NO₂ concentraties in Zuidoost-Brabant van buiten de regio (als regionale achtergrond) en 64% uit lokale emissies. Bij oostelijke wind zijn de hoogste regionale achtergrondconcentraties voor NO₂ zichtbaar. Het is duidelijk dat lokale bronnen (verkeer) een prominentere rol spelen bij de gemeten NO₂ concentraties dan voor PM.

De gemiddeld gemeten NO₂ concentraties zijn in het stedelijk gebied het hoogst ($21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gevolgd door het terrein rond de luchthaven ($19,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Op basis van metingen in Q4 is zichtbaar dat de NO₂ concentraties in het buitengebied over het algemeen lager zijn, namelijk $14,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemiddeld over alle meetlocaties ten opzichte van $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in het stedelijk gebied in dat kwartaal. Binnen stedelijk gebied en luchthavengebied zijn twee NO₂ concentratiepieken zichtbaar op een gemiddelde (werk-)dag, welke te koppelen zijn aan de ochtend- en avondspits. De gemeten piek in de middag (rond 17.00 uur) ligt over het algemeen hoger dan de piek in de ochtend. De opeenstapeling van verkeersemmissies over de dag heen, samen met de afnemende grenslaaghoogte in de namiddag/avond, zou dit verschil kunnen verklaren. In het buitengebied zijn deze twee pieken ook zichtbaar maar gemiddeld over alle meetlocaties minder uitgesproken.

Luchthavengebied

De gemiddeld gemeten UFP-deeltjesaantallen op de 3 meetlocaties bij de luchthaven waren in 2021 vergelijkbaar en lagen rond de 14.000 deeltjes per cm^3 lucht. De meetlocaties aan de Scherpenering en de Luchthavenweg (respectievelijk 250m en 500m van de landingsbaan) meten regelmatig korte pieken van boven de 50.000 deeltjes per cm^3 . Op de Landardseweg (800-900m van de landingsbaan) worden dit soort pieken minder frequent waargenomen; mogelijk staat de meetbox net niet op de juiste locatie om dit te kunnen meten omdat zich een bosrijk gebied tussen de meetlocatie en startbaan bevindt. Het hoogst gemeten uurgemiddelde in het ILM2 is 90.000 deeltjes per cm^3 aan de Scherpenering. In vergelijking met Schiphol zijn de gemeten aantallen deeltjes rond Eindhoven Airport lager: op 400m van de Polderbaan zijn daar halfjaarlijkse gemiddelden van meer dan 35.000 deeltjes per cm^3 gemeten. Ook de piekwaarden zijn daar hoger: in Badhoevedorp (>1km van Schiphol) ligt het hoogst gemeten uurgemiddelde op 200.000 deeltjes per cm^3 (van Dinther et al., 2019).

Hierbij moet worden aangetekend dat in de Schiphol studies gebruik wordt gemaakt van een andere meettechniek waarbij ook deeltjes kleiner dan 10nm kunnen worden gemeten. De sensoren gebruikt in het ILM2 hebben een meetbereik vanaf 10nm. Daarmee liggen de allerkleinste deeltjes uitgestoten door vliegtuigen niet binnen het meetbereik van de sensor (van Dinther et al., 2019). De analyses van de ILM2 meetgegevens maken wel aannemelijk dat de gebruikte UFP sensor inderdaad UFP afkomstig van vliegtuigen waarneemt rond Eindhoven Airport. De windrozen tonen aan dat de hoogste concentraties UFP vooral voorkomen bij wind uit de richting van de landingsbaan dan wel de pieren. De gemeten deeltjesaantallen liggen doordeweeks hoger dan in het weekend. Dit zou kunnen komen door een combinatie van meer vliegbewegingen en een grotere hoeveelheid wegverkeer doordeweeks.

Stedelijk gebied

Binnen het stedelijk gebied worden de laagste concentraties PM en NO_2 gemeten in stadsparken of andersoortige stedelijke achtergrondlocaties in Eindhoven. Waarschijnlijk wordt dit vooral veroorzaakt doordat zich weinig tot geen emissiebronnen bevinden in deze gebieden. In (verkeers-)belaste gebieden in Eindhoven zijn de jaargemiddeld gemeten PM10 concentraties 14% hoger dan op de stadsachtergrondlocaties. Dit valt binnen de genoemde 20% onzekerheid die voor individuele boxen geldt, maar omdat deze vergelijking veel locaties beslaat (15 (verkeers-)belaste locaties tegenover 4 stedelijke achtergrondlocaties) is het aannemelijk dat er een daadwerkelijke verhoging is. Daarbij lijkt het zo dat er relatief meer kleine deeltjes worden gemeten op (verkeers-)belaste locaties. In de winter neemt de PM2.5/PM10 ratio toe: van 69% in de zomer naar 74% in de winter over alle meetlocaties in Eindhoven bezien. Bij de 4 meetlocaties in Helmond is deze toename ook zichtbaar: van 71% in de zomer naar 77% in de winter. Dit hangt waarschijnlijk samen met een toename van deeltjes uit verbrandingsprocessen, zoals van verkeer of verwarming, tijdens de winterperiode.

Binnen het stedelijk gebied worden de hoogste concentraties NO_2 gemeten op de meetlocaties aan De Ring in Eindhoven. Dit betreffen met name de meetlocaties aan de Beukenlaan en Kennedylaan. In de binnenstad, welke De Ring omsluit, zijn de gemeten NO_2 concentraties veelal lager. Dit zou samen kunnen hangen met de milieuzone in de binnenstad van Eindhoven: daarmee zou naast verkeersintensiteit

compositie van wegverkeer, waarbij meer vervuilende auto's en vrachtwagens uit de binnenstad worden geweerd, een rol kunnen spelen. Aan het einde van het jaar zijn gemeten NO₂ concentraties op alle stedelijke meetlocaties relatief laag. Mogelijk houdt dit verband met de maatregelen ingevoerd rond COVID-19 in november en december 2021.

Buitengebied

In het buitengebied wordt onderzocht of de bijdrage van veehouderij aan heersende PM concentraties in beeld kan worden gebracht. Kijkend naar de fijnere fracties PM1 en PM2.5 is deze invloed niet direct zichtbaar. De locaties benedenwinds van veehouderijen laten geen substantieel andere temporele patronen zien dan de andere locaties in het buitengebied. Voor PM10 is dit op sommige meetlocaties wel het geval. Op een aantal meetlocaties in de nabijheid van veehouderijen zijn op regelmatige basis kortstondige concentratiepieken van PM10 zichtbaar 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. Wellicht hangt dit samen met het type veehouderij of de afstand tot de meest nabije stal; dit moet verder onderzocht. Ook het aandeel van deze bijdrage op gemiddelde concentraties in de regio als geheel behoeft onderzoek. Dit vergt in de komende jaren nadere analyses in combinatie met specifieke informatie over de ligging en type van de omliggende veehouderijen met een jaarronde dataset voor alle meetlocaties in het buitengebied.

Aanbevelingen

Het ILM2 meetnet is geïnitieerd ter ondersteuning van het werken aan een gezondere samenleving. Door bewustwording van de heersende luchtkwaliteit in combinatie met verschillende samenwerkingsvormen wordt in co-creatie gewerkt aan een gezonder Zuidoost-Brabant. Dit sluit aan bij de doelen van het Schone Lucht Akkoord waarbij wordt gesproken over het samen streven naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016.

Met het operationeel meten op meer dan 40 meetlocaties in 2021 is een eerste stap gezet om meer inzicht te verkrijgen in de heersende luchtkwaliteit in de regio. Op dit moment is er geen aanleiding om het meetnet in haar huidige opzet wezenlijk te gaan veranderen danwel meetlocaties te verplaatsen. Een waardevolle aanvulling op de verzamelde meetgegevens over luchtkwaliteit is om meer contextuele informatie beschikbaar te krijgen per aandachtsgebied: dit gaat bijvoorbeeld over verkeersintensiteit, verkeerssamenstelling, aantallen vluchten, staltypes en aantallen dieren. Daarmee kunnen verbanden in tijd en ruimte tussen luchtkwaliteit en mogelijke bronnen onderzocht worden.

Het inzichtelijk maken van de relatie tussen luchtkwaliteit en activiteiten in de leefomgeving kan daarbij helpen om het grote publiek bewust te maken van mogelijke impact van eigen keuzes. Dit kan bijvoorbeeld ook via fysieke installaties in de leefomgeving waar luchtkwaliteit zichtbaar wordt gemaakt op basis van ILM2 data danwel het vormgeven van pilot projecten, bijvoorbeeld met scholen. Het positioneert het ILM2 als middel om de verbinding met de samenleving te vergroten als het gaat over het zetten van stappen richting schonere lucht. Het verbinden met

burgermeetdata is een andere optie, waarbij modellering kan zorgen voor een integrale verwerking van meetgegevens van verschillende partijen tot gezamenlijke inzichten in kaartvorm.

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 overall 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. Het ILM2 biedt een basis om dit soort ontwikkelingen in gang te zetten door de fijnmazigheid en frequentie van meten. In verbinding met de regio wordt aangeraden de mogelijkheden hiervoor te onderzoeken.

Uit deze eerste jaarlijkse analyse komen een aantal aandachtspunten als het gaat om de luchtkwaliteit voor de onderzoeksgebieden stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied:

- Binnen het stedelijk gebied is verkeer, volgens verwachting, een belangrijke bron voor de lokaal heersende luchtkwaliteit. De Ring in Eindhoven lijkt daarbij op basis van de 2021 metingen een eerste aandachtspunt aangezien daar de hoogste concentraties gemeten worden, met name aan het kruispunt aan de Kennedylaan. In de aankomende jaren zal bekeken worden of hier structureel hogere concentraties gemeten worden.
- In het luchthavengebied is de invloed van vliegverkeer op verhogingen in UFP zichtbaar. 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. Daarnaast is het aan te bevelen de scheiding tussen bijdrage vanuit luchtvaart en wegverkeer verder specifiek te maken als vervolgstap daarop.
- Met een volledige dataset in 2022 zal er voor het buitengebied verdere uitwerking plaatsvinden. Daarbij zal er aandacht moeten zijn voor het type veehouderij en de afstand van stal tot de meetlocatie om meer inzicht te verkrijgen over wanneer er wel of juist geen verhoogde concentraties van, met name, PM10 zichtbaar zijn. Dit kan handvaten bieden om best practices te identificeren danwel knelpunten te duiden.

Inhoudsopgave

	Terminologie	2
	Achtergrond	3
	Samenvatting	4
1	Inleiding	12
2	Methode en Meetlocaties	14
2.1	Metten met sensoren	14
2.2	Meetlocaties ILM2.....	16
2.3	Aanpak analyse regionale luchtkwaliteit.....	22
3	Performance meetnet	25
3.1	Data beschikbaarheid	25
3.2	Data kwaliteit	26
4	Regionale luchtkwaliteit 2021	34
4.1	Algemeen beeld Zuidoost-Brabant	34
4.2	Vergelijking onderzoeksgebieden in Zuidoost-Brabant.....	43
4.3	Het luchthavengebied – ruimtelijke en temporele variatie.....	48
4.4	Het stedelijk gebied – ruimtelijke en temporele variatie	53
4.5	Het buitengebied – ruimtelijke en temporele variatie	58
5	Conclusies en aanbevelingen	64
5.1	Conclusies	64
5.2	Aanbevelingen	67
6	Referenties	69
7	Ondertekening	73
	Bijlage I: Kalibratie sensoren voor plaatsing in ILM2	74
	Bijlage II: Evaluatie PM10 aan LML Genovevalaan.....	78
	Bijlage III: Data dekking per meetlocatie per kwartaal	84
	Bijlage IV: Factsheets ILM2 meetlocaties 2021	88

1 Inleiding

Het Innovatief Luchtmeetnet 2.0 (ILM2) is geïnitieerd ter ondersteuning van beleid voor een gezondere samenleving. Het is een voortzetting van het Innovatief Luchtmeetnet 1.0 (ILM1) in Eindhoven. Waar ILM1 bestond uit 35 meetlocaties binnen de stad Eindhoven onderzoekt ILM2 de regionale luchtkwaliteit met meetlocaties in meer dan 15 gemeentes in Zuidoost-Brabant. Deze meetlocaties 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). Ook is er op 3 locaties in het luchthavengebied ultrafijnstof (UFP, deeltjes kleiner dan 100 nm) gemeten, omdat vliegtuigen UFP uitstoten (van Dinther et al., 2019; Voogt et al., 2019). Het uiteindelijke doel is om de regionale luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant te bemeten en te analyseren, eventuele knelpunten te identificeren en waar mogelijk handelingsperspectief te bieden om deze knelpunten op te heffen. 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 stijging in het gebruik van sensoren in meetneten wordt met name gedreven door een toenemende bewustwording van de invloed van de heersende luchtkwaliteit op de gezondheid. Stedelijke luchtkwaliteit krijgt daarbij over de hele wereld veel aandacht, waarbij verkeer en industrie worden gezien als de belangrijkste bronnen van luchtvervuilende stoffen. Soortgelijke netwerken als het ILM2 zijn de laatste jaren gerealiseerd in veel steden rond de wereld (Morawska et al., 2018). In vergelijking met de stedelijke luchtkwaliteit is er tot op heden relatief weinig aandacht voor het buitengebied (Strosnider et al., 2019). In zijn algemeenheid wordt aangenomen dat de luchtkwaliteit in het buitengebied beter is dan in de stad (Beattie et al., 2001). Toch blijkt uit verschillende studies dat ook de rurale luchtkwaliteit aandacht behoeft. Zo observeren verschillende onderzoekers dat emissies uit intensieve veehouderij negatieve gevolgen kunnen hebben voor 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). Ook droogte kan leiden tot hogere waarden van fijnstof in het buitengebied (Cain, 2020).

De inzet van sensoren om de luchtkwaliteit te monitoren heeft zich snel ontwikkeld in het afgelopen decennium. Hoewel deze technologie nog niet geschikt is om op geaccrediteerde wijze 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. De kalibratie en werking van sensoren zijn onder andere onderzocht en gepubliceerd in (internationale) vergelijkingsstudies (Borrego et al., 2016; Hamm et al., 2016; Giordano et al., 2021). Daarbij zijn er nog wel belangrijke uitdagingen zichtbaar: de betrouwbaarheid van de PM meetresultaten varieert in deze studies per type sensor en heersende veldcondities. Het meten van NO₂ met sensoren kent over het algemeen nog uitdagingen met de lange-termijn stabiliteit, (her-)kalibratie en onderhoud van de sensoren (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). Een belangrijk aandachtspunt binnen het ILM2 meetnet is dan ook de kwaliteit van

het meten van de luchtkwaliteit met sensoren in netwerkverband te evalueren en verder te optimaliseren.

Binnen het ILM2 meetnet wordt gebruik gemaakt van het meetplatform CAIREBox. Dit meetplatform is ontwikkeld door TNO en haar rechtsvoorganger ECN om de betrouwbaarheid en operationele inzetbaarheid van sensoren voor het meten in de buitenlucht te vergroten. De fijnstofsensor in de CAIREBox onderscheidt de concentraties fijnstof in de fracties PM1 (fijnstof met een diameter tot 1 μm), PM2.5 (fijnstof met een diameter tot 2,5 μm) en PM10 (fijnstof met een diameter tot 10 μm). De NO₂-sensor maakt gebruik van een door TNO gepatenteerde techniek om de NO₂-concentratie te kunnen meten. Tijdens het ILM1, lopend van 2013 tot en met 2018, zijn de CAIREBoxen ook ingezet in Eindhoven (zie ook www.aireas.com; Otjes, 2014; Otjes, 2015; Van Dinther et al., 2017). Ook in andere publicaties is de toepassing van CAIREBoxen in meetnetten uitgebreid beschreven (Van Dinther en Plomp, 2019; Van Zoest et al., 2019; Van Zoest, 2020). De selectie van meetlocaties van het ILM2 is opgezet door TNO, RIVM en UU-IRAS met input van GGD, de Gemeente Eindhoven, de Provincie Noord-Brabant en de ODZOB.

Het ILM2 meetnet is sinds september 2020 opgebouwd en deze uitrol is verder voortgezet in 2021. Dit betekent dat de lengte van de meetreeks per meetlocatie in 2021 varieert afhankelijk van de installatiedatum. De meetgegevens per meetlocatie zijn via verschillende webapplicaties real-time verkrijgbaar. Dit betreft onder andere het portaal <https://ilm2.site.dustmonitoring.nl/> van TNO en het portaal <https://samenmeten.rivm.nl/> van RIVM. TNO beschrijft de voortgang en bevindingen van het ILM2 meetnet in jaarlijkse rapportages. Hierin is aandacht voor de operationele performance van het meetnet en kwaliteitsduiding van de meetgegevens. Er worden trendanalyses van de meetgegevens op locatie, tijd en windrichting uitgevoerd om de heersende luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant te omschrijven en te analyseren. Ook wordt er onderzocht welke bronnen van belang zijn.

Dit eerste jaarrapport presenteert de totstandkoming van het meetnet en de metingen en analyses van de luchtkwaliteit in de regio Zuidoost-Brabant voor het jaar 2021.

2 Methode en Meetlocaties

2.1 Meten met sensoren

2.1.1 *Het CAIREBox meetplatform*

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

Het meetplatform kan verschillende types sensoren bevatten: de CAIREBoxen gebruikt in het ILM2 zijn uitgerust met sensoren voor het meten van fijnstof en NO₂. Daarnaast wordt op 3 locaties UFP gemeten via een additionele sensor. Elke box 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. 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.

2.1.2 *Sensoren en kalibratie*

Voor plaatsing binnen het ILM2 netwerk worden de sensoren van iedere CAIREBox gekalibreerd. Deze kalibratie vindt plaats aan een kalibratierek in Alkmaar. Hier worden de meetwaardes van elke sensor voor een periode van tenminste 2 weken, uitgaande van afdoende variatie in concentraties, vergeleken (genormeerd) met referentieapparatuur van TNO in de buitenlucht. De boxen zijn voor plaatsing in het meetnet in series van ongeveer 10 stuks per keer gekalibreerd. Deze kalibratie is gefaseerd uitgevoerd. Dit is uitgevoerd voor zowel de verschillende fijnstoffracties als voor NO₂. De UFP-sensoren zijn apart gekalibreerd door Oxility BV. Deze sectie beschrijft per doelstof de gebruikte sensor, eventuele additionele informatie over de meetmethode en de manier van kalibreren.

Fijnstof (PM):

- De fijnstof sensor die wordt gebruikt in de CAIREBox is de Shinyei PPD42 sensor. Deze optische sensor (uitgerust met IR LED en photo-transistor detector) meet de aantallen deeltjes in een aantal kanalen (naar deeltjesgrootte). Deze kanalen zijn ingedeeld naar PM1, PM2.5 en PM10 en de gemeten deeltjes-aantallen worden omgerekend naar de gebruikelijke eenheid in massaconcentratie in de buitenlucht ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- De commercieel verkrijgbare fijnstof sensor is gemodificeerd met zelf-ontwikkelde hardware. Met behulp van deze hardware wordt de sensor uitgelezen en wordt een automatische, periodieke controle uitgevoerd op de werking van de sensor. De flow door de sensor en droging van de fijnstofdeeltjes wordt gecreëerd met behulp van een heater. Daarbij is de

temperatuur in de box enkele graden hoger dan de buitenlucht. Hierdoor heeft (over)verzadiging van de luchtvochtigheid geen invloed op de fijnstofmetingen, zoals bijvoorbeeld bij mist.

- Voor plaatsing in het ILM2 wordt de berekende massaconcentratie fijnstof vergeleken met en gekalibreerd op een Fidas® 200 S (Figuur 2). Daarbij wordt voor de individuele deeltjeskanalen de correcte kalibratiefactoren bepaald voorafgaand aan inzet in het meetnet om de correcte concentratie vast te kunnen stellen. Het ruwe signaal van sensoren in het ILM2 wordt in de basis als volgt omgerekend naar de hoeveelheid fijnstof:

de berekende waarde = \sum (sensorwaarde (per kanaal) x omrekening (naar gewicht) x kalibratiefactor (per kanaal) + (eventueel) intercept (per kanaal))



Figuur 2 De kalibratieopstelling van de CAIREBoxen in Alkmaar. De Fidas® 200 S is zichtbaar op de voorgrond.

Stikstofdioxide (NO₂):

- De NO₂ sensor die wordt gebruikt binnen het ILM2 is de City Tech NO₂ 3E50. Deze elektrochemische sensor meet een elektrische stroom en dit signaal draagt lineair bij aan de omrekening naar massaconcentratie in de buitenlucht (µg/m³). De NO₂ sensoren zijn gecombineerd met een gepatenteerde module, waardoor de invloed van kruisgevoeligheid wordt beperkt en het nul-signaal regelmatig wordt vastgesteld. De luchtflow over de sensor wordt met behulp van een ventilator gecreëerd en altemnerend over een strip-cartridge (die de NO₂ eruit scrubt) gehaald. Daardoor ontstaat een luchtflow met en zonder NO₂ welke altemnerend door de sensor wordt bemeten. Het verschilsignaal wordt gebruikt voor de bepaling van de NO₂ concentratie in de buitenlucht.
- Tijdens de kalibratieperiode wordt de berekende massaconcentratie NO₂ vergeleken met en gekalibreerd in vergelijking met de NO₂ meetgegevens van een EcoPhysics CLD 700 AL. Daarbij worden de kalibratiefactoren bepaald om het ruwe meetsignaal van de sensor om te rekenen naar gewichtconcentraties gelijkend aan die gemeten door de EcoPhysics CLD 700 AL. Eventuele outliers in de meetreeks, zoals extreem hoge meetwaardes of negatieve waardes, worden hierbij niet meegenomen. Het ruwe sensorsignaal wordt in de basis als volgt omgerekend naar de hoeveelheid NO₂:

de berekende waarde = sensorwaarde x kalibratiefactor + (eventueel) intercept

Ultrafijnstof (UFP):

- De UFP-sensoren (type NanoMonitor van Philips/Oxility) zijn ondergebracht in aparte boxen welke parallel worden aangesloten aan een CAIREBox. De sensor meet continu UFP op basis van geïnduceerde lading op deeltjes in lucht en ladingoverdracht op elektrodes. De elektrodes hebben een voltage dat geschikt is voor het meten van UFP. Het meetbereik is 10 tot 300nm. Deeltjes kleiner dan 10nm, welke ook kunnen voorkomen in de buurt van vliegvelden (Van Dinther et al., 2019; Tromp et al., 2021), kunnen daarmee met deze sensor niet gemeten worden.
- De kalibratie van de UFP-sensoren voor ILM2 is uitgevoerd door Oxility B.V. De sensoren zijn gekalibreerd met behulp van een FMPS spectrometer voor absolute deeltjesaantallen per kubieke centimeter ($\#/cm^3$). De metingen van de UFP sensoren zijn na levering door Oxility B.V. met elkaar vergeleken in een korte vergelijkingsstudie in de buitenlucht voor plaatsing in het ILM2 meetnet.

De resultaten van de kalibraties voor PM, NO₂ en de vergelijkingsstudie voor UFP staan gepresenteerd in Bijlage I. Na afronding van de kalibratieperiode in Alkmaar zijn de CAIREBoxen in serie geïnstalleerd op de meetlocaties van het ILM2. De plaatsingsdatum per locatie is zichtbaar in sectie 2.2. Een achttal boxen heeft gedurende het jaar 2021 voor enige periode aan het referentierek bij het LML-station aan de Genovevalaan gehangen. Hier wordt onderzocht hoe de meetgegevens van de CAIREBoxen zich verhouden tot de meetgegevens van dit LML-station. Daarnaast fungeren deze boxen als direct inzetbare reservevoorraad binnen het ILM2 meetnet.

2.2 Meetlocaties ILM2

Binnen het ILM2 zijn 41 vaste meetlocaties beoogd. Het doel van deze locaties is de staat van de regionale luchtkwaliteit te onderzoeken met aandacht voor stad, vliegveld en buitengebied. Indien mogelijk wordt daarbij gekeken of eventuele emissiebronnen geïdentificeerd kunnen worden. Daarnaast zijn er 8 extra meetlocaties gerealiseerd in directe opdracht van gemeenten. Van deze 49 beoogde meetlocaties is er op 44 locaties in 2021 daadwerkelijk gemeten (zie Figuur 4). Het moment van plaatsing varieert per meetlocatie. Dit komt doordat niet alle CAIREBoxen gelijktijdig klaargemaakt en gekalibreerd konden worden, door het niet gelijktijdig besluiten tot deelname van de deelnemende gemeentes en eventuele praktische uitdagingen die gaandeweg opgelost moesten worden.

2.2.1 Stad en luchthaven Eindhoven

De meetlocaties voor ILM2 in de stad en rond het vliegveld zijn gebaseerd op de beoogde ontwikkelingen binnen de gemeente Eindhoven en de ervaringen met de metingen uit het ILM1. In 2021 waren 22 meetlocaties actief (zie Figuur 3), in totaal zijn er 25 permanente meetlocaties voorzien. Deze meetlocaties zijn, in afstemming met de gemeente Eindhoven, geïdentificeerd door TNO, RIVM en UU-IRAS. In onderstaande alinea's zijn de geselecteerde meetlocaties binnen het stedelijk gebied Eindhoven en de motivatie voor deze meetlocaties gegeven.

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
ILM009	EH Stationsweg	11-12-2020
ILM011	EH prof dr. Dorgelolaan	21-12-2020
ILM012	EH Mathildelaan	11-12-2020
ILM024	EH Fellenoord	21-12-2020
ILM029	EH Wal	16-12-2020
ILM036	EH Vestdijk	14-10-2020
ILM039	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 welke naast een referentie station van het LML staat. Aan dit meetrek kunnen meerdere CAIREBoxen parallel worden geplaatst, zowel ter referentie als reserve.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM008	EH Beukenlaan	25-1-2021
ILM030	EH Botenlaan	7-1-2021
ILM037	EH Genovevalaan	8-10-2020
ILM040	EH Kennedylaan	12-10-2020

Luchthaven: Langs de luchthaven zijn 3 meetlocaties ingericht. Aan deze meetlocaties is in juli 2021 een NanoTracer UFP-sensor toegevoegd. 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). 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.

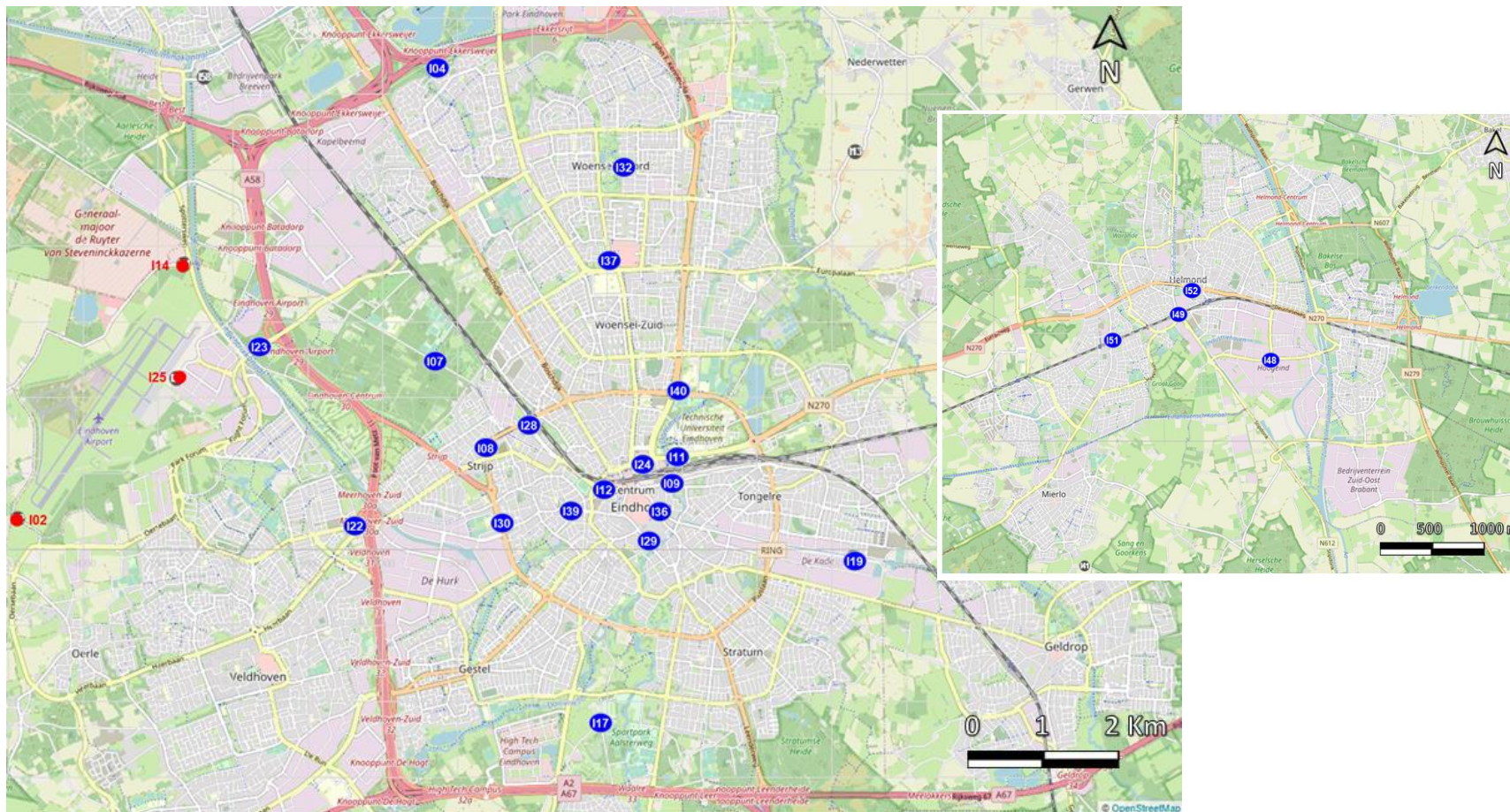
Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM002	EH Scherpenering	8-10-2020
ILM025	EH Luchthavenweg	9-10-2020
ILM014	EH Landardseweg	20-1-2021

Aanrijroute luchthaven: De gemeente Eindhoven houdt er 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
ILM023	EH Anthony Fokkerweg	25-1-2021
ILM022	EH Meerhovendreef	11-1-2021

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
ILM019	EH Kanaaldijk	6-1-2021
ILM028	EH Klokgebouw	4-2-2021



Figuur 3 Overzicht van de meetlocaties in het stedelijke gebied van Eindhoven en Helmond gepresenteerd op OpenstreetMap. De rode locaties zijn ingericht rond Eindhoven Airport.

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. Aan de meetlocatie aan de Maaseikstraat werden tijdens het ILM1 de laagste PM2.5 en PM10 concentraties gemeten. De meetlocatie aan de Finistérelaan kende de laagst gemeten NO₂ concentraties (van Dinther et al., 2017).

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM004	EH Finistérelaan	7-1-2021
ILM007	EH Oirschotsedijk	11-1-2021
ILM017	EH Gennepweg	11-1-2021
ILM032	EH Maaseikstraat	16-12-2020

Snelweg (niet actief in 2021): Een onderzoeksdoel is om de impact en de reikwijdte van de invloed van de snelwegen rond Eindhoven te onderzoeken: daarbij wordt gemeten op 3 meetlocaties loodrecht op de rijbaan (beneden- en bovenwinds). Deze meetlocaties zijn voorzien nabij de High Tech Campus. Door een langdurig traject rond het verkrijgen van de juiste vergunning bij Rijkswaterstaat zijn er nog geen CAIREBoxen geïnstalleerd op deze locaties in 2021.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
NTB	High Tech Campus 1	-
NTB	High Tech Campus 2	-
NTB	Waalre	-

2.2.2 Meetlocaties in de regio

In 2021 zijn 14 meetlocaties geïnstalleerd in de regio. Voor het selecteren van deze 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. Er is daarnaast gekeken naar de ruimtelijke verdeling over het gebied en over de deelnemende gemeentes. Ook zijn er meetlocaties geselecteerd die binnen bovenstaande randvoorwaarden invloed van verkeersstromen in beeld kunnen brengen. In onderstaand overzicht worden de meetlocaties nader toegelicht.

Hoge bijdrage (> 5 µg/m³): Deze meetlocaties zijn geselecteerd op plekken waar een hoge bijdrage aan concentraties PM10 vanuit emissies gerelateerd aan veehouderij worden verwacht op basis van de GCN kaart. De locaties in Asten en Someren konden in 2021 nog niet worden geplaatst.

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM044	Heeze-Leende – Ronde Bleek	7-6-2021
ILM054	Deurne - Paardekopweg	20-10-2021
NTB	Asten – Meijelseweg	-
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
ILM003	Best – Kapelweg	10-3-2021
ILM010	Reusel – Mierdseweg	17-3-2021
ILM033	Son - Sonniuswijk	15-3-2021
ILM042	Gemert-Bakel – Keizersven	7-6-2021
ILM043	Oirschot – Krukkerd	20-10-2021
ILM045	Meijerijstad – Zonveldstraat	28-5-2021

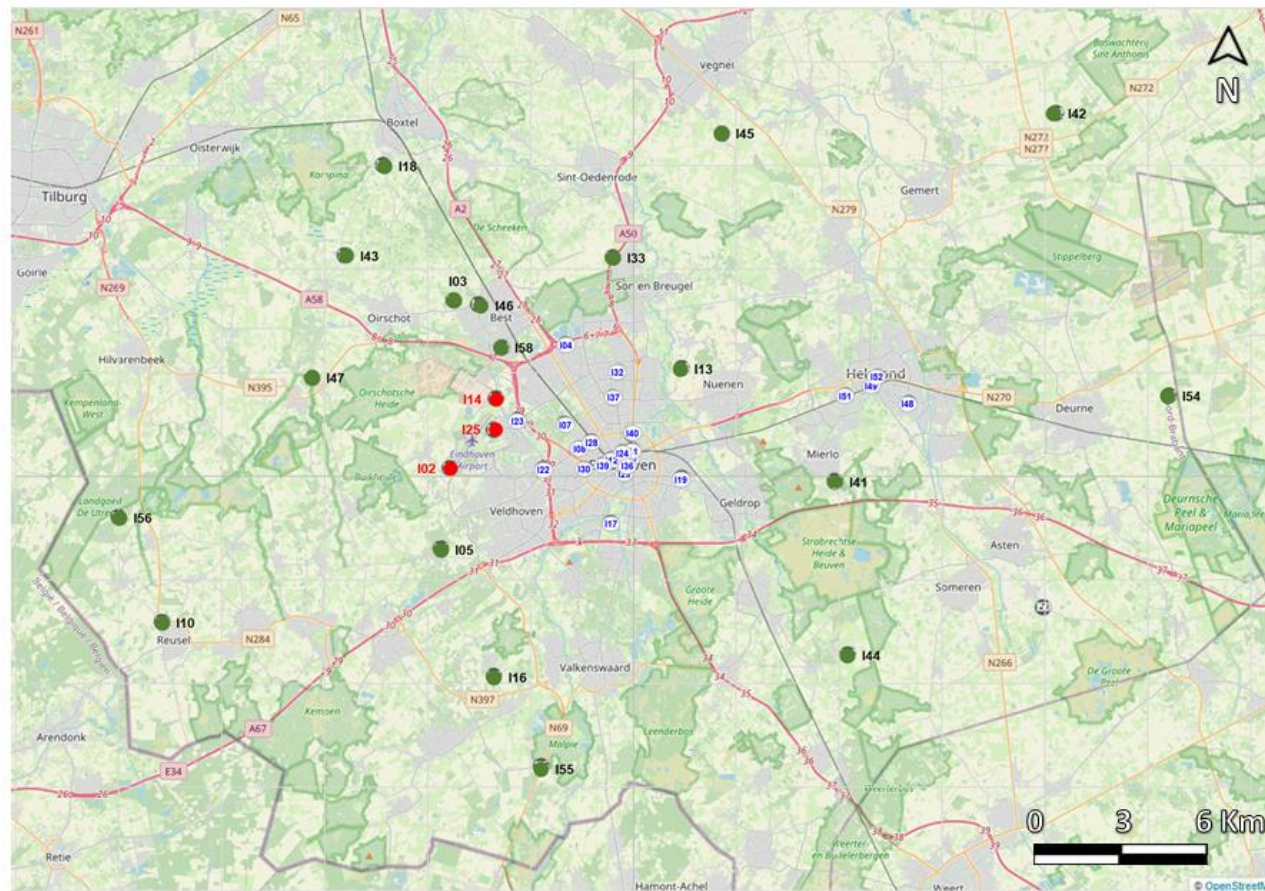
Lage bijdrage (< 1 µg/m³): Als contrast zijn meetlocaties ingericht op locaties waar een lage bijdrage aan PM10 vanuit stallen wordt verwacht (<1 µg/m³). Deze locaties fungeren als regionale achtergrondlocaties en geven inzicht in de heersende luchtkwaliteit zonder, momenteel bekende, uitgesproken lokale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

Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM005	Eersel – Zandoerleseweg	17-3-2021
ILM013	Nuenen – Soeterbeekseweg	7-6-2021
ILM016	Bergeijk – Dorpsstraat	19-3-2021
ILM018	Boxtel – Mijlstaat	28-5-2021
ILM041	Geldrop Mierlo – Voortje	16-3-2021
ILM055	Valkenswaard – Bergeijkse Dijk	25-11-2021

2.2.3 *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.

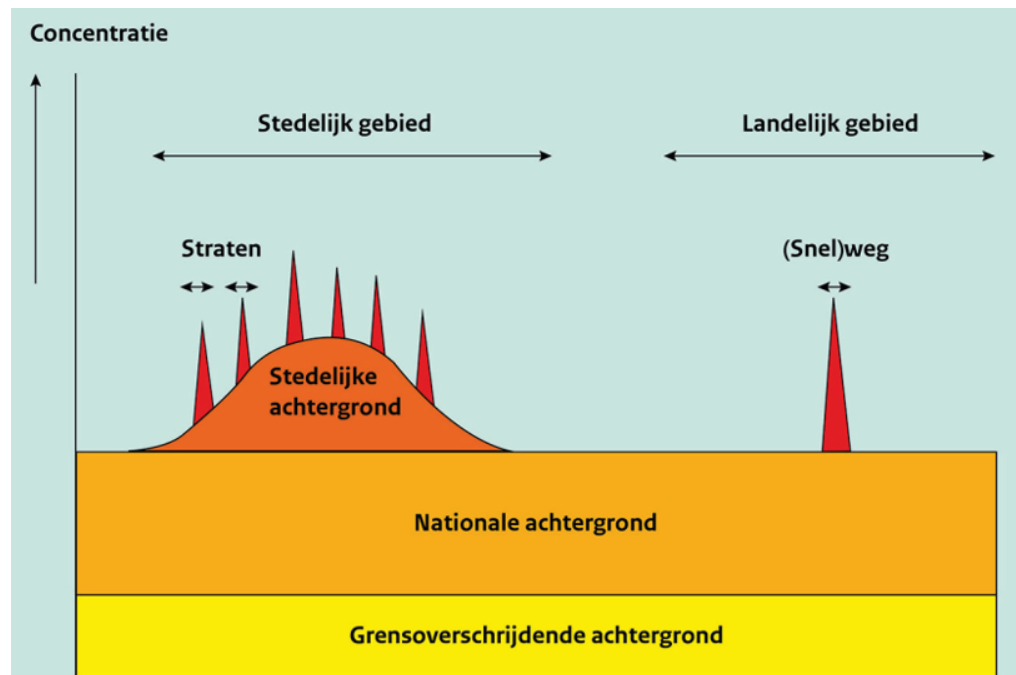
Meetlocatie	Locatie	Plaatsing
ILM046	Best – Ringweg	6-8-2021
ILM047	Oirschot - Neereindsweg	6-8-2021
ILM048	Helmond – Vossenbeemd	8-6-2021
ILM049	Helmond – Kanaaldijk	8-6-2021
ILM051	Helmond – Mierloseweg	8-6-2021
ILM052	Helmond – Kasteeltraverse	8-6-2021
ILM056	Reusel – Beekakkersweg	5-8-2021
ILM058	Best - Looierstraat	6-8-2021



Figuur 4 Het ILM2 meetnet in Zuidoost-Brabant in 2021 getoond op OpenStreetMap. Alleen operationele locaties in 2021 staan getoond. De witte meetlocaties betreffen het stedelijk domein, de groene meetlocaties zijn gericht op het buitengebied en de rode meetlocaties staan rond het vliegveld.

2.3 Aanpak analyse regionale luchtkwaliteit

Deze rapportage behandelt de metingen van het ILM2 voor het jaar 2021. 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 5.



Figuur 5 Generieke opbouw van concentraties van (verkeersgerelateerde) luchtvervuilende stoffen (Bron: RIVM)

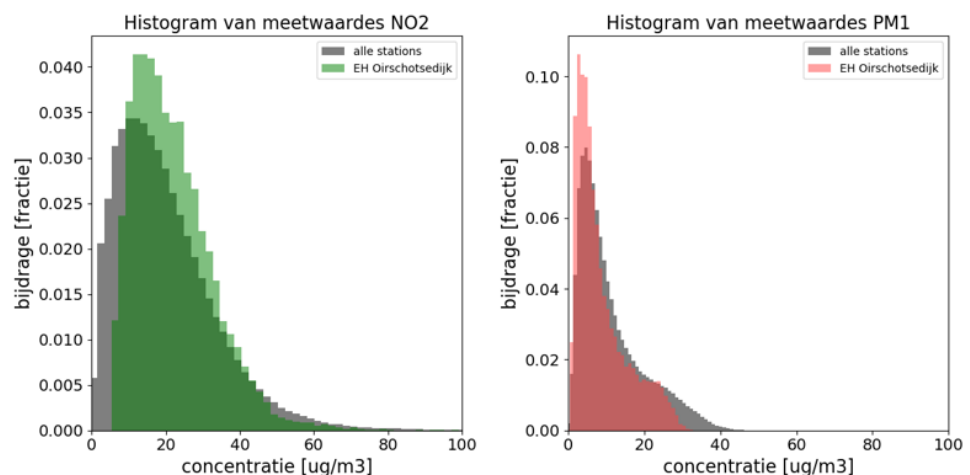
- Eerst wordt de gemiddelde luchtkwaliteit over het gehele meetnet beschouwd voor het jaar 2021 en voor de vier kwartalen afzonderlijk. Daarbij wordt rekening gehouden met wanneer een meetlocatie is geplaatst: voor een aantal meetlocaties in Eindhoven is een volledig meetjaar beschikbaar terwijl andere meetlocaties slechts een aantal maanden actief waren in 2021. Er is besloten om een meetlocatie alleen mee nemen als deze voor minimaal 75% van de relevante periode gemeten heeft. Dit geldt voor de gemiddelden bepaald per week, maand en jaar. Er worden daardoor bijvoorbeeld enkel jaargemiddeldes vergeleken van meetlocaties die minimaal 9 maanden actief hebben gemeten (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 achtergrondconcentraties in deze studie zijn bepaald door voor heel 2021 de laagste gemiddelde meetwaarden per stof in het gehele ILM2 meetnet elk uur te bepalen. De aanname daarbij is dat er op die momenten geen bijdrage van emissies uit de regio wordt gemeten op de meetlocatie waar deze laagste meetwaarde wordt verkregen. Door onderscheid te maken tussen deze achtergrond en de gemiddeld gemeten concentraties kan een inschatting worden gemaakt van welk deel van de gemeten concentraties een lokale/regionale oorzaak hebben en welk deel niet. Daarmee ontstaat ook een eerste

inzicht van de maximale reikwijdte van mogelijke lokaal of regionaal geïmplementeerde maatregelen om de heersende luchtkwaliteit te verbeteren (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 verschillende types meetlocaties zoals besproken in sectie 2.2. Hierdoor wordt bijvoorbeeld inzichtelijk hoe de gemiddelde concentraties op stadsachtergrondlocaties zich verhouden tot locaties met veel verkeer. 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).

Ter ondersteuning aan eerdergenoemde analyses zijn per meetlocatie verschillende overzichten gemaakt. Deze overzichten zijn samengebracht tot een factsheet per meetlocatie. Deze factsheets zijn bijgevoegd in Bijlage IV. De volgende analyses zijn uitgevoerd:

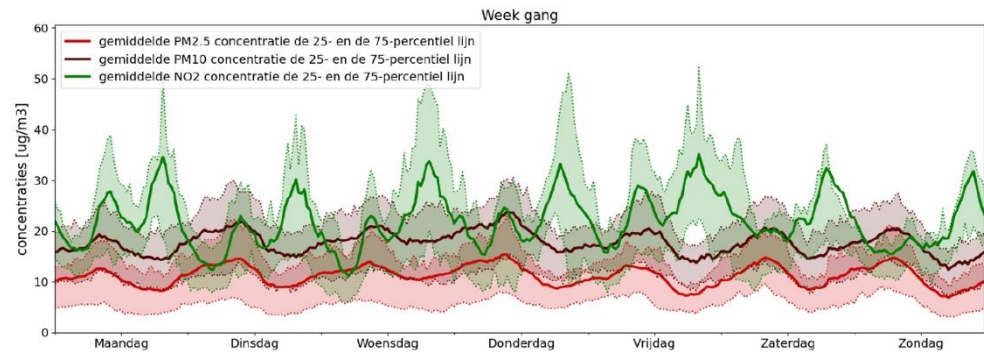
- Statistisch overzicht per meetlocatie
Per meetlocatie wordt per stof de gemiddelde jaarconcentratie, standaarddeviatie en coëfficiënt van variatie berekend. Deze statistieken worden ook berekend op seizoens-, maand-, week- en dagbasis. Dit geeft inzicht in de algemeen heersende luchtkwaliteit en ook de fluctuatie en hoeveelheid pieken in de meetwaarden. Er wordt per meetlocatie een histogram per doelstof gegenereerd welke deze meetlocatie vergelijkt met het gemiddelde van het gehele netwerk. Een voorbeeld hiervan is zichtbaar in Figuur 6.



Figuur 6 Voorbeeldhistogram van de Oirschotsedijk in Eindhoven voor NO₂ en PM₁.

- Verloop van de meetgegevens op locatie en tijd
Op elke meetlocatie van het ILM2 wordt de jaargang, gemiddelde weekgang en gemiddelde daggang van PM en NO₂ in het jaar 2021 gevisualiseerd in lijngrafiek. Daardoor worden zowel de gemiddelde luchtkwaliteit op de

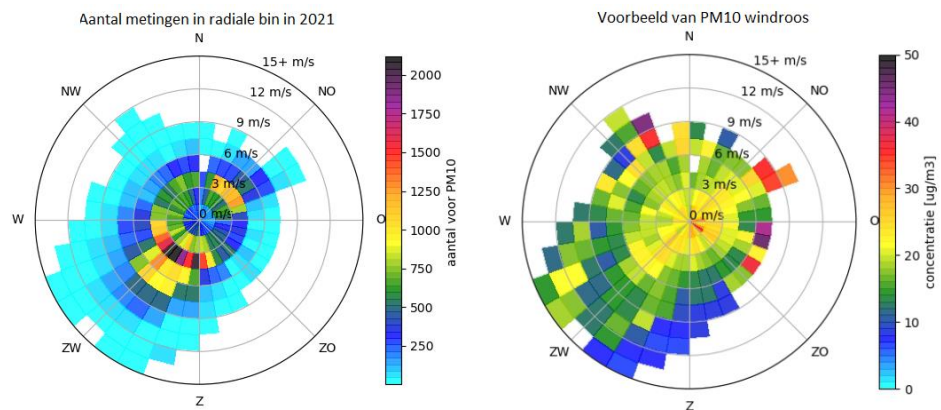
meetlocatie als piekmomenten inzichtelijk gemaakt. Daarnaast worden hiermee bijvoorbeeld seizoensinvloeden, het contrast tussen werk- en weekenddagen en de eventuele invloed van de spits zichtbaar. Een voorbeeldgrafiek van de gemiddelde weekgang staat in Figuur 7.



Figuur 7 Voorbeeldgrafiek van de weekgang van luchtvervuilende stoffen op een meetlocatie.

- Windroosplots

Voor het maken van de windroosplots wordt gebruik gemaakt van meteorologische informatie van het KNMI-station 370 op Eindhoven Airport. Op deze locatie is de dominante windrichting ZW met een gemiddelde windsnelheid van 4,7 m/s in 2021. De aanname daarbij 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.



Figuur 8 De linker windroos toont het aantal metingen per radiale bin in 2021. Rechts toont een voorbeeld van een windroos met PM10 concentraties.

Een windroosanalyse verbindt de gemeten concentraties van luchtvervuilende stoffen met variatie in windrichting en windsnelheid aan de hand van windroosplots. De correlaties tussen windrichting en windsnelheid met de heersende luchtkwaliteit kunnen daarmee worden onderzocht. Dit geeft inzicht in eventuele bronnen van luchtvervuilende stoffen in de omgeving. De windroosplots zijn onderverdeeld in segmenten (bins). Deze bins tonen de gemiddelde meetwaarde in 2021 per windrichting onderverdeeld in windsnelheden van 1.5 m/s. In de linker windroosplot in Figuur 8 is zichtbaar dat het aantal beschikbare metingen in 2021 per bin varieert, doordat niet elke combinatie van windrichting en windsnelheid even vaak voorkomt in het jaar.

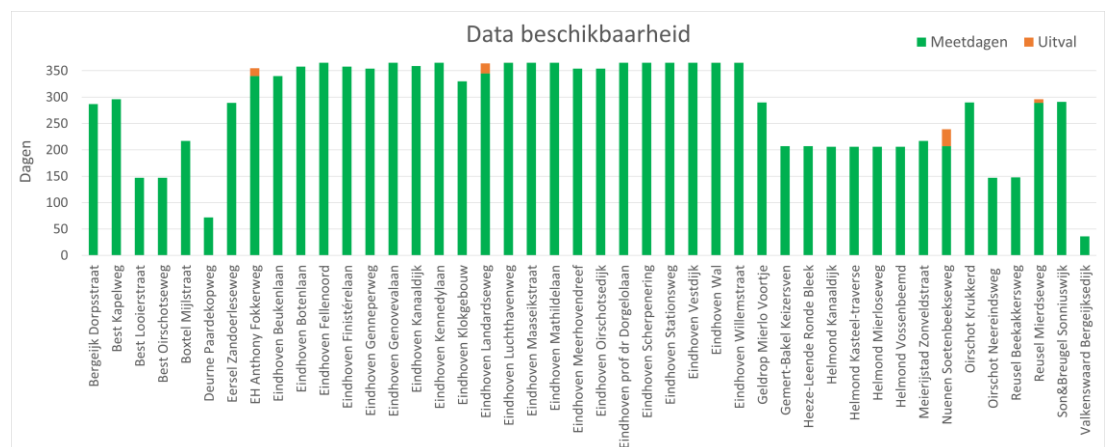
3 Performance meetnet

3.1 Data beschikbaarheid

In hoofdstuk 2.2 wordt de installatiedatum van elk meetpunt gegeven. 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, excessieve ruis danwel meetresultaten die verkregen zijn bij temperaturen of luchtvochtigheden buiten de specificaties van de sensor. Deze meetresultaten worden afgevlagd.
- 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.

De data beschikbaarheid in 2021 per meetlocatie is over het algemeen hoog. Figuur 9 toont de beschikbare meetgegevens per meetlocatie tussen installatiedatum en 31 december 2021. Het maximale aantal meetdagen is daarmee 365 voor een meetlocatie die op of voor 1 januari 2021 is geïnstalleerd. In rood worden per meetlocatie de missende meetdagen getoond na installatie. Zoals zichtbaar is dit beperkt tot een aantal meetlocaties. De gemiddelde uptime van het meetnet ligt in 2021 hoger dan 99% gerekend vanaf de installatiedatum per meetlocatie.



Figuur 9 Overzicht van de meetdagen in 2021 per meetlocatie. Groen staat voor succesvolle meetdagen, rood staat voor een uitgevallen meetdag.

Een overzicht van de incidenten per meetlocatie met als gevolg verlies van meetgegevens in 2021 is zichtbaar in Tabel 1. Daarnaast heeft er bij de meetlocaties ILM036 en ILM004 een tijdelijke storing plaatsgevonden op de GPS en GSM. Hierbij zijn echter geen meetgegevens verloren gegaan door het interne

geheugen in de CAIREBox. De CAIREBox bij meetlocatie ILM030 is preventief vervangen op 20 oktober 2021 vanwege een afnemende luchtflow door het meetsysteem. Dit heeft evenmin geleid tot verlies aan meetgegevens. Zodra een CAIREBox niet goed meer functioneert, zoals ILM030, en wordt verwijderd uit het meetnet wordt deze hersteld en opnieuw gekalibreerd, waarna deze weer beschikbaar komt aan het meetnet (in dit geval als reserve-box).

Tabel 1 Overzicht van de meetlocaties waar in 2021 verlies van meetgegevens heeft plaatsgevonden.

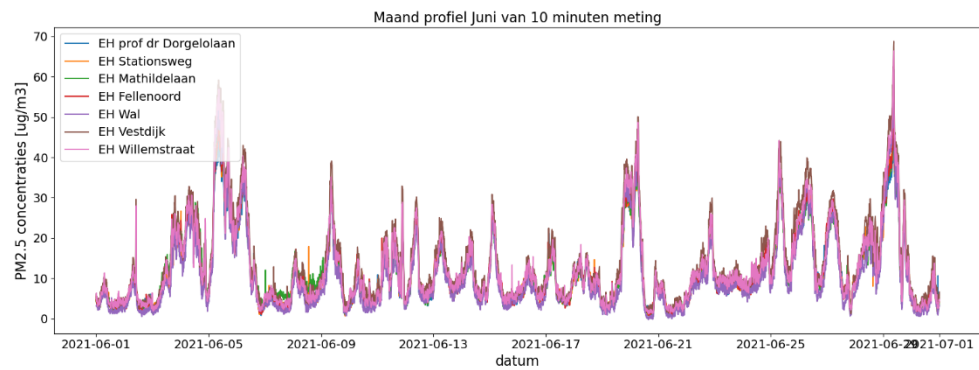
ILM nr.	Meetlocatie	Van	Tot	Reden	Downtime
ILM039	EH Willemstraat	31-12-2020	7-1-2021	Uitval OV voedingsvoorziening	8 dagen
ILM014	EH Landardseweg	24-3-2021	30-3-2021	Uitval OV voedingsvoorziening	7 dagen
ILM014	EH Landardseweg	9-7-2021	20-7-2021	Installatie UFP-sensor	12 dagen
ILM025	EH Luchthavenweg	14-7-2021	20-7-2021	Installatie UFP-sensor	7 dagen
ILM029	EH Wal	3-9-2021	20-9-2021	Acculader kapot	18 dagen
ILM010	Reusel - Mierdseweg	13-11-2021	19-11-2021	Uitval OV voedingsvoorziening	7 dagen
ILM023	EH Anthony Fokkerweg	17-11-2021	1-12-2021	Acculader kapot	15 dagen
ILM013	Nuene - Soeterbeekseweg	12-11-2021	13-12-2021	PM-sensor verstoord door spinrag	32 dagen

3.2 Data kwaliteit

De CAIREBoxen worden voor plaatsing in het ILM2 meetnet gekalibreerd. De resultaten in de kalibratieperiode staan beschreven in Bijlage I. Over het algemeen geldt dat zowel voor fijnstof als NO₂ de sensoren hoge correlaties vertonen met de referentieapparatuur gebruikt tijdens de kalibratieperiode. 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 2021

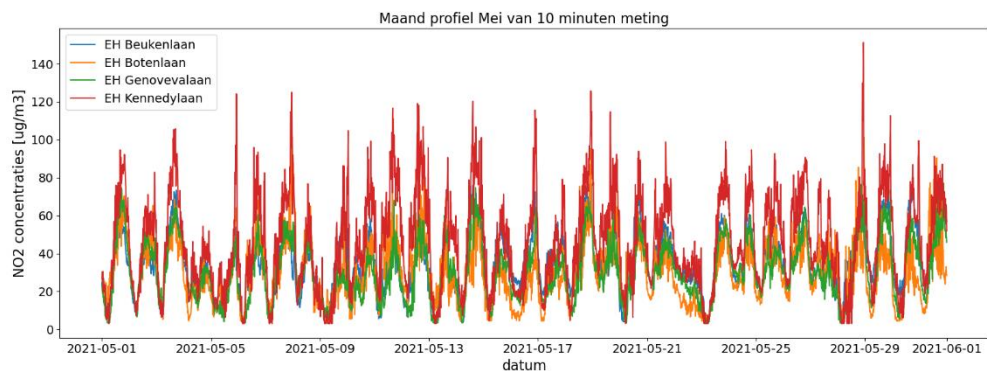
Fijnstof: De fijnstofsensoren vertonen na plaatsing in het ILM2 meetnet over het algemeen consistente meetresultaten gedurende 2021. Een voorbeeldgrafiek van PM_{2.5} van juni 2021 van meetlocaties in de Eindhovense binnenstad is zichtbaar in Figuur 10. Alle meetlocaties in deze grafiek tonen grofweg hetzelfde verloop over de maand heen. Daarbij zijn per meetlocatie incidentele concentratiepieken zichtbaar, welke waarschijnlijk toe te schrijven zijn aan specifieke lokale emissies die op dat moment plaatsvinden in de buurt van de meetlocatie. In de fijnstof meetreeksen, ook in Figuur 10 in de piek rond eind juni bijvoorbeeld, is zichtbaar dat bij hogere PM waarden de metingen qua absolute waarden verder uit elkaar gaan lopen. Dit kan het gevolg zijn van variatie tussen verschillende meetlocaties, welke bijvoorbeeld kunnen ontstaan wanneer opeenhoping van fijnstof plaatsvindt bij lagere windcondities. Daarnaast spelen mogelijke meetartefacten mee waar bij hogere concentraties de spreiding in meetwaarden groter wordt ten opzichte van de referentie.



Figuur 10 Vergelijking tussen de PM2.5 meetresultaten van verschillende meetlocaties in de Eindhovense binnenstad voor de maand juni 2021.

In zijn algemeenheid kan geconcludeerd worden dat de fijnstofsensoren onderling gelijkend meten en stabiel gedrag over de tijd heen vertonen. De meetresultaten tonen gelijkende patronen in de tijd over de gehele regio Zuidoost-Brabant met een gemiddelde correlatiecoëfficiënt R over alle meetlocaties bezien in 2021 van 0,92 voor PM1, 0,91 voor PM2.5 en 0,86 voor PM10. Dit komt overeen met de verwachtingen rondom het gedrag van fijnstof in de buitenlucht.

NO₂: Van maart tot oktober 2021 is een sterk dagelijkse gang in de NO₂ meetresultaten zichtbaar op meerdere meetlocaties van het ILM2 welke waarschijnlijk wordt veroorzaakt door fluctuaties in luchtvochtigheid over de dag heen. Een duidelijk voorbeeld is zichtbaar aan de gemeten concentraties op de meer verkeersintensieve meetlocaties in Eindhoven getoond in Figuur 11 voor de maand mei 2021. Er ontstaat zichtbaar cyclisch gedrag in de NO₂ meetresultaten gecombineerd met te hoge gemeten piekwaarden: zie ook Figuur 17, in de volgende sectie, voor een vergelijking met het LML-station aan de Genovevalaan. De meetresultaten in die periode worden daardoor als afwijkend beschouwd.



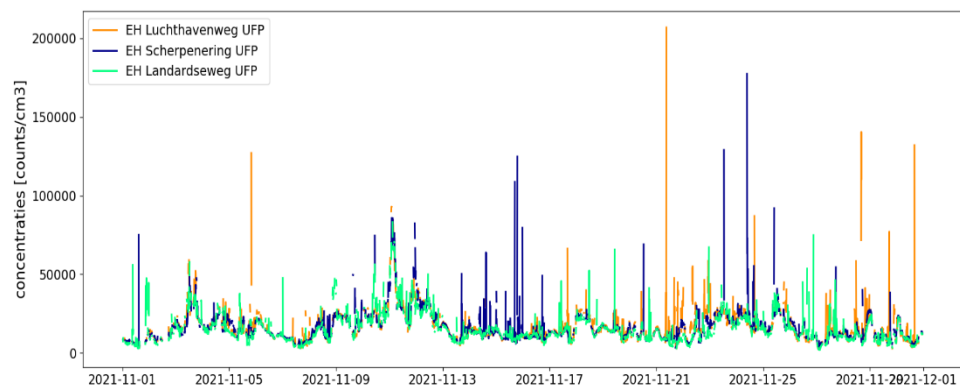
Figuur 11 Vergelijking tussen de NO₂ meetresultaten van verschillende verkeersintensieve meetlocaties in het ILM2 netwerk voor de maand mei 2021.

TNO heeft op verschillende manieren onderzocht waar deze problemen precies vandaan komen en hoe deze op te lossen zijn. Hierbij zijn de NO₂-meetseries in deze periode uitgebreid geanalyseerd en vergeleken met, onder andere, schommelingen in temperatuur van de buitenlucht, luchtvochtigheid en ozonconcentraties. Dit is onder meer gedaan voor de meetlocatie aan de Genovevalaan. Daaruit is met name samenhang zichtbaar met het dag-nacht ritme van luchtvochtigheid in de zomerperiode. Ook wordt invloed van ozon niet uitgesloten. Om deze reden zijn de NO₂ meetgegevens van 1 maart 2021 tot en

met 1 november 2021 niet meegenomen in de analyses in dit rapport. De meetresultaten zijn overigens wel offline beschikbaar.

Tijdens 2021 zijn meerdere veldtesten uitgevoerd om mogelijke interventies te testen, onder andere aan de Genovevalaan. Na analyse is besloten om de cartridges binnen het NO₂-meetsysteem die de relatieve luchtvochtigheid in het sensor compartiment moeten stabiliseren te vervangen door nieuwe. Dit is in de eerste week van november uitgevoerd waarbij de metingen direct verbeterden. Er is vervolgens per box geëvalueerd of er aanpassingen nodig waren op de eerder vastgestelde kalibratieparameters. Daarbij is per box een vergelijk gemaakt tussen de NO₂-meetwaarden van de 3 LML stations in de regio, op momenten dat deze gelijke meetwaarden vertonen, en de meetwaarde van de box. Op basis van dit vergelijk zijn voor 27 van de 44 meetlocaties de kalibratieparameters aangepast met ingang van 1 november. Het is niet uitgesloten dat hier enige trendbreuk kan optreden ten opzichte van de originele kalibratie.

UFP: De UFP-sensoren van de 3 meetlocaties rond het vliegveld lijken goed te hebben gefunctioneerd. Figuur 12 toont de meetresultaten in november 2021 waarbij afwisselend pieken zichtbaar zijn over de drie meetlocaties, terwijl het basisoniveau voor de 3 sensoren gelijkend blijft. Er is daarbij door de tijd heen geen drift zichtbaar.



Figuur 12 UFP-metresultaten in counts/cm³ in de maand november 2021 voor de 3 meetlocaties rond het vliegveld.

3.2.2 ILM2 vergelijking met het LML

In deze sectie omschrijven we de vergelijking tussen de LML-metwaarden en de metingen van het ILM voor PM₁₀ en NO₂. Er zijn aan de Genovevalaan geen metingen voor PM₁, PM_{2.5} en UFP beschikbaar en deze stoffen kunnen hier dan ook niet worden vergeleken. Naast een vergelijking tussen het LML en de ILM2 meetlocatie 037 worden ook 4 andere CAIREBoxen in deze vergelijking meegenomen. Deze boxen hebben tijdens 2021 minimaal 3 maanden gelijktijdig aan ILM037 aan het rek bij het LML aan de Genovevalaan gehangen.

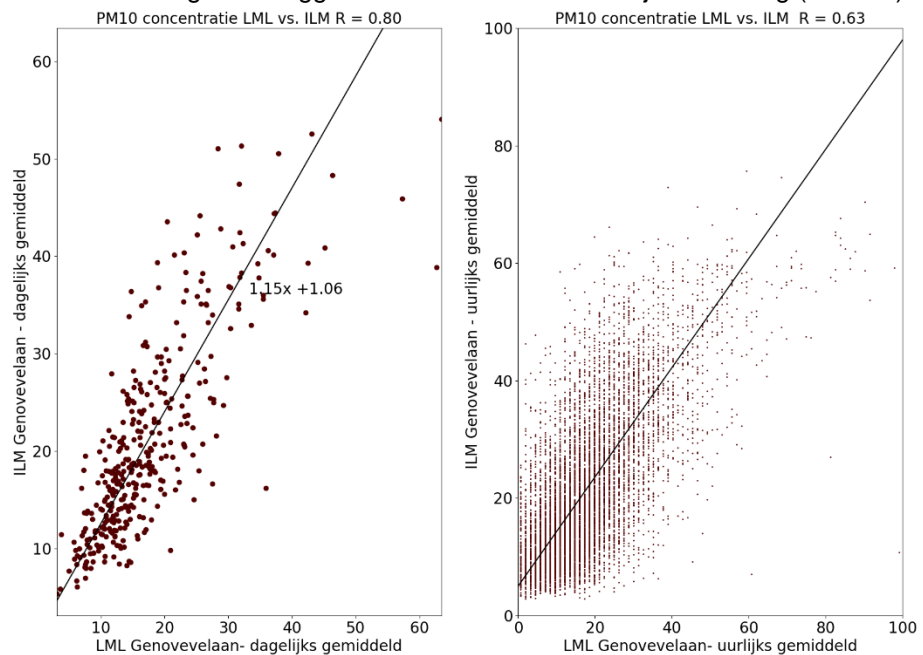
Fijnstof: Het LML-meetinstrument (PM₁₀; FH-62) is equivalent aan het referentie-instrument (Leckel of Derenda) voor dagwaarden. In Figuur 16 staat het maandelijks verloop van de richtingscoëfficiënt R_c, correlatiecoëfficiënt R en de RMSD tussen LML en ILM2, meetlocatie 037, over 2021 getoond op basis van daggemiddelde PM₁₀ meetresultaten. Een overzichtstabel van een vergelijking tussen alle CAIREBoxen en het LML, alsmede in vergelijking tot de ILM2 meetlocatie 037, staat in Tabel 2.

Tabel 2 Gemiddelde correlatie R (-), richtingscoëfficiënt Rc (-) en RMSD (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in dagelijkse PM10 meetgegevens van 4 CAIREBoxen met ILM2 meetlocatie 037 en het LML.

Boxnummer	Van	Tot	R		Rc		RMSD	
			ILM	LML	ILM	LML	ILM	LML
006: ABA108686	5-3-21	17-9-21	0,99	0,83	0,85	0,95	3,3	4,3
021: ABA107582	17-5-21	31-12-21	0,98	0,77	0,92	1,14	2,9	5,6
027: ABA132816	1-1-21	11-5-21	0,98	0,87	0,86	0,99	4,2	5,3
035: ABA109547	8-7-21	31-12-21	0,99	0,81	0,92	1,20	3,1	5,8
037: ABA110157	1-1-21	31-12-21	-	0,80	-	1,20	-	7,1

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

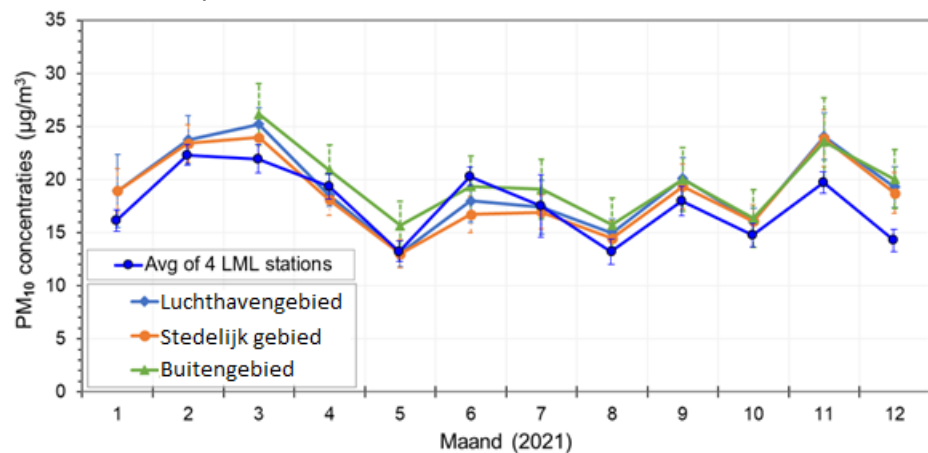
- Gemiddeld meet ILM037 hoger dan het LML. Het LML heeft een gemeten gemiddelde jaarconcentratie PM10 van $17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ILM037 meet gemiddeld $20,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ over 2021. In Figuur 16-A is zichtbaar dat de Rc tussen ILM037 en LML zich tussen de 1,49 (december) en 0,96 (juni) op maandbasis bevindt. De gemiddelde Rc op jaarbasis is 1,20. Met name in november en december meet ILM037 hoger dan het LML Genovevalaan. De andere boxen getoond in Tabel 2 meten allemaal iets lager dan ILM037 en komen daarmee qua absolute concentraties, zichtbaar bijvoorbeeld in de Rc-waarde, dichterbij het LML.
- Figuur 16 toont de gemiddelde correlatie per maand tussen meetlocatie 037 en het LML welke varieert tussen de 0.56 (mei) en 0.92 (april). Figuur 13 toont de correlaties voor het gehele jaar. De correlatiecoëfficiënt van de daggemiddelde waarde van het LML-station en ILM037 is 0.80. Voor de uurgemiddelde waarden is de jaarlijks gemiddelde correlatie 0.63. De correlatie R tussen de boxen onderling voor daggemiddelde concentraties zijn zeer hoog (Tabel 2).



Figuur 13 Correlatiediagram tussen PM10 meetresultaten van het LML Genovevalaan en ILM2 meetlocatie 37 over 2021. Links staan de daggemiddelde resultaten, rechts het correlatiediagram van uurgemiddelde PM10 meetresultaten.

- De RMSD tussen LML en ILM2 ligt tussen de 4 en 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gebaseerd op de boxen aan de Genovevalaan. De RMSD gezien vanuit ILM037 ten opzichte van het LML is in de winter hoger dan in de zomer. De RMSD tussen ILM037 en de andere boxen ligt tussen de 3 en 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aangezien ILM037 de box is die het hoogste meet zal deze RMSD voor de andere boxen onderling lager zijn.

Kijkend naar hoe het gehele meetnet zich verhoudt tot het gemiddelde van 4 LML meetstations in de regio is zichtbaar dat de trends over de tijd zeer gelijkend zijn (zie Figuur 14). Dit geldt ook voor de absolute concentraties van april tot en met oktober. Gelijkend aan de genoemde observaties aan de Genovevalaan, zijn absolute verschillen vooral zichtbaar in de winterperiode: dit betreft november en december en, in mindere mate, januari tot en met maart. Waarom deze verschillen met name in deze periode ontstaan is reden voor onderzoek.



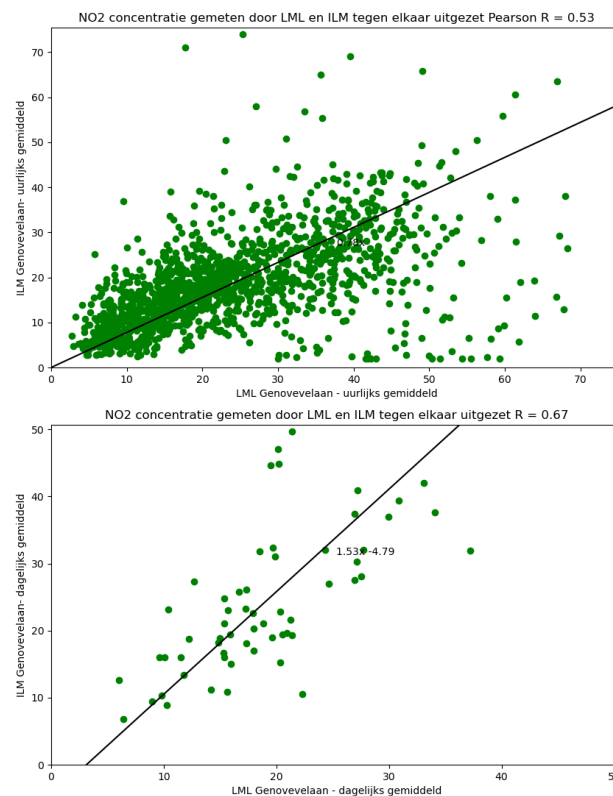
Figuur 14 Maandelijks gemiddeld gemeten PM10 concentratie waarbij een vergelijking is gemaakt tussen de verschillende onderzoeksgebieden in het ILM2 meetnet en de gemiddeld gemeten concentratie op de LML stations Genovevalaan, Noord-Brabantlaan, Veldhoven en Vredepeel.

De gemeten patronen door het ILM2 in concentraties door de tijd zijn over het algemeen gelijkend aan het LML. Met name rond winterperiode nemen de verschillen in absolute meetwaarden tussen de ILM2 meetgegevens en het LML toe. De variatie tussen sensoren is relatief klein, tot 20% over langere periodes en veelal kleiner. De sensoren gedragen zich gelijkend over het jaar waarbij geen uitgesproken drift zichtbaar is. De genoemde observaties voor PM sluiten in algemeenheid aan bij Bijlage II, waarin het RIVM een kwaliteitsanalyse heeft uitgevoerd op basis van een CEN-protocol in wording voor het evalueren van sensoren. Het ILM2 meetnet is door de sterke samenhang in gedrag tussen de sensoren zeer geschikt om patronen in PM concentraties in tijd en ruimte te identificeren en te duiden op het lokale en regionale niveau. Bij het gebruik van de ILM2 sensordata voor de vaststelling en vergelijking van absolute concentraties tussen, met name, individuele meetlocaties, voor toetsing met normen bijvoorbeeld, moet er rekening gehouden worden met genoemde onzekerheden op deze PM metingen.

NO₂: Zoals beschreven in sectie 3.2.1 tonen de ILM2 metingen van NO₂ afwijkend gedrag buiten de wintermaanden. Dit is ook zichtbaar in de vergelijking tussen de ILM2 en LML meetgegevens van NO₂ in Figuur 17. Hier staat het maandelijks verloop van de Rc, R en de RMSD tussen LML en ILM2 over 2021 getoond op basis van daggemiddelde NO₂ meetresultaten. In de periode van begin maart tot

oktober is duidelijk zichtbaar dat de ILM2 meetwaarden aan de Genovevalaan veel hoger liggen dan de waarden van het LML. De cyclische patronen in de meetdata, reeds beschreven in sectie 3.2.2, die deze afwijkende Rc, daling in R en daarmee ook een sterke toename in RMSD veroorzaken zijn in die periode ook terug te zien op veel andere meetlocaties van het ILM2. Hoewel aan het LML in oktober al enig herstel zichtbaar is, onderbouwt dit de conclusie van sectie 3.2.1 om de meetresultaten van NO₂ voor maart tot en met oktober niet mee te nemen binnen de analyses uitgevoerd voor dit rapport.

De maanden januari en februari worden wel meegenomen in de analyses. Ondanks dat op de Genovevalaan wel periodes van afwijkende metingen ten opzichte van het LML zichtbaar zijn, wat de relatief lage R waarde verklaart, worden de uurlijkse variaties voor een belangrijk deel gevolgd. Dit geldt tijdens deze periode ook voor de andere locaties in het ILM2 meetnet, terwijl in maart de afwijkingen een

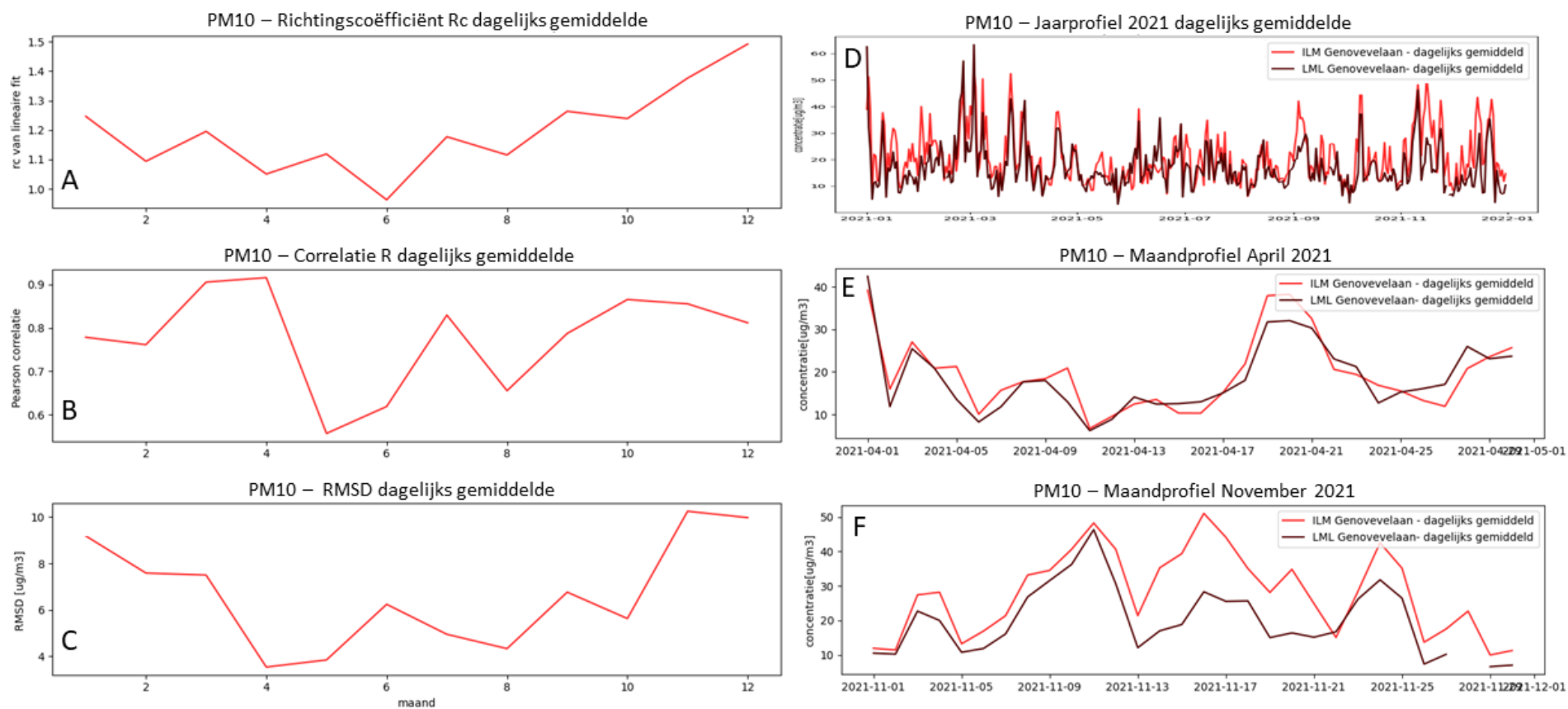


Figuur 15 Correlatiediagram van uurgemiddelde en daggemiddelde NO₂ meetresultaten van het LML Genovevalaan en ILM037 van 1 november tot en met 31 december 2021.

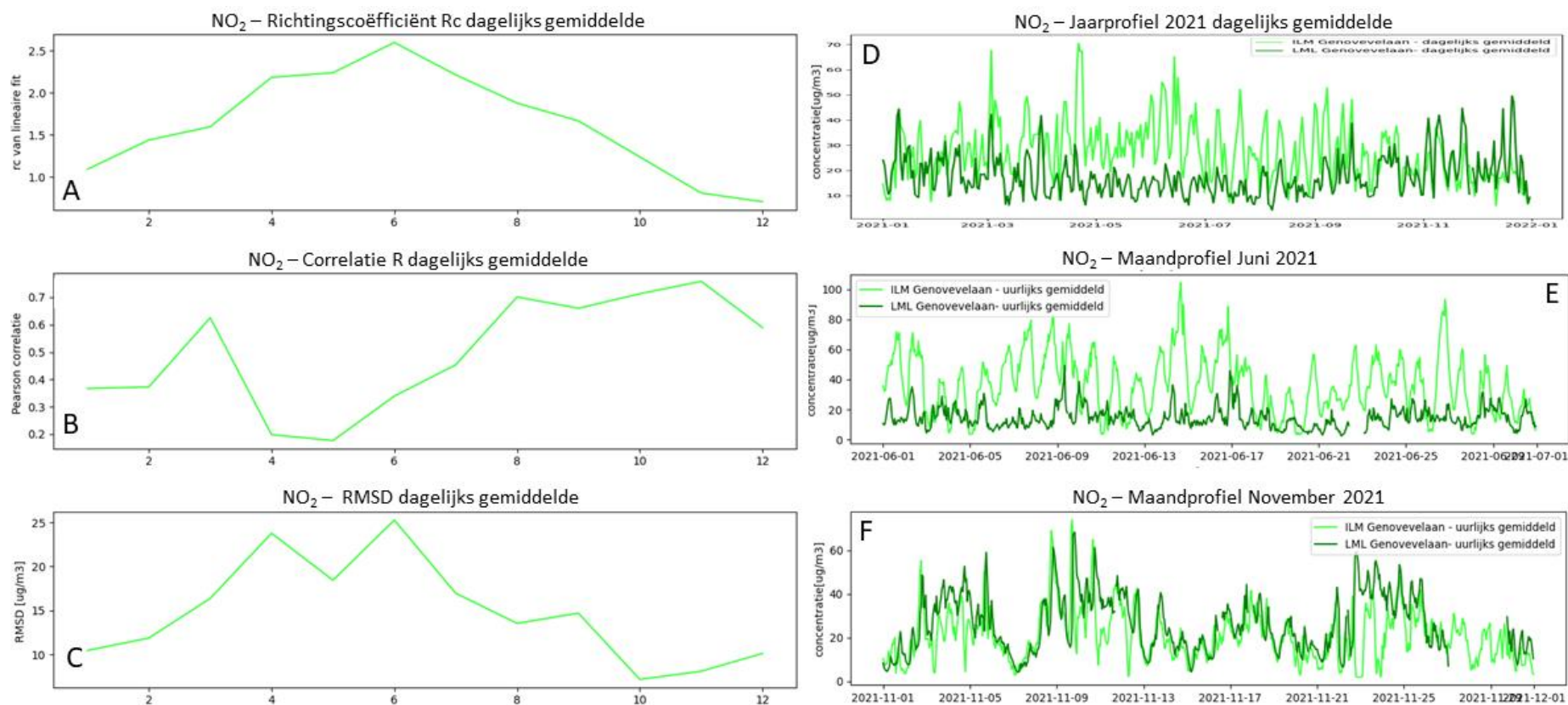
structureel karakter hebben over een groot deel van de locaties. In de eerste week van november heeft TNO op de meetlocaties waar deze problemen zich voordeden een aanpassing gemaakt in het NO₂-systeem. Na deze aanpassing komen de metingen van de ILM2 meetlocatie 037 meer overeen met het LML. De gemiddelde correlatiecoëfficiënt R in november en december op uurbasis is 0,53, op dagbasis is deze 0,67 (Figuur 15).

Daarbij valt voor deze periode wel op dat hogere meetwaarden op het LML, zichtbaar in Figuur 17-F, niet altijd worden gemeten door het ILM2: dit veroorzaakt ook de relatief hoge Rc waarde in deze periode zichtbaar in Figuur 17-A. Dit lijkt verband te

houden met verhoogde aanwezigheid van NO (op basis van de LML data) in deze periodes welke een invers effect lijkt te hebben op de NO₂-sensormeting van de CAIREBox. De meetwaarden worden hierdoor heel laag of zelfs negatief. Negatieve waarden worden automatisch afgevlagd in de database. Er is verder onderzoek nodig om deze invloeden van andere stoffen op de sensormeting te begrijpen en mee te nemen in de verwerking van de data. Dit betekent ook dat het gebruik van de NO₂ meetdata, ook voor de periodes januari-februari en november-december, met voorzichtigheid moet worden beschouwd.



Figuur 16 Verloop van de maandelijks gemiddelde A) richtingscoëfficiënt R_c , B) correlatiecoëfficiënt R en C) RMSD tussen de ILM037 meetlocatie en het LML-maatstation aan de Genovevelaan in 2021 voor PM10 berekend op basis van daggemiddelde data. D) toont het jaarlijkse verloop op dagbasis van zowel ILM2 als LML, E) de maand april 2021 op dagbasis en F) de maand november 2021 op dagbasis.



Figuur 17 Verloop van de maandelijks gemiddelde A) richtingscoëfficiënt R_c , B) correlatiecoëfficiënt R en C) RMSD tussen de ILM037 meetlocatie en het LML-metstation aan de Genevevalaan in 2021 voor NO_2 berekend op basis van daggemiddelde data. D) toont het jaarlijkse verloop op dagbasis, E) de maand juni 2021 op uurbasis en F) de maand november 2021 op uurbasis.

4 Regionale luchtkwaliteit 2021

4.1 Algemeen beeld Zuidoost-Brabant

4.1.1 Regionaal overzicht 2021

De gemiddelde PM en NO₂ concentraties per jaar en per kwartaal gemeten door het ILM2 staan getoond in Tabel 3. In Bijlage III staat getoond welke meetlocaties zijn opgenomen bij de berekening van welke waarde (Tabel S1). Ook staan daar de jaargemiddelde waardes gepresenteerd op basis van de 22 meetstations met een volledig jaar aan meetdata (Tabel S2). Deze waardes zijn qua trends over het jaar en orde grootte in lijn met de getoonde gemiddelden in Tabel 3.

De ruimtelijke dekking van het meetnet is in het jaar 2021 geleidelijk vergroot. Zo waren er in het Q1 slechts 22 meetlocaties beschikbaar met minimaal 75% datadekking in dat specifieke kwartaal. In Q4 was dit aantal verdubbeld naar 44 meetlocaties. Volgend op de beschreven selectieprocedure (sectie 2.3) zijn uiteindelijk 29 meetlocaties, met minimaal 9 maanden aan meetdata, gebruikt om het jaargemiddelde te berekenen voor PM1, PM2.5 en PM10. Dit betreffen 19 meetlocaties in de stad Eindhoven, de 3 meetlocaties rondom Eindhoven Airport en 7 meetlocaties in het buitengebied. Er zijn 22 meetlocaties gebruikt voor de berekening van de gemiddelde NO₂; dit zijn 19 meetlocaties in de stad Eindhoven en de 3 meetlocaties rondom Eindhoven Airport. Voor de NO₂ gemiddelden is enkel gekeken naar de maanden januari-februari en november-december 2021.

Tabel 3 Jaarlijkse en kwartaal gemiddelde concentraties van fijnstof en NO₂ gemeten door het ILM2 in 2021 in µg/m³. De getoonde standaard deviatie betreft de spreiding van deze variabelen tussen de meetlocaties. De n-waarde reflecteert het aantal meetlocaties waarop de gemiddelde waardes zijn berekend. Meetlocaties zijn enkel meegenomen als zij meer dan >75% data beschikbaar hebben van de relevante periode.

Periode	Meetnet ILM2 (Gemiddelde ± SD: µg/m ³)				Deeltjesverdeling (%)	
	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂	PM1/PM10	PM2.5/PM10
Jaar 2021	11.5±1.8 (n=29)	13.9±1.9 (n=29)	19.3±2.0 (n=29)	21.2±3.1 (n=22)	59.6±4.1 (n=29)	71.9±4.2 (n=29)
Q1 2021 (Jan-Mar)	13.0±1.8 (n=22)	16.3±2.2 (n=22)	22.3±1.9 (n=22)	24.4±5.2 (n=21)	58.2±4.5 (n=22)	72.8±4.7 (n=22)
Q2 2021 (Apr-Jun)	9.4±1.8 (n=31)	11.4±1.8 (n=31)	16.8±2.1 (n=31)	-	55.8±4.6 (n=31)	67.7±4.3 (n=31)
Q3 2021 (Jul-Sep)	10.5±1.8 (n=41)	12.3±1.9 (n=41)	17.4±2.2 (n=41)	-	60.9±4.1 (n=41)	70.7±4.3 (n=41)
Q4 2021 (Okt-Dec)	12.4±1.8 (n=44)	14.9±2.0 (n=44)	19.8±2.4 (n=44)	17.0±4.5 (n=43)	63.1±4.1 (n=44)	75.5±4.1 (n=44)

De gemiddeld gemeten concentraties PM1, PM2.5 en PM10 in het hele ILM2 meetnet waren respectievelijk 11,5 µg/m³, 13,9 µg/m³ en 19,3 µg/m³ in 2021.

Gemiddeld bestaat 1 µg/m³ PM10 volgens het ILM2 daarmee voor 60% uit PM1 en voor 72% uit PM2.5. Deze 72% is in lijn met de verhouding PM2.5/PM10 gemeten aan LML Vredepeel en LML Veldhoven over 2021, respectievelijk 67% en 73%. De kleinere deeltjes hebben daarmee dus een belangrijk aandeel aan het totaal. De PM concentraties gemeten door het ILM2 tonen seizoenale patronen met relatief lage waardes rond de zomer en relatief hoge waardes rond de winter. In Q1 en Q4

zijn de gemeten concentraties PM1, PM2.5 en PM10 hoger dan in Q2 en Q3. Dit hangt mogelijk samen met:

- Rond de winter is de grenslaag van de atmosfeer minder dik dan in de zomer. Een hogere grenslaag hangt meestal samen met sterkere turbulentie waardoor luchtvervuilende stoffen naar hogere delen van de atmosfeer worden getransporteerd, waardoor de luchtvervuiling aan het aardoppervlak afneemt (Pan et al., 2019; van Dinther & Plomp, 2019).
- Verbrandingsemissies gerelateerd aan de verwarming van huizen en wegverkeer zijn hoger tijdens de winter (Bloemen, 2008). De grotere fractie aan kleine deeltjes in de wintermaanden, representatief voor dit type emissies, lijkt dit ook aan te duiden.

De gemiddeld gemeten concentratie voor NO₂ was 21 µg/m³: zoals eerder aangegeven is deze waarde gebaseerd op een relatief korte tijdsperiode van een aantal maanden. In Tabel 3 is zichtbaar dat de gemiddeld gemeten concentraties NO₂ in Q1 hoger zijn dan in Q4. In Tabel S2, Bijlage III, is deze afname ook zichtbaar, maar wel iets minder groot. De 22 meetlocaties in Tabel S2 zijn enkel in stedelijk gebied. In Q4 waren relatief strenge maatregelen rond COVID-19 ingevoerd wat mogelijk een deel van dit verschil verklaart. Daarnaast zijn in Q4 veel meetlocaties in het buitengebied inmiddels geïnstalleerd welke veelal een lagere gemiddelde NO₂ concentratie bemeten dan de meetlocaties in de stad.

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 2021 gepresenteerd. Bij een installatiedatum later dan 1 januari 2021 is de periode vanaf installatie tot en met 31 december 2021 beschouwd. De gemiddelde NO₂ waarde betreft het gemiddelde van de eerste twee maanden en de laatste twee maanden van het jaar. In Figuur 18 en Figuur 19 worden boxplots getoond van PM1, PM2.5, PM10 en NO₂ van alle ILM2 meetlocaties. Bij interesse in een specifieke meetlocatie staan in Bijlage IV per meetlocatie een overzicht gepresenteerd van de gemeten concentraties gedurende het jaar 2021, uitgesplitst in verschillende soorten visualisaties.

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 waar sensoren wel of niet aannemelijk maken 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 door het ILM2 liggen getalsmatig over het algemeen wel boven de WHO advieswaarden van 2021. Dit geldt overigens ook voor vele andere delen van Nederland (Maas et. al, 2022).

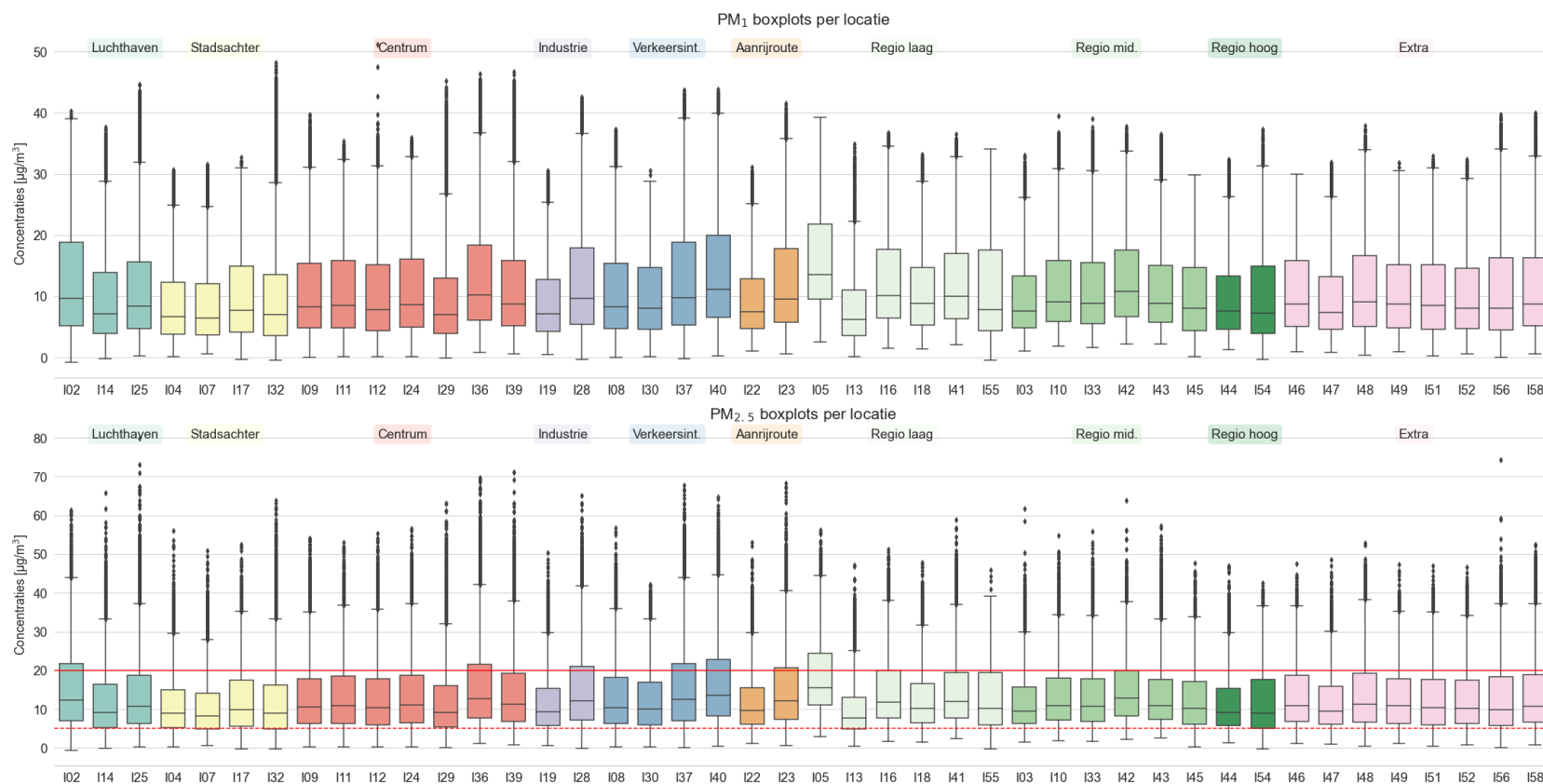
Tabel 4 EU-grenswaardes en WHO advieswaardes, opgesteld in 2021, voor jaargemiddelde PM2.5, PM10 en NO₂ concentraties (bron: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/wet-en-regelgeving-luchtkwaliteit/europese-wetgeving-luchtverontreiniging>.)

Jaargemiddelde concentraties	PM2.5	PM10	NO ₂
EU-Grenswaarde	20,0	40,0	40,0
WHO advieswaarde	5,0	15,0	10,0

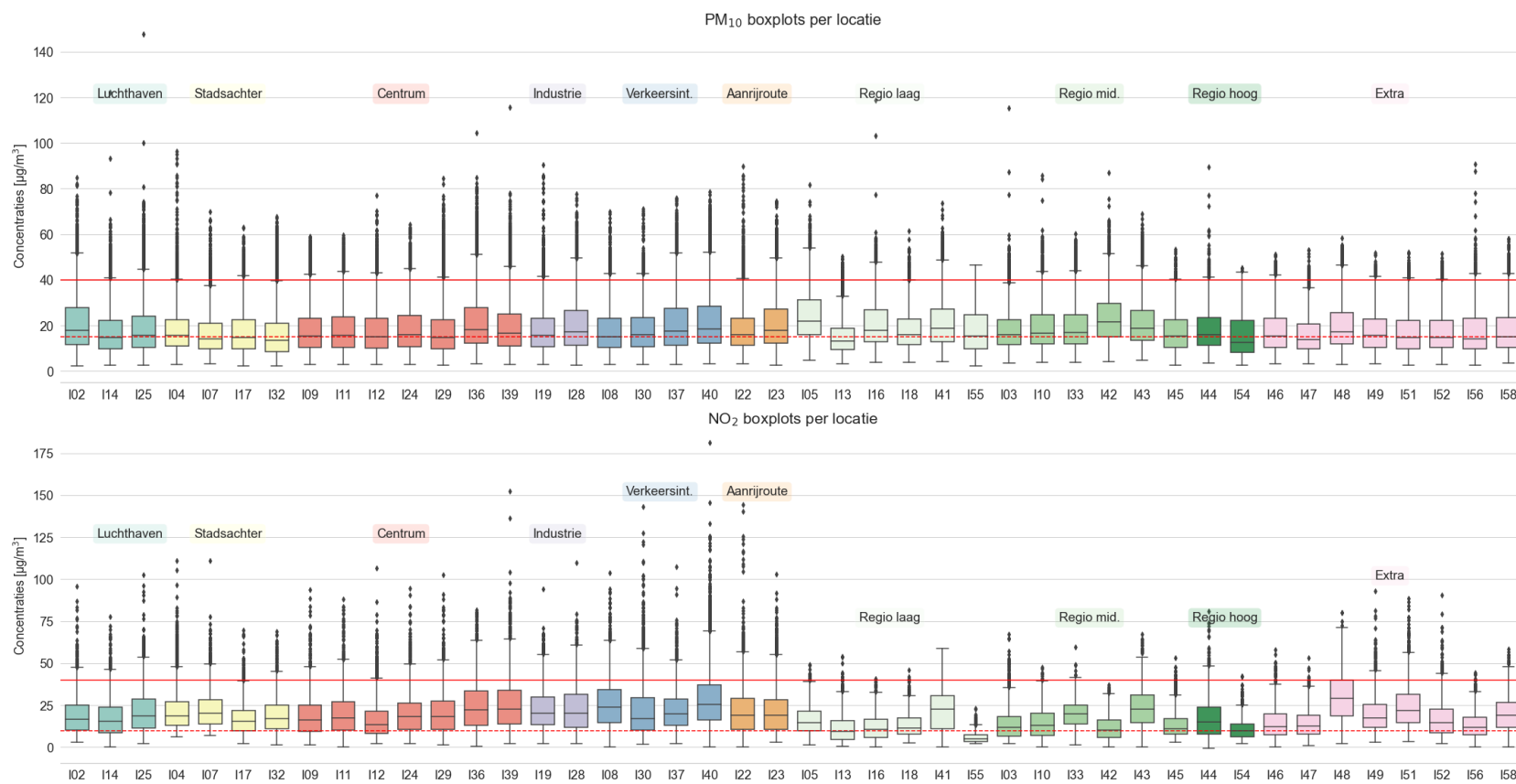
Tabel 5 Gemiddeld gemeten concentraties per meetlocatie in 2021. Bij een installatiedatum later dan 1 januari 2021 is de periode van installatie t/m 31 december 2021 beschouwd. De NO₂ waarde betreft het gemiddelde van de eerste en laatste twee maanden van 2021.

ILM nr.	Meetlocatie	Type	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂
ILM002	EH Scherpenering	Luchthaven	12,8	15,7	21,0	19,2
ILM014	EH Landardseweg	Luchthaven	10,1	12,2	17,4	17,6
ILM025	EH Luchthavenweg	Luchthaven	11,6	14,1	18,8	21,8
ILM004	EH Finistérelaan	Stadsachter.	8,8	11,2	17,7	22,3
ILM007	EH Oirschotsedijk	Stadsachter.	8,8	10,7	16,4	21,8
ILM017	EH Gennepeweg	Stadsachter.	10,3	12,6	17,0	16,9
ILM032	EH Maaseikstraat	Stadsachter.	10,3	12,3	16,4	18,3
ILM009	EH Stationsweg	Centrum	11,2	13,4	17,9	18,2
ILM011	EH prof dr. Dorgelolaan	Centrum	11,2	13,6	18,0	19,4
ILM012	EH Mathildelaan	Centrum	10,6	13,0	17,7	16,6
ILM024	EH Fellenoord	Centrum	11,4	13,9	18,7	20,2
ILM029	EH Wal	Centrum	9,8	12,2	17,6	19,6
ILM036	EH Vestdijk	Centrum	13,6	16,4	21,5	24,0
ILM039	EH Willemstraat	Centrum	12,0	14,6	19,5	25,6
ILM008	EH Beukenlaan	Verkeersint.	11,1	13,4	17,9	26,4
ILM030	EH Botenlaan	Verkeersint.	10,1	12,1	17,8	22,4
ILM037	EH Genovevalaan	Verkeersint.	13,2	15,9	20,9	21,6
ILM040	EH Kennedylaan	Verkeersint.	14,3	16,8	21,7	29,9
ILM022	EH Meerhovendreef	Aanrijroute	9,6	11,9	18,1	22,9
ILM023	EH Anthony Fokkerweg	Aanrijroute	12,8	15,6	21,0	23,0
ILM019	EH Kanaaldijk	Industrie	9,4	11,6	17,9	22,6
ILM028	EH Klokgebouw	Industrie	12,9	15,4	20,3	22,6
ILM005	Eersel Zandoerleseweg ²	Regio laag	16,3	18,7	24,5	16,1
ILM013	Nuenen Soeterbeekseweg	Regio laag	8,3	10,1	15,2	8,4
ILM016	Bergeijk Dorpsstraat	Regio laag	12,9	14,9	20,7	10,7
ILM018	Boxtel Mijlstraat	Regio laag	10,8	12,4	18,0	12,9
ILM041	Geldrop Mierlo Voortje	Regio laag	12,6	14,9	21,2	20,8
ILM055	Valkenswaard Bergeijksedijk	Regio laag	11,0	13,3	17,9	6,0
ILM003	Best Kapelweg	Regio mid.	9,9	12,0	17,9	14,2
ILM010	Reusel Mierdseweg	Regio mid.	11,8	13,8	19,2	14,3
ILM033	Son & Breugel Sonniuswijk	Regio mid.	11,6	13,6	19,4	20,7
ILM042	Gemert-Bakel Keizersven	Regio mid.	13,0	15,3	23,4	11,2
ILM043	Oirschot Krukkerd	Regio mid.	11,5	13,8	21,2	22,8
ILM045	Meerijstad Zonveldstraat	Regio mid.	10,2	12,6	17,2	13,2
ILM044	Heeze-Leende Ronde Bleek	Regio hoog	9,9	11,6	18,2	17,1
ILM054	Deurne Paardekopweg	Regio hoog	10,6	12,2	15,6	10,6
ILM048	Helmond Vossenbeemd	Extra (Stad)	11,8	14,2	19,8	29,5
ILM049	Helmond Kanaaldijk	Extra (Stad)	10,7	13,1	17,5	18,6
ILM051	Helmond Mierloseweg	Extra (Stad)	10,7	12,7	16,9	23,2
ILM052	Helmond Kasteel-traverse	Extra (Stad)	10,4	12,8	17,2	15,6
ILM046	Best Ringweg	Extra (Regio)	10,9	13,5	17,6	13,8
ILM047	Oirschot Neereindsweg	Extra (Regio)	9,8	12,0	16,2	13,7
ILM056	Reusel Beekakkersweg	Extra (Regio)	11,3	13,3	17,6	13,0
ILM058	Best Looierstraat	Extra (Regio)	11,9	14,0	18,2	18,8

² Analyse laat zien dat de gemeten PM concentraties op de meetlocatie ILM005 in Eersel veelal hetzelfde patroon volgen als op de andere meetlocaties maar consequent hoger liggen. Dat duidt op een stelselmatige afwijking naar boven van de sensor. Tijdens de kalibratieperiode was een dergelijke afwijking niet zichtbaar. Of hier inderdaad sprake is van een stelselmatige afwijking van de sensor of dat concentraties inderdaad hoger liggen zal in 2022 geverifieerd moeten worden.



Figuur 18 Boxplots van PM₁ en PM_{2.5} per meetlocatie. De grafiek toont de mediane gemeten concentratie samen met de laagste en hoogst gemeten waarden in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De rechthoek representeert de 25% en 75% percentiel; hogere individuele waarnemingen, in zwart, zijn veelal outliers. De bovenste rode streep markeert de EU-grenswaarden, de rode stippellijn de WHO advieswaarden uit 2021.



Figuur 19 Boxplots van PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀ per meetlocatie. De grafiek toont de mediane gemeten concentratie samen met de laagste en hoogst gemeten waarden in µg/m³. De rechthoek representeert de 25% en 75% percentiel; hogere individuele waarnemingen, in zwart, zijn veelal outliers. De bovenste rode streep markeert de EU-grenswaardes, de rode stippellijn de WHO advieswaardes uit 2021.

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 (zoals getoond in Tabel 3) geven een indicatie van de gemiddelde invloed van lokale / regionale bronnen op de regionale luchtkwaliteit ten opzichte van externe factoren. In Tabel 6 worden deze achtergrondconcentraties per doelstof gepresenteerd.

Tabel 6 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. Voor NO₂ wordt enkel de periode januari-februari 2021 en november-december 2021 beschouwd.

Periode	Achtergrondconcentraties bepaald vanuit ILM2 meetgegevens				Percentage achtergrond van regionaal gemiddelde concentraties (%)			
	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂
Jaar 2021	7.4	9.2	13.6	7.7	64	66	71	36
Q1 2021 (Jan-Mar)	9.7	12.3	17.7	11.2	75	76	79	46
Q2 2021 (Apr-Jun)	5.7	7.3	11.9	-	61	64	71	-
Q3 2021 (Jul-Sep)	6.5	7.8	12.0	-	62	64	69	-
Q4 2021 (Okt-Dec)	7.6	9.3	12.9	4.1	61	62	65	24

Op basis van de metingen van het ILM2 zou iets meer dan 70% van de gemeten PM10 concentraties kunnen worden gezien als achtergrond. Dit wordt gezien als een minimum. De berekening van de laagste waarde per tijdstap is enigszins kwetsbaar omdat sensoren stelselmatig naar beneden kunnen afwijken. Analyse laat wel zien dat de laagst gemeten concentraties per tijdstap gemeten worden op verschillende meetlocaties door de tijd heen. Meetlocaties gericht op het bemeten van de stadsachtergrond en regionale achtergrond komen daarbij regelmatig terug. De CAIREBoxen op deze meetlocaties komen uit verschillende kalibratierondes. Daarmee lijkt een grote afwijking op de berekende achtergrondconcentratie door één of enkele sterk afwijkende sensors niet waarschijnlijk.

In de literatuur worden percentages achtergrond PM van eenzelfde orde grootte genoemd: berekeningen met atmosferisch-chemische verspreidingsmodellen wijzen uit dat gemiddeld 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 fijnstofconcentraties in Nederland gerelateerd wordt aan binnenlandse emissiebronnen, bijna 40% aan bronnen uit het buitenland en 35% door natuurlijke emissies of onbekende bron. Dit onderschrijft dat de orde grootte van het via het ILM2 berekende aandeel achtergrond in de concentratie PM van 70% voor Zuidoost-Brabant reëel is.

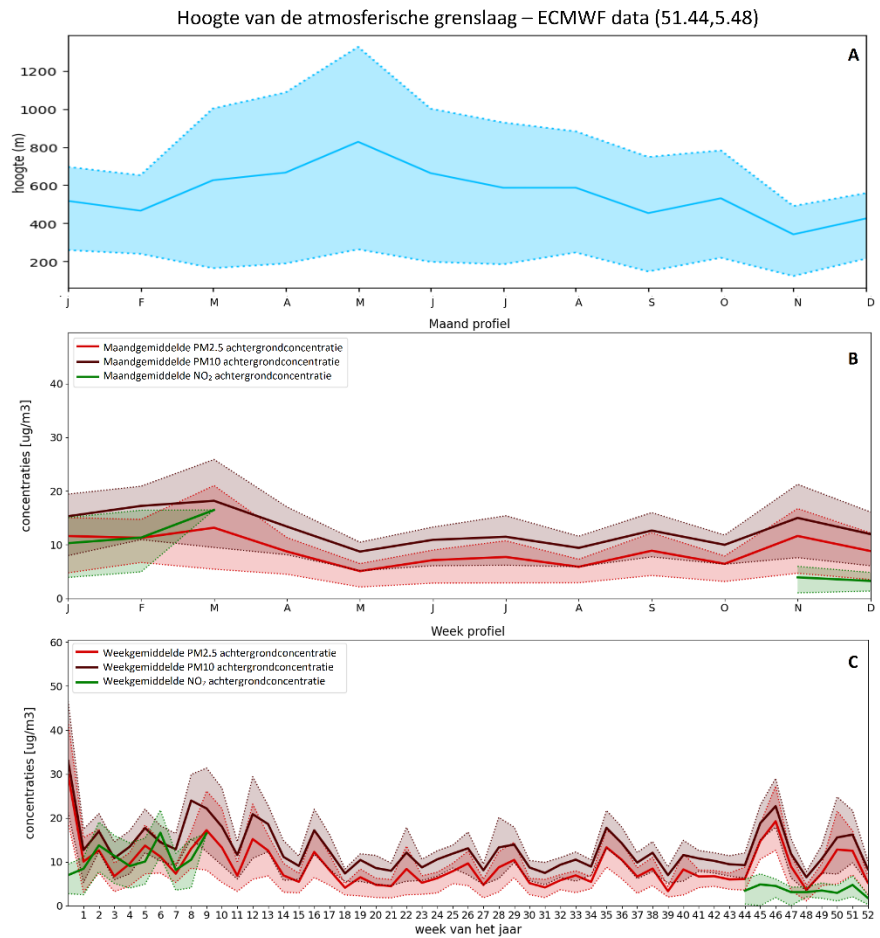
Maximaal 30% van de gemiddeld gemeten PM concentraties in de regio zou hiermee te herleiden moeten zijn tot meer lokale bronnen. Bij meetlocaties in de nabijheid van een bron zal het aandeel lokale bijdrage overigens aanzienlijk hoger liggen dan dit gemiddelde. Een eerste indicatie hiervan kan uitgerekend worden door de achtergrondconcentratie uit Tabel 6 te vergelijken met de gemiddeld gemeten waardes per meetlocatie getoond in Tabel 5.

Opvallend is dat de gemiddelde achtergrondconcentratie PM in Q1 zowel relatief als absoluut een stuk hoger ligt dan in de rest van het jaar. In Q1 waren enkel stedelijke meetlocaties in Eindhoven en de meetlocaties rond de luchthaven actief. Hierdoor wordt feitelijk een stadsachtergrondconcentratie getoond, welke naar verwachting iets hoger ligt dan de regionale achtergrond (zoals gevisualiseerd in Figuur 5). De stedelijke achtergrond in Q4, berekend enkel op basis van de meetresultaten van de 22 meetlocaties ook actief in Q1, is voor PM10 14,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Daarmee ligt in dit kwartaal de gemeten stedelijke achtergrond voor PM10 zo'n 12% hoger dan de berekende regionale achtergrond zichtbaar in Tabel 6. Dit is qua ordegrrootte in lijn met Keuken et al. (2012) waar gesproken wordt over een toename van 10-15% van de stedelijke achtergrond van PM in Rotterdam ten opzichte van de regionale achtergrond. In 2022 zal binnen het ILM2 bekeken worden hoe deze PM achtergrondconcentraties in stad en buitengebied zich tot elkaar verhouden over het gehele jaar, inclusief de zomermaanden.

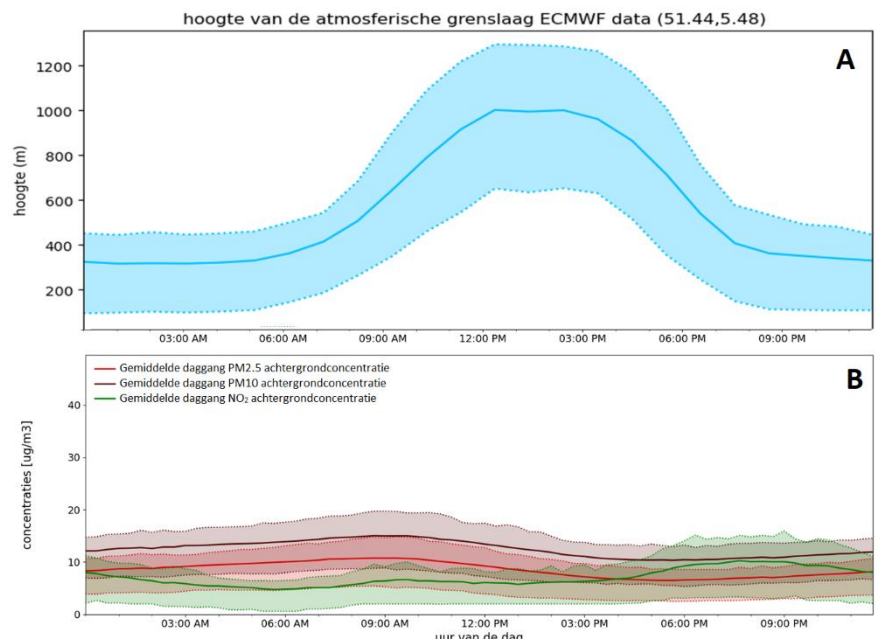
Figuur 20 toont hoe de gemiddelde PM achtergrondconcentraties per maand meebewegen met de grenslaaghoogte. In de winter ontstaat aan de grond een relatief koude luchtlaag welke minder makkelijk mengt met de warmere lucht hogerop in de atmosfeer (van Dinther & Plomp, 2019). Waar de dikte van de grenslaag in de winter kan dalen tot zo'n 100m is deze in de zomer geregeld meer dan 1000m dik. De maand maart wijkt enigszins af van de trend: in maart is de grenslaaghoogte, verkregen uit de ERA5 reanalysis dataset van ECMWF³, met 600m hoger dan tijdens de winter. De relatief hoge PM achtergrondconcentraties in deze maand lijken vooral samen te hangen met kalme, warme, droge weersomstandigheden eind maart. In grafiek C zijn sterk verhoogde PM concentraties rond de jaarwisseling zichtbaar wat het effect van vuurwerk op de gehele regio illustreert. De invloed van de grenslaaghoogte is ook zichtbaar in de gemiddelde daggang van PM achtergrondconcentraties (Figuur 21). De hoogste PM achtergrondconcentraties zijn zichtbaar rond 08.00~09.00. Daarna neemt de grenslaaghoogte toe terwijl de concentraties PM dalen tot ongeveer 17.00~18.00. Zodra de grenslaaghoogte daalt nemen de PM concentraties geleidelijk aan weer toe.

Voor NO₂ is de achtergrondconcentratie berekend vanuit het ILM2 goed voor 36% van het totaal (Tabel 6). Dit percentage is in lijn met Maas et al. (2022): hier wordt gesteld dat binnenlandse bronnen in 2016 in Nederland voor gemiddeld 65% bijdroegen aan NO₂ concentraties (met hogere aandelen in de steden) terwijl buitenlandse bronnen verantwoordelijk zijn voor 35%. Lokale bronnen, zoals verkeer, hebben daarmee veel invloed op de heersende concentraties NO₂. Er zit een aanzienlijk verschil in de berekende waarde voor Q1 en Q4; dit komt waarschijnlijk door een combinatie van meer meetlocaties in het buitengebied in Q4 (waar lagere NO₂ concentraties worden gemeten) en genoemde onzekerheden op de sensormeetgegevens. Voor NO₂ is de samenhang met de grenslaaghoogte minder duidelijk (Figuur 21): achtergrondconcentraties NO₂ zijn het laagst aan het einde van de nacht, ondanks dat de grenslaaghoogte dan laag is. Dit komt waarschijnlijk door de lage nachtelijke verkeersintensiteit in de gehele regio. Daarbij is in grafiek B de invloed van verkeer zichtbaar in een toename in NO₂ achtergrondconcentraties rondom de ochtend- en avondspits. Daarmee maakt ook deze daggang zichtbaar dat lokale emissies van groter belang zijn voor de gemiddelde NO₂ concentraties in de regio dan voor PM het geval is.

³ <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>



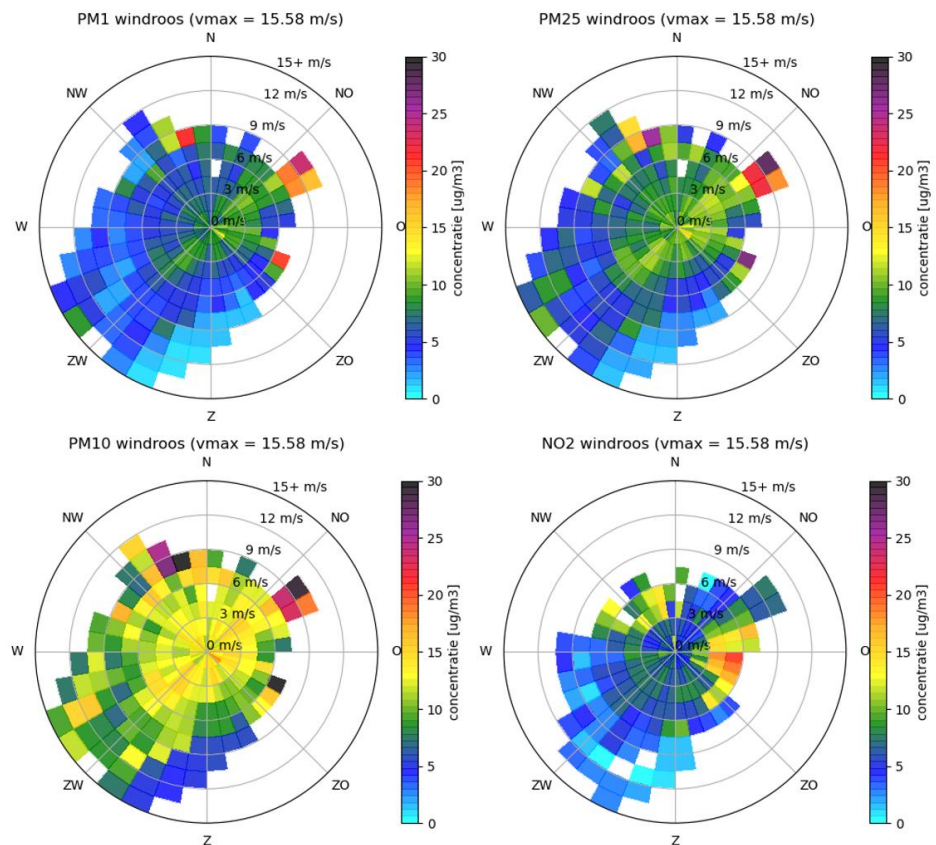
Figuur 20 De maandelijkse veranderingen in de grenslaaghoogte, verkregen vanuit de ERA5 reanalysis dataset van ECMWF, met de 25-75% percentiel (A); de maandelijkse gemiddelde achtergrondconcentraties (B) en de wekelijks gemiddelde achtergrondconcentratie (C) en hun 25-75% percentiel van PM en NO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 21 De gemiddelde daggang van de grenslaaghoogte met de 25-75% percentiel (A) en de gemiddelde daggang van uurlijkse gemiddelde achtergrondconcentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (B).

Uit Figuur 22 blijkt dat de hoogste achtergrondconcentraties van PM1, PM2.5 en, in iets mindere mate, PM10 (respectievelijk 15-20 , 20– 25 , 25– 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zich voordoen bij wind uit een NO richting. Dit komt waarschijnlijk doordat de aangevoerde lucht uit die richting een langere weg over het continent heeft afgelegd. Daardoor neemt deze uit verschillende gebieden luchtvervuilende stoffen met zich mee. Er zijn een aantal segmenten in zowel NW-N en ZO-O richting waarbij ook hogere achtergrondconcentraties gemeten worden. Bij een volledig zuidelijke tot zuidwestelijke windrichting zijn PM concentraties juist relatief laag. Zeker voor de hogere windsnelheden is dit het geval.

Hogere achtergrondconcentraties NO_2 (20-25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) zijn zichtbaar bij wind vanuit de richtingen NW en vooral O. In tegenstelling tot PM lijken de gemeten NO_2 concentraties bij wind uit het NO relatief gezien minder hoog. Gelijkend aan de windroosplots van PM zijn de achtergrondconcentraties NO_2 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 NO_2 bijdrage reikend tot aan Zuidoost-Brabant.



Figuur 22 De regionale achtergrondconcentraties uitgezet in een windroos voor PM1, PM2.5, PM10 en NO_2 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

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.

4.2 Vergelijking onderzoeksgebieden in Zuidoost-Brabant

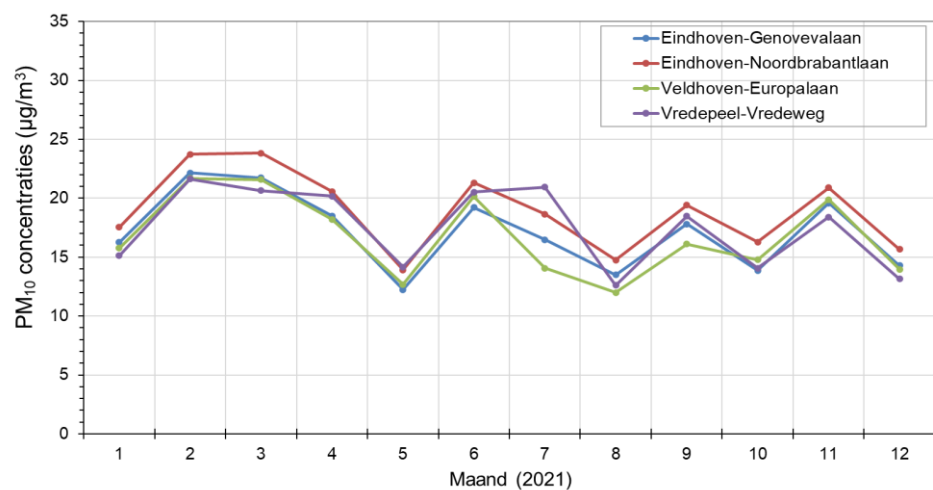
In hoofdstuk 2.2 wordt onderscheid gemaakt tussen meetlocaties in het stedelijk gebied (19 meetlocaties in Eindhoven + 4 in Helmond), in het luchthavengebied (3 locaties) en in het buitengebied (14 meetlocaties van het vaste meetnet + 2 extra meetlocaties in Best + 1 extra meetlocatie Reusel + 1 extra meetlocatie Oirschot). De gemiddeld gemeten concentraties in 2021 per type gebied staan gepresenteerd in Tabel 7. De gemiddelde PM concentraties tussen de 3 subgroepen verschillen niet veel. De gemeten NO₂ concentraties zijn in het stedelijk gebied het hoogst gevolgd door de meetlocaties bij de luchthaven. De gemeten NO₂ concentraties, op basis van Q4, zijn gemiddeld het laagst in het buitengebied.

Tabel 7 Gemiddeld gemeten concentraties binnen het stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied in 2021 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De getoonde standaard deviatie betreft de spreiding van deze variabelen tussen de meetlocaties. De n-waarde reflecteert het aantal meetlocaties waarop het gemiddelde is gebaseerd. Meetlocaties zijn enkel beschouwd als zij meer dan >75% data beschikbaar hebben van de relevante periode.

Periode	Componenten	Sub-regionale concentraties (Gemiddelde \pm SD)		
		Stedelijk gebied	Buitengebied	Luchthavengebied
Jaar 2021	PM1	11.2 \pm 1.6 (n=19)	12.5 \pm 2.0 (n=7)	11.5 \pm 1.4 (n=3)
	PM2.5	13.5 \pm 1.9 (n=19)	14.8 \pm 2.1 (n=7)	14.0 \pm 1.7 (n=3)
	PM10	18.7 \pm 1.7 (n=19)	20.9 \pm 2.1 (n=7)	19.1 \pm 1.9 (n=3)
	NO ₂	21.5 \pm 3.2 (n=19)	-	19.1 \pm 2.1 (n=3)
Q1	PM1	12.9 \pm 1.9 (n=19)	-	13.3 \pm 1.8 (n=3)
	PM2.5	16.2 \pm 2.2 (n=19)	-	16.8 \pm 2.2 (n=3)
	PM10	22.0 \pm 1.9 (n=19)	-	22.6 \pm 2.4 (n=3)
	NO ₂	24.9 \pm 5.3 (n=18)	-	21.7 \pm 4.2 (n=3)
Q2	PM1	8.8 \pm 1.4 (n=19)	10.7 \pm 2.2 (n=9)	9.1 \pm 1.2 (n=3)
	PM2.5	10.8 \pm 1.5 (n=19)	12.6 \pm 2.2 (n=9)	11.3 \pm 1.4 (n=3)
	PM10	16.0 \pm 1.5 (n=19)	18.5 \pm 2.5 (n=9)	16.5 \pm 1.4 (n=3)
	NO ₂	-	-	-
Q3	PM1	10.3 \pm 1.6 (n=22)	10.7 \pm 2.2 (n=16)	10.8 \pm 1.6 (n=3)
	PM2.5	12.1 \pm 1.8 (n=22)	12.5 \pm 2.3 (n=16)	12.6 \pm 1.9 (n=3)
	PM10	16.9 \pm 1.7 (n=22)	18.0 \pm 2.8 (n=16)	17.5 \pm 1.9 (n=3)
	NO ₂	-	-	-
Q4	PM1	12.4 \pm 1.9 (n=23)	12.3 \pm 2.0 (n=18)	12.8 \pm 1.1 (n=3)
	PM2.5	15.0 \pm 2.1 (n=23)	14.8 \pm 2.2 (n=18)	15.4 \pm 1.5 (n=3)
	PM10	19.6 \pm 2.0 (n=23)	20.0 \pm 3.0 (n=18)	19.8 \pm 1.8 (n=3)
	NO ₂	18.7 \pm 4.2 (n=23)	14.6 \pm 4.4 (n=17)	16.5 \pm 1.2 (n=3)

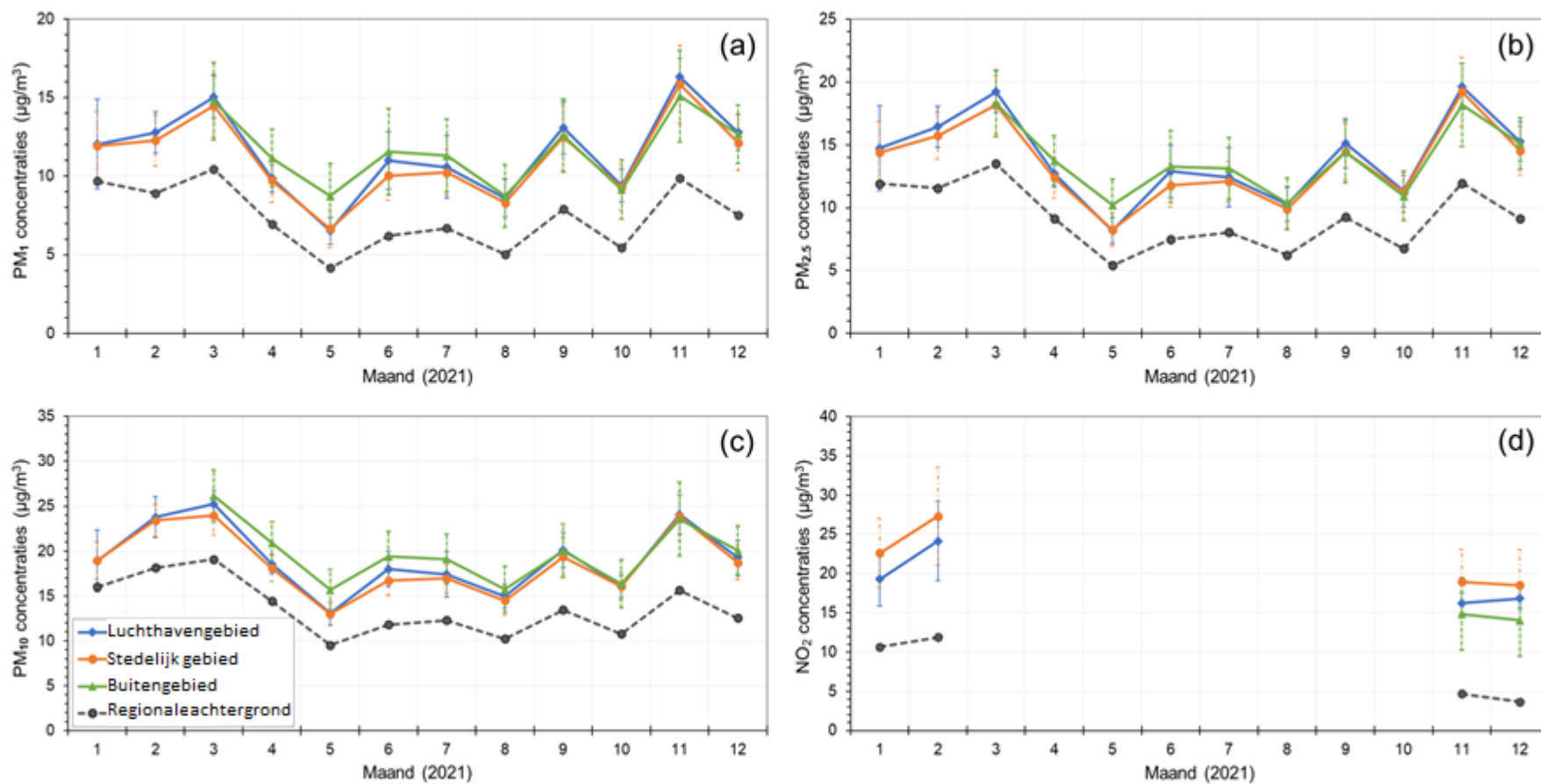
In Figuur 24 worden de maandelijks gemiddeld gemeten PM concentraties per subgroep over het jaar 2021 getoond. In zijn algemeenheid lijken de maandelijkse variaties in PM concentraties op de variatie in achtergrondconcentraties zichtbaar in Figuur 20. Dit is niet verassend gezien het grote aandeel van de regionale achtergrond in de gemeten PM concentraties, eerder ingeschat op minimaal 70% van de gemeten PM concentraties in 2021. De gemeten PM concentraties rondom de luchthaven zijn over algemeen gelijkend aan de stad. De PM concentraties gemeten in het buitengebied zijn tijdens de periode april tot en met juli zichtbaar hoger dan in het stedelijk gebied en luchthavengebied (ordegrootte 5 tot 20% hoger voor PM10 per maand).

De maandelijkse gemiddelde PM10 waarden, getoond in Figuur 23, van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant tonen hetzelfde beeld. De metingen aan het landelijk gelegen LML-station Vredepeel tonen van april tot en met juli hogere gemiddelde PM10 concentraties dan het LML Genovevalaan en LML Europalaan. In deze periode van april tot en met juli vinden in heel Europa verschillende landbouwactiviteiten plaats welke fijnstof kunnen genereren. Dit betreft onder andere het bemesten van grasland (een deel van het fijnstof wordt indirect uit ammoniak in de lucht gevormd: dit gebeurt met name op regionale tot internationale schaal), oogsten voor hooi en het voorbereiden en bewerken van akkerland voor en tijdens het groeiseizoen (Weijers et al, 2010; Mensink & Deutsch, 2008). In de rest van het jaar zijn de PM concentraties meer gelijk. Enkel het LML-station aan de Noord-Brabantlaan meet het hele jaar door hogere concentraties.



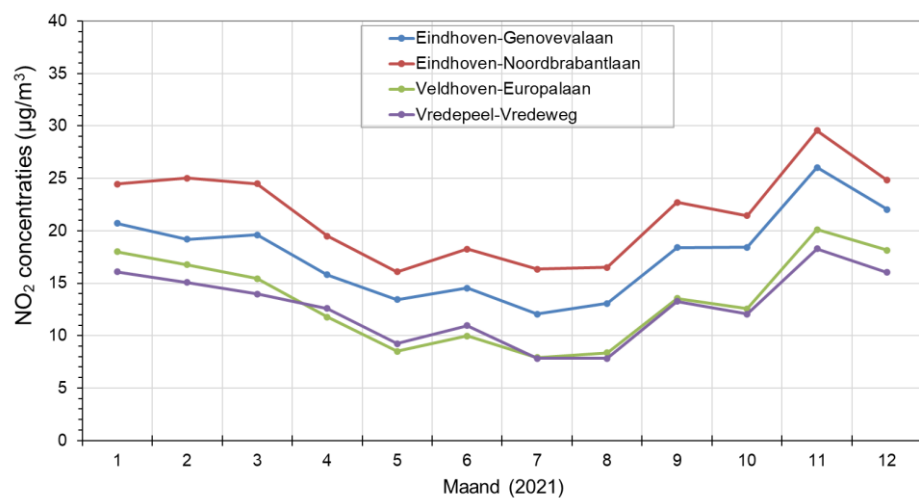
Figuur 23 Maandelijks gemiddelde meetwaarde PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant.

De NO_2 concentraties in stedelijk en luchthavengebied zijn zichtbaar hoger dan in het buitengebied in Q4. Dit wordt waarschijnlijk voornamelijk veroorzaakt door verkeersemisies. Daarbij zijn de gemeten NO_2 concentraties in het stedelijk gebied hoger dan in het luchthavengebied wat waarschijnlijk gerelateerd kan worden aan een hogere verkeersintensiteit.



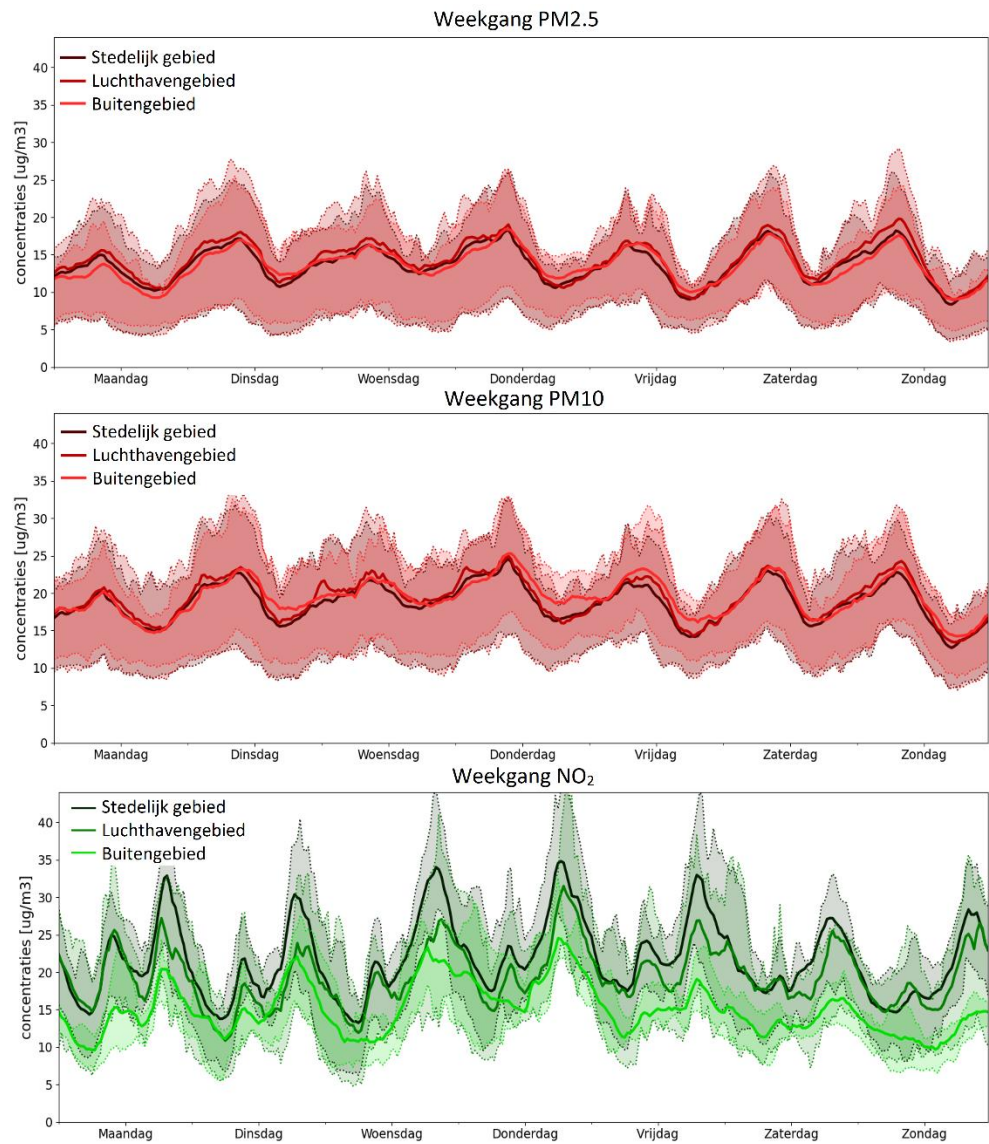
Figuur 24 De maandelijks gemiddelde gemeten concentraties en standaarddeviatie, alsmede de regionale achtergrondconcentraties, in µg/m³ van PM₁ (a), PM_{2.5} (b), PM₁₀ (c), NO₂ (d) in Zuidoost-Brabant, verdeeld over het stedelijk gebied, het luchthavengebied en het buitengebied..

De LML-stations, getoond in Figuur 25, bevestigen het beeld dat in het stedelijk gebied de NO₂ concentraties hoger zijn dan in de meer rurale omgeving. In Q1 van 2021 was de gemeten NO₂ concentratie door het ILM2 in zowel het stedelijk gebied en in het luchthavengebied hoger dan in Q4 van 2021. Dit is een tegengesteld patroon aan de jaargang getoond in Figuur 25 op de LML-stations. De gemeten NO₂ concentraties door het LML zijn over alle stations bezien juist in met name november hoger. In combinatie met Figuur 17-A bevestigt dat het beeld dat de sensoren in januari en, met name, februari de NO₂ concentraties met enige regelmaat overschatten terwijl in november en december de NO₂ concentraties soms worden onderschat. In zowel ILM2 als LML is de afname in NO₂ concentraties van november naar december zichtbaar, wat mogelijk samenhangt met een afname van verkeer veroorzaakt door de algehele lockdown afgekondigd op 19 december in verband met COVID-19.



Figuur 25 Maandelijks gemiddelde meetwaarde NO₂ in µg/m³ van vier LML-stations in en rondom de regio Zuidoost-Brabant.

Figuur 26 toont de gemiddelde weegang van de gemeten concentraties in 2021 per onderzoeksgebied. Het verloop van de PM concentraties over de dag vertonen sterke overeenkomsten met de daggang van de PM achtergrondconcentraties, eerder getoond in Figuur 21. Daarbij zijn er geen uitgesproken verschillen zichtbaar tussen de drie deelgebieden. De variatie in gemiddelde NO₂ concentraties gemeten over de dag en over de week is veel meer uitgesproken dan de variatie in PM. Zowel het stedelijk als het luchthavengebied tonen twee pieken in de gemeten NO₂ concentraties binnen een dag, waarbij de avondpieken gemiddeld gemeten door het ILM2 hoger zijn dan de ochtendpieken. De hoogste NO₂ concentraties worden in het stedelijk gebied waargenomen op werkdagen en op deze dagen is de piek in de ochtend ook het beste zichtbaar. Op zaterdag en zondag is de ochtendpiek minder hoog. In het luchthavengebied is het verschil tussen werk- en weekenddagen minder zichtbaar, met ook op zondag een piek in de ochtend. In het buitengebied worden gedurende de hele week gemiddeld lagere NO₂ concentraties gemeten waarbij op de werkdagen nog wel enig verloop van de NO₂ concentraties over de dag zichtbaar is.



Figuur 26 Gemiddelde weekgang van de gemeten PM2.5, PM10 en NO₂ concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ door het ILM2 in Zuidoost-Brabant, gemiddeld over de meetlocaties van het luchthavengebied, het stedelijk gebied en het buitengebied.

4.3 Het luchthavengebied – ruimtelijke en temporele variatie

Op 3 meetlocaties rondom Eindhoven Airport worden PM1, PM2.5, PM10 en NO₂ bemeaten. Vanaf juli 2021 wordt er ook UFP gemeten. UFP bestaat uit aerosolen met een diameter van 0,1 µm (100 nm) of minder. Recent Nederlands onderzoek laat zien dat deze zeer kleine deeltjes impact hebben op de menselijke gezondheid op korte termijn (Janssen et al., 2019). Hierbij is geen indicatie gevonden dat de gezondheidseffecten door UFP vanuit vliegverkeer anders is dan van UFP uit andere bronnen, zoals het wegverkeer. Langdurige blootstelling aan verhoogde concentraties leidt ook tot mogelijke gezondheidseffecten (Janssen et al., 2022).

In Tabel 8 staan de gemiddeld gemeten concentraties in 2021 per stof op de 3 meetlocaties. De gemiddeld gemeten UFP-concentratie op elke meetlocatie is ongeveer gelijk, zo rond de 14.000 deeltjes per cm³. In vergelijking met meetstudies rond Schiphol liggen de gemeten deeltjesaantallen rondom Eindhoven Airport aanzienlijk lager: dichtbij de Polderbaan zijn daar halfjaarlijkse gemiddelden van meer dan 35.000 deeltjes per cm³ gemeten. Op grotere afstand (> 1km) worden op Schiphol halfjaarlijks gemiddelde deeltjesaantallen gemeten van 15.000 per cm³ (Oude Meer; bovenwinds) en 23.000 per cm³ (Badhoevedorp; benedenwinds) (Voogt et al., 2019).

Tabel 8 Gemiddelde meetwaarden in 2021 per meetlocatie in het luchthavengebied. PM1, PM2.5, PM10 en NO₂ worden weergegevens in µg/m³, UFP in duizenden deeltjes per cm³.

ILM nr.	Meetlocatie	UFP	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂ *
ILM002	EH Scherpenering	13,7	12,8	15,7	21,0	19,2
ILM014	EH Landardseweg	13,8	10,1	12,2	17,4	17,6
ILM025	EH Luchthavenweg	14,4	11,6	14,1	18,8	21,8

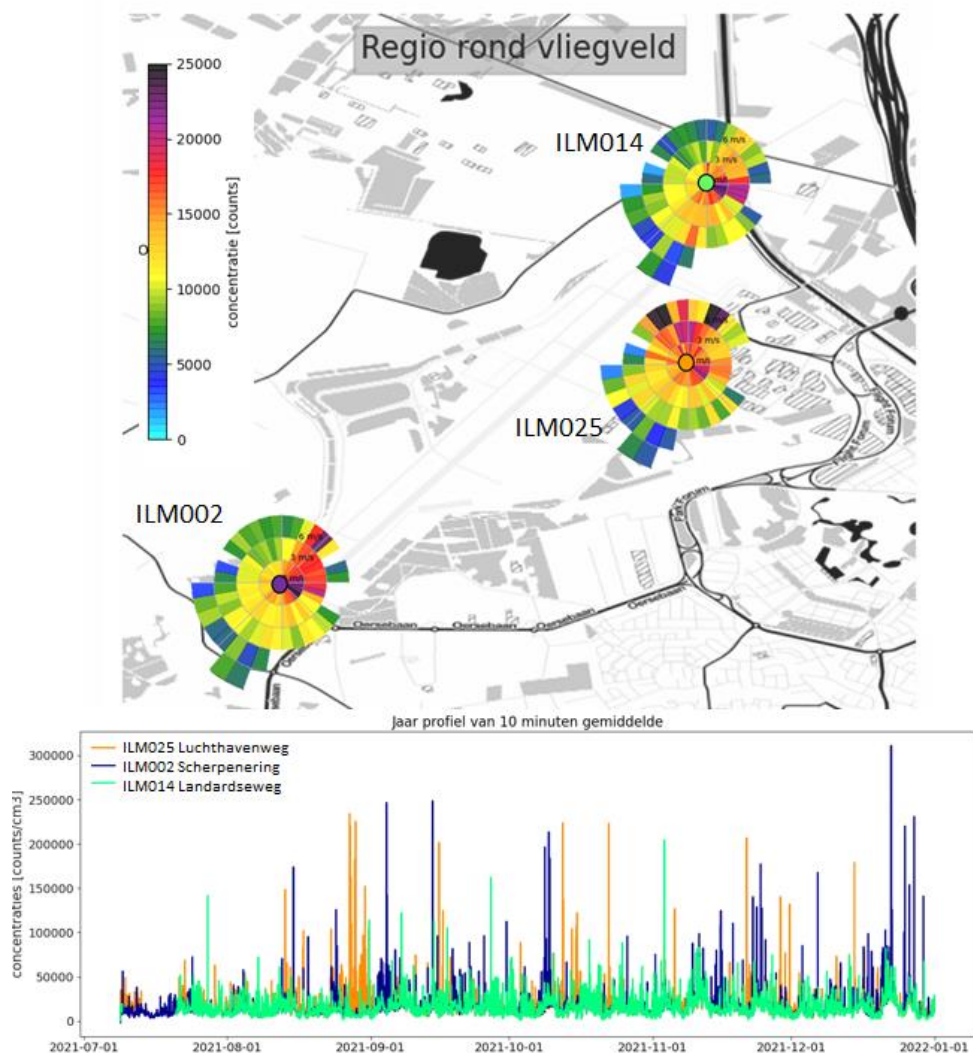
Voor UFP wordt in Tabel 9 het aantal metingen van een bepaalde hoogte en het maximum gemeten uurgemiddelde in 2021 getoond. Ook de piekwaarden zijn rondom Schiphol hoger: in Badhoevedorp ligt het hoogst gemeten uurgemiddelde in een half jaar tijd rond de 200.000 deeltjes per cm³ (van Dinther et al., 2019).

Tabel 9 Het aantal 10-minuten pieken in UFP deeltjesaantallen van een bepaalde hoogte en het maximum gemeten uurgemiddelde. De UFP-data beslaat de periode vanaf juli 2021.

UFP pieken	>50k	>100k	> 150k	> 200k	> 250k	Maximum Uurgemiddelde (1000 counts/cm ³)
ILM002	221	33	14	7	1	90
ILM014	131	7	2	1	0	72
ILM025	180	30	12	7	0	87

Hierbij moet worden aangetekend dat in de Schiphol studies gebruik wordt gemaakt van een andere meettechniek, namelijk een Environmental Particle Counter (EPC), waarbij ook deeltjes kleiner dan 10nm worden gemeten (van Dinther et al., 2019). De sensoren gebruikt in het ILM2 hebben een meetbereik vanaf 10nm. Daarmee liggen de allerkleinste deeltjes uitgestoten door vliegtuigen niet binnen het meetbereik van deze sensor. De gebruikte ILM2 sensoren lijken op basis van deze eerste meetperiode echter zeer geschikt om de trends in UFP rondom Eindhoven Airport in beeld te brengen.

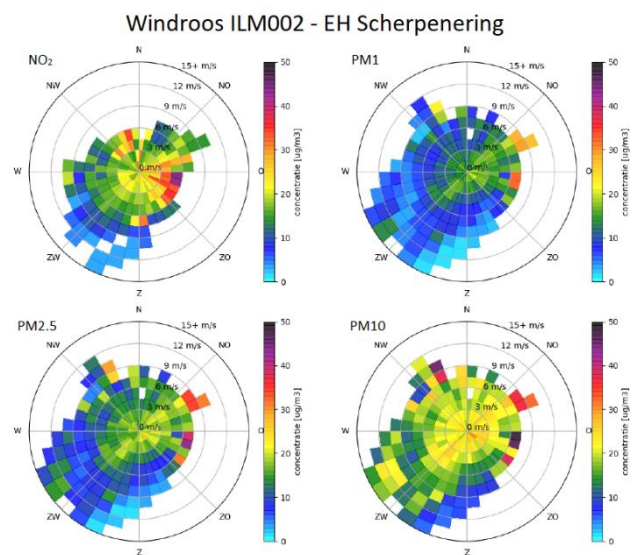
In Figuur 27 wordt de 10-minuten tijdserie van de gemeten UFP-deeltjes door het ILM2 tussen juli en december 2021 getoond. Daarnaast zijn op een kaart de windrozen van UFP gevisualiseerd per meetlocatie. Hiermee kan een link worden gelegd tussen de windrichting, gemeten concentraties en de positie van de landingsbaan ten opzichte van de meetlocatie. Daarmee kan een inschatting worden gemaakt of de invloed van vliegverkeer op deze meetlocaties zichtbaar is.



Figuur 27 De grafiek toont de gemeten deeltjesaantallen UFP in 2021 op 10-minutenbasis. De kaart toont de windrospots van UFP voor de 3 meetlocaties rond het vliegveld.

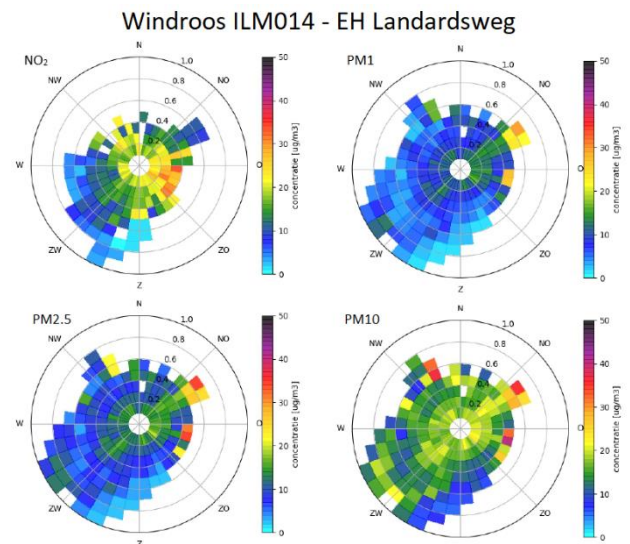
De meetlocatie ILM002 (EH-Scherpenering) ligt op ongeveer 250m afstand in het verlengde van de landingsbaan aan de zuidwestelijke kant. Op deze meetlocatie worden de meeste pieken gemeten in UFP deeltjesaantallen gemeten in 2021. Dit is zichtbaar in Tabel 9. Het maximaal gemeten uurgemiddelde is 90.000 deeltjes per cm^3 . De windroos in Figuur 27 laat zien dat gemiddeld de hoogste UFP deeltjesaantallen gemeten worden bij wind vanuit de richting van de landingsbaan.

De PM concentraties zijn hier het hoogst van de drie locaties rond het vliegveld. Er is daar niet direct een duidelijke bron voor aan te wijzen. De windrozen van PM1, PM2.5 en PM10 (Figuur 28) zijn gelijkend aan de verdeling in Figuur 22, wat erop duidt dat fluctuaties sterk worden gedreven door de regionale achtergrond. Voor NO₂ komen de hoogste concentraties voor bij een O-ZO windrichting, wat niet direct de richting is van de landingsbaan. Daarmee lijkt de relatie tussen de NO₂ meetwaarden en eventuele bijdrage van vliegverkeer minder goed te leggen dan voor de UFP deeltjesaantallen op deze locatie.



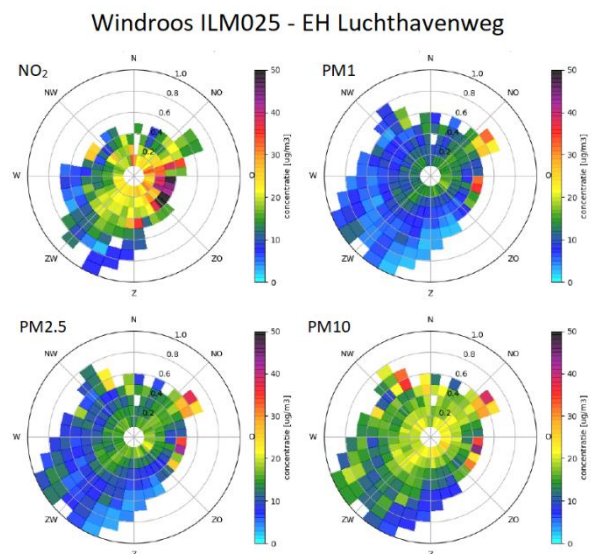
Figuur 28 Windrozen van NO₂, PM1, PM2.5 en PM10 in µg/m³ gebaseerd op de metingen in 2021 aan de meetlocatie ILM002 EH Scherpenering.

Op meetlocatie ILM014 (EH-Landardseweg) zijn de gemiddeld gemeten deeltjesaantallen UFP vrijwel gelijk aan meetlocatie ILM002. Deze locatie kent echter veel minder pieken en het maximum gemeten uurgemiddelde is ook lager dan bij ILM002 en ILM025. De verwachting vooraf was dat de startemissies op grondniveau met de wind naar deze meetlocatie zouden worden getransporteerd, waardoor juist hier hoge concentraties gemeten zouden worden. Er zijn verschillende redenen mogelijk waarom dit niet het geval is. Op 800-900m afstand is deze locatie het verste weg van de start- en landingsbaan van de 3 meetlocaties. Daarbij hangt de CAIREBox net achter een gebied met veel bomen aan de rand van het vliegveld, waardoor mogelijk afvang van UFP plaatsvindt voordat de meetlocatie wordt bereikt. De hoogste deeltjesaantallen UFP worden hier gemeten bij wind uit het oosten, waar de A58 ligt. Dit geldt ook voor de concentraties NO₂ op dit meetpunt (Figuur 29). Overigens zijn de gemeten NO₂ concentraties en PM concentraties op deze meetlocatie het laagst van de drie meetlocaties rond het vliegveld.



Figuur 29 Windrozen van NO₂, PM1, PM2.5 en PM10 in µg/m³ gebaseerd op de metingen in 2021 aan de meetlocatie ILM014 EH Landardseweg.

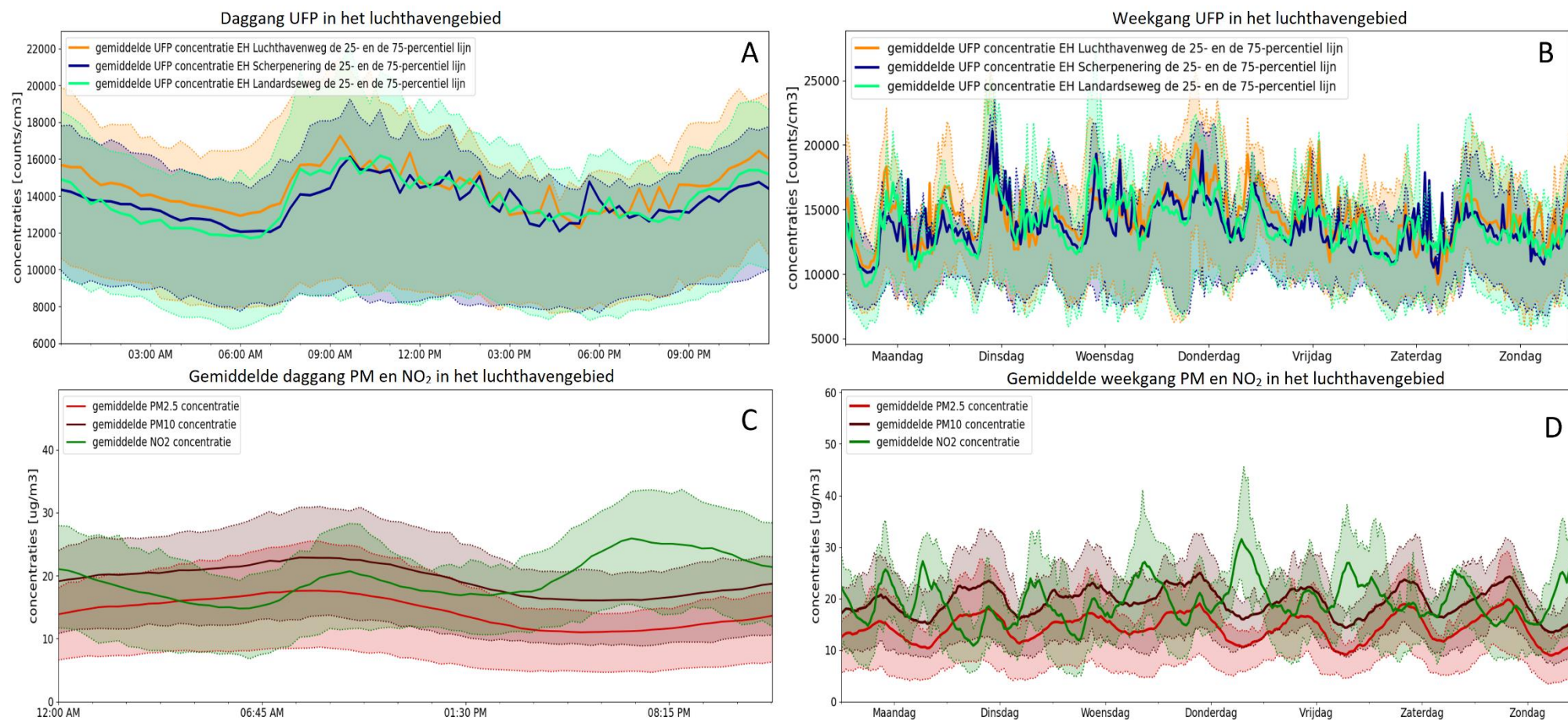
Het maximum uurgemiddelde gemeten UFP-deeltjes op de meetlocatie ILM025 EH–Luchthavenweg, op ongeveer 500m van de landingsbaan, is vrijwel even hoog als op locatie ILM002. Op ILM025 worden wel iets minder vaak hogere deeltjesaantallen UFP gemeten. De hoogste UFP deeltjesaantallen worden gemeten bij wind van NW tot NO. Dit is uit de richting van pieren en de landingsbaan en daardoor is het waarschijnlijk dat de invloed van startende vliegtuigen gemeten wordt. Daarnaast is mogelijk ook op deze meetlocatie invloed van de A58 zichtbaar (deze bronnen liggen in het verlengde van elkaar). Deze locatie is, naar verwachting, qua wegverkeer de drukste meetlocatie van de 3 wat waarschijnlijk de verklaring is waarom hier de hoogste gemiddelde concentraties NO_2 worden gemeten.



Figuur 30 Windroos van NO_2 , PM1, PM2.5 en PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gebaseerd op de metingen in 2021 aan de meetlocatie ILM025 EH Luchthavenweg.

De gemiddelde daggang en weekgang van UFP op de 3 meetlocaties is uitgezet in Figuur 31. Daarnaast is de gemiddelde daggang van de 3 meetlocaties in het luchthavengebied voor PM en NO_2 zichtbaar in figuur C. Figuur D toont de gemiddelde weekgang. Op alle locaties is een scherpe toename in UFP rond 07.00 zichtbaar, wat waarschijnlijk komt door het opstarten van vluchten. Het aantal UFP aan de Luchthavenweg lijkt 's nachts gemiddeld fractioneel hoger dan op de andere locaties. Mogelijk hangt dit samen met nachtelijke werkzaamheden waardoor hier nog enig verkeer rijdt. Het patroon in UFP deeltjesaantallen is van middernacht tot aan de middag behoorlijk gelijkend aan het verloop in NO_2 concentraties. Dit hangt waarschijnlijk samen met de verantwoordelijke bronnen voor deze emissies: zowel weg- als luchtverkeer emitteren beide stoffen. Een opvallend verschil is dat NO_2 concentraties in de avond eerder pieken dan de UFP deeltjesaantallen. Waar NO_2 een duidelijke piek kent rond de avondspits en na 20.00 begint af te nemen kent de UFP daggang op alle 3 de meetlocaties vanaf dat moment juist een stijgende lijn tot aan vlak voor middernacht.

Het patroon in UFP deeltjesaantallen is op alle dagen van de week grillig. Van vrijdag tot en met zondag lijken zowel de gemiddelde concentraties als de piekmomenten wel lager te liggen dan in de rest van de week. Zeker op zondag is dit het geval. Mogelijk houdt dit verband met verschillen in de hoeveelheid vluchten tijdens week-en weekenddagen. Daarnaast zal de grotere intensiteit van wegverkeer tijdens werkdagen er waarschijnlijk voor zorgen dat de deeltjesaantallen UFP afkomstig uit verkeersemissies doordeweeks aanzienlijk hoger is.



Figuur 31 Gemiddeld gemeten daggang (A) en weekgang (B) van juli tot en met december 2021, met de 25- en 75-percentiel lijn, van UFP in deeltjesaantallen per m³ op de 3 meetlocaties rond het vliegveld. Grafiek C en D tonen respectievelijk de gemiddelde daggang en weekgang van de 3 meetlocaties gezamenlijk van PM en NO₂.

4.4 Het stedelijk gebied – ruimtelijke en temporele variatie

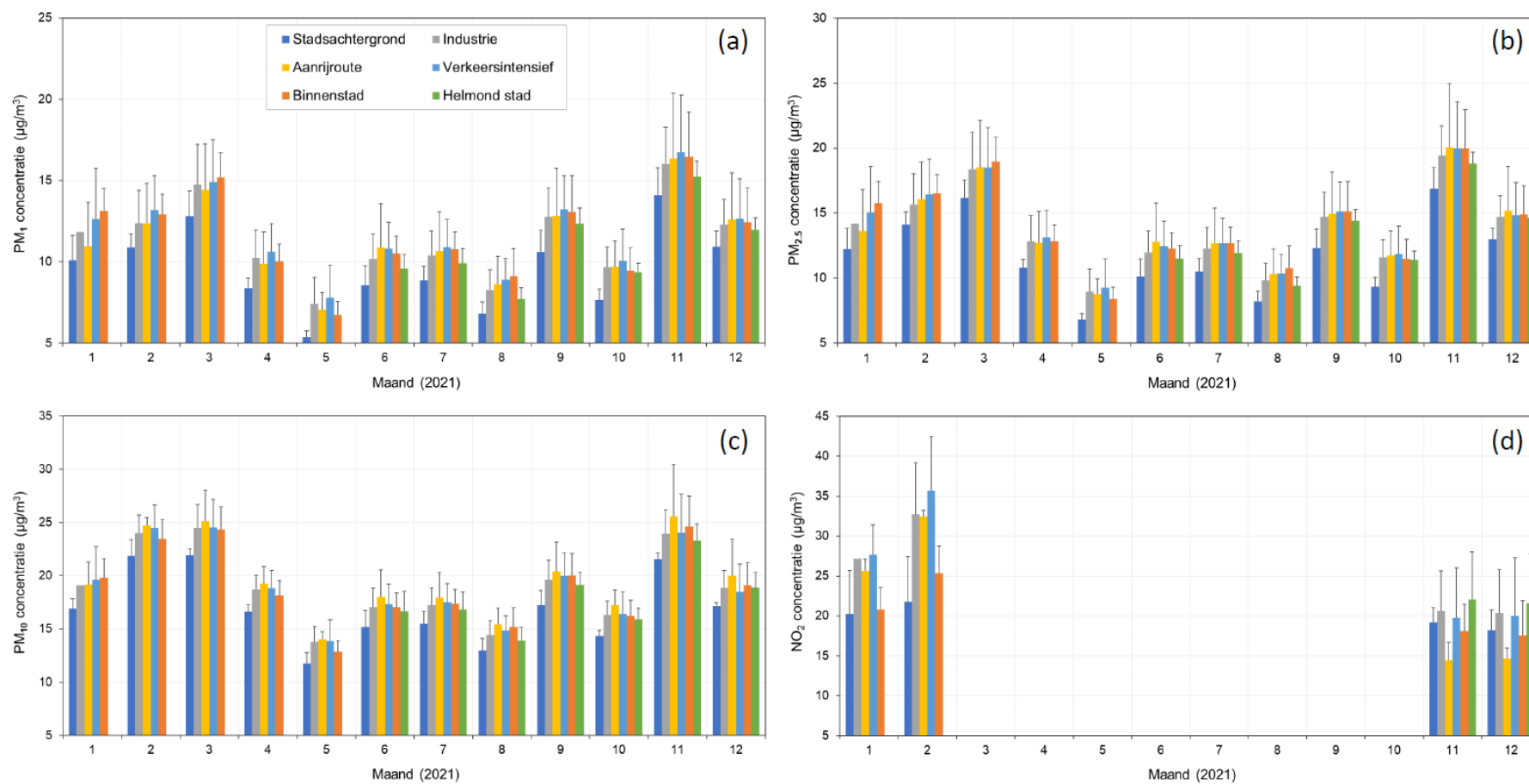
De datadekking van het ILM2 in 2021 in het stedelijk gebied van Eindhoven is zeer hoog, waarbij op de meeste meetlocaties een vrijwel volledig jaar is gemeten. De 4 meetlocaties in Helmond zijn in juni 2021 geïnstalleerd. Om de heersende luchtkwaliteit en bijdragende bronnen in het stedelijk gebied in beeld te brengen zijn deze 23 stedelijke meetlocaties onderverdeeld in de 6 subgroepen zoals eerder toegelicht in sectie 2.2.1. Deze subgroepen zijn:

- 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;
- Aanrijroute luchthaven (n=2): meetlocaties op de aanrijroutes richting Eindhoven Airport;
- Helmond stad (n=4): locaties in het stedelijk gebied van Helmond.

De gemiddelde maandelijkse concentraties per subgroep zijn uitgezet in Figuur 32. De laagste concentraties PM worden gemeten in de categorie Stadsachtergrond. De afwezigheid van lokale bronnen is waarschijnlijk de hoofdreden hiervoor. Wellicht speelt enige afvang van luchtvervuilende stoffen aan de rand van de parken ook een rol (Wesseling et al., 2011; Nowak en Heisler, 2010). De gemiddeld gemeten concentraties PM1, PM2.5 en PM10 binnen de 4 andere subgroepen in Eindhoven zijn gelijkend over het hele jaar. Op (verkeers-)belaste locaties in Eindhoven zijn de gemiddeld gemeten PM10 concentraties ongeveer 14% hoger dan op de stadsachtergrondlocaties. Omdat deze vergelijking veel locaties beslaat (15 (verkeers-)belaste locaties tegenover 4 stedelijke achtergrondlocaties) is het aannemelijk dat er een daadwerkelijke verhoging is bij drukke wegen. De PM2.5/PM10 ratio lijkt wat hoger op deze (verkeers-)belaste locaties, 69% om 73% gemiddeld. De gemeten PM10 concentraties in Helmond liggen in lijn met de gemeten concentraties op belaste meetlocaties in Eindhoven. In de winterperiode is de PM2.5/PM10 ratio hoger dan in de zomer. De ratio PM2.5/PM10 ligt in Eindhoven over alle meetlocaties bezien in de winterperiode (Q1+Q4) gemiddeld op 74%. In Q2+Q3 is dit 69%. In Helmond is deze toename ook zichtbaar: van 71% in Q2+Q3 naar 77% in Q4. Dit hangt waarschijnlijk samen met een toename van deeltjes afkomstig van verbrandingsprocessen tijdens de winterperiode.

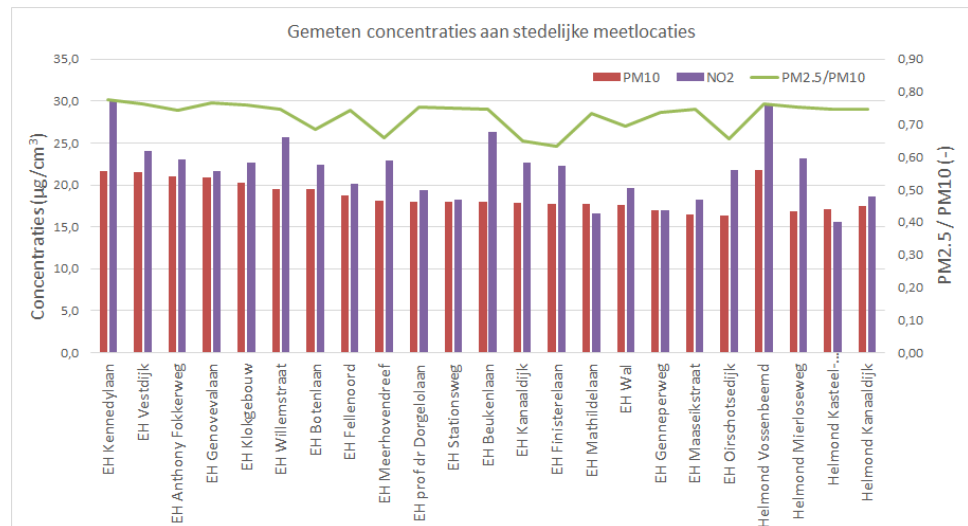
Opvallend is dat op de stadsachtergrondlocaties de gemiddeld gemeten NO₂ concentraties aan het begin en aan het einde van het jaar gelijkend zijn aan de concentraties in de binnenstad. Mogelijk is hier enig effect zichtbaar van de maatregelen rond Covid-19 op de heersende luchtkwaliteit. In januari 2021 kende Nederland nog een avondklok⁴. Vanaf februari werden maatregelen beetje bij beetje versoepeld. In februari zijn de gemiddeld gemeten NO₂ concentraties op stadsachtergrondlocaties duidelijk lager dan in de binnenstad. Vanaf november 2021 kende Nederland juist een steeds strenger wordend regime door de opkomst van de Omicron variant, waarbij vanaf 19 december een lockdown werd afgekondigd tot aan het einde van het jaar. Mogelijk is daardoor weinig variatie zichtbaar tussen de verschillende subgroepen in november en december.

⁴ <https://www.rivm.nl/gedragsonderzoek/tijlijn-maatregelen-covid>



Figuur 32 Maandelijks gemiddelde (+ SD) PM₁ (a), PM_{2.5} (b), PM₁₀ (c) en NO₂ (d) concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in de zes stedelijke subgroepen. De gekleurde kolom toont de gemiddelde waarde per maand, de afgetopte balk boven elke kolom de standaarddeviatie binnen elke maand bij elke subgroep.

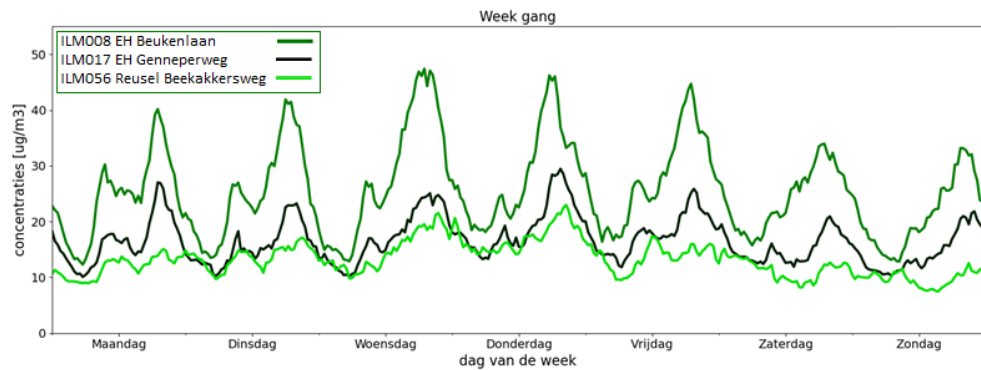
Ook op de naar verwachting verkeersintensieve locaties worden in november en december 2021 relatief lage NO₂ concentraties gemeten. Dit geldt met name voor de meetlocaties aan de aanrijroute naar het vliegveld. Nader onderzoek leert dat beide meetlocaties in deze subgroep gelijkende meetwaarden kennen in deze periode. Waarom op beide meetlocaties relatief lage NO₂ concentraties gemeten worden is onduidelijk. De gemeten NO₂ concentraties in Helmond zijn in november en december fractioneel hoger dan in Eindhoven. In januari en februari is de invloed van verkeersemissies wel duidelijk zichtbaar in Eindhoven: de meetlocaties met naar verwachting meer verkeer kennen de hoogst gemeten concentraties NO₂.



Figuur 33 Gemiddeld gemeten PM10 en NO₂ concentratie per meetlocatie in µg/m³ in het stedelijk gebied van Eindhoven en Helmond. Ook de ratio tussen PM2.5 en PM10 is gegeven.

De invloed van verkeer is na inzoomen op de individuele meetlocaties ook zichtbaar. In Figuur 33 staat de gemiddelde PM10 en NO₂ gemeten per ILM2 meetlocatie in 2021 gepresenteerd. Ook staat de ratio PM2.5/PM10 gegeven. NO₂ betreft enkel de maanden januari-februari en november-december. Locaties met veel verkeer kennen veelal hogere concentraties PM10 en NO₂ alsmede een wat groter aandeel PM2.5 binnen de PM10 fractie. Dit geldt onder andere voor de meetlocatie aan de Kennedylaan.

Figuur 34 toont een vergelijking van de gemiddeld gemeten NO₂ weekgangen van de verkeersintensieve meetlocatie ILM008 EH Beukenlaan en de stadsachtergrondlocatie ILM017 EH Genneperweg, alsmede het regionale achtergrondstation ILM056 aan de Beekakkersweg in Reusel-de Mierden. De daggang van NO₂ is op ILM008 meer uitgesproken dan op ILM017: met name gedurende de werkdagen zijn de ochtendspits en avondspits in de NO₂ meetgegevens van ILM008 waar te nemen. In het weekend is dit minder duidelijk zichtbaar. Soortgelijk verloop van concentraties is ook zichtbaar op andere verkeersintensieve locaties in Eindhoven, zoals ILM030 EH Botenlaan en ILM040 EH Kennedylaan. Op de meetlocaties waar verkeer minder invloed heeft, zoals ILM017 EH Genneperweg, zijn deze piekmomenten minder groot. Tegelijkertijd is er wel gelijkenis wat betreft de algemene gang van NO₂ concentraties door de week. Ook op een stadsachtergrondlocatie lijkt daarmee de invloed van het stadsverkeer, in combinatie met de heersende meteorologische condities, de daggang van NO₂ te beïnvloeden. Zoals zichtbaar is op ILM056 aan de Beekakkersweg in Reusel deze dagelijkse gang met een piek door de ochtend- en avondspits nauwelijks zichtbaar.

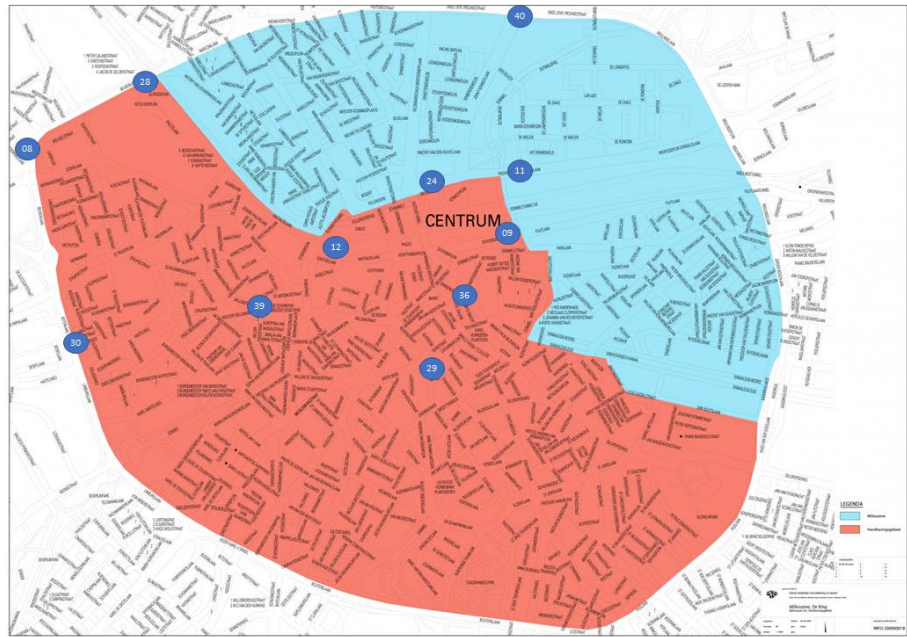


Figuur 34 Vergelijking van de gemiddelde weekgang van NO₂ in µg/m³ tussen de verkeersintensieve meetlocatie ILM008 Beukenlaan en de stadsachtergrondlocatie ILM017 Genneperweg. Daarnaast staat de weekgang van de achtergrondlocatie ILM056 Reusel Beekakkersweg getoond.

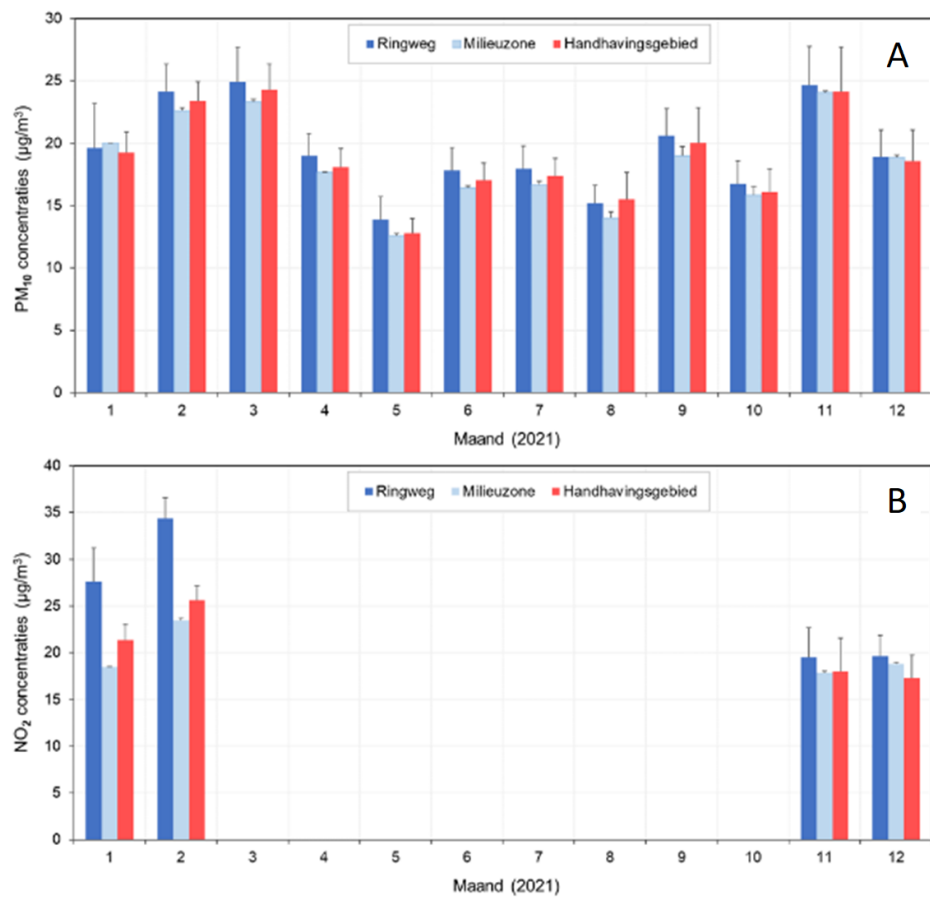
De hoogste concentraties NO₂ in Eindhoven in 2021 zijn gemeten aan De Ring rondom het stadscentrum. Binnen De Ring zijn de gemeten concentraties juist wat lager, waarbij de Vestdijk en Willemsstraat in dit gebied weer de hoogste concentraties kennen. De gemeten NO₂ concentraties op de meetlocaties rondom het station zijn juist lager. Dit geldt ook voor de meetlocatie aan de Wal. Wellicht hangt dit verschil samen met de ingevoerde milieuzone op 1 januari 2021 rondom Eindhoven centrum (Figuur 34). Met ingang van 1 januari 2021 mogen alleen vrachtwagens, autobussen en touringcars vanaf emissieklasse 4 de milieuzone in rijden. Het handhavingsgebied betreft in 2021 het rode gebied, actieve handhaving is gestart op 1 mei. Tabel 10 toont de gemiddeld gemeten concentraties op meetlocaties in en rondom centrum Eindhoven in 2021 in relatie tot deze milieuzone. In Figuur 35 wordt de milieuzone getoond, Figuur 36 toont een vergelijking tussen de gemiddelde maandelijkse waarden PM₁₀ en NO₂ binnen de 3 subgroepen gedefinieerd in Tabel 10. Het wordt interessant de concentraties op deze locaties de komende jaren te volgen aangezien de regels voor de milieuzone verder worden aangescherpt.

Tabel 10 Gemiddeld gemeten concentraties PM en NO₂ in µg/m³ op meetlocaties in en rondom centrum Eindhoven in 2021, met daarbij de aanduiding waar ze liggen ten opzichte van de milieuzone.

ILM nr.	Meetlocatie	Locatie	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂
ILM008	EH Beukenlaan	Ringweg	11,1	13,4	17,9	26,4
ILM030	EH Botenlaan	Ringweg	10,1	12,1	17,8	22,4
ILM040	EH Kennedylaan	Ringweg	14,3	16,8	21,7	29,9
ILM028	EH Klokgebouw	Ringweg (op hoogte)	12,9	15,4	20,3	22,6
ILM011	EH prof dr. Dorgelolaan	Milieuzone	11,2	13,6	18,0	19,4
ILM024	EH Fellenoord	Milieuzone	11,4	13,9	18,7	20,2
ILM009	EH Stationsweg	Handhavingsgebied	11,2	13,4	17,9	18,2
ILM012	EH Mathildelaan	Handhavingsgebied	10,6	13,0	17,7	16,6
ILM039	EH Willemstraat	Handhavingsgebied	12,0	14,6	19,5	25,6
ILM029	EH Wal	Handhavingsgebied	9,8	12,2	17,6	19,6
ILM036	EH Vestdijk	Handhavingsgebied	13,6	16,4	21,5	24,0



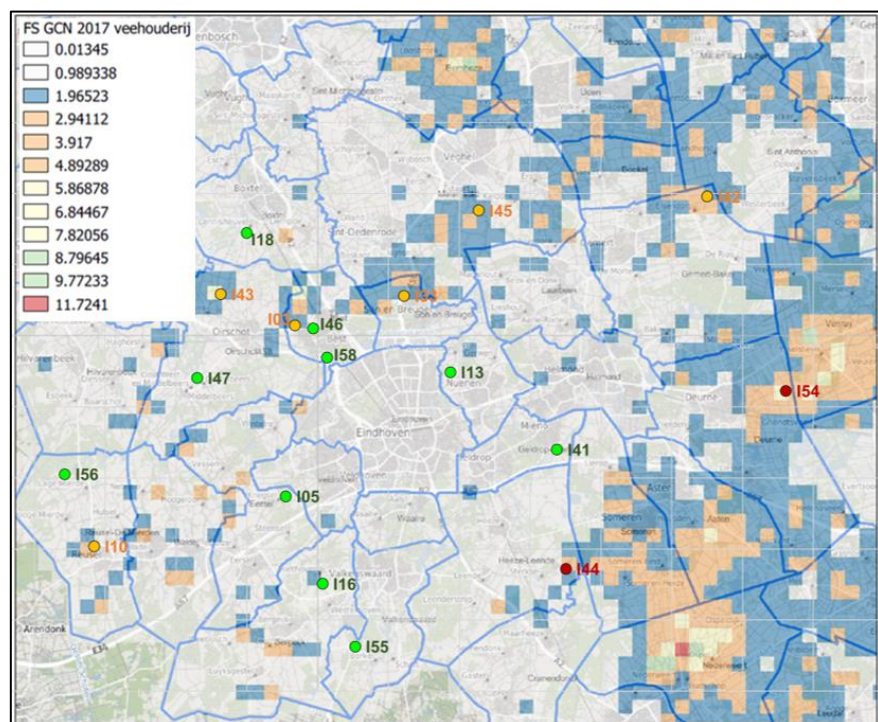
Figuur 35 Milieuzone Eindhoven centrum met de ILM2 locaties in blauw. Het handhavingsgebied in 2021 is zichtbaar in rood, de handhaving wordt in 2022 vergroot met het lichtblauwe gebied. Bron: <https://www.eindhoven.nl/stad-en-wonen/verkeer/milieuzone>.



Figuur 36 Maandelijks gemiddelde (±SD) voor PM₁₀ (A) en NO₂ (B) in µg/m³ in 2021 voor meetlocaties aan en binnen De Ring van Eindhoven, onderverdeeld naar de categorieën getoond in Tabel 10.

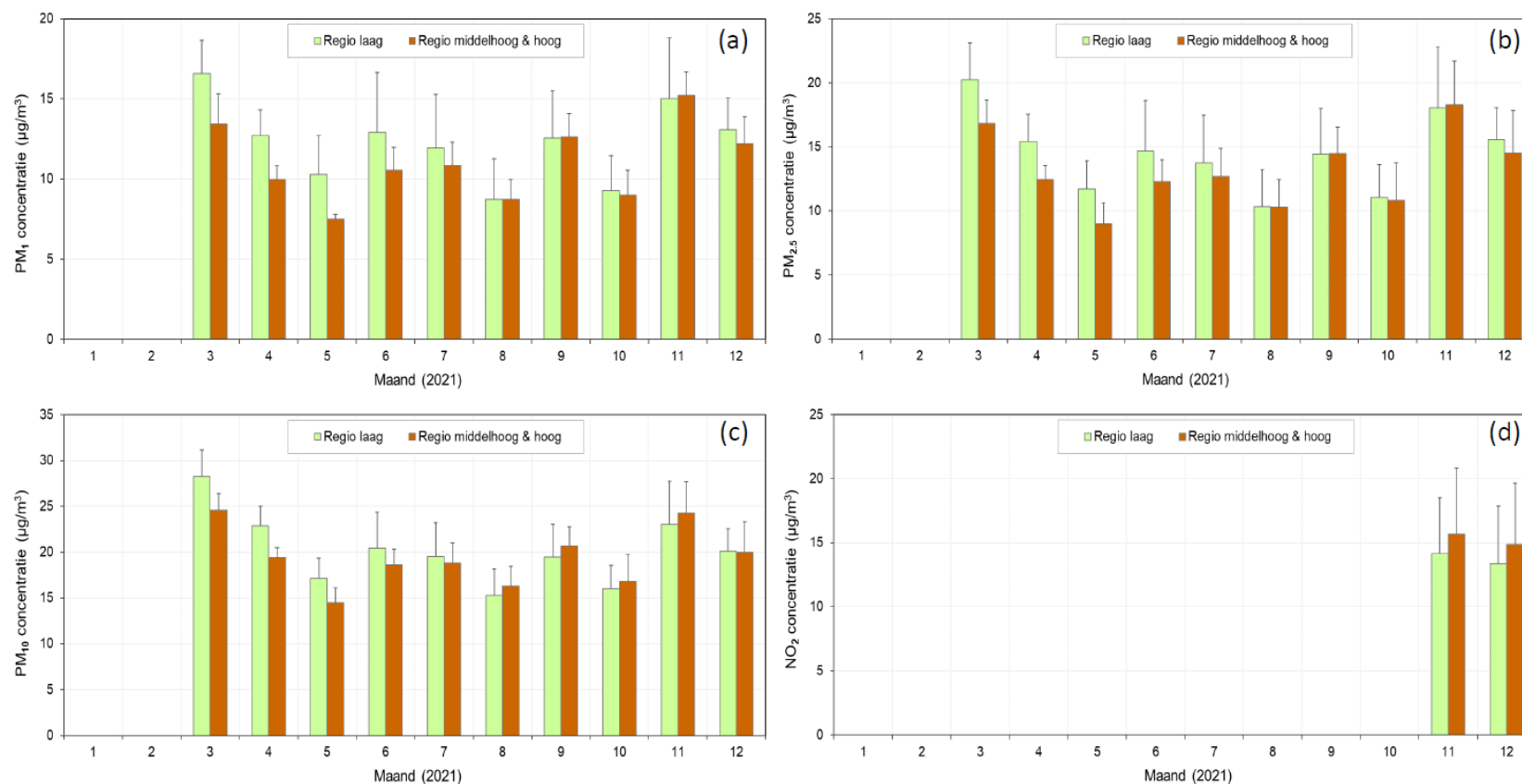
4.5 Het buitengebied – ruimtelijke en temporele variatie

In het buitengebied meet het ILM2 op 18 meetlocaties de luchtkwaliteit (14 van het vaste meetnet en 4 lokaal gefinancierde meetlocaties). 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 37 zijn in groen de meetlocaties met een verwachte lage bijdrage ($< 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vanuit veehouderijemissies gevisualiseerd. In totaal zijn dit 10 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 ($1\text{-}5 \mu\text{g}/\text{m}^3$): dit betreffen 6 meetlocaties. In rood zijn de meetlocaties gevisualiseerd met een verwachte hoge bijdrage ($>5 \mu\text{g}/\text{m}^3$): dit betreffen 2 meetlocaties actief in 2021.



Figuur 37 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 en NO_2 per maand per type locatie staan gepresenteerd in Figuur 38. 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 outliers. Daarbij zijn in de eerste maanden van 2021 minder meetlocaties actief dan aan het einde van het jaar. Van maart t/m mei zijn er 3 'lage' meetlocaties actief. Dit zijn er 5 in juni en juli, 9 van augustus tot november en 10 in december. Voor de 'middelhoog/hoge' categorie zijn 4 meetlocaties actief van maart t/m mei. Dit zijn er 7 van juni t/m oktober en 8 in november en december (zie ook hoofdstuk 2.2 voor de installatiedatums om te zien welke meetlocaties het betreft per maand).



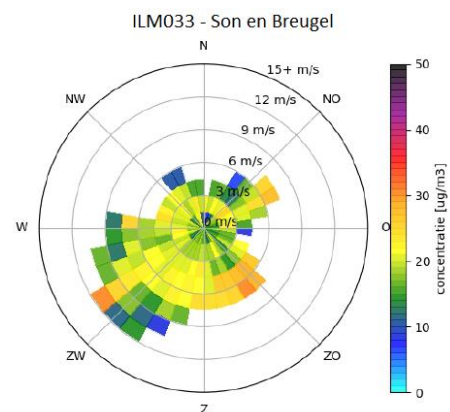
Figuur 38 De groene, gele en rode balken representeren de gemiddeld gemeten concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op meetlocaties waarbij de verwachte bijdrage aan PM₁₀ concentraties vanuit veehouderij respectievelijk laag (< 1 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en middelhoog (1-5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) / hoog (>5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) worden ingeschat op basis van de GCN kaart.

Van maart t/m juli worden in de categorie Regio Laag hogere concentraties PM1 en PM2.5 gemeten dan in de categorie Regio Middelhoog / Hoog. Waardoor de concentraties PM1 en PM2.5 in de categorie Regio Laag hoger zijn in deze maanden is niet direct duidelijk. Wellicht speelt toeval hier een rol: de eerste actieve 'lage' meetlocaties in het buitengebied zijn ILM005 in Eersel, ILM016 in Bergeijk en ILM041 in Geldrop-Mierlo. Deze 3 meetlocaties meten over het hele jaar bezien relatief hoog ten opzichte van de andere meetlocaties in de categorie Regio Laag. ILM005 in Eersel lijkt daarbij, zoals eerder in dit rapport gemeld, stelselmatig hoger te meten. Dit moet in 2022 verder worden gecontroleerd op het moment dat deze box vervangen wordt voor onderhoud. De concentraties PM10 per categorie liggen van maart t/m juli dicht bij elkaar. Dit duidt op een groter aandeel van grovere deeltjes in PM10, de fractie tussen 2.5µm en 10µm, op de locaties in de categorie Regio Middelhoog / Hoog.

Van augustus tot en met december zijn de gemiddeld gemeten PM1 en PM2.5 concentraties gelijkend voor de categorieën Regio Laag en Regio Middelhoog / Hoog. De gemiddeld gemeten concentratie PM10 in deze periode in de categorie Regio Middelhoog / Hoog is veelal iets hoger. Dit sluit aan bij de observatie van de eerste maanden van het jaar dat een relatief groter aandeel van de grovere fractie (tussen 2.5 µm en 10µm) in PM10 wordt gemeten op locaties waar een hogere bijdrage uit veehouderij aan PM10 concentraties wordt verwacht op basis van de GCN kaart. Dit moet verder geverifieerd worden in 2022 bij een jaarronde dataset.

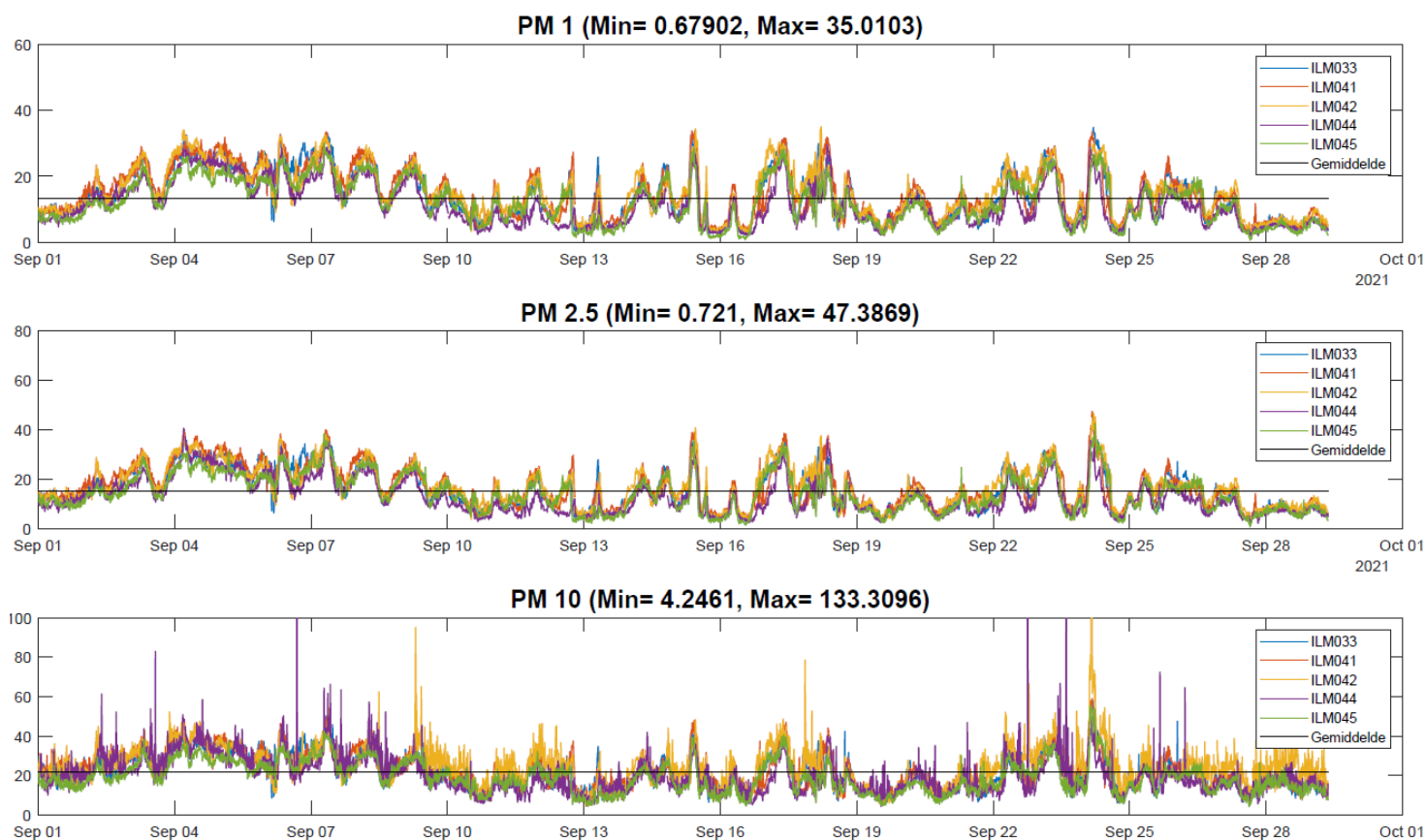
De gemeten NO₂ concentraties zijn ongeveer 10% hoger in de categorie Regio Middelhoog / Hoog ten opzichte van de categorie Regio Laag. De meetlocatie ILM033 in Son en Breugel draagt daar sterk aan bij, mogelijk doordat deze relatief dichtbij de A50 ligt. De hoogste concentraties op deze meetlocatie worden gemeten bij wind uit het ZO, uit de richting van de A50, zoals zichtbaar in Figuur 39.

Ook vanuit het zuidwesten worden voor enkele segmenten hoge NO₂ waarden gemeten. Mogelijk houdt dit verband met lucht aangevoerd vanaf Eindhoven.

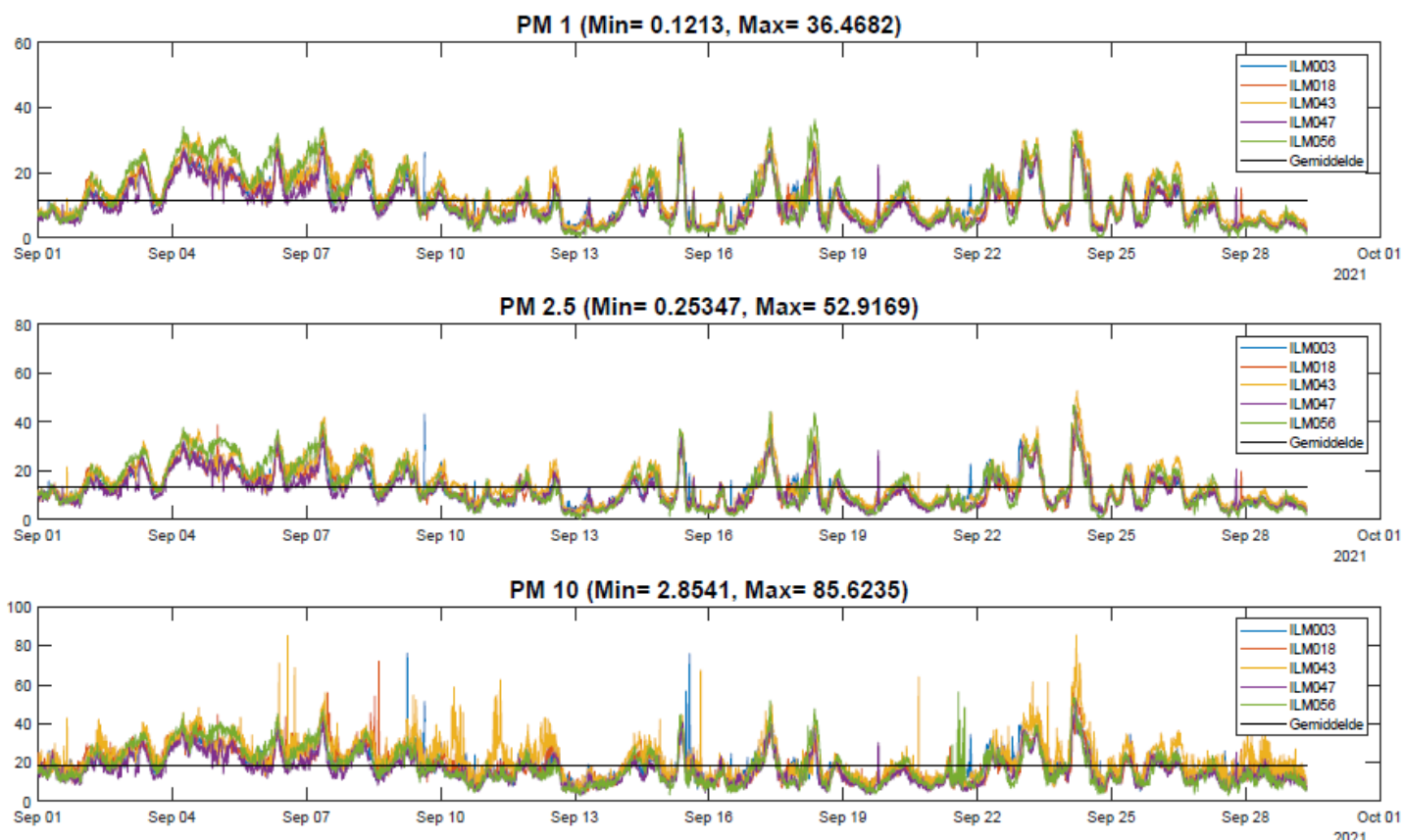


Figuur 39 Windroos van gemeten NO₂ concentraties in µg/m³ aan ILM033 in Son en Breugel.

Naast de gemiddelde concentraties zijn ook de meetgegevens per 10-minuten van elke meetlocatie bestudeerd. Figuur 40 toont metingen in september van een aantal meetlocaties oostelijk gelegen van Eindhoven, waaronder meetlocaties ILM042 (Keizersven - Gemert Bakel) en ILM044 (Ronde Bleek - Heeze-Leende). Figuur 41 toont de meetlocatie ILM043 Oirschot - Krukkerd ten opzichte van een aantal westelijk gelegen meetlocaties in het buitengebied. In Figuur 40 en Figuur 41 is zichtbaar dat PM1 en PM2.5 op alle meetlocaties een vrijwel identiek verloop over de tijd kennen. In de gemeten concentraties PM10 echter zijn met enige regelmaat concentratiepieken zichtbaar op de meetlocaties ILM042, ILM043 en ILM044. Ook tonen de gemeten PM10 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.

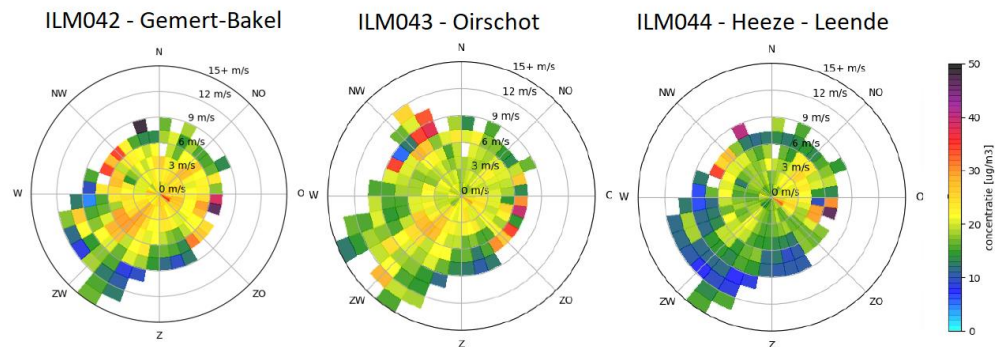


Figuur 40 Maandoverzicht voor PM1, PM2.5, PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van een aantal meetlocaties in het oosten van de regio Zuidoost-Brabant. Het is zichtbaar dat de metingen van PM10 op de meetlocaties ILM042 en ILM044 op regelmatige basis concentratiepieken vertonen die niet zichtbaar zijn op de andere meetlocaties.

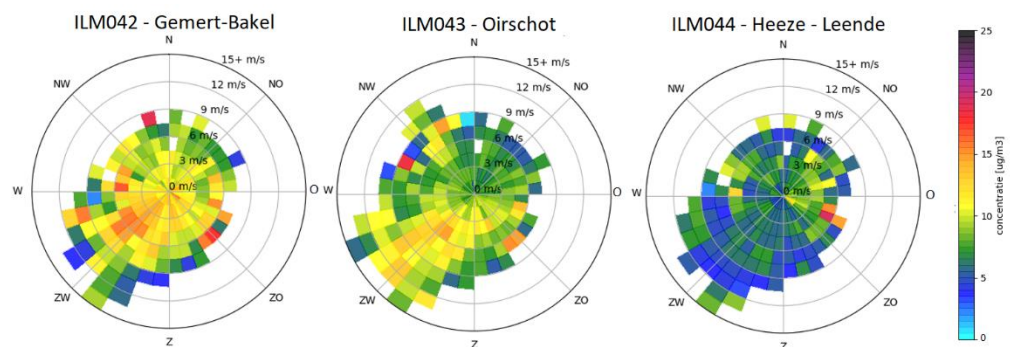


Figuur 41 Maandoverzicht voor PM1, PM2.5, PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van een aantal meetlocaties in het westen van de regio Zuidoost-Brabant. Het is zichtbaar dat de metingen van PM10 op de meetlocatie ILM043 op regelmatige basis, en frequenter dan op andere meetlocaties, concentratiepieken vertonen.

Figuur 42 toont de windrozen van PM10 behorende bij deze 3 meetlocaties. De gemeten concentraties PM10 naar windrichting verschillen zichtbaar in de windroosplots. Dit komt nog beter naar voren wanneer in de windroosplot wordt gecorrigeerd voor het aandeel achtergrondconcentratie in de meting (Figuur 43). Waar veehouderijen ten opzichte van de meetlocaties ILM042 en ILM043 zich voornamelijk (zuid-)westelijk van de meetlocaties bevinden, is dit ten opzichte van ILM044 (zuid-)oostelijk. Dit verschil lijkt terug te zien in de gemeten gemiddelde concentraties per windrichting op deze drie meetlocaties (Figuur 42 en Figuur 43).



Figuur 42 Windrozen PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van ILM044 in Heeze-Leende, ILM043 in Oirschot en ILM042 in Gemert-Bakel.



Figuur 43 Windrozen PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, waarbij de achtergrondconcentraties niet zijn meegenomen, van ILM044 in Heeze-Leende, ILM043 in Oirschot en ILM042 in Gemert-Bakel.

Er zijn ook meetlocaties gericht op veehouderij waar de beschreven pieken in PM10 concentraties niet uitgesproken zichtbaar zijn. De meetlocatie ILM003 in Best, zichtbaar in Figuur 41, staat benedenwinds van veehouderij. Daar zijn wel enkele concentratiepieken zichtbaar maar niet zo frequent als op de drie benoemde meetlocaties. Dit geldt bijvoorbeeld ook voor de meetlocatie ILM054 in Deurne, waar geen uitgesproken PM10 pieken zichtbaar zijn. Mogelijk hangt dit samen met het type veehouderij in de omgeving van de meetlocatie of de afstand van de meetlocatie ten opzichte van de meest nabijgelegen veehouderij. Verder onderzoek in 2022, met een jaarronde dataset op alle meetlocaties, is daarbij nodig om deze verschillen tussen en gedragingen van meetlocaties over het jaar heen verder in kaart te brengen en te begrijpen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het ILM2 meetnet richt zich op het meten en analyseren van de luchtkwaliteit in Zuidoost-Brabant. In 2021 is het meetnetwerk regiobreed uitgerold. Voor dit eerste jaar is het belangrijk om te begrijpen of het netwerk in de huidige staat voldoet om inderdaad onderzoek naar de regionale luchtkwaliteit mogelijk te maken. Daarom is er veel aandacht geweest voor de werking van de sensoren en de kwaliteit van de meetgegevens:

- Over het algemeen is de operationele werking van de meetapparatuur zeer goed (>99% uptime) geweest in 2021 waardoor er veel meetgegevens beschikbaar zijn per meetpunt.
- De fijnstofsensoren werken naar behoren en vertonen sterke onderlinge vergelijkbaarheid. Ook is er geen uitgesproken verloop/drift van de sensoren in de tijd zichtbaar. Dit maakt ze zeer goed bruikbaar om lokale en regionale patronen te duiden. In absolute zin zijn soms variaties te zien tussen sensoren, tot ongeveer 20% van de gemiddelde meetwaarden over een langere periode van enkele maanden tot een jaar. In vergelijking tot referentieapparatuur lijken de sensoren in de winterperiode wat hoger te meten.
- Van maart tot oktober zijn er afwijkingen zichtbaar in de NO₂ metingen op veel meetlocaties in het ILM2 meetnet. Daarmee was voor 2021 een beperkte dataset bruikbaar. Begin november is een wijziging in het NO₂ meetsysteem aangebracht en gemeten dag- en weekgangen in de aansluitende periode zijn aannemelijk. Desalniettemin is er ook in de toekomst verdere aandacht nodig om de NO₂ data van het meetnet verder te verbeteren en het gebruik ervan te optimaliseren.
- De UFP sensoren tonen geen zichtbare drift in 2021. Daarbij zijn er in de meetresultaten geen opvallende afwijkingen gesignaleerd. Ook is het aannemelijk dat UFP van vliegtuigen inderdaad door de sensoren gemeten wordt. Hiermee zijn de ervaringen over 2021 voor UFP goed te noemen.

De gebruikte sensoren zijn geen referentieapparatuur. Het is desalniettemin waarschijnlijk 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 veel locaties wel overschreden. Dit stemt overeen met het beeld voor grote delen van Nederland (Maas et al., 2022).

Per onderzoeksgebied kunnen op basis van de meetgegevens uit 2021 een aantal conclusies worden getrokken. Deze worden hieronder per onderwerp opgesomd:

Fijnstof in de regio

- De jaargemiddeld gemeten concentraties over alle meetpunten bezien waren respectievelijk 11,5 µg/m³, 13,9 µg/m³ en 19,3 µg/m³ voor PM₁, PM_{2.5} en PM₁₀. In de periode april tot en met juli zijn de gemeten PM concentraties in het buitengebied wat hoger, waarschijnlijk hangt dit samen met landbouwactiviteiten. De gemiddeld gemeten PM concentraties in de overige

maanden van 2021 in stedelijk gebied, luchthavengebied en het buitengebied zijn gelijkend.

- De metingen tonen aan dat fijnstofconcentraties relatief homogeen zijn en als het ware als een deken over de regio heen liggen. Minimaal 70% van de gemiddeld gemeten PM10 concentraties lijkt op basis van de ILM2 metingen te bestaan uit een regionale achtergrond met bronnen buiten de regio.
- De lagere grenslaaghoogte in Q1 en Q4 zorgen voor gemiddeld hogere PM concentraties in deze periodes. Ook is de aanvoer van luchtvervuilende stoffen van buiten de regio van belang voor fluctuaties in PM op de regionale schaal, waarbij regionale concentraties met name stijgen bij wind vanuit het NO.
- In Q1 (januari-maart) en Q4 (oktober-december) worden relatief gezien meer fijne deeltjes gemeten (hogere PM2.5/PM10 ratio) wat waarschijnlijk samenhangt met een toename van emissies uit verbrandingsprocessen voor vervoer en verwarming.

Stikstofdioxide in de regio

- De gemiddeld gemeten concentratie NO₂ binnen het ILM2 meetnet in de maanden januari-februari en november-december is 21 µg/m³. Op basis van de beschikbare meetresultaten is de regionale achtergrond ongeveer 36% tijdens deze 4 maanden. Duidelijk is dat lokale bronnen (verkeer) hier een prominenter rol spelen dan bij fijnstof. Bij oostelijke wind zijn de hoogste regionale achtergrondconcentraties voor NO₂ zichtbaar.
- De gemiddeld gemeten NO₂ concentraties zijn in het stedelijk gebied het hoogst (21,5 µg/m³) gevolgd door het terrein rond de luchthaven (19,1 µg/m³). In het buitengebied zijn concentraties lager wat waarschijnlijk samenhangt met een lagere verkeersintensiteit op deze meetlocaties.
- Binnen het stedelijk gebied en luchthavengebied zijn twee NO₂ concentratiepieken zichtbaar op een gemiddelde (werk-)dag, welke waarschijnlijk te koppelen zijn aan de ochtend- en avondspits. De gemeten piek in de middag (rond 17.00 uur) ligt hoger dan de piek in de ochtend. Deze daggang is in het buitengebied ook zichtbaar maar met gemiddeld minder hoge NO₂ concentraties.

Luchthavengebied

- De gemiddeld gemeten UFP-deeltjesaantallen waren op de 3 meetlocaties bij de luchthaven vergelijkbaar en lagen rond de 14.000 deeltjes/cm³. In vergelijking met Schiphol zijn de gemeten deeltjesaantallen rond Eindhoven Airport lager. Hierbij moet aangetekend dat in de Schiphol studies een andere meettechniek is gebruikt (Voogt et al., 2019; van Dinther et al., 2019).
- De ILM2 meetgegevens uit 2021 maken wel aannemelijk dat de gebruikte UFP sensor inderdaad UFP afkomstig van vliegtuigen waarneemt rond Eindhoven Airport. De windrozen tonen aan dat de hoogste deeltjesaantallen vooral voorkomen bij een wind uit de richting van de landingsbaan dan wel de pieren. De gemeten deeltjesaantallen liggen daarbij doordeweeks hoger dan in het weekend. Dat kan komen door het aantal vliegbewegingen, maar waarschijnlijk speelt hierbij ook een grotere hoeveelheid wegverkeer doordeweeks een rol.
- Op de Landardseweg zijn minder hoge piekwaardes zichtbaar dan aan de Scherpenering en Luchthavenweg terwijl deze hier wel werden verwacht: mogelijk staat de box net niet op de juiste plek om UFP goed te kunnen meten omdat zich een boomrijk gebied tussen de meetlocatie en startbaan bevindt. Dit wordt in 2022 verder geëvalueerd.

- De hoogste concentraties NO₂ binnen het luchthavengebied worden gemeten op de meetlocatie aan de Luchthavenweg, wat waarschijnlijk de locatie is waar het meeste autoverkeer zich bevindt.

Stedelijk gebied

- Binnen het stedelijk gebied worden de laagste concentraties PM en NO₂ gemeten in stadsparken of andersoortige achtergrondlocaties in Eindhoven. Waarschijnlijk wordt dit vooral veroorzaakt doordat zich weinig tot geen emissiebronnen bevinden in deze gebieden. In verkeersbelaste gebieden in Eindhoven zijn gemeten PM10 concentraties gemiddeld 14% hoger dan op de stadsachtergrondlocaties. Omdat deze vergelijking veel locaties beslaat (15 (verkeers-)belaste locaties tegenover 4 stedelijke achtergrondlocaties) is het aannemelijk dat er een daadwerkelijke verhoging is.
- Daarbij lijkt het zo dat er relatief meer kleine deeltjes worden gemeten op (verkeers-)belaste locaties. In de winter neemt deze PM2.5/PM10 ratio over heel Eindhoven bezien toe: van 69% in de zomer naar 74% in de winter. In Helmond is deze toename ook zichtbaar: van 71% in de zomer naar 77% in de winter. Dit hangt waarschijnlijk samen met toenemende emissies uit verbrandingsprocessen zoals van (auto-)verkeer of verwarming.
- De hoogste NO₂ concentraties worden gemeten op de meetlocaties aan De Ring in Eindhoven. In de binnenstad, welke De Ring omsluit, zijn de gemeten NO₂ concentraties wat lager. Mogelijk houdt dit verband met de milieuzone in de binnenstad. Aan het einde van het jaar zijn NO₂ concentraties op alle stedelijke meetlocaties relatief laag. Mogelijk houdt dit verband met de maatregelen ingevoerd rond COVID-19 in november en december 2021.

Buitengebied

- Er is geen significant verschil zichtbaar in meetwaarden van PM1 en PM2.5 tussen de verschillende meetlocaties in het buitengebied. De locaties benedenwinds van veehouderijen laten geen substantieel andere temporele patronen zien dan de andere locaties in het buitengebied voor deze fracties.
- Op een aantal meetlocaties benedenwinds van veehouderij zijn op regelmatige basis kortstondige concentratiepieken van PM10 zichtbaar. De windrozen laten zien dat deze verhogingen worden gemeten bij en mogelijk samenhangen met wind uit de richting van de stallen.
- Tegelijkertijd vertonen niet alle meetlocaties gericht op veehouderij deze concentratiepieken van PM10. Wellicht hangt dit samen met het type veehouderij of de afstand vanaf de meest nabije stal; dit moet verder onderzocht in de komende jaren met een jaarronde dataset voor alle meetlocaties in het buitengebied.

Concluderend over 2021 als geheel is het Regionaal Meetnet regiobreed uitgerold waarbij operationele meetdata wordt geleverd voor meer dan 40 meetlocaties in Zuidoost-Brabant. Vanuit deze eerste meetgegevens zijn, zoals beschreven in dit rapport, allerlei inzichten verworven over de luchtkwaliteit van Zuidoost-Brabant en lokale en regionale invloeden daarop. Daarmee voldoet het meetnet in de basis aan het doel om meer inzicht te gaan creëren over de regionale luchtkwaliteit. Wel zijn er nog ontwikkelpunten zichtbaar zoals het met hoge kwaliteit kunnen meten van de NO₂ concentraties jaarrond via sensoriek. In de aankomende meetjaren zullen de bevindingen gepresenteerd in dit rapport verder onderbouwd en verklaard moeten worden om vanuit daar gericht beleid naar een schonere lucht te ondersteunen.

5.2 Aanbevelingen

Het ILM2 meetnet is geïnitieerd ter ondersteuning van het werken aan een gezondere samenleving. Door bewustwording van de heersende luchtkwaliteit in combinatie met verschillende samenwerkingsvormen wordt in co-creatie gewerkt aan een gezonder Zuidoost-Brabant. Dit sluit aan bij de doelen van het Schone Lucht Akkoord waarbij wordt gesproken over het samen streven naar een gezondheidswinst van minimaal 50 procent in 2030 ten opzichte van 2016.

Met het operationeel meten op meer dan 40 meetlocaties in 2021 is een eerste stap gezet om meer inzicht te verkrijgen in de heersende luchtkwaliteit in de regio. Op dit moment is er geen aanleiding om het meetnet in haar huidige opzet wezenlijk te gaan veranderen danwel meetlocaties te verplaatsen. Een waardevolle aanvulling op de verzamelde meetgegevens over luchtkwaliteit is om meer contextuele informatie beschikbaar te krijgen per aandachtsgebied: dit gaat bijvoorbeeld over verkeersintensiteit, verkeerssamenstelling, aantallen vluchten, staltypes en aantallen dieren. Daarmee kunnen verbanden in tijd en ruimte tussen luchtkwaliteit en mogelijke bronnen onderzocht worden.

Het inzichtelijk maken van de relatie tussen luchtkwaliteit en activiteiten in de leefomgeving kan daarbij helpen om het grote publiek bewust te maken van mogelijke impact van eigen keuzes. Dit kan bijvoorbeeld ook via fysieke installaties in de leefomgeving waar luchtkwaliteit zichtbaar wordt gemaakt op basis van ILM2 data danwel het vormgeven van pilot projecten, bijvoorbeeld met scholen. Het positioneert het ILM2 als middel om de verbinding met de samenleving te vergroten als het gaat over het zetten van stappen richting schonere lucht. Het verbinden met burgermeetdata is een andere optie, waarbij modellering kan zorgen voor een integrale verwerking van meetgegevens van verschillende partijen tot gezamenlijke inzichten in kaartvorm.

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. Het ILM2 biedt een basis om dit soort ontwikkelingen in gang te zetten door de fijnmazigheid en frequentie van meten. In verbinding met de regio wordt aangeraden de mogelijkheden hiervoor te onderzoeken.

Uit deze eerste jaarlijkse analyse komen een aantal aandachtspunten als het gaat om de luchtkwaliteit voor de onderzoeksgebieden stedelijk gebied, luchthavengebied en buitengebied:

- Binnen het stedelijk gebied is verkeer, volgens verwachting, een belangrijke bron voor de lokaal heersende luchtkwaliteit. De Ring in Eindhoven lijkt daarbij op basis van de 2021 metingen een eerste aandachtspunt aangezien daar de hoogste concentraties gemeten worden, met name aan het kruispunt aan de Kennedylaan. In de aankomende jaren zal bekeken worden of hier structureel hogere concentraties gemeten worden.
- In het luchthavengebied is de invloed van vliegverkeer op verhogingen in UFP zichtbaar. 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. Daarnaast is het aan te bevelen de scheiding tussen bijdrage vanuit luchtvaart en wegverkeer verder specifiek te maken als vervolgstap daarop.
- Met een volledige dataset in 2022 zal er voor het buitengebied verdere uitwerking plaatsvinden. Daarbij zal er aandacht moeten zijn voor het type veehouderij en de afstand van stal tot de meetlocatie om meer inzicht te verkrijgen over wanneer er wel of juist geen verhoogde emissies van, met name, PM10 zichtbaar zijn. Dit kan handvaten bieden om best practices te identificeren danwel knelpunten te duiden.

6 Referenties

Air Quality Expert Group (2018). Air Pollution from Agriculture. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/aeqg/2800829_Agricultural_emissions_vfinal2.pdf

Beattie C. I., Longhurst J. W. S., Woodfield N. K. (2001). Urban air quality: A comparison of the air pollution dilemmas facing urban and rural local authorities and approaches to managing them. *Transactions on Ecology and the Environment*, 47, 183–192.

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.

Borrego C., Costa A.M., Ginja J., Amorim M., Coutinho M., Karatza K., Sioumis Th., Katsifarakis N., Konstantinidis K., De Vito S., Esposito E., Smith P., André N., Gérard P., Francis L.A., Castell N., Schneider P., Viana M., Minguillón M.C., Reimringer W., Otjes R.P., von Sicard O., Pohle R., Elen B., Suriano D., Pfister V., Prato M.S., Dipinto M., Penza M. (2016). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: the EuNetAir joint exercise. *Atmospheric Environment*, 147, 2016, p. 246-263

Cain B.E. (2020). White Paper on Telehealth in the Rural American West.

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

Giordano M. R., Malings C., Pandis S.N., Presto A.A., McNeill V.F., Westervelt D.M., Beekmann M., Subramanian R. (2021). From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors. *Journal of Aerosol Science*, 158(July), 105833. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105833>

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.

Hamm, N.A.S., van Lochem M., Hoek G., Otjes R., van der Sterren S., Verhoeven H. (2016). *The Invisible Made Visible: Science and Technology*. Chapter 3, p. 51-77

in "AiREAS: Sustainocracy for a Healthy City, The Invisible Made Visible Phase 1", editor J.-P. Close, ISBN 978-3-319-26939-9

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26940-5_3

Janssen N.A.H, Lammer M., Maitland-van de Zee A.H., van de Zee S., Keuken R., Blom M., van den Bulk P., van Dinther D., Hoek G., Kamstra K., Meliefste K., Oldenwenning M., Boere A.J.F., Cassee F.R., Fischer P.H., Gerlofs-Nijland M.E., Houthuijs D. (2019). Onderzoek naar de gezondheidseffecten van kortdurende blootstelling aan ultrafijn stof rond Schiphol. RIVM Rapport 2019-0084.

Janssen N.A.H, Houthuijs D., Dusseldorp A. (2022). Gezondheidseffecten van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol. RIVM Rapport 2022-0069.

Keuken M.P., Moerman M., Voogt M., Weijers E.P., Blom M., Kos G., Otjes R., Dusek U. 2012. Regional and local contribution to PM_{2.5} and PM₁₀ at the urban background and a street canyon on Rotterdam, the Netherlands. TNO-060-UT-2012-01192.

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., Hagenars, T., IJzermans J., van der Hoek W., Heederik D. (2016). Veehouderij en gezondheid omwonenden, Bilthoven, RIVM, RIVM rapport 2016-0058, 136 p.

Mensink, C., Deutsch, F. (2008). On the Role of Ammonia in the Formation of PM_{2.5}. *Air Pollution Modeling and Its Application XIX* (pp. 548–557). https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8453-9_60

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?msckid=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).

Strosnider H., Kennedy C., Monti M., Yip F. (2019). Rural and Urban Differences in Air Quality, 2008–2012, and Community Drinking Water Quality, 2010–2015 — United States. *MMWR. Surveillance Summaries*, 66(13). <https://doi.org/10.15585/MMWR.SS6613A1>

Tromp P.C., van Dinther D., de Bie S.E., Duyzer J., Lollinga J.P., Moerman M.M., Henke S.J. (2021): *Verkenndend 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/PdfFetch.aspx?nr=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 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>

Van Zoest V.M. (2020). Spatio-temporal modelling of urban sensor network data: mapping air quality risks in Eindhoven, the Netherlands. PhD thesis University of Twente. <https://research.utwente.nl/en/publications/spatio-temporal-modelling-of-urban-sensor-network-data-mapping-ai/>
https://library.itc.utwente.nl/papers_2020/phd/vanzoest.pdf

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,

Wesseling J., van der Zee S., van Overveld A. (2011). Het effect van vegetatie op de luchtkwaliteit. Update 2011. RIVM Rapport 680705019/2011.

Weijers E.P, Sahan E., ten Brink H.M., Schaap M., Matthijsen J., Otjes R.P., van Arkel F. (2010). Contribution of secondary inorganic aerosols to PM₁₀ and PM_{2.5} in the Netherlands; measurements and modelling results. Publication as part of the Netherlands Research Program on Particulate Matter, Report 500099006

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:

Ruben Goudriaan, Jun Zhang, Janot Tokaya, Arjan Hensen, Daniëlle van Dinther,
Sjaak Kaandorp, Marcus Blom, Arjan Plomp

Tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden

Januari – December 2021

Autorisatie vrijgave

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

Bijlage I: Kalibratie sensoren voor plaatsing in ILM2

Voor plaatsing in het ILM2 meetnet zijn de sensoren gekalibreerd. De opzet en uitvoering van deze kalibratie is omschreven in sectie 2.1.2. In deze bijlage worden de resultaten van de kalibratie per doelstof besproken.

Fijnstof: De correlaties tussen de CAIREBox meetresultaten en de Fidas® 200 S meetresultaten zijn over het algemeen hoog. Tabel 11 toont de gemiddelde correlatiecoëfficiënt R op basis van 50 gekalibreerde CAIREBoxen. Dit gemiddelde is berekend door per CAIREBox de correlatiecoëfficiënt R te bepalen tijdens de kalibratieperiode en vervolgens het gemiddelde te nemen van deze 50 individuele waarden. Het gebruikte tijdsinterval is elke 10 minuten. Acht CAIREBoxen zijn gekalibreerd op een referentie-box, eerder gekalibreerd met de Fidas® 200 S. Deze zijn niet in deze tabel meegenomen.

Tabel 11 Correlaties in PM meetgegevens van 50 CAIREBoxen na kalibratie en de Fidas® 200 S. De gegeven standaarddeviatie is representatief voor de distributie in deze 50 correlatiecoëfficiënten.

R	PM1	PM2.5	PM10
Gemiddelde	0,92	0,91	0,85
Standaarddeviatie	0,02	0,03	0,05
Minimum	0,84	0,82	0,68
Maximum	0,96	0,95	0,91

Met name voor PM1 en PM2.5 is de correlatie zeer hoog over alle boxen gezien. Voor PM10 liggen de correlaties iets lager. Figuur 45 toont als voorbeeld PM10 tijdseries van metingen van CAIREBoxen en de FIDAS® 200 S voor twee kalibratieperiodes. CAIREBox ABA133529 heeft een van de hoogste correlaties van alle boxen, CAIREBox ABA613810 een van de laagste correlaties. Zoals zichtbaar wordt het patroon door de tijd bemeten door de FIDAS® 200 S over het algemeen goed gevolgd door de sensoren van beide boxen. Wel zijn er op momenten absolute verschillen zichtbaar in de twee meetreeksen. Dit lijkt zich vooral voor te doen bij hogere meetwaarden. Dit komt waarschijnlijk door de manier waarop de meetwaarde via de sensor wordt bepaald. Hoe sterker het meetsignaal, des te sterker is de invloed van de bepaalde kalibratiefactor op de absolute meetwaarde die berekend wordt. Eventuele afwijkingen worden daardoor uitvergroot bij hogere waarden.

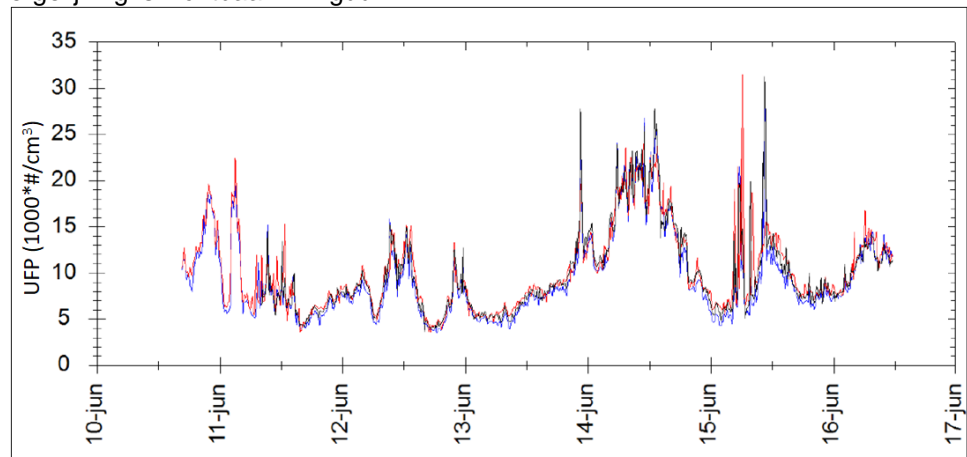
Er is één CAIREBox die tijdens de kalibratieperiodes van alle series in Alkmaar heeft gehangen. De gemiddelde correlatiecoëfficiënt, bias en root-mean-square-deviation (RMSD) van de gekalibreerde CAIREBoxen ten opzichte van deze box ABA133529 staan gepresenteerd in Tabel 12. In zijn algemeenheid leveren de CAIREBoxen onderling voor PM zeer vergelijkbare meetresultaten op tijdens de kalibratieperiode in Alkmaar. Voor een sensornetwerk als ILM2 is dit essentieel omdat dit een voorwaarde is om locaties te kunnen vergelijken, patronen in de tijd te onderzoeken en daarmee luchtkwaliteit in een groter gebied te kunnen analyseren. De RMSD ontstaat vooral bij hogere concentratieniveaus, waarbij afwijkingen in absolute zin groter worden.

Tabel 12 Gemiddelde correlatie R, helling en RMSD in PM meetgegevens van 57 CAIREBoxen na kalibratie, uit verschillende kalibratieseries, en CAIREBox ABA133529. De gegeven standaarddeviatie is representatief voor de distributie per statistische eenheid.

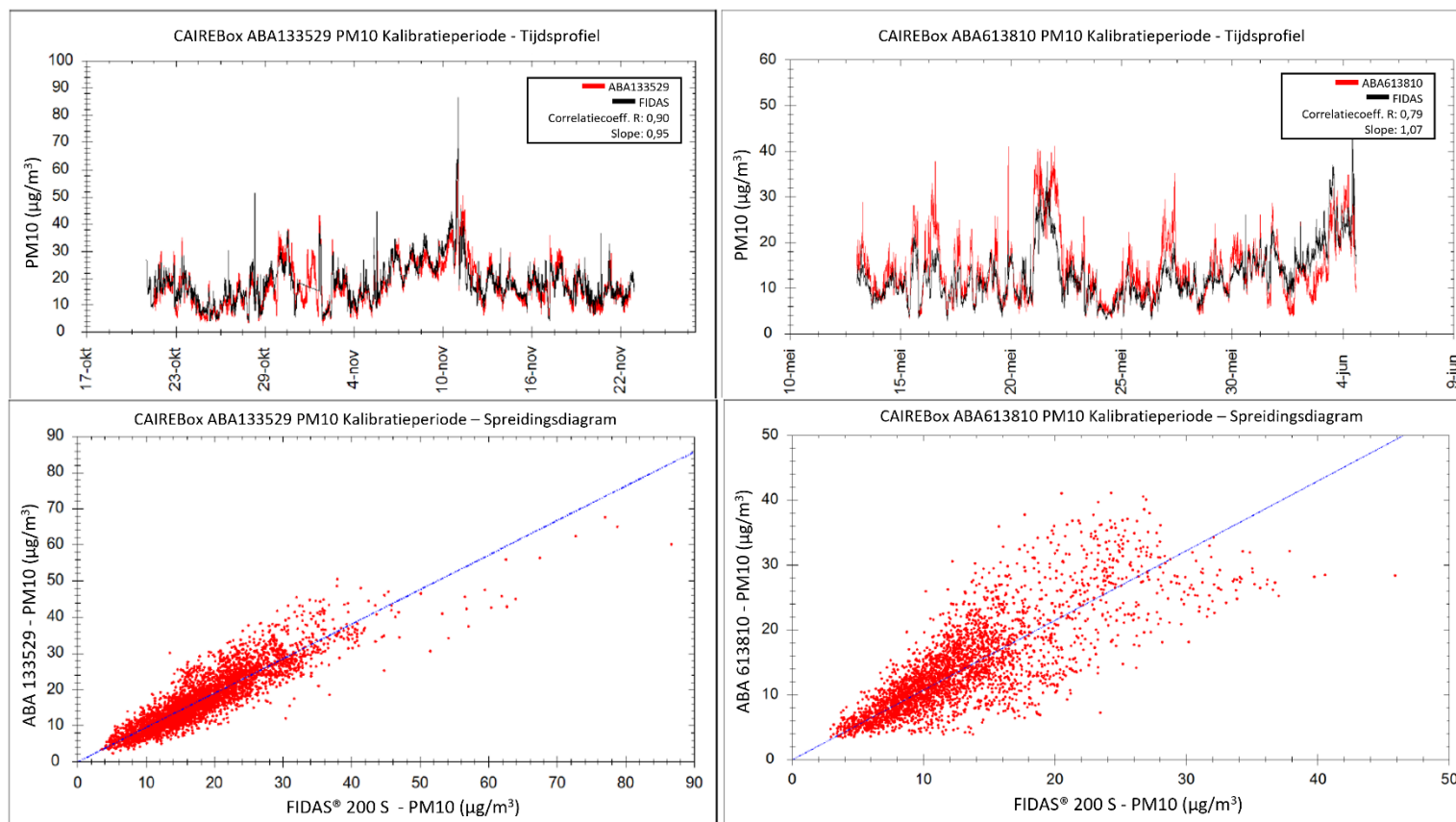
R	PM1	PM2.5	PM10
Correlatie R	0,98±0,01	0,98±0,01	0,94±0,03
Helling	1,00±0,14	0,98±0,13	1,02±0,10
RMSD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,29±0,97	2,59±1,15	3,62±0,98
RMSD (%)	23.7%	20.5%	20.5%

NO₂: De correlaties tussen de NO₂ concentraties gemeten met de CAIREBoxen en de EcoPhysics CLD 700 AL tijdens de verschillende kalibratieperiodes in Alkmaar zijn over het algemeen hoog. De gemiddelde correlatiecoëfficiënt R tussen de CAIREBoxen en de EcoPhysics CLD 700 AL, berekend volgens dezelfde methode als voor fijnstof, na kalibratie is $0,87\pm 0,08$. De laagste R verkregen tijdens de kalibratieperiode is 0,60, de hoogste R is 0,97. Figuur 46 toont deze uiteinden via tijdseries en de spreidingsdiagrammen van box ABA109533 en box ABA134667 in Alkmaar. De kalibratie resulteert in een gemiddelde helling van $1,0\pm 0,02$ tussen de meetwaarden van de CAIREBox en de EcoPhysics CLD 700 AL. Voor de NO₂ meetgegevens kan geen vergelijk gemaakt worden met CAIREBox ABA133529, zoals gedaan in Tabel 12 voor fijnstof, doordat de NO₂ data van deze CAIREBox ABA133529 na verloop van tijd is gaan afwijken. Deze afwijkingen, welke ook zichtbaar zijn in boxen in het meetnet, worden verder beschreven in sectie 3.2.1 en sectie 3.2.2 aan de hand van voorbeelden op locaties in Zuidoost-Brabant.

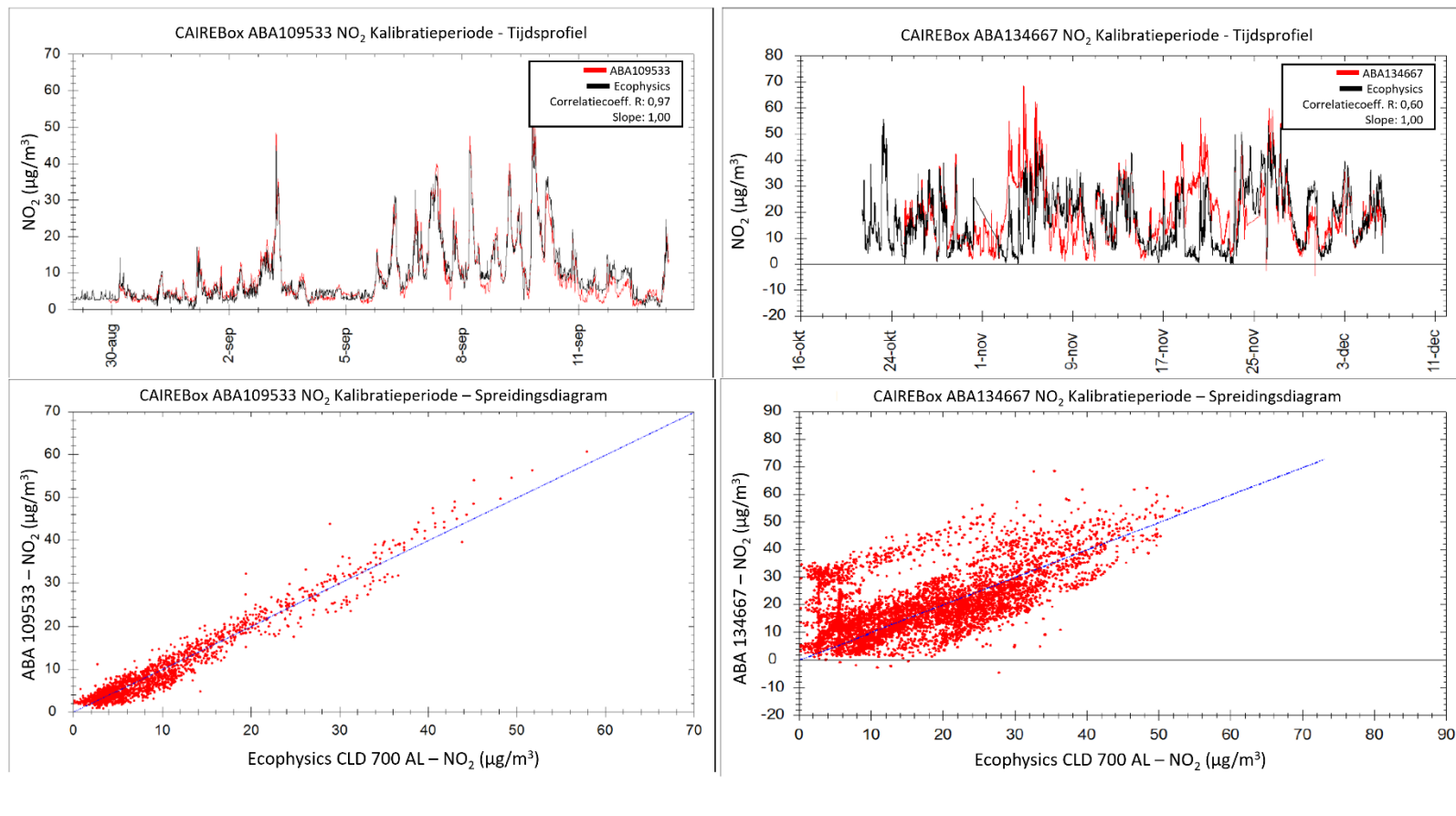
UFP: De ultrafijnstof sensoren zijn gekalibreerd door Oxility BV met behulp van een FMPS spectrometer. Een vergelijking tussen de sensoren in de buitenlucht in Alkmaar toont aan dat alle sensoren zeer gelijkende meetresultaten leveren. Deze vergelijking is zichtbaar in Figuur 44.



Figuur 44 Vergelijkingsstudie tussen de 3 UFP-sensoren in de buitenlucht in Alkmaar. Deze sensoren zijn in juli bijgeplaatst op de ILM2 meetlocaties rond het vliegveld (originele grafiek: B. Wit, Admatec B.V.)



Figuur 45 Voorbeeldgrafieken van een kalibratieperiode en spreidingsdiagram met gekalibreerde PM10 meetgegevens in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van CAIREBox ABA133529, met hoge correlatie, en CAIREBox ABA613810, met relatief lage correlatie, ten opzichte van de Fidas® 200 S (originele grafieken: B. Wit, Admatec Europe B.V.).



Figuur 46 Voorbeeldgrafieken van een kalibratieperiode en spreidingsdiagram van gekalibreerde NO₂ meetgegevens in µg/m³ van CAIREBox ABA109533, met hoge correlatie, en CAIREBox ABA134667, met relatief lage correlatie, ten opzichte van de EcoPhysics CLD 700 AL (originele grafieken: B. Wit, Admatec Europe B.V.).

Bijlage II: Evaluatie PM10 aan LML Genovevalaan

Dit stuk is gebaseerd op een notitie en begeleidende memo van RIVM. De originele stukken zijn opvraagbaar bij RIVM.

Inleiding

Op verzoek van AiREAS zijn de fijnstofsensoren (afkomstig van TNO) beoordeeld zoals die ingezet zijn in het ILM-meetnet in Eindhoven. Hiertoe is een vergelijking gemaakt met metingen van het LML-meetstation Genovevalaan (PM10)⁵. Voor elk systeem is bepaald; *datadekking, scatterplot en (orthogonale) regressievergelijking, meetonzekerheid, overeenkomst tussen sensorsystemen onderling en nauwkeurigheid*. In onderstaande tabel zijn opgesomd de systemen waarvoor data is ontvangen, start- en einddatum van Genovevalaan (op basis van volledige dagen), het aantal meetdagen en de datadekking.

Tabel 13 Overzicht van de datadekking TNO-sensoren in Eindhoven aan de Genovevalaan.

Systeem	start	eind	data-dekking (%)	Systeem	start	eind	data-dekking (%)
BOX006	5-3-2021	3-9-2021	93	BOX028	8-10-2020	2-2-2021	100
BOX021	17-5-2021	11-10-2021	100	BOX035	8-7-2021	07-10-2021	97
BOX023	8-10-2020	25-1-2021	100	BOX037	8-10-2020	07-10-2021	99

In Europees verband (CEN264/WG42) wordt gewerkt aan een testprotocol voor het vaststellen van prestaties van sensorsystemen die luchtkwaliteit meten (gassen en fijnstof). Op basis van het testresultaat wordt een systeem ingedeeld in een kwaliteitsklasse aan de hand van criteria waardoor een vergelijking tussen sensorsystemen mogelijk wordt. Vooruitlopend op een definitieve versie is vergeleken met enkele criteria zoals nu geformuleerd in dit protocol.

Opzet

Het LML-meetinstrument (PM10; FH-62) is equivalent aan het referentie-instrument (Leckel of Derenda) voor dagwaarden; meetwaarden zijn op uurbasis en worden omgerekend naar dagwaarden. De sensoren zijn beschouwd als 'Black Box' d.w.z. gerekend is met de meetdata zoals die zijn aangeleverd.

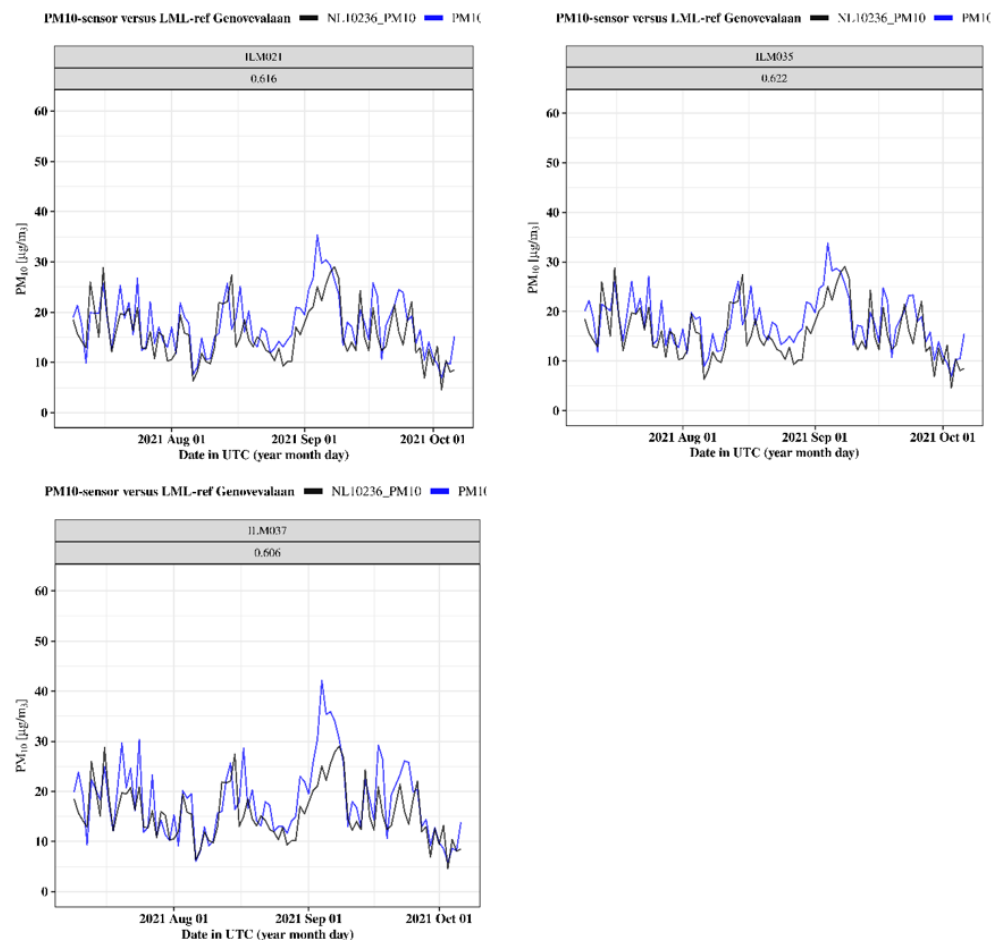
Uitgangspunt van deze analyse is een vergelijking tijdens een periode dat drie systemen synchroon data hebben verzameld: het testprotocol geldt alleen voor gelijktijdige metingen op één station zodat vergelijking van systemen onderling mogelijk is.⁶ De analyses getoond in dit document zijn uitgevoerd voor de sensorsystemen BOX021, BOX035 en BOX037 over de periode 8/7 – 7/10/2021 (ca. 90 dagen). Achtereenvolgens zijn bepaald datadekking, scatterplots en regressievergelijking, onzekerheid en de intra-sensor variatie.

⁵ Station Genovevalaan heeft geen PM2,5 meting. Het station is in een eerder stadium gekozen als referentie voor de ILM boxen omdat er NO₂ gemeten wordt en het is gelegen aan een weg met veel verkeer.

⁶ In de huidige versie van het protocol is voorgeschreven dat sensortesten plaatsvinden gedurende twee periodes in verschillende seizoenen op een meetstation (straat, stadsachtergrond, regionale achtergrond) dat vergelijkbaar is met de latere positionering van het systeem.

Vergelijking met testprotocol

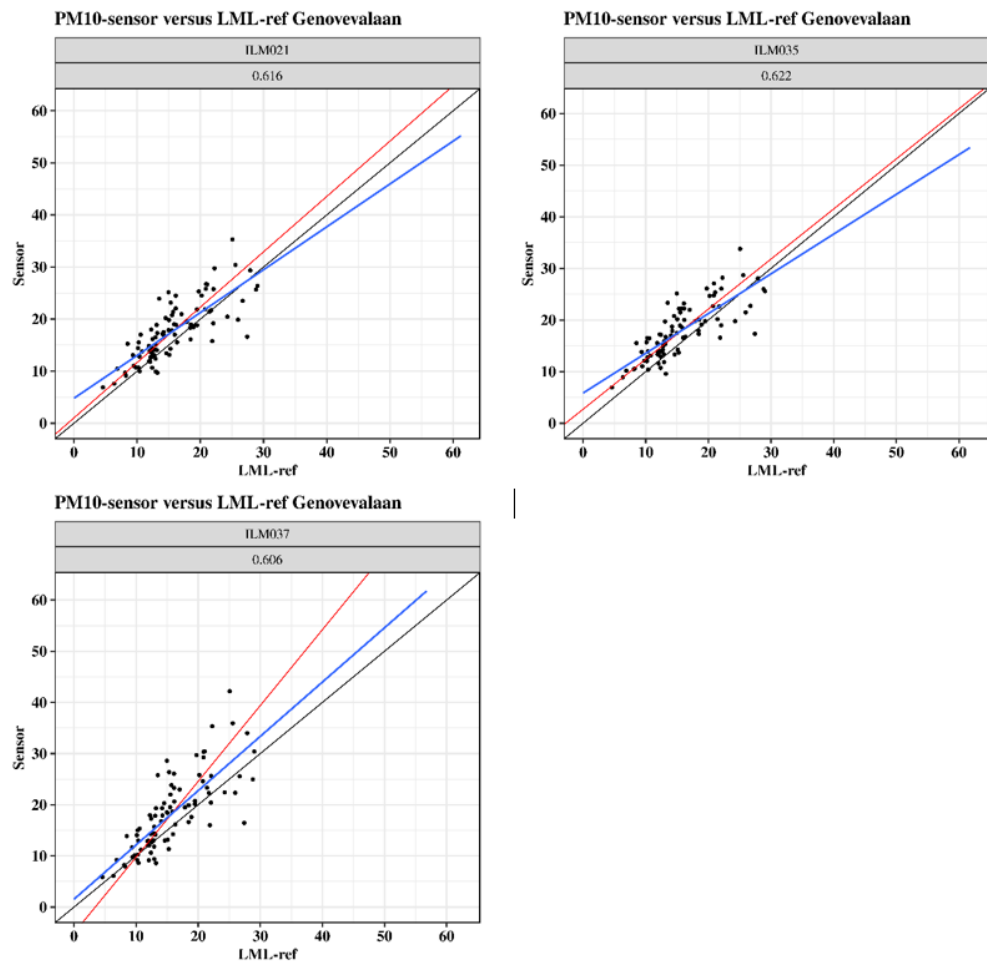
Er zijn 90 dagen aan meetdata beschikbaar om LML-instrument en sensoren met elkaar te vergelijken. Het gedrag van de sensoren in de tijd kan het best bestudeerd worden aan de hand van tijdreeksen. In Figuur 47 zijn de metingen op dagbasis voor de drie sensoren (in blauw) en het LML-instrument (zwart) getoond. De nauwkeurigheid van de metingen is hoog (rond de 85%); dit is terug te zien in de tijdreeksen hieronder (dagbasis). De overeenkomst tussen metingen van de afzonderlijke systemen (intra-sensor variatie of 'between-sensor uncertainty') is $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$; dit is berekend met vgl.(3) in op basis van de daggemiddelden. In deze analyse voldoen de boxen voor de onderlinge vergelijkbaarheid aan de eis voor een klasse 1 apparaat.



Figuur 47 Tijdreeksen voor de drie sensoren (blauw) en het LML-instrument (zwart) op basis van daggemiddelden.

Scatterplots en regressievergelijkingen

Scatterplots (XY-plots) zijn bepaald op basis van daggemiddelden (zie figuur 2). De rode lijn in Figuur 48 geeft de lijn weer berekend met orthogonale regressie (volgens CEN-protocol). Ter vergelijking is ook de lijn voor de 'gewone' lineaire regressie (blauw). De R^2 van de afzonderlijke systemen ligt (op dagbasis) net boven de 0,6. De systemen BOX021 en BOX035 hebben een helling rond de 1. BOX037 meet (vanaf ca. $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wat hogere waarden; dit resulteert in de afwijkende helling en intercept.



Figuur 48 Scatterplots voor drie sensorsystemen geplaatst op Genovevalaan met overeenkomstige meetperiode. De rode lijn is de orthogonale fit ('total-least-squares'); de blauwe lijn is berekend via de (doorgaans toegepaste) 'ordinary-least-squares'-benadering.

De bepaling van de onzekerheid per systeem is (o.a.) berekend uit de regressiecoëfficiënten en R^2 volgens vgl.(2). Tabel 14 geeft het resultaat. Van de drie geselecteerde boxen kent het eerdergenoemde systeem BOX037 volgens het protocol een grotere onzekerheid dan de twee andere boxen veroorzaakt door een afwijkend meetbereik (de sensor geeft, met name, hogere waarden bij hoge waarden en enkele keren lagere waarden bij lage waarden). Als we kijken naar de tijdseries, is die afwijking op het eerste gezicht niet zo groot. Het is daarom opvallend dat de gevolgen voor de onzekerheidsbepaling zo groot zijn.

Tabel 14 Regressiecoëfficiënten op basis van de daggemiddelde sensorwaarden (Y-as) en de (onafhankelijke) daggemiddelde referentie concentratiedata (X-as) met bijbehorende determinatie coëfficiënten (R^2) voor de geselecteerde 90 dagen. Daarnaast worden de nauwkeurigheid en de onzekerheid getoond berekend volgens formulering in CEN-protocol.

System	Dagen	R^2	helling	snijpunt Y-as	Nauwkeurigheid (%)	Onzekerheid (%)
BOX021	90	0.62	1.06	1.03	87.0	20.2
BOX035	90	0.62	0.97	2.71	85.6	10.6
BOX037	90	0.61	1.48	-5.07	84.2	78.3

In Tabel 15 staan de regressie coëfficiënten, determinatie coëfficiënt en nauwkeurigheid berekend op basis van de volledige beschikbare datasets (PM10 dagwaarden). Voor twee van de gekozen sensoren (BOX021, BOX035) zijn de verschillen met de resultaten gegeven in tabel 1 gering. Voor BOX037 bestaat er een groot verschil met Tabel 2 voor de berekende helling en snijpunt van de Y-as.

Tabel 15 Regressiecoëfficiënten op basis van de daggemiddelde sensorwaarden (Y-as) en de (onafhankelijke) daggemiddelde referentie concentratiedata (X-as) met bijbehorende determinatie coëfficiënten (R^2) voor de volledig beschikbare meetperiode per systeem. Daarnaast worden de nauwkeurigheid getoond berekend volgens formulering in CEN-protocol. De onzekerheid is hier niet berekend.

Systeem	Dagen	R^2	helling	snijpunt Y-as	Nauwkeurigheid (%)
BOX021	148	0.59	0.91	3.00	89.09
BOX035	92	0.61	0.97	2.63	85.57
BOX037	365	0.69	1.18	-0.05	81.26

Klasse indeling

De resultaten zijn in Tabel 16 samengevat; dit is vergeleken met de criteria geformuleerd in tabellen daaronder van het voorlopig protocol. Het 'slechtste' resultaat is bepalend voor de indeling in een klasse. Het mindere resultaat voor BOX037 leidt niet tot een indeling in een klasse. Op basis van alleen de systemen BOX021 en BOX035 zou klasse 2 mogelijk zijn (testprotocol vereist minimaal drie systemen in de beoordeling).

Tabel 16 Statistiek samengevat en vergelijking criteria

	berekend	voldoet aan criterium	sensorklasse ^a
data dekking	100%	>90%	1
helling (b)	tussen 0.97 en 1.48	$0.6 < a < 1.67$	2
snijpunt Y-as (a)	tussen -5.07 en 2.71	-	-
onzekerheid	< 79%	<100%	2
intra-sensor variatie	1.1	< 3	1
		overall	-

^a protocol nog in bewerking

Parameter	Compound	Class 1 sensor systems	Class 2 sensor systems	Class 3 sensor systems
Between sensor system uncertainty	PM ₁₀	$u(bs,s) \leq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) \leq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM _{2,5}	$u(bs,s) \leq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) \leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$u(bs,s) \leq 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Minimum data capture	PM ₁₀ and PM _{2,5}	Directive 2008/50/EC applies: data capture of hourly values shall be at least 90 %	data capture of hourly values shall be at least 50 %	-
Slope of regression line	PM ₁₀ and PM _{2,5}	$0,78 \leq b \leq 1,29$	$0,60 \leq b \leq 1,67$	$0,43 \leq b \leq 2,33$

Parameter	Compound	Class 1 sensor systems	Class 2 sensor systems	Class 3 sensor systems
Intercept of regression line	PM ₁₀	$-2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$-3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$-4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM _{2,5}	$-2 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$-3 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$-4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \leq a \leq 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$

- Deze criteria staan nog ter discussie in WG42.

Compound	Averaging period	LV	UAT	LAT	DQO of Class 1 sensor system	DQO of Class 2 sensor system	DQO of Class 3 sensor system
	h	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (% of LV)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (% of LV)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (% of LV)
PM ₁₀	24	50	35	25	25 (50 %)	50 (100 %)	100 (200 %)
PM _{2,5}	24	30 ^a	21	15	15 (50 %)	30 (100 %)	60 (200 %)

Conclusie

Wat betekent deze analyse nu?

We kunnen het zien als een onderdeel in het proces om grip te krijgen op de kwaliteit van de metingen. Maar het is niet allesbepalend. Er zijn meer manieren om de betrouwbaarheid te monitoren. Het is daarbij altijd de vraag voor welk doel de metingen gebruikt worden. Om uitspraken te doen op basis van de meetwaarden van individuele boxen is het belangrijk om van de individuele boxen de kwaliteit te kunnen beoordelen. Het is te arbeidsintensief om alle boxen met behulp van het CEN protocol te beoordelen. Zoals zichtbaar in de rapportage zijn er ook andere methodes toegepast om dit te beoordelen.

Wat betekent het concreet voor het meetnet?

- Er zijn geen concrete aanpassingen in het meten zelf nodig.
- De toets laat zien dat absolute meetwaarden tussen sensoren kunnen verschillen. Bij de analyse van de meetgegevens is het daarom van belang om van individuele meetboxen de onzekerheid op de absolute meetwaarden te kunnen beoordelen. Zo kan beoordeeld worden of gemeten verschillen tussen (individuele) locaties binnen de onzekerheidsmarge vallen.

Formules

- De *datadekking* ('datacoverage') is gegeven door het aantal uren tussen de installatie-datum en de afname-datum (n_{max}) en het aantal uren dat er meetdata beschikbaar is (n):

$$n / n_{\text{max}} * 100\% \quad (1)$$

- De *orthogonale regressievergelijking* is hier berekend door de dagelijkse sensor meetwaarden te vergelijken met de LML-metwaarden (dag). Deze berekening

levert een vergelijking in de vorm $y=ax+b$ met a de helling en b het intercept, en een determinatie coëfficiënt (R^2).

- De *onzekerheid* wordt vervolgens verkregen door toepassing van de formule (deze is afkomstig uit de 'Guide for the Demonstration of Equivalence'):

$$U_{\text{field},L} = k \times \sqrt{\left(\frac{R}{n-2} - u(\text{bs, RM})^2\right) + [a + (b-1) \times L]^2} \quad (2)$$

$$R = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2$$

met

$U_{\text{field},L}$	berekende sensor onzekerheid
$u(\text{bs, RM})$	onzekerheid van het officiële meetinstrument;
L	waarde waarvoor de berekening relevant is (hier $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jaargemiddelde grenswaarde PM10)
$[a + (b-1) \times L]^2$	a is de intercept en b helling
k	het aantal 'degrees of freedom' (hier: 2)

De Europese Luchtkwaliteit Richtlijn (EU, 2008) geeft zgn. 'Data Quality Objectives' (DQO) waaraan meetmethodes moeten voldoen voor uitvoering van *indicatieve* metingen in de officiële monitoring. In het geval van PM10-metingen geldt voor equivalente metingen een toegestane onzekerheid van 25% en voor indicatieve metingen 50%.

- De *intra-sensor variatie* is de onzekerheid die geïntroduceerd wordt doordat sensoren (van één type) verschillende meetwaarden op hetzelfde moment en op hetzelfde meetpunt laten zien ('between-sensor uncertainty'). Dit wordt bepaald aan de hand van de onderstaande formule:

$$u(\text{bs, s}) = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_s} (y_{i,j} - \bar{y}_i)^2}{n(n_s-1)}\right)} \quad (3)$$

waarbij

$y_{i,j}$	sensorwaarde
\bar{y}_i	gemiddelde sensorwaarde
n	aantal metingen
n_s	aantal sensoren

- De *nauwkeurigheid* (*acc*) is de mate van overeenkomst tussen waarden gemeten door de sensoren en de LML-waarden na middeling over een bepaalde meetperiode en is hier berekend als:

$$\text{acc} (\%) = 100 - (\text{LML_average} - \text{sensor_average}) / \text{LML_average} * 100 \quad (4)$$

Hoe hoger de positieve waarde (percentage), hoe hoger de nauwkeurigheid. In het geval van een waarde van 100% meten de sensoren exact hetzelfde als het officiële instrument. Bij een onderschatting (overschatting) is het percentage lager (hoger) dan 100%.

Bijlage III: Data dekking per meetlocatie per kwartaal

Tabel S1 toont welke boxen meegenomen zijn in de berekeningen van de jaargemiddeldes getoond in Tabel 4 in het rapport. Dit is gebaseerd op een minimale data beschikbaarheid van 70% over de relevante periode.

S1 Data dekking per meetlocatie per kwartaal in 2021 (1 = wel data; 0 = niet afdoende data voor berekeningen)

Data dekking per categorie per kwartaal in 2021			Q1				Q2				Q3				Q4			
No.	Meetlocatie	Categorie	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2,5}	PM ₁₀	NO ₂
ILM002	EH Scherpening	Luchthaven	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM014	EH Landardseweg	Luchthaven	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM025	EH Luchthavenweg	Luchthaven	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM004	EH Finisterelaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM007	EH Oirschotsedijk	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM008	EH Beukenlaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM009	EH Stationsweg	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM011	EH prof dr Dorgelolaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM012	EH Mathildelaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM017	EH Genneperweg	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM019	EH Kanaaldijk	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM022	EH Meerhovendreef	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM023	EH Anthony Fokkerweg	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM024	EH Fellenoord	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM028	EH Klokgebouw	Stedelijk	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1

Data dekking per categorie per kwartaal in 2021			Q1				Q2				Q3				Q4			
No.	Meetlocatie	Categorie	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂
ILM029	EH Wal	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM030	EH Botenlaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM032	EH Maaseikstraat	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM036	EH Vestdijk	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM037	EH Genovevalaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM039	EH Willemstraat	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM040	EH Kennedylaan	Stedelijk	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM048	Helmond Vossenbeemd	Stedelijk	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM049	Helmond Kanaaldijk	Stedelijk	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM051	Helmond Mierloseweg	Stedelijk	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM052	Helmond Kasteel-traverse	Stedelijk	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM003	Best Kapelweg	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM005	Eersel Zandoerleseweg	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM010	Reusel Mierdseweg	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM013	Nuenen Soetenbeekseweg	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
ILM016	Bergeijk Dorpsstraat	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM018	Boxtel Mijlstraat	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM033	Son&Breugel Sonniuswijk	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM041	Geldrop Mierlo Voortje	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM042	Gemert-Bakel Keizersven	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM043	Oirschot Krukkerd	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM044	Heeze-Leende Ronde Bleek	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1

Data dekking per categorie per kwartaal in 2021			Q1				Q2				Q3				Q4			
No.	Meetlocatie	Categorie	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	NO ₂
ILM045	Meerijstad Zonveldstraat	Regio	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM046	Best Ringweg	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM047	Oirschot Neereindsweg	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM054	Deurne Paardekopweg	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
ILM055	Valkenswaard Bergeijksedijk	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
ILM056	Reusel Beekakkersweg	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
ILM058	Best Looierstraat	Regio	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1

Tabel S2 toont de gemiddelde waarden per jaar en per kwartaal waarbij enkel de 22 CAIREBoxen met een volledig meetjaar zijn beschouwd. Hieruit blijkt dat de ruimtelijke variatie in PM binnen de regio waarschijnlijk laag is. De verschillen in gemiddelde PM waarden tussen Tabel 3 (op de volgende pagina nogmaals opgenomen als Tabel S3) en Tabel S2 zijn minimaal. Voor NO₂ blijkt vooral verschil op te treden in Q4. Dat komt doordat in de reguliere berekening meer locaties uit het buitengebied zijn beschouwd waar de NO₂ concentraties veelal lager zijn dan in het stedelijk gebied.

S2 Jaargemiddelde waarden op basis van de 22 CAIREBoxen met jaarronde meetresultaten. Voor NO₂ zijn alleen de maanden januari, februari, november en december gebruikt.

Periode	Meetnet ILM2 (Gemiddelde ± SD: µg/m ³)				Deeltjesverdeling (%)	
	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂ *	PM1/PM10	PM2.5/PM10
Jaar 2021	11.2±1.6	13.6±1.8	18.7±1.7	21.2±3.1	59.2±4.1	71.8±4.3
Q1 2021 (Jan-Mar)	13.0±1.8	16.3±2.2	22.3±1.9	24.4±5.2	58.4±4.6	73.0±4.9
Q2 2021 (Apr-Jun)	8.9±1.3	10.9±1.5	16.1±1.4	-	54.8±4.3	67.3±4.5
Q3 2021 (Jul-Sep)	10.5±1.7	12.3±1.8	17.1±1.8	-	60.6±4.3	71.1±4.3
Q4 2021 (Okt-Dec)	12.5±1.9	15.0±2.1	19.6±2.0	17.9±4.0	63.0±4.4	75.8±4.1

S3 Jaarlijkse en kwartaal gemiddelde concentraties van fijnstof en NO₂ gemeten door het ILM2 in 2021 in µg/m³. De getoonde standaard deviatie betreft de spreiding van deze variabelen tussen de meetlocaties. De n-waarde reflecteert het aantal meetlocaties waarop de gemiddelde waarden zijn berekend. Meetlocaties zijn enkel meegenomen als zij meer dan >75% data beschikbaar hebben van de relevante periode.

Periode	Meetnet ILM2 (Gemiddelde ± SD: µg/m ³)				Deeltjesverdeling (%)	
	PM1	PM2.5	PM10	NO ₂ *	PM1/PM10	PM2.5/PM10
Jaar 2021	11.5±1.8 (n=29)	13.9±1.9 (n=29)	19.3±2.0 (n=29)	21.2±3.1 (n=22)	59.6±4.1 (n=29)	71.9±4.2 (n=29)
Q1 2021 (Jan-Mar)	13.0±1.8 (n=22)	16.3±2.2 (n=22)	22.3±1.9 (n=22)	24.4±5.2 (n=21)	58.2±4.5 (n=22)	72.8±4.7 (n=22)
Q2 2021 (Apr-Jun)	9.4±1.8 (n=31)	11.4±1.8 (n=31)	16.8±2.1 (n=31)	-	55.8±4.6 (n=31)	67.7±4.3 (n=31)
Q3 2021 (Jul-Sep)	10.5±1.8 (n=41)	12.3±1.9 (n=41)	17.4±2.2 (n=41)	-	60.9±4.1 (n=41)	70.7±4.3 (n=41)
Q4 2021 (Okt-Dec)	12.4±1.8 (n=44)	14.9±2.0 (n=44)	19.8±2.4 (n=44)	17.0±4.5 (n=43)	63.1±4.1 (n=44)	75.5±4.1 (n=44)

Bijlage IV: Factsheets ILM2 meetlocaties 2021

Deze bijlage is opgenomen als apart document met nummer R12396_Bijlage.

In deze bijlage staan per meetlocatie van het ILM2 meetnet de meetgegevens van 2021 van PM en NO₂ gepresenteerd via verschillende overzichten.