

Figuur 1. Sensirion SPS30 sensor (bron Sensirion).



MONITORING VAN DE LUCHTKWALITEIT OP DE FIETS!

Met een sensor op de fiets inzicht krijgen in fietsgedrag en luchtkwaliteit in de provincie Utrecht.

WOUTER HENDRIX, JOOST WESSELING,
MAAIKE HUITEMA, GEERT JANSSEN

Anderhalf jaar geleden is in de provincie Utrecht en regio 'Foodvalley' het experiment 'Snuffelfiets' gestart, waarbij inwoners met sensoren op de fiets de concentraties $PM_{2,5}$ -fijnstof meten. Sindsdien is door ruim vijfhonderd fietsers veel data verzameld. Geven deze data een goed beeld over de luchtkwaliteit van de gekozen route? En zijn de metingen vergelijkbaar met de generieke monitoring van de luchtkwaliteit? Tijdens het eindevenement op 23 januari 2021 is er teruggeblikt op het experiment: wat is er bereikt, wat

zijn de ervaringen en wat kunnen we met de data die we hebben verzameld?

| Het experiment

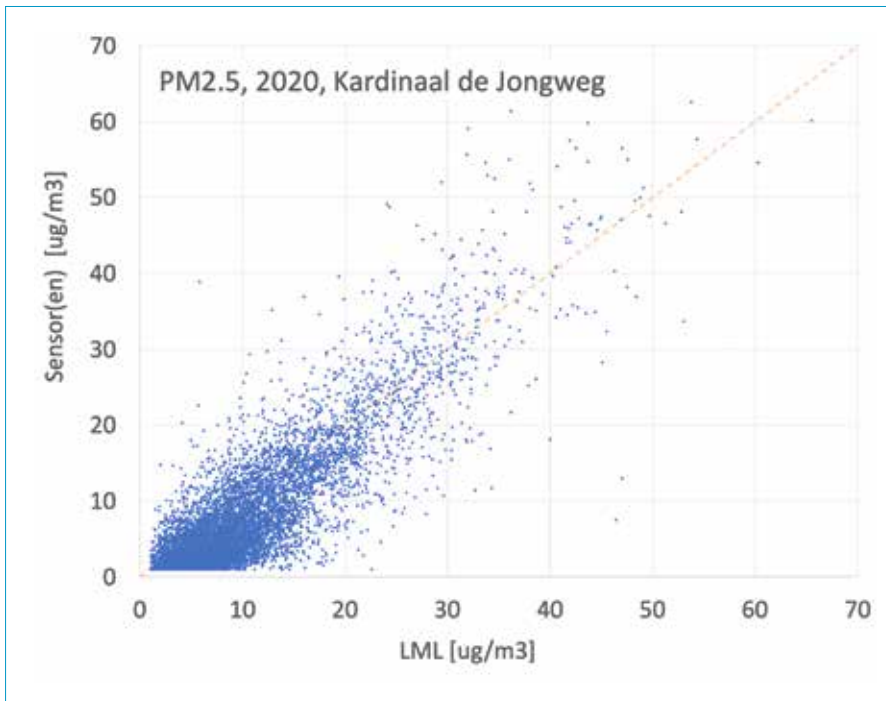
In Nederland wordt al enkele jaren geëxperimenteerd met goedkope sensoren voor luchtkwaliteitsmetingen. Dit 'zelf meten' past in een lange traditie van 'zelf metende' burgers¹. De beschikbaarheid van goedkope en steeds beter wordende sensoren, om o.a. luchtkwaliteit te meten, speelt hierbij een belangrijke rol. Burgers kunnen, deels samen met professionals, zelf meetkits ontwerpen, in elkaar zetten en metingen verrichten². Dit zien we niet alleen in Nederland, maar in heel Europa³. De resul-

taten van veel actieve sensoren voor luchtkwaliteit zijn beschikbaar op de website www.samenmeten.rivm.nl. De analyse van dergelijke stationaire meetresultaten is beschreven door Wesseling et al.⁴. Het snuffelfietsexperiment is in september 2019 gestart met vijfhonderd meetkastjes en deelnemende fietsers, verdeeld over de provincie Utrecht. Het is een vervolg op een kleinschaliger project waarin inwoners van Zeist eind 2018 gedurende één maand met in totaal tien kastjes hebben gefietst. Aandachtspunt binnen het experiment was het organiseren van de verdeling van de kastjes over de gemeenten in de provincie.

Samenwerking

Dit experiment is een samenwerking tussen inwoners, provincie/gemeente, bedrijven en een kennisinstituut. Naast

'Snuffelfiets geeft burgers inzicht in luchtkwaliteit van eigen leefomgeving'



Figuur 2. Spreiding van Sensirion metingen ten opzichte van LML-station Kardinaal de Jongweg.

'Metingen met Sensirion komen goed overeen met de officiële PM_{2,5}-metingen'

de fietsende inwoners, al dan niet betrokken via de gemeenten, wielerveden zoals de fietsersbond, vrienden op de fiets en de Fietskoeriers, zijn binnen de provinciale organisatie de beleidsdomeinen Gezondheid, Mobiliteit en het cluster Data, Kennis en Innovatie betrokken. De provincie verzorgt de financiering, het project- en programma-management en de platformcommunity. De gemeenten ondersteunen de lokale inwoners die meedoen. Internet of Things bedrijf SODAQ is als partner aangesloten voor de levering en het onderhoud van de mobiele sensoren. Partner Civity is verantwoordelijk voor het datamanagement en dataplatform. Het RIVM ondersteunt bij het valideren en duiden van de verzamelde data.

Het meetkastje

In het snuffelfietskastje zitten sensoren die informatie geven over de leefomgeving, namelijk:

- een GPS- en tijdwaarneming om de gefietste route aan te geven
- een fijnstofsensoren voor de luchtkwaliteit

- een sensor voor het meten van de luchtvochtigheid en temperatuur om informatie over hitte eilanden te verzamelen
- een trillingsmeter om informatie over de kwaliteit van het wegdek te verzamelen

De grootste interesse van de deelnemers gaat uit naar het meten van de luchtkwaliteit in hun leefomgeving. Het data-platform dat is ontwikkeld is dan ook ingericht op het visualiseren van dit thema. De fijnstofmetingen zijn hier realtime te volgen. Deelnemers hebben ruim een jaar lang open data verzameld en het experiment heeft op deze manier een enorme hoeveelheid meetgegevens opgeleverd. Voor het eindevenement zijn de meetgegevens van een afgerond kalenderjaar bewerkt, geanalyseerd en gepresenteerd aan de deelnemers. Een aantal analyses van de eerste resultaten van de metingen met snuffelfietskastjes is in 2019 gedaan ⁵.

Selectie en kalibratie van de fijnstofsensoren

De fijnstofsensoren voor het experiment

moest voldoende klein en relatief goedkoop zijn. De gekozen sensor Sensirion SPS30 (zie figuur 1) voldeed hieraan. Het RIVM stelt het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) ter beschikking voor meetinitiatieven van de burger en heeft voor dit experiment dit type sensor getest en gekalibreerd. Hieruit blijkt dat de PM_{2,5}-fractie van fijnstof redelijk de officiële metingen volgt (zie figuur 2). Concentraties PM_{2,5} boven de 15 µg/m³ komen goed overeen. Bij waarden van 4-6 µg/m³ geeft de sensor relatief meer lagere waarden aan. Op de LML-meetstations Breukelen, Cabauw en Kardinaal de Jongweg hebben de fijnstofsensoren gegevens geleverd voor de uiteindelijke kalibratie van de ruwe meetwaarden gedurende het snuffelfietsexperiment. Systematische effecten van (bijvoorbeeld) hoge luchtvochtigheid worden zo bij benadering gecorrigeerd.

Dataplatform: dag-/maandgemiddelde concentraties

De fietser kan op het dataplatform dagelijks zijn eigen metingen volgen. Ook van de andere fietsers, zij het met enige beper- →

kingen vanwege de privacy. Het dataplatform (zie figuur 3^a) is open data en voor iedereen toegankelijk.

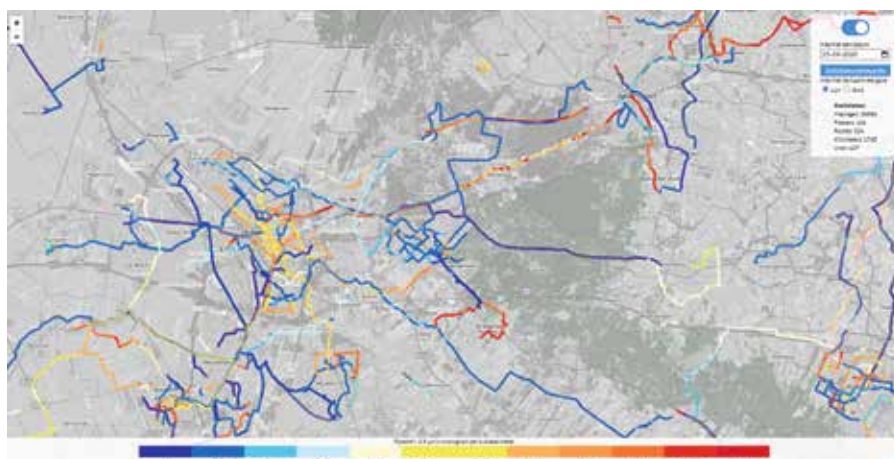
De gemeten fijnstofconcentraties kunnen per dag, of zelfs deel van een dag, sterk verschillen, met uitschieters naar boven en naar beneden, zoals ook is waar te nemen op www.luchtmeetnet.nl van het RIVM en partners (zie figuur 3^b). Sommige dagen zie je op de kaart de lijnen voornamelijk in het blauwe kleursegment (goed). Op andere dagen zullen de meetresultaten de concentratieklasse geel-oranje aangeven (matig) en er kunnen uitschieters zijn naar hogere concentraties in het rood (slecht). Soms zijn deze verschillen zelfs op één dag waar te nemen. De verschillen in de tijd kunnen worden verklaard doordat de $PM_{2,5}$ -concentratie in belangrijke mate bepaald wordt door wisselende meteorologische omstandigheden, al dan niet in combinatie met wisselende bijdragen van bronnen op kleinere en grotere afstand.

Verloop van maandgemiddelde concentraties in de tijd

De achtergrondconcentratie fijnstof zal ook over langere perioden, zoals maanden, variëren. Bij het maken van maand- of jaargemiddelde kaartjes moet rekening gehouden worden met de mate waarin een meting 'representatief' is voor het gemiddelde. Voor verschillende gebieden, omgeving Utrecht stad, Amersfoort en Veenendaal, zijn de maandgemiddelde concentraties van alle geldige fietsdata bepaald. De resultaten worden hieronder vergeleken met de officiële metingen in Utrecht stad en Wekerom (zie figuur 4).

Ruimtelijke verdeling van aantal metingen en concentraties

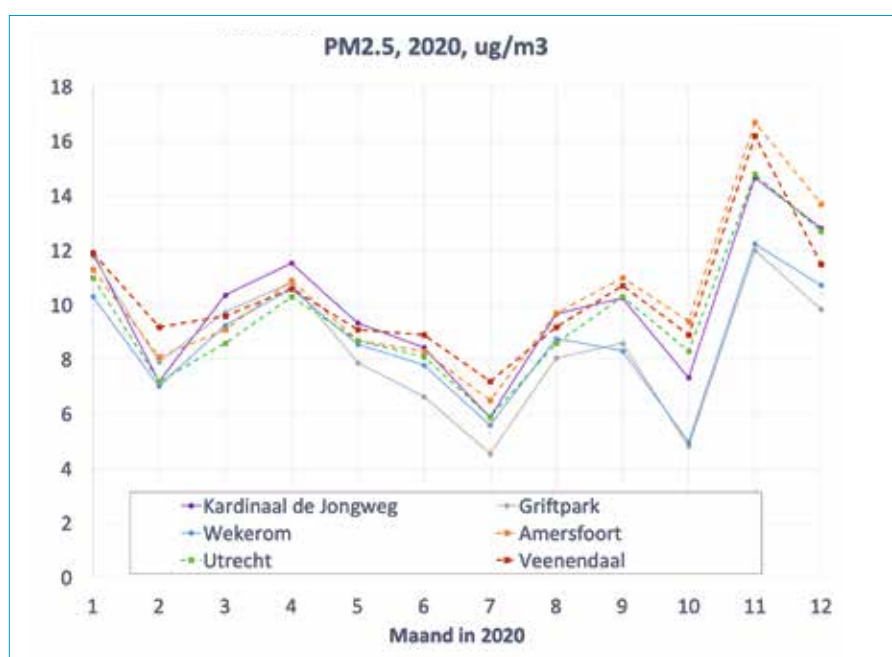
Het is niet eenvoudig om dekkende kaarten weer te geven met een gemiddelde concentratie van de maand of het jaar, omdat de snuffelfietsers onregelmatig fietsen (in aantal, ruimte en tijd). In de resultaten worden per maand de individuele locaties van de metingen onderver-



Figuur 3^a. Dataplatform 23-09-2020.



Figuur 3^b. Concentraties $PM_{2,5}$ op LML-station Cabauw in week 39.



Figuur 4. Gemiddelde concentraties $PM_{2,5}$ per maand van de snuffelfietsmetingen in verschillende gemeenten (stippellijnen) en LML-stations op drie locaties in de provincie Utrecht (getrokken lijnen).



Figuur 5. Fietsmetingen in het centrum van Utrecht in september 2020. De kleur van de markers geeft het aantal geldige metingen in de maand aan.



Figuur 6. Fietsmetingen in het centrum van Utrecht in september 2020. De kleur van de markers geeft van de maand de geschatte gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentratie in $\mu g/m^3$.

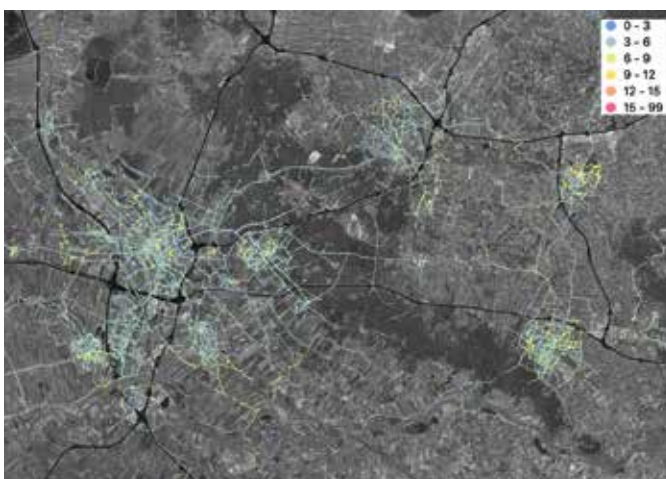
deeld in gebiedjes van $125 \times 125 \text{ m}^2$ (gridcel). Deze gridcellen worden gekleurd met het gemiddelde van de concentraties die binnen de gridcel zijn gemeten voor die maand, mits er minimaal vijf geldige metingen waren. De concentraties in een cel worden naar geschatte gemiddelden per maand geschaald, onder de aanname dat de verdeling van concentraties in die cel vergelijkbaar is met het gemiddelde van de verdelingen op de verschillende LML-locaties. Een voorbeeld van het aantal geldige fietsmetingen in de stad Utrecht in september is in figuur 5 weer-gegeven. Hier zien we grote verschillen in het aantal uren met geldige metingen,

met het minimum van 5 en het maximum van 234, voor het hele studiegebied. Hoe meer geldige metingen, hoe beter de schatting van de gemiddelde concentratie. In figuur 6 zijn de bijbehorende gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentraties in die maand weer-gegeven.

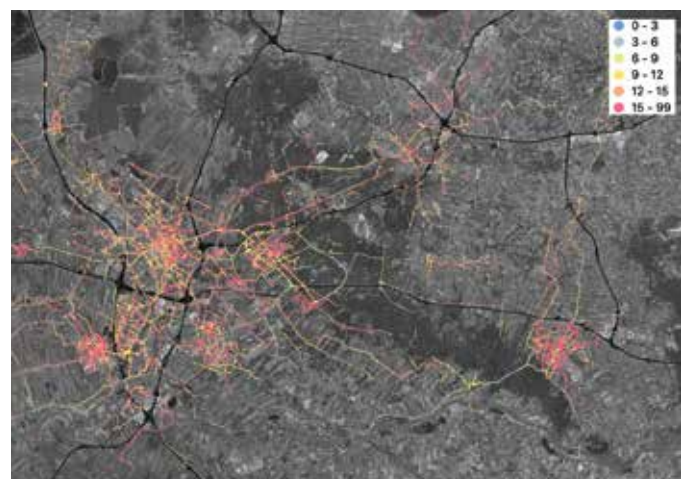
Op dezelfde wijze zijn er kaartjes met maandgemiddelde concentraties gemaakt voor de hele provincie en de 'Foodvalley'. Dit kan niet voor elke locatie, want de fietsdata geven ruimtelijk geen dekkend beeld. Dit komt enerzijds omdat je niet overal kan fietsen en anderzijds omdat er onvoldoende gefietst is om uitspraken te

doen over de gemiddelde luchtkwaliteit. Echter, voor de belangrijkste routes in de leefomgeving van de deelnemers zijn metingen verricht en kon voor elke maand een kaartje met een gemiddelde waarde van de snuffelfietsmetingen worden gemaakt. Uit de kaartjes is af te leiden dat er in de tweede helft van het jaar minder, maar nog wel voldoende, fietsmetingen zijn verricht om een globaal beeld te krijgen van de belangrijkste fietsroutes en luchtkwaliteit.

Uit de kaartjes getoond in de figuren 7 en 8, wordt duidelijk dat de luchtkwaliteit in de maand juli goed was en in november een stuk slechter. Dit geeft aan in hoever- →



Figuur 7: Geschatte gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentraties van de snuffelfietsen in juli 2020, in $\mu g/m^3$.



Figuur 8: Geschatte gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentraties van de snuffelfietsen in november 2020, in $\mu g/m^3$.

'25 miljoen metingen geven inzicht in schone routes en hotspots'

re de concentratie van $PM_{2.5}$ varieert in de tijd, terwijl de ruimtelijke verschillen subtieler zijn.

Schone(re) routes

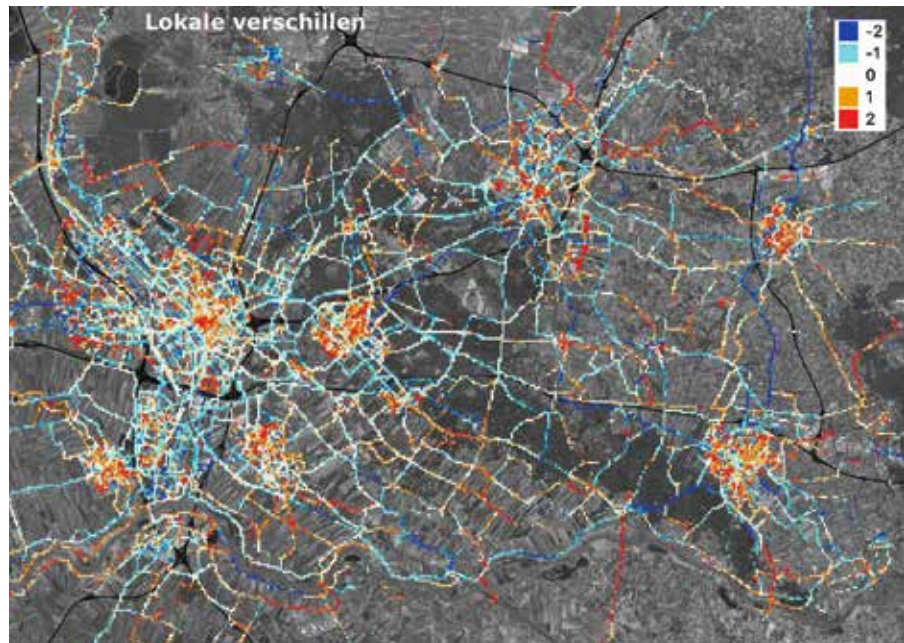
Een van de mogelijkheden van veel meet-data is om te kijken wanneer en waar de concentraties lager zijn dan gemiddeld, zogenaamde 'schone(re) routes'. Het valt veel fietsers op dat de concentratieverschillen tussen de dagen vaak groter zijn dan tussen de gefietste routes rond dezelfde tijd. Het zal sterk van de absolute concentraties op een dag afhangen wat een schone(re) route is. Immers, als alle $PM_{2.5}$ -concentraties al erg laag zijn, bijvoorbeeld allemaal onder de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, zijn de sensoren niet meer in staat om wezenlijke verschillen te meten. Bij hogere concentraties, bijvoorbeeld boven de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zijn verschillen in routes in ieder geval beter te meten.

Met de maandgemiddelde kaartjes van de fietsmetingen zijn de verschillen tussen een fietsroute langs een drukke provinciale weg en een parallel route door het bos vaak te onderscheiden met verschillen van enkele $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dat komt neer op circa 10 à 20% lagere waarden in de betreffende maand op de route door het bos.

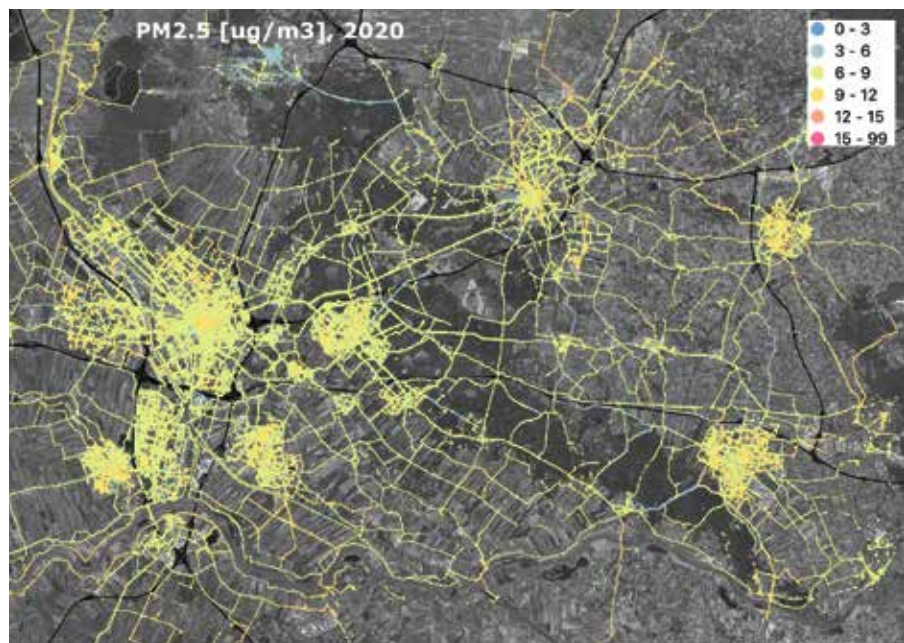
De snuffelfiets metingen in 2020

Vergelijking met de officiële data

Om te zien of de snuffelfietsresultaten



Figuur 9. Jaargemiddelde met de snuffelfiets gemeten $PM_{2.5}$ -waarden in 2020.



Figuur 10. Lokale verschillen in de geschatte gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentraties in 2020, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

passen in het beeld van officiële modelberekeningen (GCN-prognose 2020) is er op basis van gemiddelde waarden per maand een jaarkaart 2020 samengesteld (zie figuur 9).

De lockdowns in 2020 hebben in verschillende mate effect gehad op de concentraties. Voor een vergelijk is de prognosekaart 2020 zo goed mogelijk gecorrigeerd door opschaling op de LML-metingen van 2020. Wanneer de beide sets van resultaten over elkaar heen worden geplote, dan zien we op het eerste

gezicht globaal dezelfde patronen.

Nadere inspectie laat zien dat de resultaten van de geschaalde officiële data langs wegen op veel locaties nog steeds iets hoger lijken te zijn dan de resultaten van de fietsmetingen. Of de verschillen, gegeven alle onzekerheden, significant zijn is vooralsnog niet duidelijk.

Lokale verschillen tussen routes

De verschillen van de snuffelfietsroutes zijn in figuur 10 geplote. Voor elke locatie is berekend wat het verschil is tussen de

jaargemiddelde concentratie op die locatie en het gemiddelde van 10x10 km om de locatie.

De snuffelfiets meetwaarden lijken in de stedelijke centra van de getoonde gebieden iets hogere $PM_{2,5}$ -concentraties te hebben dan de gebieden daartussen of daaromheen. Langs de meeste doorgaande wegen tussen de steden zijn de gemiddelde gemeten concentraties lager dan in de stedelijke gebieden. Gezien de onzekerheden in de fietsdata en de voorlopige kaart van de berekeningen is het op dit moment lastig aan te geven in hoeverre de verschillen in figuur 10 significant zijn.

Hotspots

Als er voldoende sensormetingen zijn voor een locatie en het gebied daaromheen is het wellicht mogelijk om 'hotspots' waar te nemen. Een hotspot is gedefinieerd als een (tijdelijke) lokale verhoging van $5-10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in een gridcel ten opzichte van gridcellen daaromheen. Hierbij moeten er in alle gridcellen minstens vier metingen zijn verricht. Op basis van de tot nu toe verzamelde data zijn al enige hotspots gedefinieerd. Op sommige locaties is er sprake van een eenmalige verhoging, op andere locaties lijkt er sprake te zijn van een terugkerend verschijnsel. Een dergelijk verschil kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van lokaal wegverkeer in de spits. Om dit vast te stellen zou de locatie nader geanalyseerd moeten worden.

Slot

In totaal is er in het kalenderjaar 2020 door de ruim vijfhonderd deelnemers circa 600.000 kilometer gefietst en zijn er met de snuffelfietskastjes circa 25 miljoen bruikbare metingen verricht. Met het ingaan van de lockdown is het fietsgedrag gewijzigd. Was het voor de lockdown vooral het woon-werk verkeer dat de hoge dichtheid aan metingen bewerkstelligde, tijdens de lockdown waren er minder sensoren actief

'Provincie kijkt tevreden terug op succesvol innovatief experiment'

en vonden de fietsbewegingen en metingen vooral in de loop van de middag plaats, maar wel met langere fietstochten. De metingen zijn niet gebiedsdekkend en het is de vraag of dat nodig is. De burger kan zelf uitmaken welke route wordt gemeten en met één blik op het dataplatform is te zien hoe het gesteld is met de luchtkwaliteit die dag. De verwerking, analyse en duiding van de verzamelde data is ingewikkelder en vraagt meer kennis en kunde.

De provincie kijkt met tevredenheid terug naar dit innovatieve experiment. Er is veel geleerd over wat het meten met sensoren door inwoners op de fiets kan doen. Belangrijke ervaring is opgedaan in de samenwerking tussen inwoners, bedrijven, gemeenten en kennisinstituut in de digitalisering van de leefomgeving. Deze ervaring wordt ingebracht in de herijking van het 'Uitvoeringsprogramma Schone Lucht' regio Utrecht en in de Data en Kennishub Gezonde Stedelijke Leefomgeving.

Voor het RIVM was het snuffelfietsproject een mooie gelegenheid om veel mobiele data te verkrijgen en deze te analyseren. Het constant bewegen van de sensoren was een nieuwe uitdaging ten opzichte van de stationaire sensoren die meestal worden gebruikt. De resultaten van de metingen sluiten goed aan bij de resultaten van andere manieren waarop de fijnstofconcentraties in beeld worden gebracht. ■

Joost Wesseling en Wouter Hendricx zijn werkzaam bij RIVM Centrum Milieu-kwaliteit. Maaike Huitema is trainee bij het cluster Data, Kennis en Innovatie van de provincie Utrecht. Geert Janssen is werkzaam bij team Milieu van de provincie Utrecht.

Referenties

1. Citizen Science: Innovation in open science, society and policy, Edited by Susanne Hecker, Muki Haklay, Anne Bowser, Zen Makuch, Johannes Vogel, and Aletta Bonn, ISBN: 9781787352339, 2018
2. Qijun Jiang, Frank Kresin, Arnold K. Bregt, Lammert Kooistra, Emma Pareschi, Edith van Putten, Hester Volten, and Joost Wesseling, Citizen Sensing for Improved Urban Environmental Monitoring, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Sensors, Volume 2016, Article ID 5656245
3. https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-air-quality-through-citizen-science/at_download/file
4. Joost Wesseling, Henri de Ruitter, Christa Blokhuis, Derko Drukker, Ernie Weijers, Hester Volten, Jan Vonk, Lou Gast, Marita Voogt, Peter Zandveld, Sjoerd van Ratingen and Erik Tielemans, Development and Implementation of a Platform for Public Information on Air Quality, Sensor Measurements, and Citizen Science, Atmosphere 2019, 10(8), 445
5. Wouter Hendricx, Exploiting citizen science for an air-quality map for the city of Utrecht, Master internship, Wageningen University, 2 october 2019