



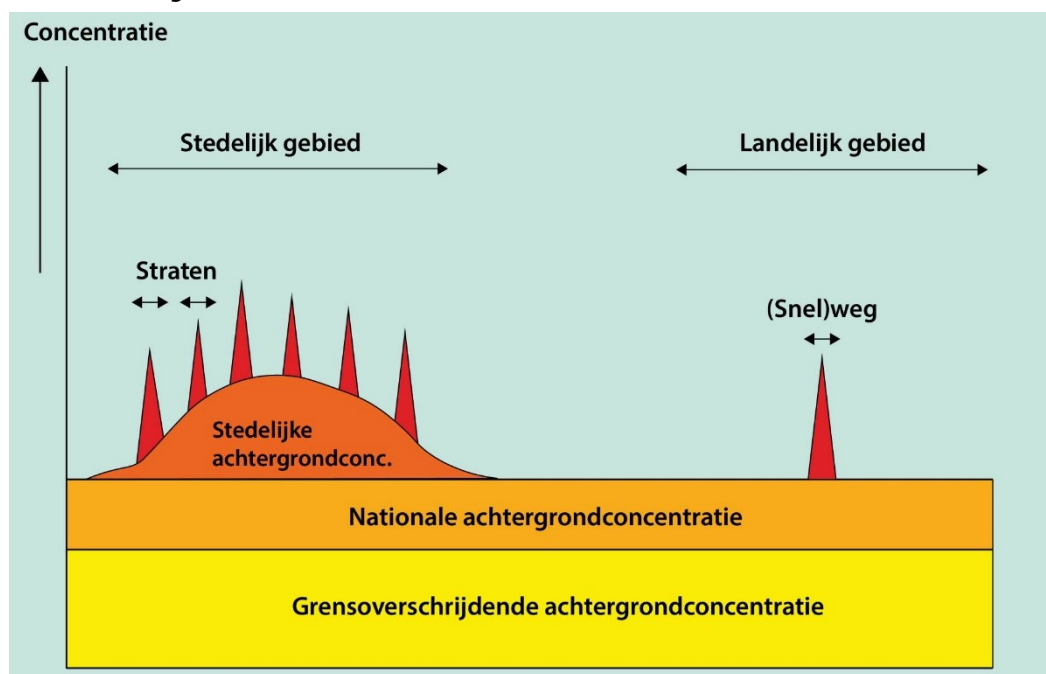
## Kennisnotitie

# Lokaal meten in en rondom Rotterdam Welke kansen bieden fijnmazige sensornetwerken in het detecteren van lokale fijnstof?

## Inleiding

De luchtkwaliteit in Nederland wordt beïnvloed door verschillende factoren, zowel in het binnen- als buitenland. Zo is gemiddeld 42% van het fijnere deel van fijnstof (PM<sub>2.5</sub>) in Nederland afkomstig uit het buitenland en 31% van binnenlandse bronnen<sup>1</sup>. Hoewel een groot deel van de vervuiling uit het buitenland of van regionale bronnen komt, voegen lokale bronnen op kleinere schaal ook vervuiling toe (zie Figuur 1 voor een schematische weergave hiervan). Denk aan bronnen zoals houtstook, verkeer en binnenvaart. Het is voornamelijk lastig om deze lokale bronnen goed in beeld te brengen met officiële of referentiemetingen. Referentiestationen staan maar op een beperkt aantal plekken, die juist zo zijn gekozen dat ze representatief zijn voor een zo groot mogelijk gebied. Zogenaamde lowcostsensoren kunnen een oplossing bieden om deze lokale bronnen juist wel gedetailleerd in kaart te brengen, doordat zij vaker en op veel verschillende plekken kunnen meten. Steeds meer mensen meten zelf de luchtkwaliteit en ook starten steeds meer lokale overheden projecten waarin de luchtkwaliteit lokaal gemeten wordt met sensoren. De Luchtclub Rotterdam was zo'n project, en in deze kennisnotitie kijken we of we lokale verschillen kunnen zien in de concentratie fijnstof op basis van sensormetingen in het unieke netwerk in en rondom Rotterdam. Dit onderzoek is gefinancierd door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

Figuur 1. Schematische weergave van de opbouw van de concentratie van luchtvervuiling.



RIVM

A. van Leeuwenhoeklaan 9  
3721 MA Bilthoven  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
www.rivm.nl

T 088 689 89 89

### Auteurs:

A. Woutersen  
S. van Ratingen  
P. Bult

### Centrum:

Milieukwaliteit

### Contact:

amber.woutersen@rivm.nl

### Kenmerk:

KN-2025-0091

### DOI:

10.21945/RIVM-KN-2025-0091

### Datum:

15 juni 2026

## De Luchtclub Rotterdam

In 2021 is binnen de gemeente Rotterdam een meetcampagne gestart, genaamd De Luchtclub Rotterdam. Dit project was uniek vanwege de enorme meetdichtheid; op het hoogtepunt waren er zo'n 700 actieve deelnemers. Zij kregen allemaal een fijnstofsensoren van de gemeente. Dit zorgde voor een bijzondere situatie: nergens anders in Nederland staan er zoveel sensoren in één gebied. In het DSIH magazine lees je meer over het project in de artikelen [Waarom wil je meten](#), [Waarom is er data science?](#), [data of dialoog](#), en [hoe doe je citizen science](#). De Luchtclub en het hoge aantal sensoren bood een goede kans om te onderzoeken of er situaties zijn waar meerdere (groepen) sensoren lokale verschillen in fijnstofconcentratie laten zien. Zulke verschillen zouden kunnen wijzen op de aanwezigheid van lokale bronnen.

## Verschil tussen sensor- en referentiemetingen

Meten met sensoren werkt anders dan meten met referentieapparatuur. Eén lowcostsensor kan een grote onzekerheid hebben, waardoor hij niet geschikt is om (relatief) kleine concentratieverschillen betrouwbaar te meten. Maar wanneer een sensor dicht bij een lokale bron staat, bijvoorbeeld een barbecue, binnen in de keuken of achter een rijdende vrachtwagen, kan een sensor deze lokaal verhoogde concentraties vaak zeer goed meten. Wanneer meerdere sensoren hetzelfde patroon in tijd of plaats laten zien, verhoogt dit de betrouwbaarheid van de resultaten omdat onzekerheden kunnen worden uitgemiddeld.

Op het gebied van stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>)-metingen worden goedkopere meettechnieken al langer gebruikt om lokale concentraties beter in beeld te krijgen. Het gaat dan om metingen met Palmes buisjes, die een maandgemiddelde concentratie opleveren. Met deze metingen zijn bijvoorbeeld de lokale concentratiebijdragen van verkeer of andere verbrandingsprocessen in meer detail in kaart te brengen. In Rotterdam, Amsterdam en Utrecht gebruiken gemeenten, milieudiensten en inwoners deze Palmes buisjes dan ook om te onderzoeken of het mogelijk is om de Grootschalige Concentratiekaarten Nederland<sup>2</sup> (GCN) van het RIVM met lokale metingen te verbeteren. De eerste resultaten hiervan zijn in 2024 gepubliceerd in Tijdschrift Lucht<sup>3</sup>. Voor fijnstof bestaan dit soort goedkope metingen pas grofweg een decennium en de laatste jaren zijn steeds meer en steeds betere lowcostfijnstofsensoren op de markt gekomen. Hiermee groeit de hoop om deze op een soortgelijke manier als de Palmes buisjes te gebruiken. Dat wil zeggen op veel plaatsen in de buurt van lokale bronnen, zodat onderzoekers een beter idee kunnen krijgen van lokale fijnstofconcentraties. In deze kennisnotitie zetten we hier een eerste stap voor, door de data van de Luchtclub te bekijken en in te gaan op enkele voorbeelden van lokale verschillen in fijnstofconcentratie. We stellen hierbij de volgende vragen:

- o Wat is de kwaliteit van de sensordata?
- o Zien we ruimtelijke verschillen in fijnstofconcentraties en kunnen we deze door bijvoorbeeld te kijken op verschillende schalen, bepaalde uren en specifieke weersomstandigheden toewijzen aan lokale bronnen?
- o Welke aanvullende informatie kan nog meer helpen bij dit soort onderzoeken?

## 1. Fijnstofsensoren in Rotterdam

De Luchtclub Rotterdam heeft gemeten met de SPS30-sensor, in een sensorkit afkomstig van de leverancier [Sodag](#). Deze sensorkit, de Snuffelfietssensorkit, meet naast de fijnstofcomponent PM2.5 ook temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtdruk. Het is bekend dat de SPS30 vrij goed PM2.5 meet en minder gevoelig is voor vocht dan bijvoorbeeld de SDS011-fijnstofsensoren die ook veel gebruikt wordt in Nederland. Wel lijkt

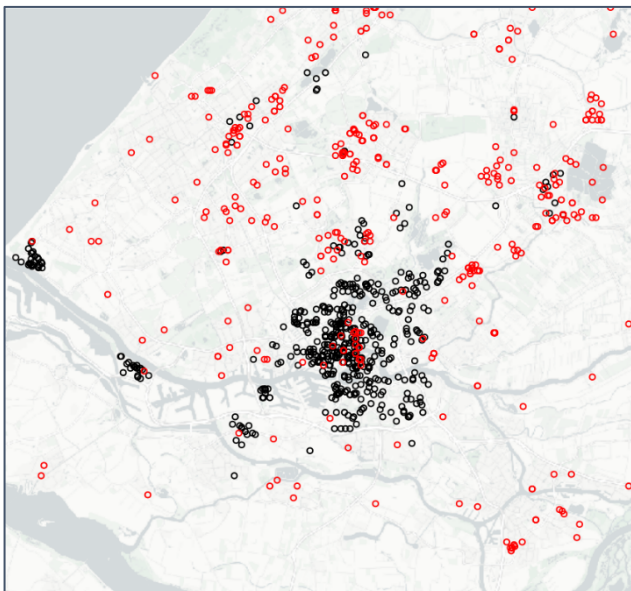
de sensor een onderschatting te geven van de PM<sub>2.5</sub>-concentratie bij lage concentraties. Zie voor meer informatie over de sensor de website van [Samen Meten](#).

Van de in totaal 700 deelnemers aan de Luchtclub, is er bij ons data bekend van ongeveer 300 sensoren. Deze hebben allemaal data over fijnstof (PM<sub>2.5</sub>) opgehaald. Wij gebruiken metingen van 2021 tot 2024 voor de jaargemiddelden en gebruiken de data van deze jaren in de periodes oktober-maart voor onze andere analyses. Zie Figuur 2 voor de verdeling van de sensoren over Rotterdam en de omliggende gebieden. De data zijn binnengekomen en voor iedereen toegankelijk gemaakt op het Samen Meten-dataportaal en later bekeken door RIVM en DCMR Milieudienst Rijnmond (DCMR). Deze meetgegevens zijn eerder gebruikt in een artikel in Tijdschrift Lucht<sup>4</sup>, waarin door de DCMR gekeken is naar de bruikbaarheid van de data voor het opsporen van houtstook op wijkniveau.

Naast de SPS30-sensoren van de Luchtclub wordt er in en rondom Rotterdam ook met andere sensoren gemeten (Figuur 2). Dit zijn met name sensoren van Sensor.Community, een organisatie die handleidingen geeft over hoe particulieren eenvoudig zelf een sensor (SDS011) en andere hardware kunnen aanschaffen, om zelf een sensorkastje in elkaar te zetten en vervolgens zelf te meten. De data van deze sensoren zijn ook te zien op het Samen Meten-dataportaal en het RIVM kalibreert deze metingen.

Voor de analyses die we in deze notitie laten zien, maken we echter alleen gebruik van ongekalibreerde sensordata van zowel de Luchtclub-sensoren (SPS30) als de Sensor.Community-sensoren (SDS011). Dit doen we omdat ten tijde van de Luchtclub de SPS30-sensordata nog niet werden gekalibreerd. Daarnaast kunnen we de sensordata zo op correcte wijze vergelijken met de data van referentiestationen. Van alle sensoren zijn vervolgens alleen die uurgemiddelde waarden in de dataset behouden die, zowel gekalibreerd als ongekalibreerd, tussen de 0-150 µg/m<sup>3</sup> lagen. Ook zijn alleen uren waarop minimaal 100 sensoren data hebben verstuurd in de dataset meegenomen.

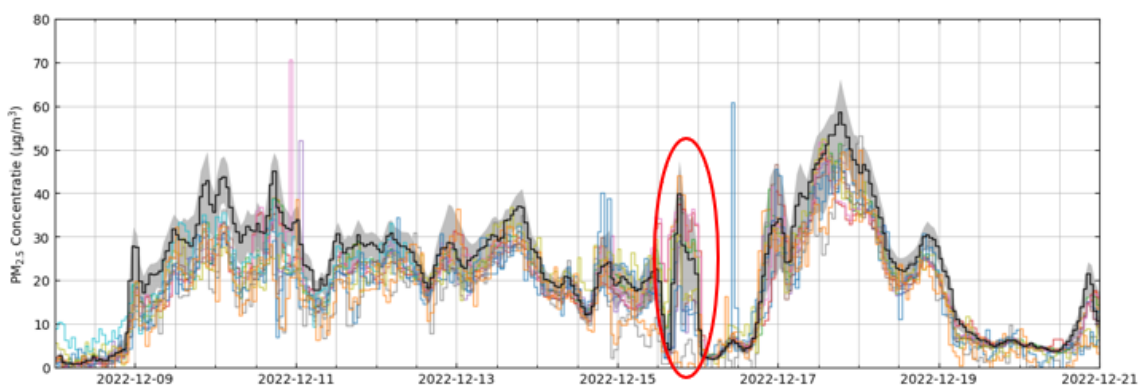
*Figuur 2. Ligging Luchtclub-sensoren (zwart) en Sensor.Community-sensoren (rood) in Rotterdam en omliggende gebieden*



## 2. Wat is de kwaliteit van de sensordata?

Eerst hebben we gekeken hoe goed de meetresultaten van de sensoren over het algemeen waren. Dit geeft een globaal idee van de kwaliteit van de metingen. Figuur 3 laat een vergelijking zien van de sensordata met de data van referentiestationen in de regio Rotterdam. De dikgedrukte zwarte lijn geeft de mediaan van de uurgemiddelde waarden van alle sensoren weer, en de gekleurde lijnen laten de meetwaarden van de referentiestationen zien. De sensordata volgen de variaties van de meetwaarden van de referentiestationen door de tijd heen heel goed. Hieruit blijkt dat de fijnstofsensoren in staat zijn om grootschalige concentratiepatronen in de tijd te meten. Het 68% betrouwbaarheidsinterval van de uurgemiddelde meetwaarden van de Luchtclub-sensoren (de grijze band in Figuur 3) lijkt over het algemeen iets groter dan het gemiddelde verschil tussen de referentiestationen in Rotterdam. Dit kan komen door de grotere meetfout van de sensoren, maar wellicht ook doordat ze meer ruimtelijke variatie meten. De sensoren meten namelijk op meer plekken dan de referentieapparatuur.

*Figuur 3. De mediaan van de uurgemiddelde meetwaarden van Luchtclub-sensoren (dikgedrukte zwarte lijn) met daaromheen de 68% betrouwbaarheidsinterval (over de spreiding van individuele sensoren) voor een koude periode in december 2022. De gekleurde lijnen tonen de vastgestelde meetresultaten van referentiestationen in de regio Rotterdam. De (ongekalibreerde) sensordata volgen de trend van de referentiemetingen goed. Opvallend is de avond van 15 december (aangegeven met de rode cirkel), waar de brede spreiding van het betrouwbaarheidsinterval overeenkomt met de grote spreiding in de metingen van de referentiestationen. Dit komt waarschijnlijk door een sterke fijnstofgradiënt (tijdsperiode waarin de fijnstofconcentratie sterk verandert over een relatief klein gebied) over de regio.*



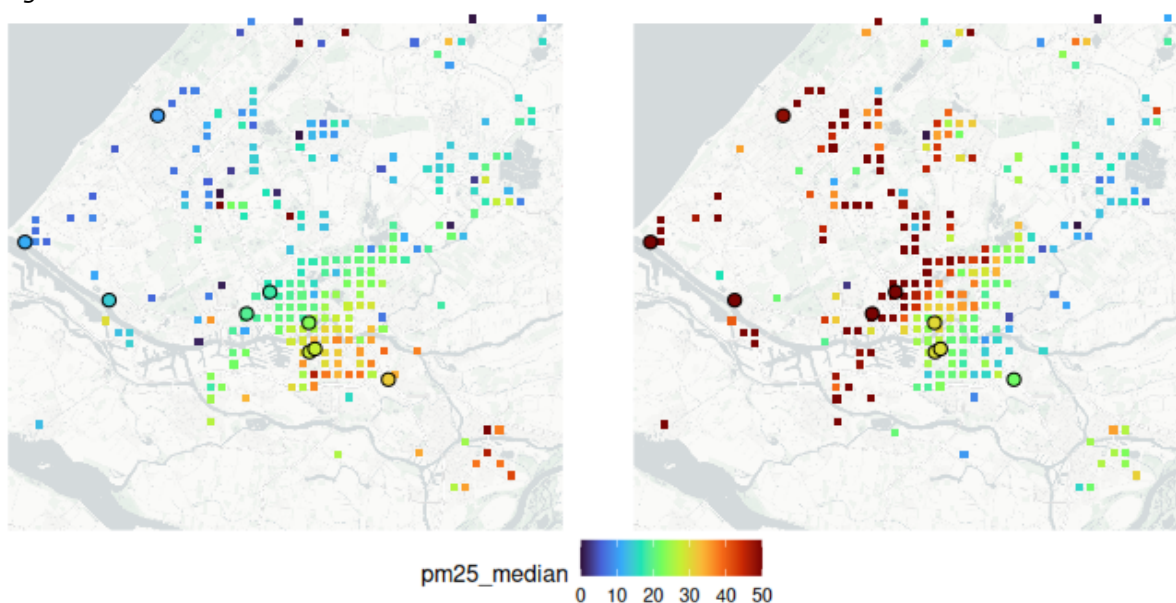
## 3. Ruimtelijke variatie

Aangezien de sensoren grootschalige variaties in de tijd goed kunnen volgen, hebben we vervolgens gekeken of we voorbeelden van interessante ruimtelijke patronen konden vinden. We hebben er in onze aanpak voor gekozen om naar situaties en tijdstippen te kijken waarop we over het algemeen grote verschillen in gemeten waarden verwachten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij lage grenslaaghoogtes en daarmee samenhangende mindere verdunning van vervuilende stoffen. De luchtvervuilende stoffen worden in dit soort situaties wat meer samengedrukt, wat zorgt voor hogere concentraties. Voor uren waar de grenslaaghoogte laag was, hebben we gekeken of verschillen in sensormeetwaarden ruimtelijk gecorreleerd zijn. In eerste instantie gebruiken we uurgemiddelde concentraties als basis voor de analyses. Voor de meer lokale analyse van sensormetingen hebben we ook minuutdata gebruikt in plaats van uurgemiddelden. Dit is gedaan zodat we kortdurende invloed van lokale bronnen kunnen zien die zou worden weggemiddeld als we concentraties per uur analyseren.

### Vershil in fijnstofconcentraties over Rotterdam

Figuur 4 toont twee heldere voorbeelden van een uur waarin we ruimtelijke verschillen zien over Rotterdam. De ene op 28 januari 2022 en de ander op 24 maart 2022. Tijdens deze twee uren werd er geen regen gemeten op weerstation Rotterdam The Hague Airport. Regen spoelt als het ware de lucht schoon en kan ook patronen zoals in Figuur 4 veroorzaken. Dat is hier dus niet het geval. Ook de windsnelheid en windrichting spelen een grote rol voor de luchtkwaliteit. Bij een lage windsnelheid blijft vervuiling makkelijk in de lucht hangen, terwijl bij een hoge windsnelheid vervuiling juist snel wegwaait en wordt verdund. De windrichting geeft aan waar de lucht vandaan komt. Komt deze vanuit het westen (en vanaf zee), dan is de lucht vaak relatief schoon. Komt de wind uit het oosten (en over land), dan bevat de lucht vaak relatief veel vervuilende stoffen. In het voorbeeld links in Figuur 4 heerste er een gemiddelde, zuidwestenwind en in het voorbeeld rechts in Figuur 4 was er sprake van een noordoostenwind met een lage windsnelheid. De sensoren maken inzichtelijk dat tijdens deze uren grote ruimtelijke verschillen (gradiënten) in de fijnstofconcentratie voorkwamen. Zo zie je dat in sommige delen van de stad fijnstofconcentraties aanzienlijk hoger zijn dan in andere delen. Ook is te zien dat de (ongekalibreerde) sensordata voor deze twee voorbeelden goede overeenkomst vertonen met de referentiemeetwaarden. Voor dit soort situaties waar grote absolute concentratieverschillen ( $>10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) over het gebied voorkomen, voegen sensoren dus meer ruimtelijk verfijnde informatie toe.

*Figuur 4. Voorbeelden van ruimtelijke patronen in PM<sub>2.5</sub>-concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) over Rotterdam (grootschalig). De vierkanten geven de mediaan van de gemeten sensorconcentratie binnen een vierkante kilometer ( $\text{km}^2$ ) weer. Als er maar één sensor in een  $\text{km}^2$  voorkomt, komt de waarde van het vak overeen met de waarde van de sensor. De cirkels laten de uurgemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentratie gemeten door de referentiestations zien in dezelfde kleurschaal. Zowel Luchtclub-sensoren als Sensor.Community-sensoren zijn hierin meegenomen. Links: Uurgemiddelde concentratie op 28-01-2022, van 19:00u tot 20:00u met gemiddelde windsnelheid uit het zuidwesten. Rechts: Uurgemiddelde concentratie op 24-03-2022, van 22:00u tot 23:00u met lage windsnelheid uit het noordoosten. In beide figuren zien we een duidelijke fijnstofgradiënt over de regio Rotterdam.*

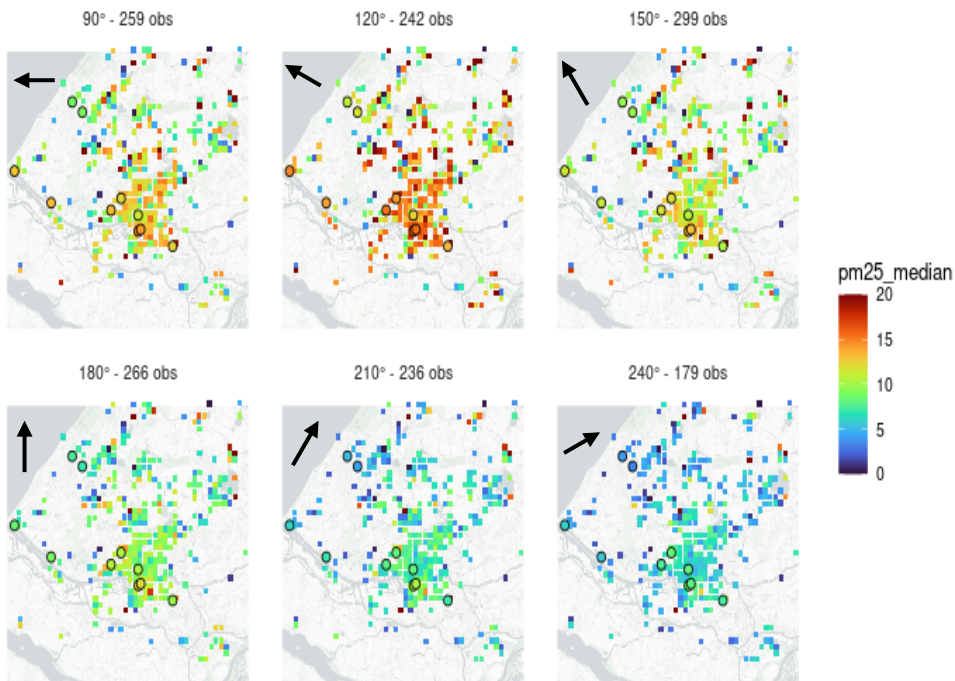


### **Ruimtelijke patronen tijdens langere tijdsperiodes**

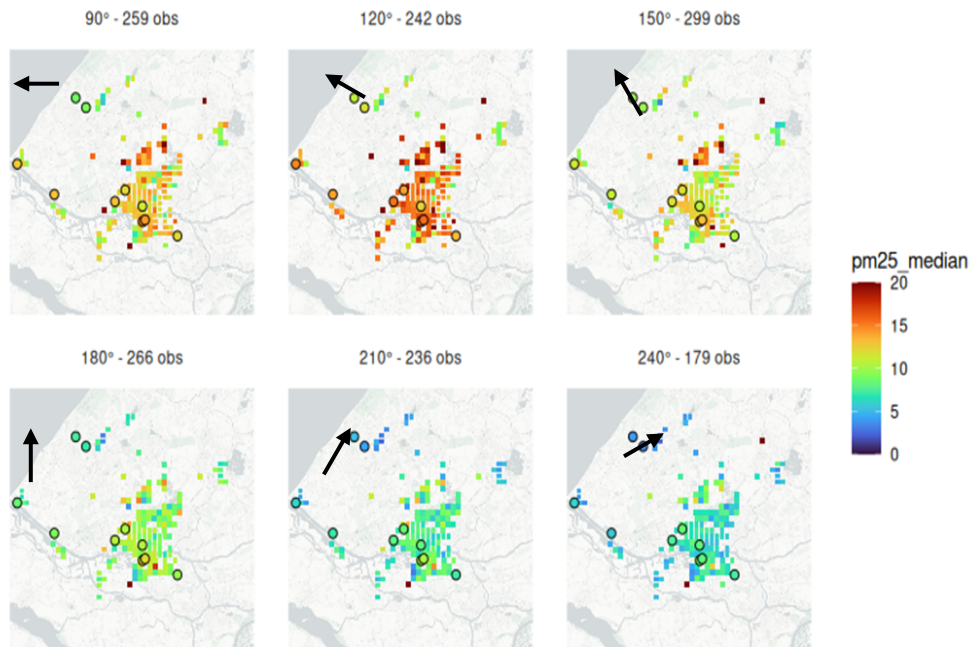
Figuur 4 is slechts een voorbeeld van twee uurgemiddelden, van een dataset die meer dan twee jaar aan data bevat. Ook voor langere tijdsperiodes kunnen we nagaan of er ruimtelijke patronen te zien zijn. Dit is relevant omdat langere tijdsperiodes in principe beter geschikt zijn om statistiek en berekeningen op uit te voeren. Zo wordt blootstelling aan luchtvervuiling bijvoorbeeld ook berekend op basis van jaargemiddelden. We kiezen er bij het kijken naar langere tijdsperiodes voor om de uren in de dataset te verdelen op basis van specifieke meteorologische kenmerken, die doorgaans ook in luchtkwaliteitsmodellering worden toegepast. Een situatie met specifieke meteorologische kenmerken wordt een stabiliteitsklasse genoemd. Zo kijken we in dit voorbeeld naar stabiliteitsklasse S1, waarin er over het algemeen sprake is van een lage windsnelheid, weinig turbulentie/menging van de lucht en een lage grenslaaghoogte. Dit zorgt ervoor dat luchtvervuiling minder verdunt, wat voor relatief hoge concentraties zorgt en misschien ook leidt tot grote(re) ruimtelijke verschillen in fijnstofconcentratie. Voor de analyse hebben we de gemiddelde sensorconcentraties van alle uren in stabiliteitsklasse S1 bepaald en deze vervolgens opgedeeld per windrichtingssector, zoals ook wordt gedaan in het OPS verspreidingsmodel (Tabel 1.1 uit [de uitgebreide modelbeschrijving van OPS versie 5310](#)). Figuur 5 laat het beeld voor 6 verschillende windrichtingssectoren in stabiliteitsklasse S1 zien. We zien dat de sensorwaarden bij oostenwind hoger zijn dan bij westenwind. Dit komt omdat er bij oostenwind meer fijnstof in de lucht zit, omdat de lucht van land komt in plaats van van zee. Daarnaast lijkt het ook alsof de meetwaarden in de binnenstad hoger uitvallen dan de meetwaarden in de buitengebieden. Dit zijn algemene patronen die we verwachten en dus ook terugzien. De figuren geven wel een minder duidelijk beeld van ruimtelijke gradiënten ten opzichte van de voorbeelden in Figuur 4. Dit kan onder andere worden verklaard doordat het werkelijke patroon bij tijdsgemiddelde concentraties minder prominent is, maar bijvoorbeeld ook doordat de relatieve fout van de sensoren groter wordt bij lagere concentraties. De sensoren vertonen nog wel wat onderlinge correlatie en laten gradiënten zien, maar deze worden vertroebeld door meer lokale ruis. Gezien de meetonzekerheid die de sensoren hebben (zie het betrouwbaarheidsinterval in Figuur 3), wordt het lastig om hier harde conclusies aan te verbinden. We zien wel verschillen tussen sensoren, maar deze verschillen zijn zo klein dat ze waarschijnlijk binnen de meetonzekerheid vallen. In gemiddelden over langere tijdsperiodes zien we dus minder duidelijk de ruimtelijke gradiënten terug die we voor enkele voorbeelduren wel kunnen vinden.

Figuur 5. Mediaan van de  $PM_{2,5}$ -concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemeten door de sensoren per kilometervak (vierkanten) en gemeten op referentiestationen (cirkels) tijdens stabiele omstandigheden voor 6 windsectoren van  $30^\circ$  (sector  $90^\circ$  komt bijvoorbeeld overeen met alle windrichtingen tussen  $75^\circ$  en  $105^\circ$ ) in de periode oktober 2020 t/m maart 2024. De gemiddelde windrichting is aangegeven met zwarte pijlen. De tekst boven de figuren geeft nogmaals de gemiddelde windrichting, gevolgd door het aantal uren binnen deze klasse.

a)  $PM_{2,5}$ -mediaan per  $\text{km}^2$  voor de Luchtclub-sensoren en Sensor.Community-sensoren



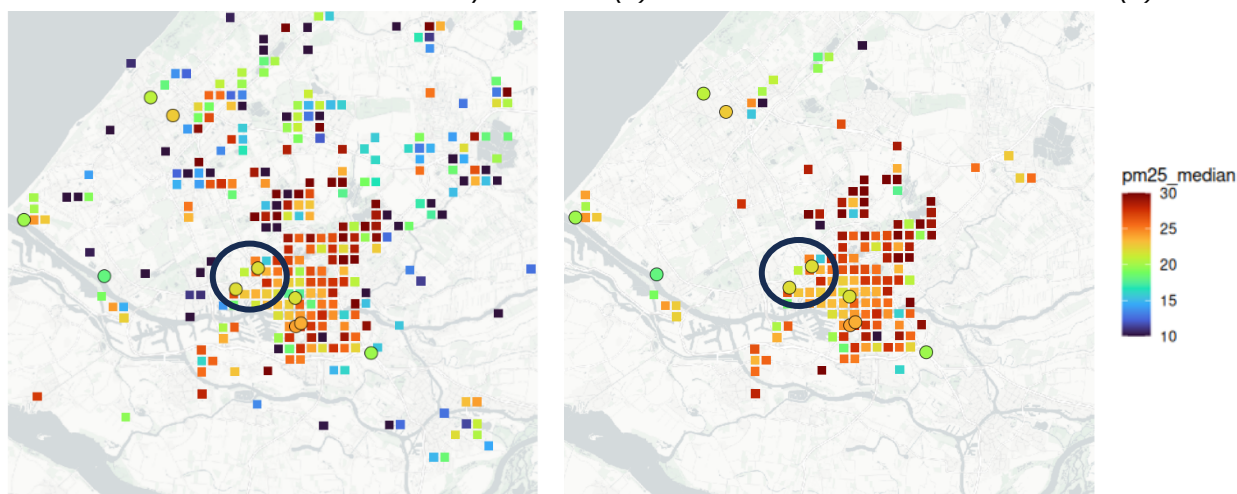
b)  $PM_{2,5}$ -mediaan per  $\text{km}^2$  voor alleen de Luchtclub sensoren



### Lage temperaturen tijdens avonduren

Een andere selectie van de metingen waarbij we lokale verschillen in fijnstofconcentratie verwachten, kunnen we maken op basis van de aanname dat mensen vooral hun huizen verwarmen wanneer het koud is, en dat dit ook met name 's avonds gebeurt. Om deze situatie te bekijken, middelden we de sensorresultaten voor uren waar deze condities voorkomen (nu wel voor alle windrichtingen gecombineerd). Als we filteren op uren tussen zes en twaalf uur 's avonds en waarin de temperatuur onder nul ( $T < 0$  °C) was, blijven er 72 uren in de winterperiodes van oktober 2021 tot maart 2024 over. De mediaan van de fijnstofconcentraties in deze uren is te zien in Figuur 6. We zien verschillende concentraties over de stad heen, en de concentraties langs de rand van Rotterdam (Zuid, Oost en Noord) lijken wat verhoogd ten opzichte van de andere gebieden. Waar dit door komt, is op basis van de informatie die we hebben moeilijk te zeggen. We zien niet zulke duidelijke gradiënten als in Figuur 4, en de overeenstemming met de referentiemetingen (aangegeven met gekleurde cirkels) lijkt nu slechter, vooral voor de twee referentiestations aan de westkant van de stad (aangegeven met de zwarte cirkel). Dit maakt het lastig om in te schatten of we hier daadwerkelijke concentratieverhogingen zien door lokale houtstook (of een andere bron) of dat de sensormetingen ook deels worden beïnvloed door een systematische (ruimtelijk gecorreleerde) meetfout, bijvoorbeeld de invloed van luchtvochtigheid.

*Figuur 6. Mediaan van de  $PM_{2,5}$ -concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemeten door de sensoren per kilometervak (vierkanten) en gemeten op referentiestations (gekleurde cirkels) voor avonduren waarbij  $T < 0$  °C, vanaf 18:00u in de maanden oktober-maart tussen 1 oktober 2020 en 31 maart 2024, 72 uur in totaal. Temperatuur gemeten op weerstation Rotterdam The Hague Airport. Dit is gedaan voor zowel Luchtclub- als Sensor.Community-sensoren (a) en voor alleen de Luchtclub-sensoren (b).*

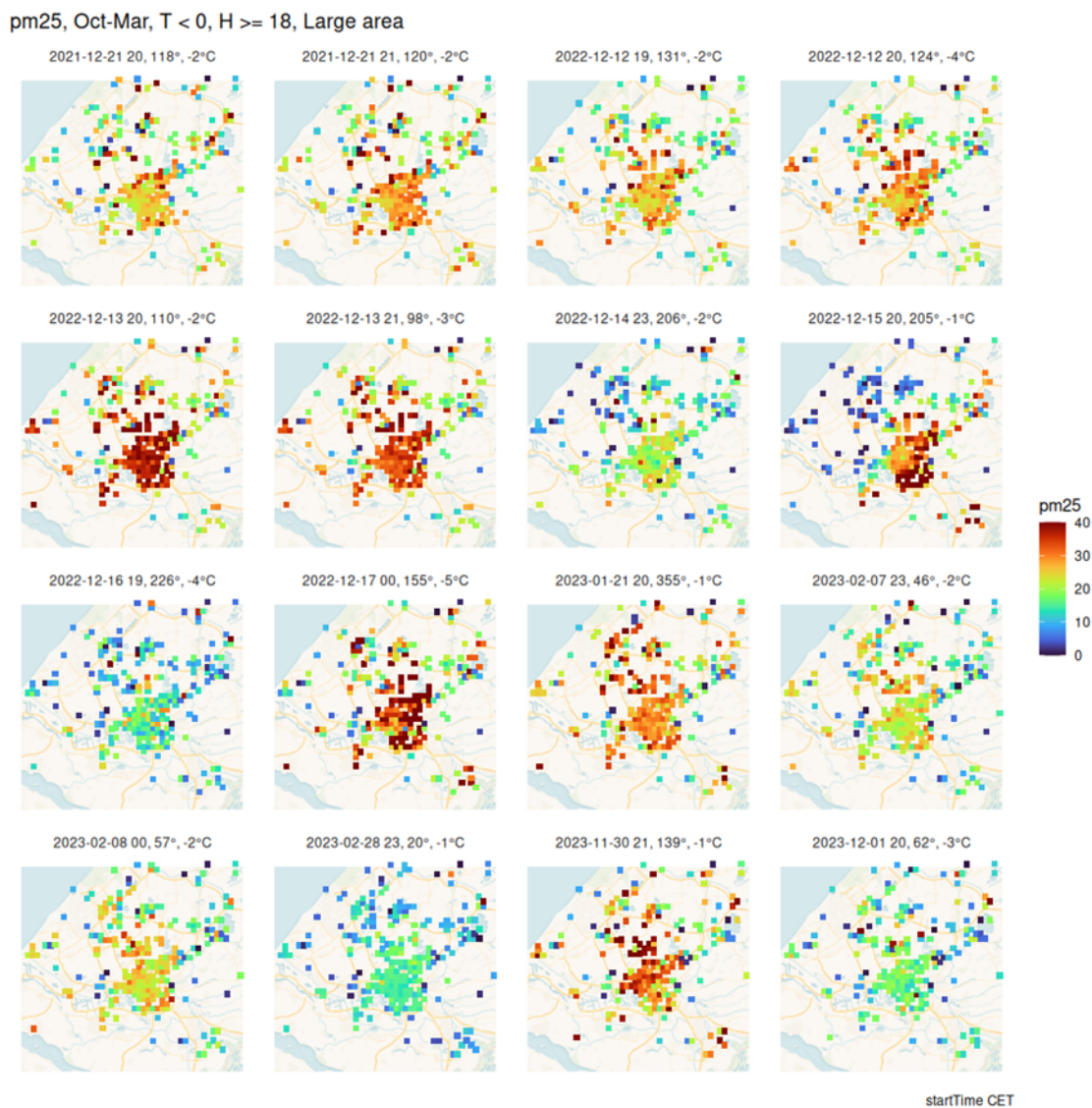


a) Luchtclub en Sensor.Community

b) Alleen de Luchtclub-sensoren

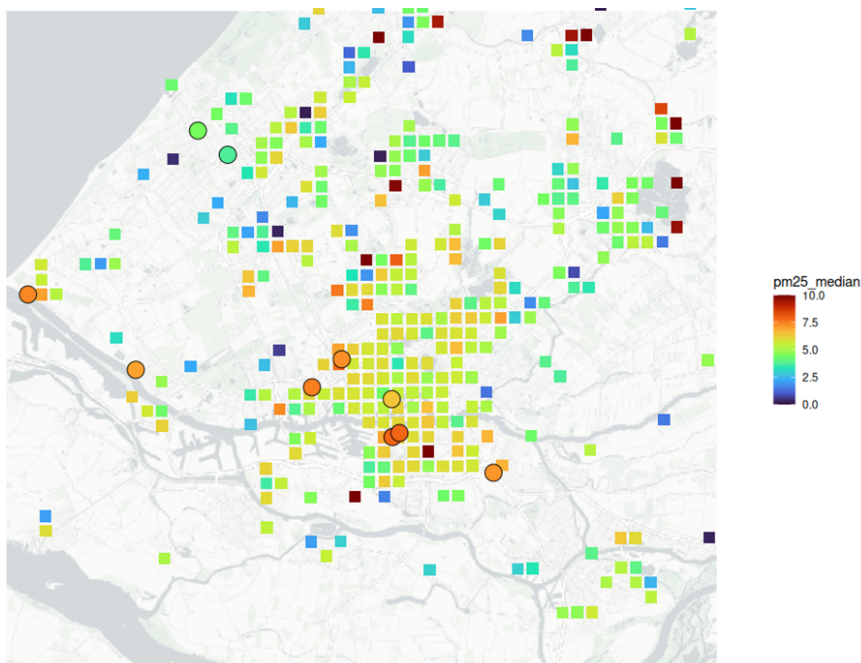
Om een indruk van de variabiliteit van de sensordata te krijgen, zijn de data van een willekeurige selectie van 16 van de 72 uur weergegeven in Figuur 7. Hier zien we grote verschillen tussen de gemiddelde concentraties in de verschillende uren. Vaak groter dan of even groot als de verschillen binnen een uur. Voor deze meteorologische omstandigheden meten de sensoren in sommige uren interessante ruimtelijke patronen. Statistisch gezien blijft het aantal uren echter nog steeds vrij laag om bijvoorbeeld een meetmodelvergelijking op te kunnen baseren. Daarvoor zijn de gemiddelden per stabiliteitsklasse wellicht meer geschikt, maar in Figuur 5 was ook al te zien dat het ruimtelijk beeld voor deze klassen minder uitgesproken is.

*Figuur 7. Ruimtelijke verschillen in de kilometergemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) over Rotterdam en omgeving voor een willekeurige selectie van avonden in de winterperiodes van oktober 2020 t/m maart 2024, waarbij  $T < 0^\circ\text{C}$ . Boven elke afbeelding staat de datum, het uur, de windrichting (in  $^\circ$ ) en de temperatuur van dichtstbijzijnde KNMI station. Zowel Luchtclub- als Sensor.Community-sensoren zijn hierin meegenomen.*



Om de blootstelling te kunnen berekenen, zijn jaargemiddelde concentraties vaak het meest relevant. De jaargemiddelde PM<sub>2.5</sub>-concentraties liggen een stuk lager dan de hiervoor gepresenteerde concentraties omdat hier veel meer uren met bijvoorbeeld hoge windsnelheden en daarmee meer verdunning van emissies tussen zitten. In Figuur 8 wordt de mediaan over 2021 t/m 2023 per kilometervak getoond en vergeleken met de referentiemetingen. De ruimtelijke variatie van de sensoren is ongeveer tussen de 4-7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en het is moeilijk om een ruimtelijk patroon te zien. Rond de drie referentielocaties in het midden van de stad lijken de referentiemetingen systematisch hogere concentraties dan de sensoren te meten. Dit systematische verschil lijkt ongeveer 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Door de grote relatieve meetfout van de sensoren bij lage concentraties is het waarschijnlijk lastiger om ruimtelijke patronen in dit concentratiebereik te zien.

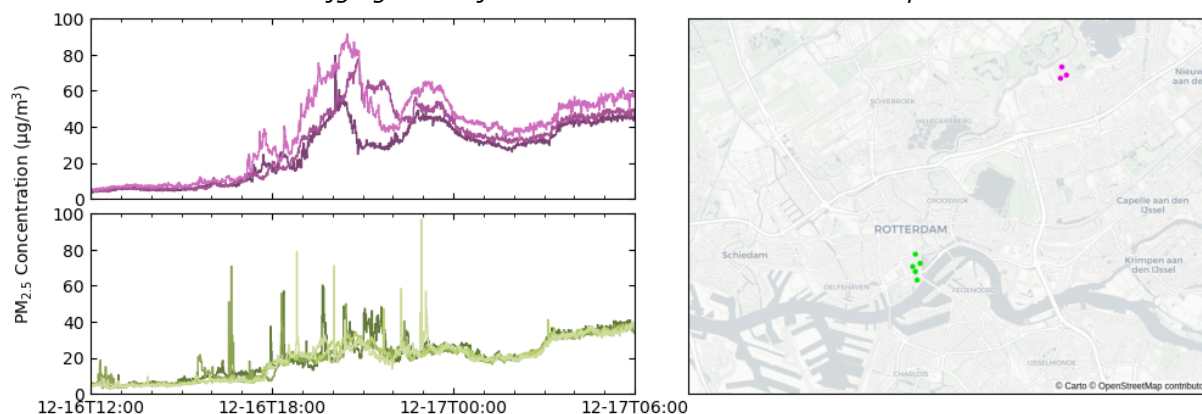
*Figuur 8. Mediaan van de PM<sub>2,5</sub>-concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gemeten door Luchtclub en Sensor.Community-sensoren per kilometervak (vierkanten) en gemeten op referentiestationen (gekleurde cirkels) voor de periode 2021 t/m 2023.*



### **Lokaal piekgedrag van sensoren (kort verhoogde concentraties)**

Uit bovenstaande analyses blijkt dat er veel informatie uit de sensordata verloren gaat als we de data middelen over langere tijdsperiodes. Daarom gaan we nu in meer detail naar de sensordata kijken. We hebben verder ingezoomd op kleinere groepjes sensoren. Ook is er in plaats van de uurgemiddelde concentraties zoals gebruikt in bovenstaande analyses, nu gebruikgemaakt van minuutwaarden. Vervolgens hebben we deze groepjes sensordata met elkaar vergeleken, om te zien of we verschillen in concentratie vinden. We hebben een groepje sensoren in het noordoosten van Rotterdam (paarse stippen in Figuur 9) vergeleken met een aantal sensoren in Delfshaven (groene stippen in Figuur 9) voor twee voorbeelddagen in december 2022. We zien lagere concentraties bij de sensoren in Delfshaven, maar bovenop deze lagere concentratie zien we wel korte pieken. Het patroon van de sensoren in het noordoosten ziet er beduidend anders uit. Hier zien we een vrij sterke stijging in de fijnstofniveaus, en minder korte en hoge pieken.

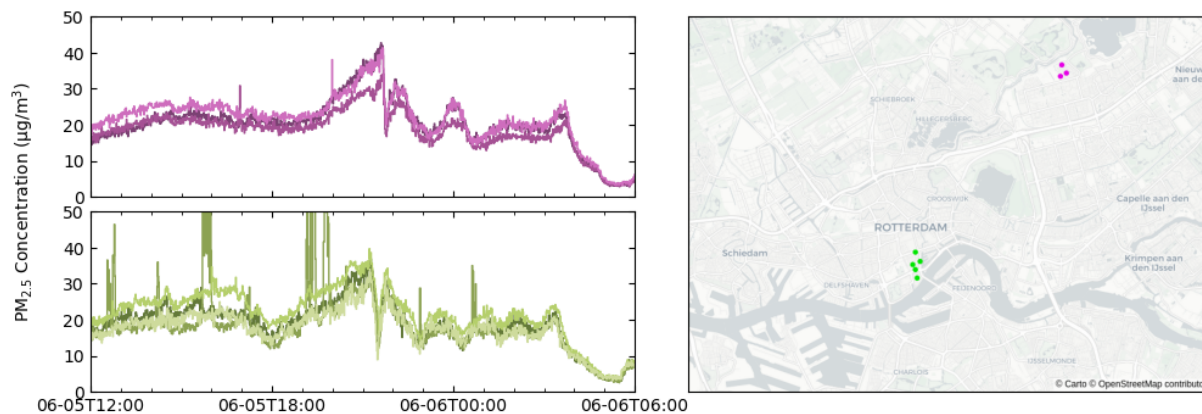
Figuur 9. Minuutdata van 3 sensoren in het noordoosten van Rotterdam (paars) en 3 sensoren in Delfshaven (groen; zie kaartje), voor de periode 16-12-2022 tot en met 17-12-2022. De sensoren in Delfshaven laten lagere waarden zien, met hiernaast korte pieken. Het patroon van de sensoren in het noorden laat een stijging in de fijnstofniveaus zien en minder korte pieken.



Op een (willekeurige) dag in de zomer lijken de concentraties veel meer op elkaar en zien we op beide plekken hetzelfde beeld met dezelfde concentratieniveaus (Figuur 10), in tegenstelling tot de winter. Ook in deze periode zijn er korte concentratiepieken te zien voor de sensoren in Delfshaven die we bij de sensoren in het noordoosten veel minder zien. Op basis van de data die we hebben gebruikt voor bovenstaande analyses kunnen we niet zeggen welke bronnen voor deze pieken zorgen. De pieken zouden bijvoorbeeld veroorzaakt kunnen worden door scheepvaart, maar om de pieken daadwerkelijk hieraan te koppelen, zouden we meer moeten weten over wanneer welke schepen voorbij kwamen, op een moment dat de windrichting zo staat dat deze vervuiling richting de sensoren waait.

We moeten dus eigenlijk beschikken over andere soorten van informatie, naast de sensordata, om de data te koppelen aan bronnen. Hieronder gaan we verder in op welke soorten van andere informatie nuttig kunnen zijn.

Figuur 10. Minuutdata van 3 sensoren in het noordoosten van Rotterdam en 3 sensoren in Delfshaven (zie kaartje), voor de periode 05-06-2022 tot en met 06-06-2022. Op beide plekken zien we hetzelfde beeld met dezelfde concentratieniveaus. Wel zien we korte verhogingen bij de sensoren in Delfshaven bovenop dit concentratieniveau, die we in het noordoosten veel minder zien.



#### 4. Welke aanvullende informatie kan helpen?

In de analyses die we hierboven hebben gedaan, richtten we ons vooral op verschillen in de gemeten waarden over Rotterdam. Deze verschillen kunnen een indicatie vormen voor luchtvervuiling door lokale bronnen, zoals bijvoorbeeld verkeer, houtstook of scheepvaart. Toch blijkt het vrij lastig om op basis van alleen de sensordata concentratieverschillen te koppelen aan dit soort lokale bronnen. Wat hierbij zou kunnen helpen, is de sensordata combineren met andere soorten van informatie. Deze ontbreekt helaas voor Rotterdam, maar zou in andere onderzoeken van dit type wel meegenomen kunnen worden.

#### Lokale informatie

Met andere soorten informatie bedoelen we in dit geval andere informatie dan de fijnstofconcentratiedata zelf, die beschikbaar is in de omgeving. Denk aan informatie over hoeveel huizen houtkachels hebben in een wijk, hoeveel mensen meldingen bij de stookwijzer hebben gemaakt, of mensen houtrook ruiken of niet en of er op bepaalde plekken en momenten bouwwerkzaamheden plaatsvinden. Er zijn meerdere voorbeelden bekend waarin dit soort lokale informatie heeft geholpen om te bepalen wat lokaal de luchtkwaliteit beïnvloedde:

- 1) In de Gemeente Maastricht is met fijnstofsensoren gemeten, waarbij één sensor vaak hogere waarden aangaf dan andere sensoren in de omgeving. Het bleek dat er op deze plek, vlakbij een bushalte, vaak een lange rij met auto's achter de bus moest wachten, en de uitlaatgassen een (hyper)lokaal slechtere luchtkwaliteit veroorzaakten. Na het verlengen van de bushalte was dit probleem opgelost en gaf de sensor dezelfde meetwaarden als sensoren in buurt.
- 2) In het centrum van Haarlem is met een fijnstofsensor gemeten, die vaak op vrijdag- en zaterdagavond en -nacht hoge waarden gaf, in tegenstelling tot andere fijnstofsensoren in de stad. Op andere momenten leken alle fijnstofmetingen in de stad juist heel erg op elkaar. De hogere meetwaarden werden veroorzaakt door rokend uitgaanspubliek voor een kroeg, informatie die bij de buurtbewoner bekend was. Deze ervoer namelijk erg veel geuroverlast en zag de vele sigarettenpeuken op straat liggen. Deze bewoner besloot te gaan meten binnen het project Hollandse Luchten, en heeft uiteindelijk met behulp van de metingen erkenning van de overlast gecreëerd (zie ook [Hollandse Luchten | 'De data bood erkenning voor ons als bewoners'](#)). Door lokale kennis te koppelen aan de metingen is het probleem in beeld gebracht en wordt er nu samen met de gemeente gekeken wat eraan gedaan kan worden.

Zonder aanvullende informatie over de lokale situatie kan het snel lijken alsof de sensor misschien kapot is of niet goed meet, maar dit is dus niet altijd het geval. Voor grotere organisaties is het lastig om deze lokale kennis te vergaren, maar lokale overheden en mensen die in de buurt wonen, hebben deze kennis vaak wel. Het is daarom belangrijk om bij het opstarten van een meetproject met sensoren ook goed na te denken hoe je deze mensen in het project betreft, en hiermee de lokale kennis in huis haalt. Dit kan ook in de vorm van een enquête of het bijhouden van een dagboekje door bewoners. Hierin kunnen bewoners bijvoorbeeld aangeven wanneer ze last hebben van houtstook of andere vormen van vervuiling (denk ook aan geuroverlast). In de Gemeente Maastricht hebben ze, met behulp van een enquête, de impact van houtstook op de lokale luchtvervuiling goed kunnen onderzoeken<sup>5</sup>. Het bijhouden van een dagboekje is ook gedaan in het [Samenwerkingsonderzoek houtstook](#). Dit onderzoek is uitgevoerd door IRAS, GGD Amsterdam, TNO en het RIVM. Hierin hielden mensen een dagboekje bij van gezondheidsklachten (zoals bijvoorbeeld kortademigheid of medicijngebruik), wat later gekoppeld kon worden aan metingen van de luchtkwaliteit.

## Beleving

Een andere vorm van informatie die kan worden toegevoegd aan metingen is de beleving van mensen. Op het gebied van luchtkwaliteit is dit soms lastiger dan bijvoorbeeld op het gebied van geluid, maar in het geval van houtstook kan het zeker belangrijke informatie opleveren. Door te weten of mensen houtrook hebben waargenomen (geroken of gezien) en in welke mate en op welk moment, kun je gericht naar de sensormetingen gaan kijken. Het is aan te raden om mensen tijdens het project te bevragen of meldingen te laten doen, zodat er naar specifieke tijdstippen gekeken kan worden.

## Telraam

Stel dat je de luchtkwaliteit meet in de buurt van een weg, dan is informatie over hoe druk het op de weg is en wat voor soort verkeer daar rijdt nuttige informatie om te hebben. Vaak heeft de gemeente hier gegevens (verkeerslussen of verkeersmodellen) over, maar je kunt het ook zelf meten met Telraam. Dit is een kastje dat vanuit je raam langsrijdende voertuigen, fietsers of wandelaars telt. Hiermee kun je op zoek naar momenten dat het daadwerkelijk druk of juist rustig was op de weg en kijken of je verschillen ziet in de luchtkwaliteit tussen die momenten.

## 5. Conclusie

In het Luchtclub-project in Rotterdam is veel data over de luchtkwaliteit opgehaald met sensoren. Over het algemeen meten de sensoren goed en volgen ze de referentieapparatuur. Als we de data bekijken, zien we op verschillende momenten grote gradiënten in de luchtkwaliteit over de stad. Toch is het op basis van alleen deze sensordata nog lastig te zeggen of deze verschillen worden veroorzaakt door lokale bronnen, en zo ja, wat deze lokale bronnen dan zijn. Hiervoor is meer lokale informatie nodig, van bijvoorbeeld lokale overheden, inwoners, of andere metingen (bijvoorbeeld met de belevingsapp of Telraam). Wij raden aan om, naast het doen van de fijnstofmetingen, lokale partijen te betrekken bij het verzamelen van aanvullende soorten lokale informatie, om die te kunnen gebruiken voor de interpretatie van de sensordata.

## 6. Referenties

1. S. Mijnen-Visser, L.A. de Jongh, S.B. Hazelhorst, R. Hoogerbrugge, I. Soenario, G.J.C. Stolwijk, W.J. de Vries, R.J. Wichink Kruit, S. Zuidberg (2024) Grootchalige Concentratiekaarten Nederland Rapportage 2024. RIVM-rapport 2024-0059. DOI 10.21945/RIVM-2024-0059
2. S. Mijnen-Visser, L.A. de Jongh, S.B. Hazelhorst, R. Hoogerbrugge, I. Soenario, G.J.C. Stolwijk, W.J. de Vries, S. Zuidberg (2025) Grootchalige Concentratiekaarten Nederland Rapportage 2025. RIVM-rapport 2025-0034. DOI 10.21945/RIVM-2025-0034
3. K. Siteur, A. Vos, J. Wesseling, W.J. de Vries, F. Sauter, S. Jonkers, R. Hoogerbrugge (2024) Inzet metingen voor hoge resolutie kaarten. Hoe kunnen we lokale metingen inzetten voor het verbeteren van Grootchalige Concentratiekaarten Nederland (GCN) in stedelijke gebied? Tijdschrift Lucht, 1, 16-21
4. S. Willers & S. van den Elshout (2024) Het werk van de luchtclub Rotterdam - Is de invloed van houtstook te zien met de citizen science PM2.5-sensoren in en rond de stad Rotterdam? Tijdschrift Lucht, 3
5. Gemeente Maastricht (2022) [Onderzoek houtstook 2022 | Maastricht in Cijfers](#). Rapportage