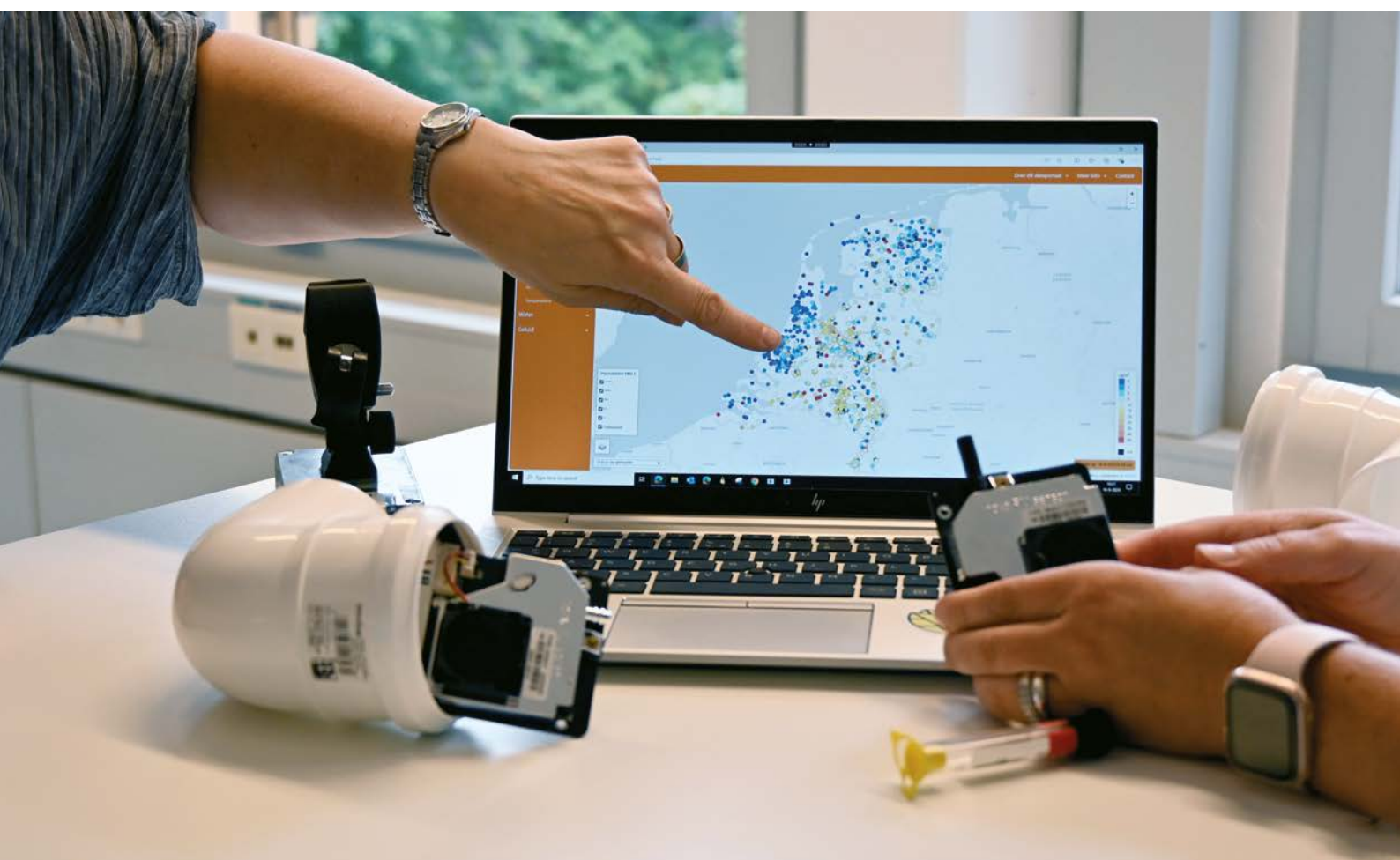




Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Data, dialoog en infrastructuur: de opbrengst van acht jaar **Samen Meten**



Data, dialoog en infrastructuur: de opbrengst van acht jaar Samen Meten

RIVM-rapport 2024-0186

Henri de Rooter
Wouter Hendricx
Hester Volten
Eline Verhoeven
Amber Woutersen

Colofon

© RIVM 2024

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2024-0186

Henri de Ruiter (auteur), RIVM
Wouter Hendricx (auteur), RIVM
Hester Volten (auteur), RIVM
Eline Verhoeven (auteur), RIVM
Amber Woutersen (auteur), RIVM

Contact:

Henri de Ruiter
Onderzoek & Innovatie Milieukwaliteit
Centrum Milieukwaliteit
henri.de.ruiter@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van de opdracht Participatieve Milieumonitoring.

Publiekssamenvatting

Data, dialoog en infrastructuur: de opbrengst van acht jaar Samen Meten

Burgers meten steeds vaker zelf de leefomgeving, bijvoorbeeld de luchtkwaliteit met sensoren. Het RIVM ondersteunt hen hierin en onderzoekt sinds 2016 deze metingen in het project Samen Meten. Het RIVM heeft de resultaten van deze werkwijze na acht jaar samengevat. Daaruit blijkt dat Samen Meten grote waarde heeft.

Samen Meten is onder andere waardevol omdat hierdoor op meer plekken en vaker metingen van de luchtkwaliteit zijn (data). Ook heeft het project het contact tussen burgers, wetenschappers en overheid op gang gebracht en verbeterd (dialoog). Verder reikt Samen Meten burgers informatie aan om zelf metingen te doen en geeft het tools om de data op te slaan, te visualiseren en analyseren. Ten slotte koppelt Samen Meten verschillende initiatieven aan elkaar, waardoor het ook wel een infrastructuur heet.

Wanneer burgers zelf gaan meten levert dat heel veel lokale data op. De kwaliteit van de sensoren die zij gebruiken is minder goed dan van de officiële meetapparatuur, maar sensoren meten wel de luchtkwaliteit op meer plekken en vaker. Ze doen dat bijvoorbeeld verschillende keren per uur; de officiële meetnetten doen dat elk uur. De vele data geven daardoor bijvoorbeeld een beeld van lokale pieken in concentraties van stoffen. Wanneer het RIVM deze data combineert met de landelijke data, verbetert dat de

kwaliteit van onderzoek. Burgermetingen zijn daarom een goede aanvulling op de officiële metingen van het RIVM.

Door samen te meten, werken burgers en onderzoekers op een gelijkwaardige manier aan een betere leefomgeving. Lokale kennis over de leefomgeving wordt gecombineerd met de kennis van RIVM-experts. Deze aanpak levert wetenschappelijke kennis op die aansluit bij de vragen en zorgen van de maatschappij. Dit kan ervoor zorgen dat burgers meer vertrouwen krijgen in deze (lokale) kennis.

De website van Samen Meten geeft burgers onder andere adviezen hoe zij met sensoren kunnen meten, en een overzicht van alle meetinitiatieven in Nederland. Daarnaast ondersteunt het RIVM burgers die zelf meten door sensordata op te slaan, deze te visualiseren op het dataportaal, en tools aan te bieden voor data-analyses. Door de opgebouwde infrastructuur is de basis gelegd om steeds makkelijker nieuwe projecten van burgers op Samen Meten aan te laten sluiten. Ook kunnen er projecten over andere 'onderdelen' van de leefomgeving aan worden gekoppeld, zoals water en bodem. Zo werkt het RIVM samen met burgers aan de meetnetten van de toekomst.

Kernwoorden: citizen science, Samen Meten, leefomgeving, burgers, burgerwetenschap, luchtkwaliteit, sensoren

Synopsis

Data, dialogue and infrastructure: the benefits of eight years of Samen Meten

Citizens are increasingly conducting their own measurements in their living environment, for example by using sensors to measure air quality. The Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) supports them in this and has been studying these measurements since 2016 as part of the project Samen Meten (Measure Together). Now that eight years have passed, RIVM has summarised the results of this working method. These show that Samen Meten is highly valuable.

One of the benefits of Samen Meten is that it allows for air quality measurements to be conducted more often and at more locations (data). In addition, the project has resulted in new and improved contacts between citizens, scientists and the government (dialogue). Samen Meten also provides information to citizens, so that they can conduct their own measurements, and tools to store, visualise and analyse data. Lastly, Samen Meten brings various initiatives together, so it can also be regarded as an infrastructure.

Measurements taken by citizens yield a significant amount of local data. While the sensors they use are often inferior to official instruments, their sensors measure air quality at more locations and more often. They might do this as often as several times per hour, whereas the official stations only take measurements hourly. The resulting large volume of data makes it possible to gain insight into, for instance, local peaks in concentrations. When RIVM

combines this data with national data, the quality of its research improves. Therefore, measurements conducted by citizens are a good addition to the official measurements conducted by RIVM.

By measuring together, citizens and researchers work equally towards a better living environment, combining local knowledge about the living environment with the know-how of RIVM experts. This approach yields scientific expertise to respond to societal issues and worries. This in turn may increase the trust of citizens in this (local) expertise.

On the Samen Meten website, citizens can find advice on how to use sensors for measurements, an overview of all measurement initiatives in the Netherlands and other information. In addition, RIVM supports citizens who conduct measurements themselves by storing sensor data, visualising this in the data portal and providing tools to perform data analyses. The infrastructure thus created will make it progressively easier to connect new citizen projects to Samen Meten. It will also be possible to connect projects about other 'elements' of the living environment, such as water and soil. In this way, RIVM and citizens are working together to build the monitoring networks of the future.

Keywords: citizen science, Samen Meten, living environment, citizens, air quality, sensors

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| Samenvatting | 11 |
| 1 Inleiding: Wat is Samen Meten? | 13 |
| 1.1 Inleiding | 13 |
| 1.1.1 Stakeholdersonderzoek | 13 |
| 1.1.2 Afbakening | 13 |
| 1.2 Luchtkwaliteit meten en monitoren | 13 |
| 1.2.1 Meten en monitoren van de luchtkwaliteit in Nederland | 13 |
| 1.2.2 De opkomst van goedkope sensoren en burgermetingen | 14 |
| 1.3 De ontwikkeling van Samen Meten | 15 |
| 1.3.1 Oprichting kennis- en dataportaal | 15 |
| 1.3.2 Leren in pilots en overgang naar Schone Lucht Akkoord | 16 |
| 1.4 Samen Meten als infrastructuur | 16 |
| 1.4.1 Onderdelen Samen Meten infrastructuur | 17 |
| 1.4.2 Informatie en data ontsluiten en delen | 18 |
| 1.4.3 Analyse en toepassing sensordata | 18 |
| 1.4.4 Samenwerking faciliteren | 18 |
| 1.5 Voorbij luchtkwaliteit | 18 |
| 2 Samen Meten en burgermeetdata | 19 |
| 2.1 Introductie van sensoren | 20 |
| 2.1.1 Fijnstof | 20 |
| 2.1.2 Stikstofdioxide | 20 |
| 2.1.3 Dataleveranciers | 20 |
| 2.2 Kalibratie van sensoren | 21 |
| 2.2.1 Kalibratie van fijnstofsensoren | 21 |
| 2.2.2 Plausibiliteit | 23 |
| 2.3 Kalibratie van stikstofdioxidesensoren | 24 |
| 2.4 Gebruik van burgermetingen | 25 |
| 2.5 Gebruik van burgermetingen bij de luchtkwaliteitsmonitoring | 25 |
| 2.5.1 Burgermetingen voor het verkleinen van de onzekerheid in de modellering van NO ₂ en fijnstof | 26 |
| 2.5.2 Combinatie van officiële metingen en sensormetingen | 27 |
| 2.6 Samen Analyseren-tool | 27 |
| 2.7 (Lokale) Onderzoeksvragen | 28 |
| 2.7.1 Case study: Industrie IJmond | 28 |
| 2.7.2 Case study: Houtstook | 29 |
| 2.8 Andere metingen naast fijnstof en NO ₂ | 30 |
| 2.8.1 Meten van roet met sensoren | 30 |
| 2.8.2 Meten van ammoniak met sensoren | 30 |
| 2.9 Conclusie instrumentele waarde Samen Meten | 30 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| 3 | De participatieve waarde van Samen Meten ('Dialoog') | 33 |
| 3.1 | Een faciliterende rol voor Samen Meten | 33 |
| 3.2 | Samen Meten als community | 34 |
| 3.3 | De participatieve waarde van Samen Meten | 35 |
| 3.3.1 | <i>Bewustwording van lokale milieukwaliteit en de complexiteit van het meten ervan</i> | 35 |
| 3.3.2 | <i>Dialoog over een gezonde leefomgeving</i> | 35 |
| 3.3.3 | <i>Maatschappelijk relevant onderzoek over de leefomgeving</i> | 36 |
| 3.3.4 | <i>Vertrouwen in monitoring en overheidsinstellingen</i> | 36 |
| 3.3.5 | <i>Nieuwe inzichten voor beleid</i> | 37 |
| 3.3.6 | <i>Signalering</i> | 37 |
| 3.4 | Conclusie participatieve waarde Samen Meten | 38 |
| 4 | Samen Meten als infrastructuur | 39 |
| 4.1 | De waarde van een nationale infrastructuur | 39 |
| 4.2 | Onderzoek onder lokale samenwerkingspartners | 39 |
| 4.3 | Voordelen van een nationale infrastructuur voor burgermetingen | 39 |
| 4.4 | Relevante ontwikkelingen voor Samen Meten | 41 |
| 4.4.1 | <i>Meer metingen</i> | 41 |
| 4.4.2 | <i>Een groeiende doelgroep</i> | 41 |
| 4.4.3 | <i>Van luchtkwaliteit naar meerdere thema's</i> | 41 |
| 4.4.4 | <i>Beleving van de leefomgeving</i> | 42 |
| 4.4.5 | <i>Van sensordata naar gezondheid</i> | 42 |
| 4.5 | Samen Meten in internationale context | 43 |
| 4.5.1 | <i>Conclusie infrastructuur</i> | 44 |
| 5 | Conclusie | 45 |
| 5.1 | Instrumenteel: Werken aan het luchtkwaliteitsnetwerk van de toekomst | 45 |
| 5.2 | Participatieve waarde Samen Meten: Werken aan verbinding en vertrouwen | 45 |
| 5.3 | Infrastructurele waarde: Werken aan het faciliteren van burgermetingen | 45 |
| 5.4 | Tot slot | 46 |
| Bijlage 1 | Opbouw Samen Meten dataportaal | 47 |
| Bijlage 2 | Stakeholderonderzoek | 48 |
| Bijlage 3 | Stakeholdervragenlijst | 51 |
| Referenties | | 55 |

Samenvatting

Sinds 2016 werkt het RIVM – in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat – aan het ‘luchtmeetnetwerk van de toekomst’ met de opdracht ‘Participatieve Milieumonitoring’. Een belangrijk onderdeel van deze opdracht is het onderzoek naar de waarde van burgermetingen. In de afgelopen jaren hebben burgermetingen van de leefomgeving namelijk een grote vlucht genomen, vanwege verschillende maatschappelijke ontwikkelingen en het snel goedkoper worden van sensoren. Het RIVM heeft de afgelopen acht jaar onder de noemer ‘Samen Meten’ burgermetingen op het gebied van de leefomgeving zoveel mogelijk gefaciliteerd. In dit rapport staan we stil bij de opbrengst van acht jaar ‘Samen Meten’. We kijken hierbij naar wat de data heeft opgeleverd voor de monitoring van de luchtkwaliteit in Nederland (*instrumentele blik*), naar de participatieve waarde van burgermeetprojecten (*participatieve blik*), en naar de waarde van de infrastructuur die de afgelopen jaren is opgebouwd (*infrastructurele blik*).

Uit het onderzoek naar de waarde van sensordata blijkt dat sensoren aanvullende informatie kunnen opleveren ten opzichte van de reguliere luchtmeetnetmetingen. De mogelijkheid om met sensorkits luchtmeetnet-stations te vervangen, is beperkt. Juist de combinatie van officiële metingen en sensormetingen is krachtig. De officiële stations dragen bij aan het verbeteren van de kwaliteit van sensordata, terwijl de sensormetingen aanvullende informatie kunnen opleveren ten opzichte van officiële metingen, bijvoorbeeld over lokale piekconcentraties. Op dit moment is de opname van sensordata in landelijke officiële monitoring nog niet gerealiseerd. Dit heeft onder andere te maken met de uitdagingen om met sensoren een continue kwaliteit te halen, maar ook door het ontbreken van een (wettelijk) kader voor de integratie van sensormetingen. Sensordata worden nu gebruikt in de uurlijkse luchtkwaliteitskaart op het ‘Samen Meten’-dataportaal door deze data te fuseren met officiële metingen en modelberekeningen. Deze datafusie wordt verder wetenschappelijk onderzocht en de implementatie in de luchtkwaliteitskaart onderbouwd. De aantallen en de hoge tijdsresolutie van sensoren maken wel dat ze de officiële metingen kunnen aanvullen met locatie-specifieke inzichten, zoals piekconcentraties of lokale bronnen, zeker als deze gecombineerd worden met belevingswaarden van de leefomgeving.

Samen Meten speelt een verbindende rol tussen burgerinitiatieven, kennisinstellingen en overheden. Door in projecten samen te meten, wordt een setting gecreëerd en gefaciliteerd om luchtkwaliteit, de monitoring en de lokale context hiervan bespreekbaar te maken. Op deze manier wordt gewerkt aan gedeeld begrip, vertrouwen in de monitoring en aan de dialoog overheid–burger. Burgerwetenschappers en onze lokale samenwerkingspartners zien en waarderen dat. Duidelijke verwachtingen over wat wel en niet kan (bijvoorbeeld over sensoren) in Samen Meten-projecten is hierbij belangrijk. Samen Meten-projecten kunnen bijdragen aan de signalering vanuit de lokale projecten. Ook biedt de Samen Meten-infrastructuur burgers de mogelijkheid om actiegericht onderzoek te doen, waarbij het RIVM zijn neutrale positie als kennispartij kan behouden.

Tot slot laat dit rapport zien dat Samen Meten is uitgegroeid tot een nationale infrastructuur voor burgermetingen van de leefomgeving. Het biedt een technische oplossing voor generieke uitdagingen: dataopslag, -connectiviteit, -visualisatie en -analyse, en draagt bij aan een community van burgermeetinitiatieven in Nederland. Het biedt de flexibiliteit om nieuw burgeronderzoek snel aan te sluiten op bestaande landelijke structuren, en biedt hiermee kansen om bijvoorbeeld hinder rondom specifieke bronnen, of op andere onderwerpen (water, bodem, hitte) verder in beeld te brengen. Burgerwetenschappelijk onderzoek ontstaat soms uit een gebrek aan vertrouwen in de officiële monitoring. Juist het actief faciliteren van initiatieven, en het aanbieden van bestaande infrastructurele oplossingen biedt kansen voor standaardisatie en harmonisatie en daarmee duiding van data uit burgerinitiatieven, zonder de autonomie van burgerinitiatieven aan te tasten.

Vanuit burgermeetinitiatieven, en onze lokale samenwerkingspartners, komt sterk de behoefte naar voren om de Samen Meten-infrastructuur breder in te zetten op het gebied van andere metingen en dossiers. Met name temperatuur/hittestress en beleving van de leefomgeving wordt hierbij vaak genoemd. Ook zaken als hinder en overlast worden regelmatig genoemd en bieden aanknopingspunten om samen met burgerwetenschappers – die lokale kennis kunnen inbrengen – productief op te trekken. Het is daarbij

belangrijk om verder dan Samen Meten als dataproject te kijken, en vooral ook als manier om te werken aan een gezamenlijke monitoring, in een multi-stakeholdersetting. Juist de diversiteit aan partijen kan het vertrouwen in de landelijke monitoring doen toenemen. Door blijvend te investeren in de Samen Meten infrastructuur werken we samen aan het meetnetwerk van de toekomst.

1 Inleiding: Wat is Samen Meten?

Innovatie Milieumonitoring. De naam van de opdracht van het ministerie van IenW aan het RIVM van 2016 – 2022.

Participatieve Milieumonitoring. De naam van de opdracht vanaf 2022 om de participatieve waarde te benadrukken en te illustreren dat er nu een volwaardige infrastructuur opgebouwd is.

Samen Meten. De naam van de community die is opgebouwd rondom burgers en organisaties die zelf de leefomgeving meten of metingen faciliteren, en de naam die het RIVM naar buiten toe hanteert.

1.1 Inleiding

Sinds 2016 werkt het RIVM, in opdracht van het ministerie van IenW, aan het ‘luchtmeetnetwerk van de toekomst’ met de opdracht ‘Participatieve Milieumonitoring’ (voorheen: ‘Innovatie Milieumonitoring’ - zie kader). Het doel van deze opdracht is om te bouwen aan een toekomstbestendig luchtmeetnet, met onder andere de integratie van burgermetingen van luchtkwaliteit in het bestaande luchtmeetnet. Om deze integratie van burgermeetdata mede mogelijk te maken, heeft het RIVM in de afgelopen jaren verschillende burgerinitiatieven ondersteund. Dit is gedaan door het uitdelen en testen van sensorkits, het oprichten van een dataportaal, en door het stimuleren van een ‘Samen Meten-community’ van burgerwetenschappers, overheden en kennisinstellingen.

Met het faciliteren van deze burgerinitiatieven is er, naast het oorspronkelijke doel om de *instrumentele* waarde van sensormetingen te onderzoeken (‘Data’: welke waarde heeft sensordata voor de monitoring van de luchtkwaliteit?), steeds meer aandacht gekomen voor de *participatieve* waarde van sensormetingen (‘Dialogo’: Hoe draagt het actief deelnemen van burgers aan het meten van de luchtkwaliteit bij aan het versterken van de relatie tussen overheid en burger?). In dit rapport staan we stil bij beide aspecten van Samen Meten. Tot slot bespreken we hoe acht jaar lang Samen Meten heeft geleid tot een nationale *infrastructuur voor burgermetingen*, en kijken we naar relevante ontwikkelingen voor deze ‘Samen Meten-infrastructuur’. Voor de leesbaarheid van het rapport en omdat deze

factoren elk een uniek aspect van burgerwetenschap belichten (zie ook [3]), bespreken we bovengenoemde drie aspecten van Samen Meten apart (hoofdstuk 2-4). In de praktijk zijn deze aspecten vanzelfsprekend met elkaar verbonden, en maakt juist de combinatie van deze factoren Samen Meten uniek. In de conclusie komen we hierop terug.

1.1.1 Stakeholdersonderzoek

Samen Meten dient als basis voor veel (lokale) burgermeetprojecten. Om de waarde van Samen Meten voor deze projecten in dit rapport mee te nemen, is er een verkennend onderzoek onder onze lokale samenwerkingspartners (waaronder kennisinstellingen en lokale overheden) uitgevoerd. We hebben hen ook gevraagd naar de relevante ontwikkelingen die zij zien op het gebied van burgermetingen van de leefomgeving. In hoofdstuk 4 staan de resultaten van dit onderzoek.

1.1.2 Afbakening

In dit rapport richten we ons op het burgermetingen van luchtkwaliteit, en in het bijzonder op het meten van fijnstof (PM_{2.5} en PM₁₀) en stikstofdioxide (NO₂). Dit doen we, omdat deze stoffen de grootste gezondheidseffecten hebben, en het best meetbaar zijn met sensoren. Andere ontwikkelingen voor het meten van luchtkwaliteit, zoals geavanceerde sensoren voor bijvoorbeeld ultrafijnstof, of satellietdata, behandelen we hier niet. Wel bespreken we in hoofdstuk 2 ook burgermetingen van NO₂ met behulp van passieve samplers. Er is ook veel expertise opgebouwd en onderzoek gedaan naar het samen meten van geluid. Dit rapport noemt soms voorbeelden hiervan, maar geluid vormt niet de primaire focus van dit rapport.

1.2 Luchtkwaliteit meten en monitoren

Met het project Innovatie Milieumonitoring wil het RIVM – in opdracht van het ministerie van IenW – onderzoeken op welke manier burgermetingen van de luchtkwaliteit een plaats kunnen krijgen binnen het bestaande luchtmeetnet. Dit past in een breder kader waarbij het RIVM sinds 2016 werkt aan het toekomstbestendig maken van het luchtmeetnet, onder andere door de integratie van burgermetingen.

1.2.1 Meten en monitoren van de luchtkwaliteit in Nederland

Van oudsher beheert het RIVM het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML), dat samen met onder andere de regionale meetnetten van de GGD Amsterdam en van

DCMR het Luchtmeetnet¹ vormt. Met dit meetnet worden er hoogwaardige metingen uitgevoerd om concentraties van bepaalde stoffen in de lucht te bepalen, zoals fijnstof en stikstofdioxide. Het luchtmeetnet is landelijk dekkend om zo aan Europese verplichtingen te voldoen. Daarbij wordt het aantal meetpunten bepaald door concentraties van een bepaalde stof in een zone, in combinatie met het aantal inwoners in die zone. De metingen worden uitgevoerd volgens Europese standaarden en ook regelmatig gecontroleerd.

De stoffen die voor de gezondheid het meest relevant zijn, zijn fijnstof en NO₂. Fijnstof wordt meestal uitgedrukt als *Particulate Matter* (PM) en bestaat uit deeltjes van verschillende groottes, die over het algemeen in twee klassen worden onderverdeeld: deeltjes kleiner dan 10 µm (PM₁₀) en deeltjes kleiner dan 2.5 µm (PM_{2.5}) in doorsnee. Tegenwoordig is er – vanwege het gezondheidseffect – ook steeds meer aandacht voor de kleinste fijnstofdeeltjes (ultrafijnstof; UFP) met een diameter kleiner dan 0.1 µm (PM_{0.1}), maar deze zijn nog niet goed te meten met sensoren. Roetdeeltjes maken deel uit van de fijnere fractie van het fijnstof en hebben typisch een afmeting kleiner dan 0,3 µm. Er zijn inmiddels enkele goedkope sensoren op de markt die roet kunnen meten (zie paragraaf 2.8.1). Fijnstof kan afkomstig zijn van verschillende bronnen, bijvoorbeeld fabrieken, landbouw, verkeer of houtstook. De verhouding tussen PM_{2.5} en PM₁₀ kan hierbij per bron verschillen. De berekende bijdragen van bronnen aan de totale emissies en de jaargemiddelde concentratie is terug te vinden op de website van de Emissie-registratie [4] en via de GCN-app [5]. Gezondheidseffecten van blootstelling aan fijnstof zijn onder andere verkorting van de levensduur, hart- en vaatziekten en longaandoeningen. Ook roet is een belangrijke indicator voor de effecten van luchtverontreiniging op de gezondheid [6]. Meer informatie over fijnstof, zoals internationale normen en gezondheidseffecten, is te vinden op de Atlas Leefomgeving [7]. Fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5}) wordt gemeten op respectievelijk 72 en 53 LML-stations in Nederland.

Naast fijnstof komen er andere luchtverontreinigende stoffen in de atmosfeer voor, zoals de gassen NO₂ en ammoniak (NH₃). Beide gassen bestaan deels uit stikstof, maar de bronnen kunnen heel verschillend zijn. NO₂ is in Nederland voornamelijk afkomstig van verkeer, terwijl voor ammoniak landbouw veruit de grootste bron is. De gezondheidseffecten van NO₂ zijn onder andere een verhoogde kans op longaandoeningen [8]. NO₂ wordt op 76 LML-stations gemeten in Nederland.

Omdat er niet op elke plek in Nederland gemeten kan worden aan de luchtkwaliteit, maakt het RIVM ieder jaar kaarten met grootschalige concentraties in Nederland (GCN). Deze concentratiekaarten (1km x 1km) laten de jaargemiddelde concentratie van een bepaalde stof zien, en zijn gebaseerd op een combinatie van modelberekeningen en metingen. Deze kaarten helpen overheden bij het opstellen van beleid. Bij de bepaling van de luchtkwaliteit in een *lokale* situatie, zoals rond een verkeersweg, wordt de lokale bijdrage van de weg berekend en opgeteld bij deze grootschalige concentratie. Dit geldt bijvoorbeeld voor de monitoring luchtkwaliteit met het CIMLK (Centraal Instrument Monitoring LuchtKwaliteit). Voor grote (snel) wegen wordt een correctie gedaan om te voorkomen dat wegen twee keer bijdragen aan de kaart. Op deze manier ontstaat er op elke plek in Nederland een betrouwbaar beeld van de jaargemiddelde luchtkwaliteit.

1.2.2 De opkomst van goedkope sensoren en burgermetingen

In de afgelopen jaren zijn er steeds meer metingen van de luchtkwaliteit met behulp van goedkope sensoren bijgekomen. In 2016 ging het hierbij om enkele tientallen sensoren, terwijl er in 2024 ongeveer 4.000 luchtkwaliteitssensoren actief zijn. Deze sensoren hebben vaak hun oorsprong in industriële toepassingen en worden in toenemende mate gebruikt om ook in de buitenlucht te meten. Het grote voordeel van sensoren is dat ze door hun lage kosten op veel meer plaatsen kunnen worden ingezet, waarmee ze bijdragen aan een fijnmaziger meetnetwerk. Hierdoor kunnen ze bijvoorbeeld gebruikt worden om effecten van lokale bronnen beter in beeld te brengen. Een voorbeeld hiervan is houtstook, waarvan het effect zo lokaal is dat het moeilijk te meten is met behulp van het luchtmeetnet. Ook meten sensoren veel vaker dan het reguliere luchtmeetnet (een keer per ~5 minuten versus een keer per uur), waardoor de temporele resolutie van de metingen toeneemt.

Naast bovengenoemde voordelen van sensoren zorgen sociale en maatschappelijke ontwikkelingen, zoals een hoger opgeleide bevolking en de vraag naar relevante metingen in de eigen leefomgeving, ervoor dat steeds meer burgers zelf de luchtkwaliteit meten. Dit is onderdeel van een bredere *citizen science*-beweging, waarbij burgers zelf wetenschappelijke activiteiten ontplooiën, dan wel worden betrokken bij wetenschappelijke activiteiten die nieuwe kennis of inzichten opleveren [9]. Onderdeel van dit brede begrip van *citizen science* is *citizen sensing*, waarbij burgers zelf hun leefomgeving monitoren met behulp

¹ www.luchtmeetnet.nl

van goedkope meettechnologieën. De redenen voor burgers om het heft in eigen hand te nemen en te gaan meten, variëren [10]. Soms vinden mensen het leuk om te knutselen met technologie, soms maken ze zich zorgen, of vertrouwen ze de gegevens van de overheid niet, of zien ze dat de gegevens over hun lokale situatie ontbreken. Hierbij kan het gevoel leven dat problemen niet gehoord worden en dat de gegevens van de overheid niet kunnen kloppen, of in ieder geval niet aansluiten op de eigen beleving van de leefomgeving. De officiële monitoring kan worden ervaren als een black box, of voldoet niet aan de vragen en behoeften van bewoners. Denk aan officiële jaargemiddelden voor geluid of fijnstof, terwijl mensen juist last hebben van de pieken. Het doel van *citizen sensing* is daarom om goede datasets te creëren met voor burgers relevante informatie, die hen in staat stellen hun omgeving beter te begrijpen of veranderingen in gang te zetten [11].

1.3 De ontwikkeling van Samen Meten

Om beter te begrijpen welke ontwikkelingen er waren op het gebied van burgermetingen, en welke rol van het RIVM werd verlangd, heeft het RIVM in de periode 2016-2017 een aantal bijeenkomsten georganiseerd om dit helder te krijgen. Ook werd er elk jaar een symposium gehouden waarvoor burgerinitiatieven actief werden uitgenodigd om mee te denken². Uit deze bijeenkomsten bleek dat er al veel initiatieven in Nederland waren waar luchtkwaliteit werd gemeten, zoals Smart Emission in de gemeente Nijmegen³, Smart Citizens Lab van de Waag in Amsterdam⁴, MeetjeStad in Amersfoort⁵ en MySense van de vereniging Behoud de Parel⁶. Verder bleek dat er een duidelijke behoefte was aan de betrokkenheid van landelijke partijen, zoals het RIVM, vanwege de beschikbare kennis van luchtkwaliteit, maar ook om te helpen met het faciliteren van lokale initiatieven.

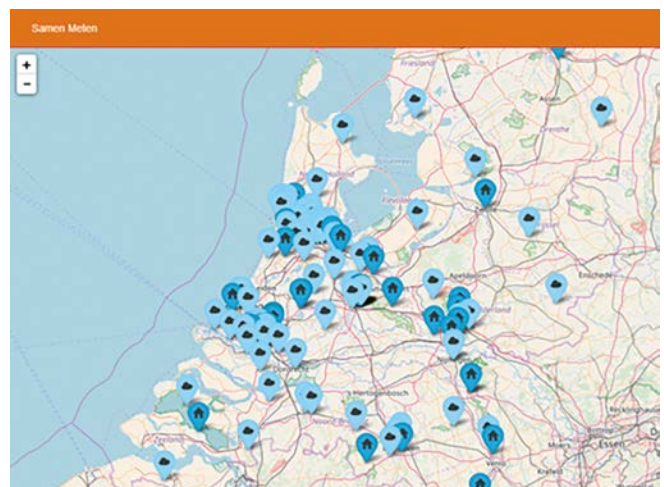
Op basis van deze bijeenkomsten werd het uitgangspunt van het RIVM om burgerinitiatieven zoveel mogelijk te faciliteren, onder de naam 'Samen Meten'. De naam Samen Meten is dan ook niet toevallig gekozen, en benadrukt het belang van samenwerking van meerdere partijen. Het faciliteren van burgerinitiatieven diende hierbij twee doelen: 1) zelf leren van burgermeetinitiatieven waarom mensen gaan meten en hoe goed sensor(kits) hiervoor geschikt zijn, 2) bijdragen aan het verhogen van de kwaliteit

van burgermetingen in Nederland, onder andere door kalibratie van sensormetingen en het uitwisselen van *best practices*.

1.3.1 Oprichting kennis- en dataportaal

Op 7 december 2016 hield het RIVM het symposium 'Samen Meten aan Luchtkwaliteit' waar ook het kennisportaal www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl (nu www.samenmeten.nl) werd gelanceerd. Bij deze bijeenkomst werden ook 70 fijnstofsensorkits uitgedeeld om het vuurwerk met Oud & Nieuw te meten. Dit initiatief genereerde, net als metingen in de opeenvolgende jaren, de nodige aandacht van de media. Eind 2017 is vervolgens het Samen Meten- dataportaal gelanceerd om zo de door burgerinitiatieven gegenereerde data centraal te ontsluiten. Dit was een breed gedeelde behoefte onder zowel burgerwetenschappers als (lokale) overheden. Door data centraal te ontsluiten, kon het RIVM burgerinitiatieven faciliteren, een aantal generieke uitdagingen centraal oplossen (dataopslag, visualisatie van data, et cetera) en de kwaliteit van de sensordata verhogen door bijvoorbeeld een landelijke kalibratie. Het dataportaal werd gelanceerd tijdens het tweede Samen Meten-symposium op 6 december 2017 (Figuur 1). Ook tijdens dit symposium werden er fijnstofsensorkits uitgedeeld om de luchtkwaliteit tijdens Oud en Nieuw in beeld te brengen.

Figuur 1. Screenshot van de eerste versie van het Samen Meten-dataportaal in december 2017. De wolkjes geven de officiële LML-stations weer, en de huisjes geven een sensor bij een burger weer.



² Zie bijvoorbeeld: [Verslag Samen Meten Symposium 2016 | Samen meten](#) en [Verslag Samen Meten Symposium 2017 | Samen meten](#)

³ [Smart Emission Portal – Burger Sensor Netwerk](#)

⁴ [Waag | Smart Citizens Lab](#)

⁵ [Meet je stad](#)

⁶ [MySense: Meten = Weten | Behoud de Parel](#)

1.3.2 Leren in pilots en overgang naar Schone Lucht Akkoord

In de beginjaren van Samen Meten is er vooral geïnvesteerd in de begeleiding van verschillende projecten waar met sensorkits werd gemeten, met name in steden. Zo heeft het RIVM onder andere bijgedragen aan projecten in Nijmegen⁷, Schiedam⁸, en Zwolle⁹. Door deze projecten is veel kennis opgebouwd over de sensoren, hardware, data-connectiviteit en datavisualisaties. In deze projecten is telkens gekeken op welke manier de geleerde lessen landelijk toegepast konden worden. Veel van deze lessen zijn vervolgens weer op het Kennisportaal Samen Meten ontsloten.

Sinds begin 2020 ondersteunt het RIVM pilotprojecten binnen het Schone Lucht Akkoord (SLA). Dit akkoord is ondertekend door het Rijk, samen met een groot aantal gemeenten en provincies. Het doel van het SLA is om 50 procent gezondheidswinst te realiseren in 2030 ten opzichte van 2016. Eén van de tien hoofdthema's in het SLA is 'participatie en citizen science'. Doel van participatie en citizen science in het SLA is, naast het vergroten van het aanbod aan data, om te zorgen voor informatiegelijkheid en een gemeenschappelijke taal tussen overheid, onderzoekers en burgers. Deze 'Joint Fact Finding' moet ervoor zorgen dat zowel onderzoek als de resultaten door beide partijen worden geaccepteerd [12].

Door de opgebouwde Samen Meten-infrastructuur is het relatief makkelijk om SLA-pilots landelijk te laten aansluiten op de bestaande data-infrastructuur en om de data te laten zien, en om geleerde lessen en ontwikkelde producten breed te delen. Met de komst van het Schone Lucht Akkoord is het accent van de werkzaamheden binnen Participatieve Monitoring ook sterker komen te liggen op het uitbouwen en onderhouden van de opgebouwde infrastructuur voor burgermetingen (zie paragraaf 1.4). De toepassing van sensoren in pilots is sterker bij de opdracht in het kader van SLA-participatie komen te liggen.

Het belang van initiatieven, ideeën en energie uit de samenleving wordt breder erkend om (complex) leefomgevingsbeleid vorm te geven en draagvlak te genereren [13]. Daarom wordt, naast het Schone Lucht Akkoord, ook in de recent opgestelde Strategische Kennis- en Innovatieagenda (SKIA) 2024-2028 van het ministerie van IenW verwezen naar een mogelijke rol van burgermeetnetwerken bij de uitvoeringskracht en het vertrouwen in de overheid (p. 24) [14]. Daarnaast is 'Towards societal engagement and participation (citizen science)'

een van de vier doelen van het Nationaal Programma Open Science 2022-2030 [15]. Hierbij is het doel het opdoen van relevante maatschappelijke kennis, inzicht en nieuwe ideeën voor het doen van onderzoek, maatschappelijke dialoog en draagvlak en nieuwe ideeën voor leefomgevingsbeleid [15], iets wat de kern raakt van Samen Meten.

1.4 Samen Meten als infrastructuur

In de begeleiding van de pilots zijn er telkens producten ontwikkeld die uitdagingen oplossen waarmee elk burgerinitiatief te maken krijgt, zoals dataopslag, -connectiviteit, -visualisatie, en -analyse. Dit heeft geleid tot een data-infrastructuur die burgerinitiatieven faciliteert en het daarmee makkelijker maakt om deze op te starten, te continueren en uit te breiden. In veel gevallen ontstaan de onderdelen door een (toenemende) vraag vanuit burgerinitiatieven zelf, en zijn ze niet top-down bedacht. De onderdelen vormen waar mogelijk een centrale oplossing die acceptabel is voor de community. De Samen Meten-infrastructuur is daarmee organisch gegroeid door flexibel in te spelen op behoeften vanuit de Samen Meten-community. De laatste jaren is er ook in de wetenschappelijke literatuur steeds meer aandacht gekomen voor data- en informatie-infrastructuren, en hun rol in onder andere (wetenschappelijk) onderzoek. Onderdeel hiervan is de nadruk op infrastructuren als *socio-technische systemen* [16]. Met andere woorden: een data-infrastructuur is nooit enkel een fysieke infrastructuur, bestaande uit servers, databases et cetera, maar ook het geheel aan instituten, gebruikers en overige stakeholders rondom deze fysieke infrastructuur, evenals bijvoorbeeld allerlei afspraken rondom standaarden, gebruik en het delen van data. Kortom, een infrastructuur heeft ook altijd een belangrijke sociale component. Het faciliteert namelijk ook het bestaan van een *community*. In hoofdstuk 3 gaan we dieper hierop in.

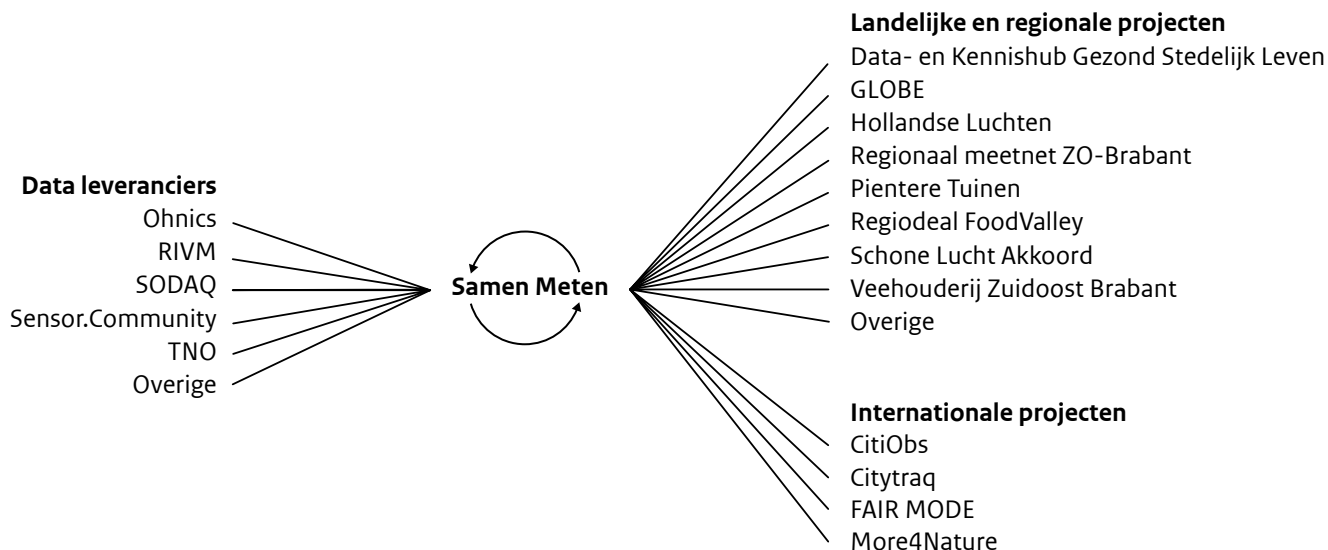
De Samen Meten-infrastructuur is inmiddels uitgegroeid tot een nationale infrastructuur voor burgermetingen. Op deze infrastructuur bouwen verschillende projecten voort. Daarmee fungeert Samen Meten als een belangrijke pijler onder veel andere projecten (zie Figuur 2). En andersom geldt dat functionaliteiten die ontwikkeld worden in projecten – waar mogelijk – geïntegreerd worden in de centrale Samen Meten-infrastructuur. De implicaties hiervan worden besproken in hoofdstuk 4.

⁷ [Smart Emission Nijmegen | Samen meten](#)

⁸ [Burgermetingen in Schiedam | Samen meten](#)

⁹ [Senshagen, wat meten de burens? | Gemeente Zwolle](#)

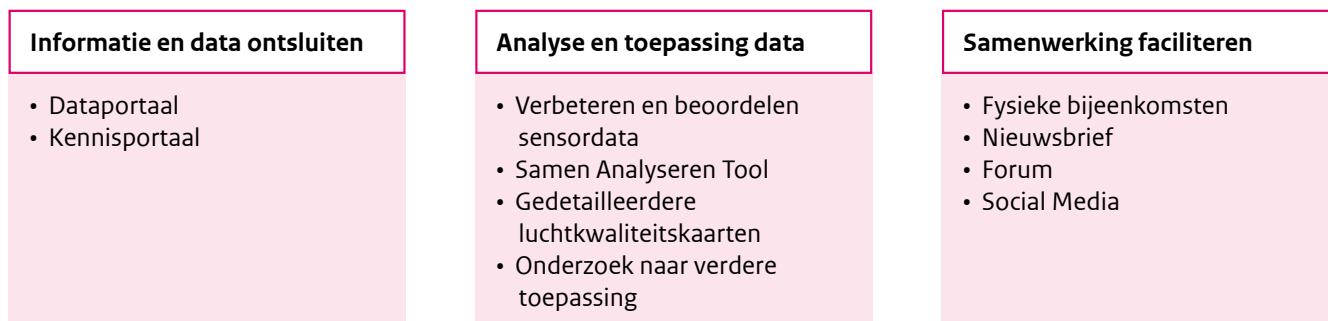
Figuur 2. Samen Meten als infrastructuur: (niet-uitputtend) overzicht van (luchtkwaliteit)dataleveranciers voor Samen Meten, en projecten die voortbouwen op de Samen Meten-infrastructuur



1.4.1 Onderdelen Samen Meten infrastructuur

De Samen Meten-infrastructuur heeft verschillende functies. Deze zijn in Figuur 3 samengevat als: 1) Informatie en data ontsluiten; 2) Analyse en toepassing data; en: 3) Samenwerking faciliteren. Verschillende onderdelen van de Samen Meten-infrastructuur dragen bij aan het realiseren van deze drie functies. Deze paragraaf licht de onderdelen verder toe.

Figuur 3. Functies en onderdelen van de Samen Meten-infrastructuur



1.4.2 Informatie en data ontsluiten en delen

- *Het Samen Meten-dataportaal* (<https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal>). Deze website toont alle burgermetingen. Het dataportaal begon in 2016/2017 met ongeveer 70 fijnstofsensoren en is inmiddels uitgegroeid naar 3.800 (ongeveer 3.700 fijnstof en 100 NO₂) luchtkwaliteitssensoren in Nederland, en 156 geluidsensoren. Al deze sensoren samen hebben in de afgelopen jaren zo'n 5 miljard metingen gegenereerd. Op het dataportaal kun je je eigen fijnstofmetingen vergelijken met referentiestations in de buurt, met de gemiddelde sensorwaarde in jouw gemeente, en met de jaargemiddelde luchtkwaliteit. Ook kun je informatie opzoeken over de herkomst van de luchtverontreiniging. Het Samen Meten-dataportaal is in feite slechts een viewer voor heel veel onderliggende data en dataprocessen. Bijlage 1 geeft een schematisch overzicht van de onderliggende opbouw van het dataportaal.
- *Het Samen Meten-kennisportaal* (www.samenmeten.nl). Deze website ontsluit alle informatie over zelf meten, sensor(kits) en burgermetingen. Ook toont de website een overzicht van de huidige burgermeetinitiatieven in Nederland, en hoe je je als individu hierbij kunt aansluiten.

1.4.3 Analyse en toepassing sensordata

- *Verbeteren en beoordelen van sensordata*, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van landelijke kalibraties van sensordata en het toevoegen van een plausibiliteitsscore. Dit is nodig, omdat sensormetingen beperkingen kennen. Zo zijn fijnstofsensoren bijvoorbeeld veel gevoeliger voor externe (weers)omstandigheden en meten ze minder goed bij lage concentraties. Door een landelijke kalibratie toe te passen, verbetert de kwaliteit van de sensormetingen door heel het land op dezelfde manier. Daarnaast wordt er met de door het RIVM ontwikkelde plausibiliteitsscore per sensor aangegeven hoe plausibel een meting van deze sensor is. Dit helpt inwoners bij de beoordeling van hun eigen sensormetingen.
- *Samen Analyseren-tool* (<https://analyseren.samenmeten.nl>) [17]. Hiermee kan iedereen zelf data analyseren op project- of gemeenteniveau. De data zijn bijvoorbeeld te koppelen aan windrichting en te vergelijken met andere metingen. De tool is getest met en door inwoners en wordt halfjaarlijks geüpdatet op basis van gebruikers-feedback. De tool wordt in verschillende projecten ingezet, waaronder Hollandse Luchten en Samen Meten Zuid-Holland.

- *Gedetailleerdere luchtkwaliteitskaarten*, bijvoorbeeld door het fuseren van sensordata met bestaande luchtkwaliteitskaarten. Door fijnmaziger te meten, kan er een nauwkeuriger beeld van de luchtkwaliteit in Nederland ontstaan. Daarom onderzoekt het RIVM op welke manier lagere kwaliteit sensormetingen kunnen worden geïntegreerd in de landelijke luchtkwaliteitskaarten.
- *Onderzoek naar verdere toepassing sensoren*. Omdat sensoren op meer plaatsen en vaker per uur meten, kunnen er andere onderzoeksvragen met behulp van sensordata worden beantwoord, in het bijzonder vragen over pieken.

1.4.4 Samenwerking faciliteren

- *Online Communicatie*, zoals de nieuwsbrief (elk kwartaal) met nieuws en oproepen op het gebied van Samen Meten, het Samen Meten-forum en sociale media (bijvoorbeeld het Youtube- of X-kanaal).
- *Fysieke bijeenkomsten*, zoals aanwezigheid op bewonersavonden of de jaarlijkse Participatiedag. Burgerwetenschappers geven aan dat de fysieke ontmoetingen voor hen erg belangrijk zijn, omdat het laat zien dat RIVM hun initiatieven serieus neemt, maar ook om kennis en ervaringen met andere bewonerscollectieven uit te wisselen.

De hoofdstukken 2 – 3 illustreren deze onderdelen verder aan de hand van de *instrumentele* en *participatieve* opbrengst van de Samen Meten- infrastructuur. In hoofdstuk 4 staan we vervolgens explicieter stil bij de waarde van een infrastructuur.

1.5 Voorbij luchtkwaliteit

Naast het meten van luchtkwaliteit is er ook altijd gekeken naar andere milieuparameters die burgerwetenschappers meten. De belangrijkste voorbeelden hiervan zijn temperatuur en geluid. Met name op het samen meten van geluid is de afgelopen jaren veel expertise opgebouwd. Zo is er onderzoek gedaan naar het functioneren van goedkope zelfbouwmeters [18], meegedaan aan de Nationale Geluidmeetdag, en zijn er verschillende onderzoeksprojecten gefaciliteerd, zoals het Spoormeetnet America [19] en burgermetingen bij Schiphol [2]. Daardoor kregen ook geluidmetingen een belangrijke plek op het Samen Meten-dataportaal en is het aantal metingen hard aan het groeien. We komen hierop terug in hoofdstuk 4 als we relevante ontwikkelingen voor Samen Meten beschrijven. In de tussenliggende hoofdstukken richten we ons op luchtkwaliteit.

2 Samen Meten en burgermeetdata

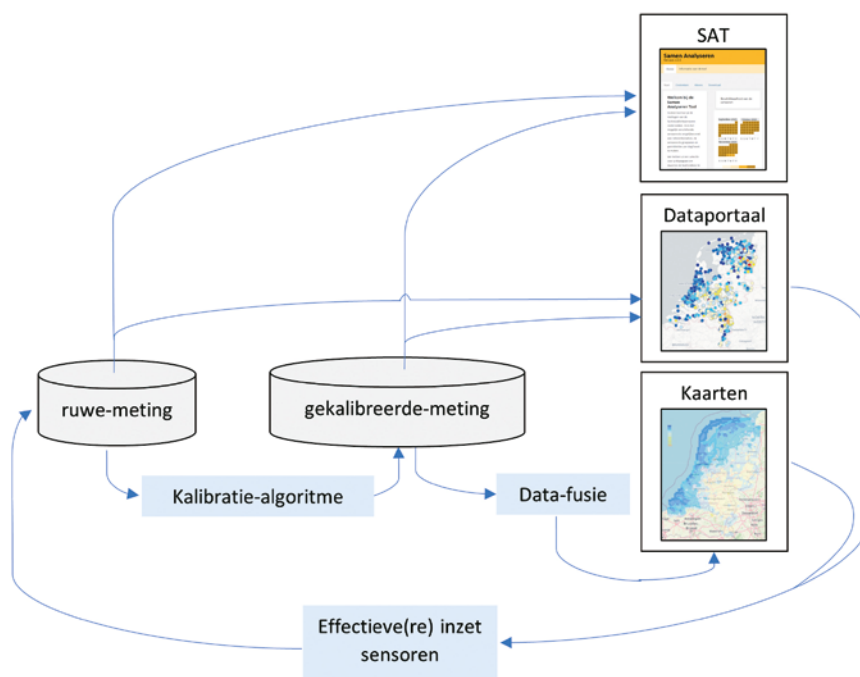
In de inleiding hebben we gezien dat het aantal luchtkwaliteitssensoren in de afgelopen jaren snel is toegenomen (van enkele tientallen in 2016 tot meer dan 4.000 in 2024). De afgelopen acht jaar onderzocht het RIVM op welke manier de data van deze sensoren bruikbaar zijn voor de monitoring van de luchtkwaliteit in Nederland, ofwel wat de instrumentele waarde van ‘Samen Meten’ is.

Omdat sensoren gevoelig zijn voor omgevingscondities, zijn de ruwe sensordata vaak minder geschikt om direct te gebruiken. Het RIVM kalibreert daarom de meeste ruwe sensordata voordat deze verder gebruikt worden (Figuur 4). Figuur 4 laat verder zien dat er drie belangrijke producten zijn waar sensordata gebruikt worden. Als eerste zijn alle sensordata te zien op het Samen Meten-dataportaal, zowel de ruwe data als de gekalibreerde data. Het dataportaal is de primaire vindplaats voor sensordata. Hier is ook veel ondersteunende informatie te vinden om de betekenis van deze data verder te duiden, zoals de metingen van het dichtstbijzijnde luchtmeetnetstation, een animatie van de concentraties van de afgelopen 48 uur, een plausibiliteitsscore en informatie over de sensorkit zelf. Een tweede product waarvoor sensordata gebruikt

kunnen worden is de Samen Analyseren-tool. Deze tool is ontwikkeld om alle geïnteresseerden in de data te helpen om sensordata te combineren met meteo-data en om zelf eenvoudige visualisaties en analyses uit te voeren. Als derde worden sensordata gebruikt om luchtkwaliteitskaarten te verbeteren. Op dit moment wordt er op het Samen Meten-dataportaal een uurlijkse luchtkwaliteitskaart getoond die met behulp van sensoren is verrijkt. Voor het maken van deze kaart worden sensordata gefuseerd met modelgegevens en officiële metingen. Er wordt onderzoek gedaan op welke manier de aanpak voor deze uurkaart verder gegeneraliseerd kan worden om ook de jaargemiddelde rapportages te verrijken.

In dit hoofdstuk bespreken we in detail de onderdelen uit Figuur 4. We beschrijven de meest gebruikte goedkope sensor(kits) voor het meten van de luchtkwaliteit (fijnstof en NO₂), de kalibratie die het RIVM op deze sensordata toepast, en de drie producten waarvoor sensordata worden gebruikt. Ook andere burgermetingen, zoals met passieve samplers voor NO₂, worden in dit hoofdstuk kort beschreven. Tot slot volgt nog een aantal casestudies en suggesties voor effectievere toepassing van burgermetingen.

Figuur 4. Van ruwe burgermeting naar data science. Overzicht van het proces om van ruwe sensordata naar RIVM-producten te komen (SAT = Samen Analyseren-tool)



2.1 Introductie van sensoren

Hieronder beschrijven we de belangrijkste sensoren voor het meten van fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5}) en NO₂.

2.1.1 Fijnstof

Voor het meten van de fijnstofconcentratie worden verschillende sensoren gebruikt. De meest gebruikte sensoren in Nederland zijn de Sensirion SPS30 [20] en Nova Fitness SDS01 [21]. Het meetprincipe van beide sensoren is gebaseerd op lichtverstrooiing, waarmee aan de hand van de verstrooiing van het laserlicht in de sensor uiteindelijk de fijnstofmassa is te bepalen. Door de massa fijnstof te delen door het geanalyseerde volume, kan een concentratie worden bepaald [22]. Daarnaast kan de SPS30 ook het aantal deeltjes doorgeven. De sensoren kunnen niet direct in de buitenlucht gehangen worden, maar moeten in een behuizing worden ingebouwd. Deze beschermt de sensor tegen weersinvloeden, en geeft ook mogelijkheden om elektronische onderdelen in te bouwen, waarmee de sensor is aan te sturen en de data kan worden verzonden. Dit geheel van sensor, behuizing en elektrische onderdelen noemen we 'sensorkit'. Voorbeelden van een sensorkit zijn de Sdaq AIR [23] en het zelfbouw-pakket van Sensor.Community [24]. De kwaliteit van fijnstofsensoren kan sterk variëren, maar voor de bovengenoemde modellen geldt dat de metingen behoorlijk goed zijn (ongekalibreerd vaak met een R² tussen de 0,7-0,9 ten opzichte van de officiële metingen [25, 26]). Beide modellen kunnen echter afwijkingen geven in de metingen. De SPS30 is bijvoorbeeld volgens meerdere studies niet goed in staat om PM₁₀ te meten [27, 28] en de SDS011 is erg gevoelig voor luchtvochtigheid [25, 28]. Voor systematische afwijkingen, zoals luchtvochtigheid, kan wel worden gecorrigeerd met behulp van de kalibratie (zie paragraaf 2.2), maar dan nog blijven er individuele willekeurige afwijkingen in de sensoren waarvoor niet is te corrigeren [29]. Dit betekent dat het gebruik van individuele sensoren beperkingen kent en sensormetingen als indicatief moeten worden beschouwd.

Een aantal sensorkits kan zowel stationair als mobiel worden ingezet, zoals de Snuffelfiets-sensor. Mobiele metingen leveren uitdagingen op, bijvoorbeeld voor de kalibratie, maar bieden ook kansen om andere onderzoeksvragen te beantwoorden. Zo kan bijvoorbeeld meer inzicht worden verkregen in de verkeersbijdrage in PM_{2.5} direct op het fietspad, zoals blijkt uit een recente analyse [30]. Ook worden ze veel gebruikt door scholen, via het GLOBE lesprogramma¹⁰. De mobiele sensorkits worden

ook op het dataportaal weergegeven, maar op een andere manier dan de stationaire sensorkits. Daarbij worden mobiele sensoren niet op dezelfde manier gekalibreerd als de stationaire sensorkits. In dit rapport gaan we niet uitgebreid in op mobiele metingen, omdat het aandeel van deze sensoren op het totaal op dit moment nog beperkt is, onder andere omdat een fietsrit vaak relatief kort is ten opzichte van een stationaire sensor die 24 uur per dag meet.

2.1.2 Stikstofdioxide

Het meten van NO₂ met sensoren is mogelijk, bijvoorbeeld met de NO₂-B43F-sensor van Alphasense [31]. Deze sensor geeft in tegenstelling tot de fijnstofsensor geen concentratiemeting door, maar elektrische spanningssignalen. Deze signalen zijn het gevolg van een elektrochemische reactie en correleren direct aan de NO₂-concentratie [1]. De signalen kunnen echter ook een reactie zijn op andere atmosferische gassen (kruisgevoeligheid), zoals ozon (O₃), waarvoor gecorrigeerd dient te worden. Om het gemeten spanningssignaal naar een juiste stikstofdioxideconcentratie te vertalen, moeten de sensorkits op een referentiemeetpunt aan officiële metingen geijkt worden. Op dit referentiepunt dienen zowel NO₂ als O₃ gemeten te worden. Door het spanningsverschil met de officiële NO₂- en O₃-metingen te correleren, kunnen correctiefactoren bepaald worden (zie Kalibratie van stikstofdioxidesensoren). De correctiefactoren moeten worden bepaald vóórdat de sensorkits in het veld gebruikt kunnen worden en moeten voor elke sensor afzonderlijk bepaald worden. Individuele sensoren kunnen namelijk verschillende elektrische spanningssignalen geven bij eenzelfde NO₂-concentratie. Door deze individuele kalibratie en de kruisgevoeligheid voor andere gassen is het meten van NO₂ met sensorkits een stuk bewerklijker en minder robuust dan voor fijnstof.

2.1.3 Dataleveranciers

Het Samen Meten-dataportaal functioneert als een *federatief* dataportaal. Dat betekent dat de sensordata die op het dataportaal getoond worden van verschillende dataleveranciers afkomstig zijn. Ook wordt er data getoond en binnengehaald van het KNMI en het luchtmeetnet. Verreweg de grootste leverancier van sensordata is het internationale initiatief Sensor.Community. Sensor.Community is een civic tech-platform waar mensen zelfbouw instructies voor sensoren kunnen vinden, en hun sensordata kunnen uploaden. Via de Sensor.Community API komen deze sensordata ook bij het Samen Meten-dataportaal terecht en worden ze vervolgens in het RIVM-kalibratie-algoritme meegenomen. Andere belangrijke dataleveranciers zijn onder andere SODAQ (Snuffelfiets en

¹⁰ <https://globenederland.nl/onderzoeksprojecten/aanmelden-snuffelfiets/>

SODAQ AIR – onder andere projecten in Rotterdam¹¹ en Hollandse Luchten¹²) en OHNICS (onder andere projecten in Limburg¹³ en Nijmegen¹⁴). Doordat veel sensordata van externe partijen binnenkomen, is het vaak niet bekend hoe een sensorkit is opgehangen (hoogte, positionering et cetera), en of er modificaties aan de sensoren zijn gedaan. Als dit laatste wel bekend is, bijvoorbeeld voor de sensoren van Ohnics waarbij de aangezogen lucht wordt geconditioneerd, wordt er in de kalibratie rekening mee gehouden (zie volgende paragraaf). Elke dataleverancier die data op het Samen Meten-dataportaal wil tonen, geeft via een formulier aan op welke manier de sensormetingen tot stand komen¹⁵. Een voordeel voor het RIVM van een groot aantal dataleveranciers is dat er relatief weinig operationele kosten zijn verbonden aan het in stand houden van een sensormetnetwerk. Een groot aantal dataleveranciers, met daarbij verschillende datacommunicatie methoden, maakt het geheel ook diverser en dus robuuster.

2.2 Kalibratie van sensoren

2.2.1 Kalibratie van fijnstofsensoren

De eerdergenoemde fijnstofsensoren zijn allen in meer of mindere mate gevoelig voor meteorologische omstandigheden, zoals luchtvochtigheid. Een hoge luchtvochtigheid kan leiden tot overschattingen van de fijnstofconcentratie, doordat sensoren de waterdruppels interpreteren als stofdeeltjes [32, 33]. Daarnaast kan ook de luchtstroom in de sensor(behuizing) leiden tot onder- of overschattingen. Om zo goed mogelijk voor systematische fouten te corrigeren, worden fijnstofsensoren gekalibreerd (of gecorrigeerd). Deze methodiek is gebaseerd op een algoritme dat voor elk huidig uur kalibratiefactoren bepaalt.

Deze factoren worden toegepast op de SDS011 voor PM10 en PM2.5 en op de Sensirion SPS30 voor PM2.5, omdat voor deze sensoren voldoende aantallen aanwezig zijn om een zinvolle kalibratie uit te voeren. De belangrijkste aanname bij de kalibratie is dat de gemiddelde fijnstofconcentratie in een bepaald gebied overeenkomt met de gemeten concentratie op een officieel meetpunt in het midden van dit gebied. De verhouding tussen het sensorgemiddelde van een groep sensoren rondom een officiële meting en de officiële meting zelf, bepaalt waarmee de sensoren gecorrigeerd moeten worden (zie Figuur 5 en Tekstbox 1 voor een versimpeld rekenvoorbeeld). Deze verhouding wordt op alle officiële meetpunten berekend en vervolgens

over Nederland geïnterpoleerd. Op deze manier ontstaat er een landsdekkende kaart met kalibratiefactoren voor sensoren die verder van de officiële meetpunten af liggen (sensor 4 en 5). De interpolatie van de factoren is gebaseerd op een inverse-distance-weighting (IDW) -functie. Dit betekent dat de weging van een kalibratiefactor afneemt met de toenemende afstand tot een officieel meetpunt. Deze manier van kalibreren noemen we ‘netwerk-kalibratie’. Dit betekent dat het hele netwerk aan sensoren wordt gekalibreerd, en er niet op individueel sensorniveau wordt gekalibreerd. Het grote voordeel van deze manier van kalibreren is dat er geen informatie nodig is over de kwaliteit of kalibratie van individuele sensorkits. Deze informatie is vaak ook niet beschikbaar, omdat veel sensordata via andere partijen binnenkomen. Ook is het vaak niet kosteneffectief om op individueel sensorniveau kalibratiefactoren te bepalen voor goedkope sensorkits. Het nadeel van deze manier van kalibreren is dat de methode alleen werkt als het netwerk groot genoeg is (= veel sensoren), en dat de sensoren in het netwerk op eenzelfde manier reageren op externe omstandigheden zoals luchtvochtigheid [29]. Sensorkits waarvan het RIVM weet dat er modificaties aan de behuizing zijn gedaan, bijvoorbeeld het voorverwarmen van lucht om de luchtvochtigheid in de sensor te beperken, worden daarom niet meegenomen in het kalibratie-algoritme.

Tekstbox 1. Een simpel voorbeeld

Het kalibratie-algoritme is net wat complexer dan hier omschreven, maar de essentie ervan kan worden samengevat aan de hand van het volgende voorbeeld: stel dat de drie fijnstofsensoren (1, 2 en 3) samen een gemiddelde PM10-concentratie geven van $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Het officiële meetpunt geeft een gemiddelde concentratie van $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ op hetzelfde tijdstip. Dit geeft een correctiefactor van $30/60 = 0.5$ voor de sensoren, die kan worden toegepast op deze sensoren (zie tabel). Het is duidelijk dat de relatieve verschillen tussen de sensoren niet verdwijnen, maar de gemeten concentraties wel beter in lijn zijn met de officiële meting.

| | gemeten concentratie | gekalibreerde waarde |
|----------------------------|----------------------|----------------------|
| sensor 1 | 80 | $0.5 * 80 = 40$ |
| sensor 2 | 40 | $0.5 * 40 = 20$ |
| sensor 3 | 60 | $0.5 * 60 = 30$ |
| gemiddelde sensoren | 60 | |

¹¹ [De Luchtclub | Rotterdam.nl](#)

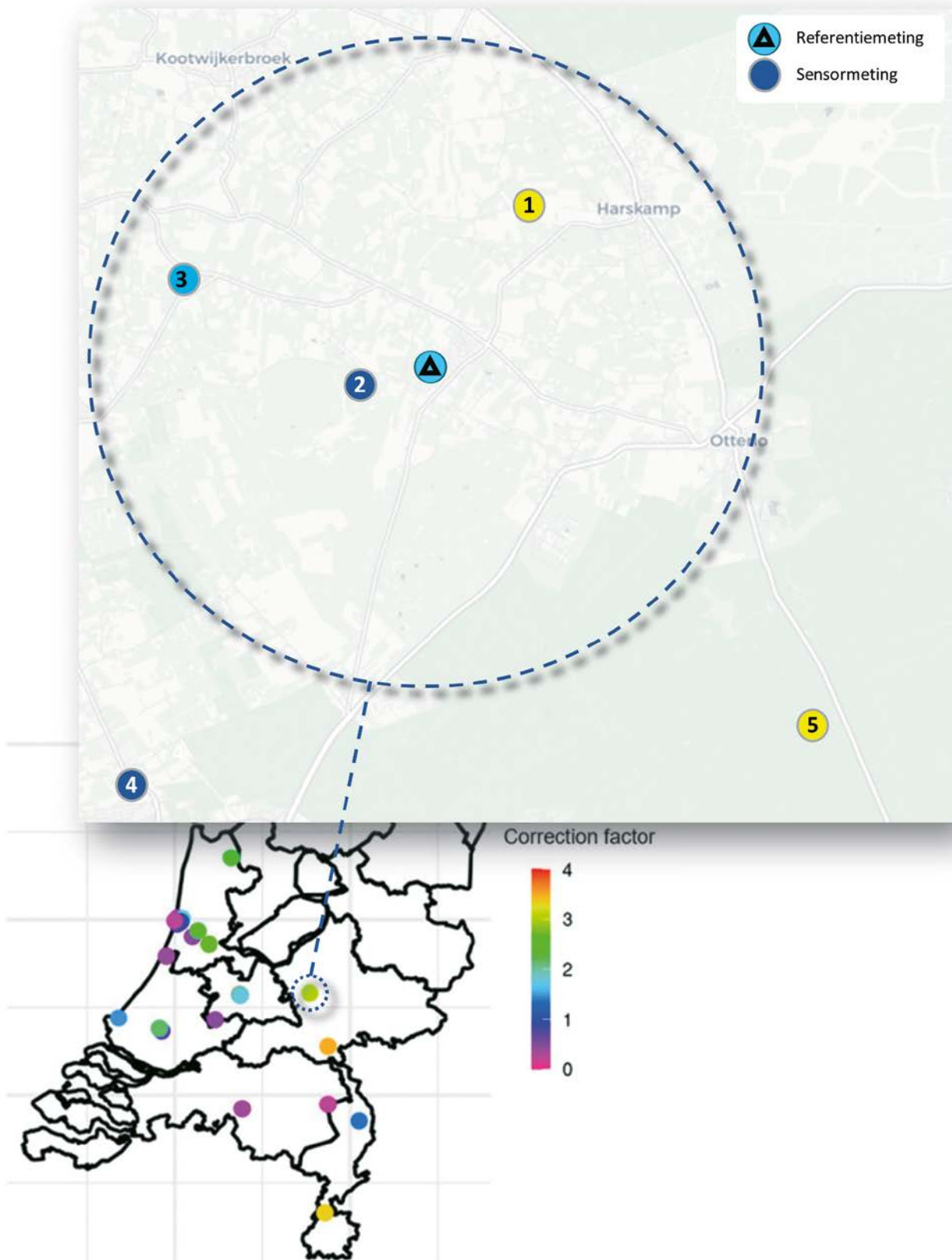
¹² [Hollandse Luchten | Burgermetingen in Noord-Holland](#)

¹³ [Maastricht | Fijnstofkaart | OHNICS](#)

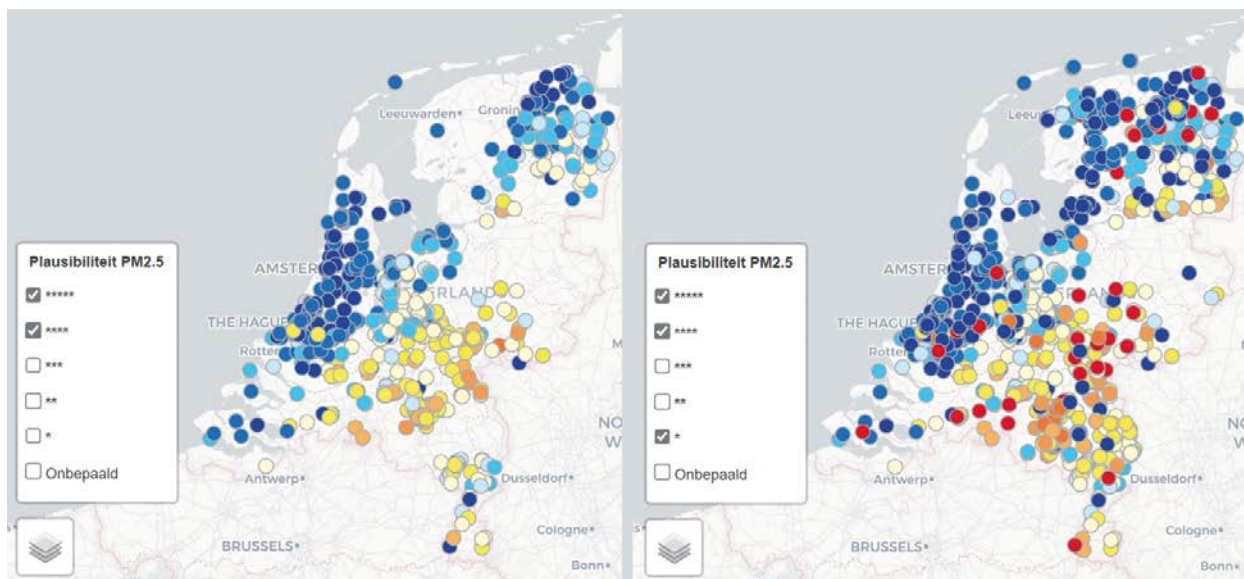
¹⁴ [Lentse Luchten | Samen meten](#)

¹⁵ [Data delen op het Samen Meten dataportaal | Samen meten](#)

Figuur 5. Ruimtelijke verdeling van sensoren en hoe deze gekalibreerd worden met behulp van de correctiefactor



Figuur 6. Voorbeeld van hoe de plausibiliteitsscore gebruikt kan worden om op meer waarschijnlijke sensoren te focussen met een plausibiliteit van 4 en 5 sterren (links) ten opzichte van het algemenere beeld waarbij ook onwaarschijnlijke sensoren (1 ster) staan weergegeven (rechts)



In de afgelopen jaren heeft het RIVM de kalibratiemethode verder ontwikkeld en systematisch vergeleken met kalibratiemethodes van internationale partners INERIS en ISSeP. Uit deze wetenschappelijke analyse blijkt dat het de RIVM-kalibratie goed in staat is om voor de invloed van externe (weers)omstandigheden te corrigeren. Door de kalibratie toe te passen, worden de resultaten van de sensoren beter, maar de correctie is niet perfect en er blijven altijd sensoren die afwijken van de officiële metingen. Het kalibratie-algoritme corrigeert namelijk alleen voor gemiddelde *systematische* afwijkingen, en niet voor *willekeurige* afwijkingen in de individuele sensoren, bijvoorbeeld defecten in sensoren. De willekeurige variatie in individuele sensoren kan nog steeds vrij groot kan zijn, zeker voor de SDS011 [29]. Daarom is de zeggingskracht van individuele sensoren over het algemeen beperkt en benadrukken we vaak om nabije sensoren en officiële metingen te bekijken om de metingen te interpreteren. Voor de kalibratiemethode is het ook belangrijk om voldoende referentiemetingen te hebben op officiële luchtmeetnetstations, en voldoende sensoren in de buurt van deze stations.

2.2.2 Plausibiliteit

Omdat er elk uur een kalibratie plaatsvindt, is het ook mogelijk om elk uur individuele sensorwaarden te toetsen op hun *plausibiliteit*. Dit gebeurt voor fijnstofsensoren. We classificeren sensorkits daarom met behulp van de *plausibiliteitsscore*. De plausibiliteitsscore is ontwikkeld om burgerwetenschappers een inschatting van de kwaliteit van een individuele sensorkit te geven. De methodiek

om de plausibiliteit uit te rekenen staat uitgebreid op de Samen Meten-website¹⁶, maar komt er in het kort op neer dat de grootste uitschieters van de sensormetingen een lagere plausibiliteit krijgen. Het gaat dan niet alleen om het huidige uur, maar ook om de historische metingen van een sensorkit. Een goede meting (dat wil zeggen een meting die goed overeenkomt met de daadwerkelijke concentratie op die locatie) kan echter een lage plausibiliteitsscore hebben, bijvoorbeeld door de invloed van een zeer lokale bron (een barbecue vlakbij). Hierdoor meet de sensor correct een hoge waarde, maar is de inschatting op basis van officiële meetpunten een lage concentratie op die plek. Een hoge plausibiliteit betekent daarom vooral dat er weinig redenen zijn om aan de waarde van die meting te twifelen. Andersom geldt dat ook: een lage plausibiliteit is vooral reden om de sensorkit en de plek waar de sensorkit hangt te controleren. De plausibiliteitsscore kan op het dataportaal worden gebruikt om sensoren te filteren. Een voorbeeld hiervan is getoond in Figuur 6. Door te filteren op hoge plausibiliteit verdwijnen de rode stippen, die erg hoge sensormetingen weergeven. De sensoren die wel worden weergegeven zijn in lijn met wat de officiële meetpunten meten. Op deze manier kan meer inzicht worden verkregen in de plausibiliteit van een individuele sensor(meting). De figuur onderstreept ook het belang van officiële meetpunten: sensoren die ver van een officieel luchtmeetnetstation liggen, wijken eerder af van een officieel meetpunt en krijgen dus sneller een lage waarde.

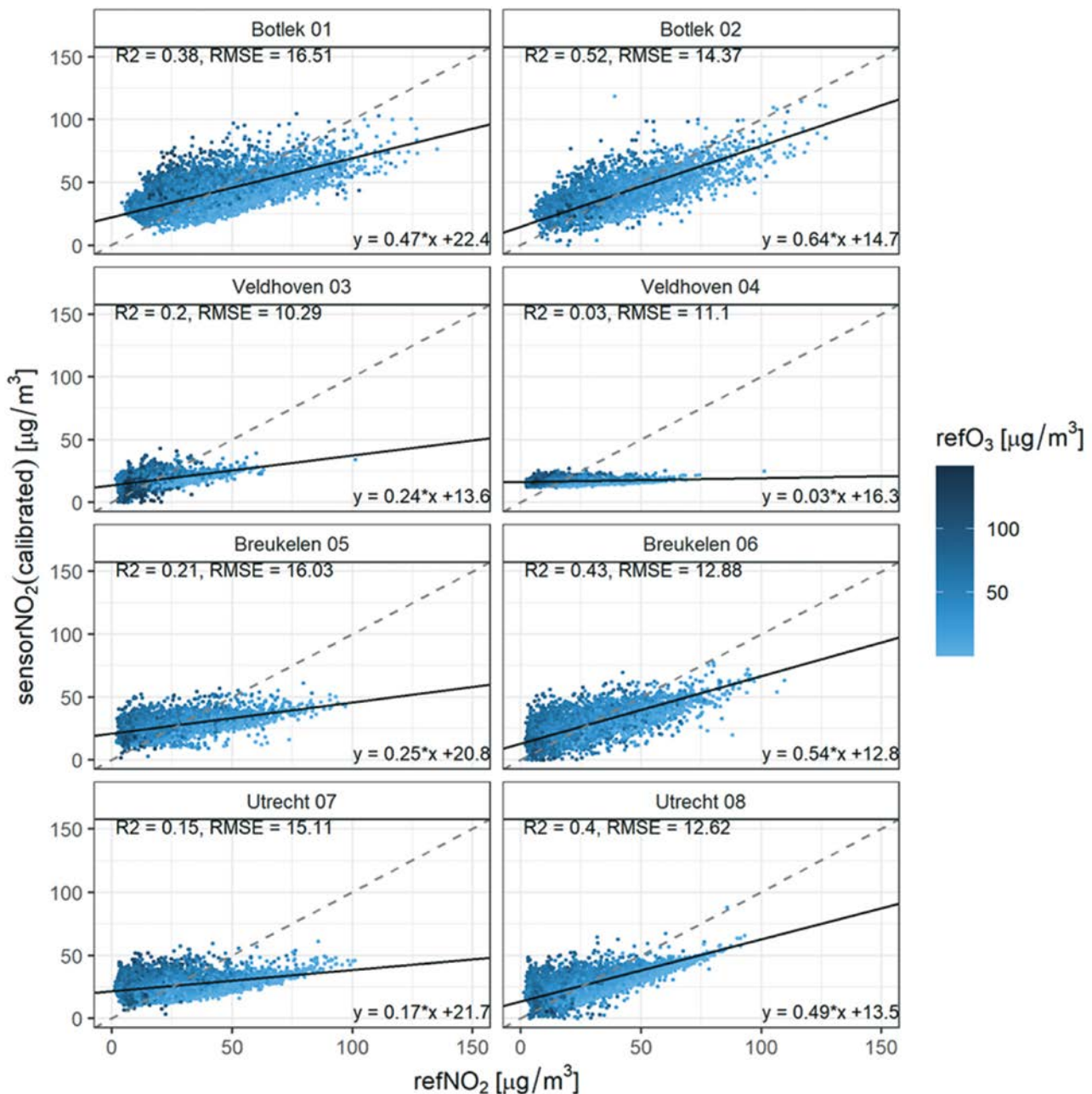
¹⁶ <https://www.samenmeten.nl/data/plausibiliteit-van-fijnstofmeting>

2.3 Kalibratie van stikstofdioxidesensoren

De kalibratie van de NO₂-sensoren kent een andere methode dan de fijnstof kalibratie, namelijk een parametrisatie (in dit geval een lineaire vergelijking) op basis van het spanningsverschil (sensor), de ozonconcentratie (officieel meetpunt) en temperatuur (sensor) [34]. Dit zijn de factoren waarop de sensor

het sterkste reageert. Voor deze *startkalibratie* hangt een sensorkit minstens vier weken op een officieel meetpunt, afhankelijk van de variatie in NO₂ gedurende de kalibratieperiode. Hierna kan de sensorkit in het veld worden ingezet, en worden de kalibratiefactoren gebruikt voor het omrekenen van het spanningsverschil naar de NO₂-concentratie.

Figuur 7. Resultaten van de NO₂-kalibratie voor verschillende Alphasense-sensoren op verschillende zes officiële stations [1]. De sensor-metingen staan op de y-as, de referentie-meting op de x-as. De kleur van de punten correspondeert met de ozonconcentratie.



Eenmaal in het veld kan het zijn dat de sensor gedurende de tijd minder gevoelig wordt voor NO₂ (bijvoorbeeld doordat de werkvloeistof elektrolyt, verdampt). De sensor moet dan opnieuw worden gekalibreerd. Omdat het praktisch onwenselijk is om sensorkits telkens op een officieel meetpunt te kalibreren, blijft de sensorkit nu op de eigen plek hangen en wordt aangenomen dat de NO₂-concentratie 's nachts homogeen is verdeeld (wat alleen geldt in afwezigheid van zeer nabije bronnen). De sensor wordt nu geherkalibreerd op basis van de stikstofdioxide- en ozonconcentratie, zoals gemodelleerd op de sensorlocatie en de temperatuur gedurende de nachturen (23.00 – 06.00; *nachtkalibratie*). De nachtkalibratie vindt elke week plaats en maakt gebruik van alle nachtelijke uren van de drie à vier maanden daarvoor. Zo worden de kalibratiefactoren geleidelijk aan aangepast. Een uitgebreide uitleg van beide methoden staat in een notitie op de Samen Meten-website [34].

Een uitgebreide analyse van de NO₂-kalibratie is terug te vinden in van Ratingen et al. (2012) [1]. De kalibratie van de NO₂-sensoren levert goede resultaten op, zoals aangegeven in Figuur 7. Het is hierbij wel van belang in welke maand de kalibratie plaatsvindt. Er moet in de maand waarin de startkalibratie plaatsvindt voldoende variatie in de NO₂-concentratie zijn. Soortgelijk onderzoek, uitgevoerd door de DCMR, laat ook zien dat gekalibreerde NO₂-sensoren in de wintermaanden goed werken, mits ook gekalibreerd in deze maanden [35].

2.4 Gebruik van burgermetingen

In de vorige paragrafen beschreven we welke sensoren het meest gebruikt worden en hoe deze gekalibreerd worden. Dit deel van het hoofdstuk beschrijft hoe het RIVM de sensordata gebruikt. Hierbij maken we onderscheid tussen het gebruik van sensordata in RIVM-producten en het gebruik van sensordata voor bepaalde *onderzoeksvragen*. De RIVM-producten die we hier bespreken zijn, naast het eerder besproken dataportaal, de luchtkwaliteitskaarten die gebruikt worden voor de luchtkwaliteitsmonitoring in Nederland, en de Samen Analyseren-tool die ontwikkeld is voor burgerwetenschappers die zelfstandig analyses van sensordata willen uitvoeren.

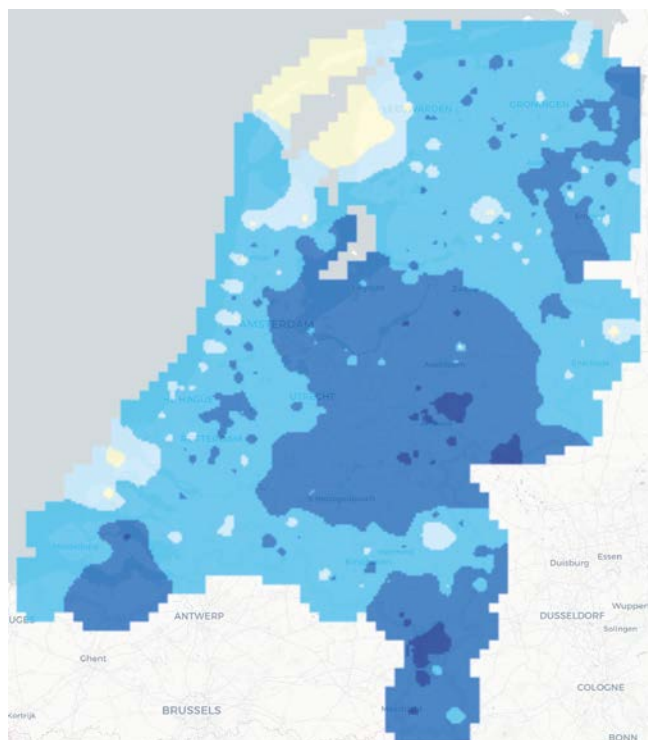
Het gebruik van sensordata voor het beantwoorden van onderzoeksvragen is soms wel mogelijk, en in andere gevallen niet. In dit rapport geven we casestudies waar we verder inzoomen op de mogelijkheid om met sensoren lokale bronnen in beeld te brengen.

2.5 Gebruik van burgermetingen bij de luchtkwaliteitsmonitoring

Een belangrijk doel van het RIVM is om te onderzoeken op welke manier burgermetingen de landelijke luchtkwaliteitsmonitoring kan aanvullen of versterken. Op dit moment is er al een landsdekkend luchtkwaliteitsmonitoring systeem in Nederland, gebaseerd op een combinatie van officiële metingen en modellen. Dit resulteert in een jaarlijks monitoringsrapport voor zowel de GCN [36], als voor de Nationale monitoringsrapportage op overschrijdingen van de Europese grenswaarden en knelpunten (NSL) [37]. Met deze rapportages voldoet Nederland aan de Europese verplichtingen voor de rapportage van de luchtkwaliteit.

Op dit moment gebruiken beide rapportages nog geen sensordata (wel burgerdata van Palmes-buisjes, zie pagina 26), omdat sensordata nog te variabel zijn om een constante kwaliteit te leveren voor een jaargemiddelde concentratie. Dit komt bijvoorbeeld doordat sensoren niet het hele jaar meten (soms missen er bepaalde uren, of soms hele dagen of weken). Dit omdat de ruimtelijke verdeling van sensoren niet gelijk is over het land, waardoor er een bias in de resultaten komt, en omdat de individuele variatie in de sensoren te groot is voor de meest gebruikte sensor SDS011 (zie paragraaf 2.2).

Figuur 8. Gedetailleerde uurkaart voor fijnstof met behulp van sensordata



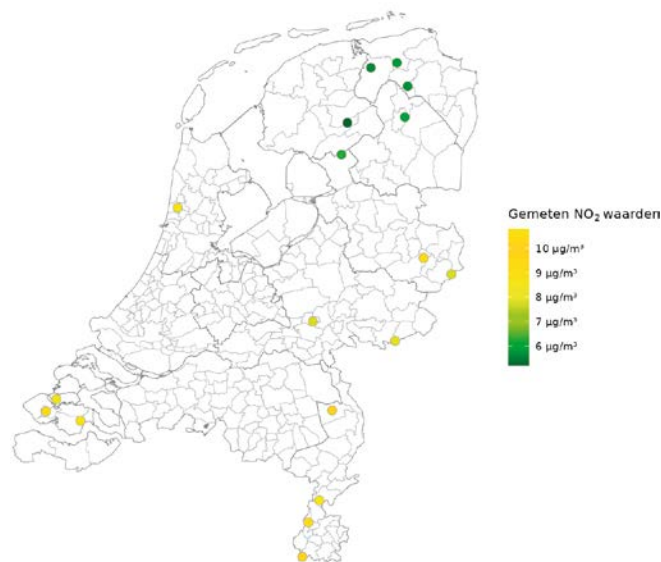
Sensordata worden wel gebruikt in een experimentele uurlijkse luchtkwaliteitskaart die op het Samen Meten-dataportaal wordt getoond. Deze kaart is gebaseerd op de fusie van sensordata, officiële metingen en modelberekeningen op basis van het RIO-model [38]. Het resultaat van deze datafusie levert een luchtkwaliteitskaart op die gedetailleerder is dan de reguliere uurlijkse luchtkwaliteitskaart die op Atlas Leefomgeving wordt getoond. Op dit moment wordt onderzocht op welke manier de sensordata het beste kunnen worden gefuseerd met de officiële metingen en de modelberekeningen, in de internationale Fairmode-samenwerking [39].

2.5.1 Burgermetingen voor het verkleinen van de onzekerheid in de modellering van NO₂ en fijnstof

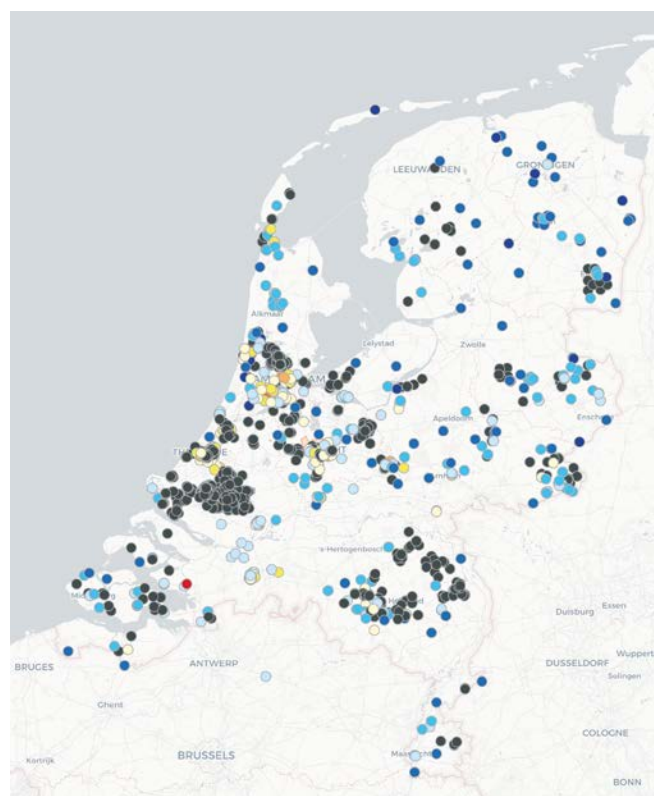
Goedkope metingen hebben de potentie om op minder bemeten plekken in Nederland nuttige informatie op te leveren, die de onzekerheid in de modellering kan verkleinen. Sinds 2017 wordt daarom bij ongeveer 20 vrijwilligers in de buurt NO₂ gemeten met *Palmes-buisjes* [40]. Deze buisjes geven geen individuele meting per uur, maar een gemiddelde NO₂-concentratie over de afgelopen maand. Door het buisje enkele weken op een locatie te laten hangen, verzamelt NO₂ of NH₃ zich in het buisje en kan een gemiddelde concentratie bepaald worden. Meer informatie over het meetprincipe staat op de project-pagina over Curieuze Neuzen van de VVM [41]. De tijdsresolutie van een buisjes-meting is dus beperkter dan van een sensor, maar de onzekerheid van een buisje is ook kleiner dan voor individuele sensormetingen (jaargemiddeld 15-25%) [42]. Door de metingen van vrijwilligers mee te nemen, worden de modelberekeningen gekalibreerd en verbeterd, waardoor de officiële kaarten ook nauwkeuriger worden¹⁷. Omdat NO₂ een sterk ruimtelijk gradiënt kent, dragen de metingen daadwerkelijk bij aan het verkleinen van de onzekerheid in de officiële monitoring [43].

Daarbij kunnen buisjes-metingen, los van hun waarde voor de officiële luchtkwaliteitskaart, helpen bij interpretatie van de hogere tijdsresolutie metingen van NO₂-sensoren. Zo maakt men binnen het project GLOBE ook gebruik van NO₂-buisjes en zet GGD Amsterdam ook het hele jaar door buisjes in [44]. De metingen van de buisjes staan ook op het Samen Meten-dataportaal ('NO₂ Palmes') (Figuur 10)¹⁸.

Figuur 9. Locaties en concentraties NO₂, gemeten met Palmes-buisjes bij vrijwilligers



Figuur 10. Overzicht van de buisjes-metingen in Nederland, zoals weergegeven op het Samen Meten-dataportaal



¹⁷ <https://www.samenmeten.nl/projecten/samen-stikstofdioxide-meten-met-Palmes-buisjes>

¹⁸ Dit zijn de ongekalibreerde metingen; de gekalibreerde metingen staan op de website van het luchtmeetnet.

Sensoren kennen grotere onzekerheden dan metingen met passieve samplers. Ook kent fijnstof een minder sterk ruimtelijk gradiënt dan NO₂. Toch is het de moeite waard om te verkennen of fijnstofsensoren op eenzelfde manier kunnen fungeren om de onzekerheid in de modellering te verkleinen. Daarom is er in 2023 een onderzoek gestart naar de toegevoegde waarde van sensoren voor deze kaarten¹⁹. Het gaat dan om de kaarten van PM_{2.5}, waarvoor er op 25 locaties bij vrijwilligers thuis een Sensirion SPS30-fijnstofsensor is opgehangen. Deze 25 locaties zijn gekozen op basis van de dichtheid aan metingen. Waar tot nu toe weinig metingen door zowel sensoren als officiële meetstations worden verricht, is de potentiële waarde het grootst. De data van deze sensoren worden gebruikt om te kijken of deze een nuttige aanvulling kunnen zijn op de bestaande modellering van fijnstof in Nederland. Het is hierbij belangrijk goede randvoorwaarden te creëren. Dat wil zeggen dat de sensor continu meet op een goede en representatieve plek. De locaties van de sensoren en de data zijn openbaar terug te zien²⁰. Op dit moment worden de sensordata van deze sensoren al gebruikt bij de kalibratie van alle andere SPS30-sensoren.

2.5.2 Combinatie van officiële metingen en sensormetingen

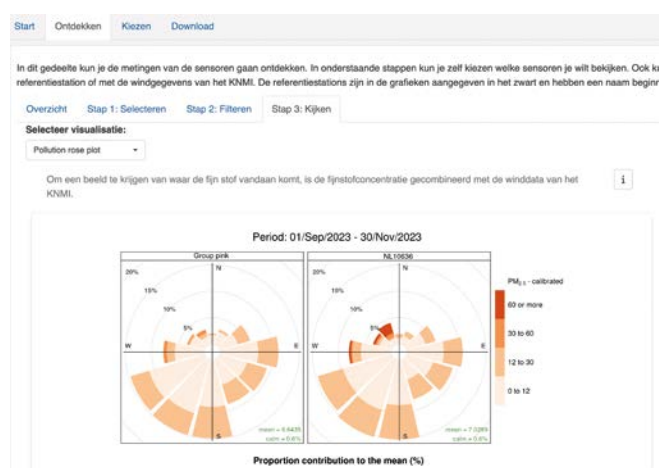
Een andere wetenschappelijke analyse die het RIVM uitvoert, is wat de beste combinatie is tussen officiële metingen en sensormetingen. Hiervoor is een statistisch framework ontwikkeld. Uit deze analyse, die naar verwachting begin 2025 wordt gepubliceerd, wordt een aantal dingen duidelijk:

- De modellering van luchtkwaliteit wordt beter als er gebruikgemaakt wordt van aanvullende sensordata, zeker als deze sensoren in de buurt van een referentiestation hangen.
- Deze verbetering is alleen te realiseren als de sensoren eerst gekalibreerd worden. Enkel het gebruik van ruwe sensordata is onvoldoende.
- Voor de kalibratie van sensoren zijn referentiemetingen van essentieel belang. Hoewel sensoren theoretisch dus referentiemetingen kunnen vervangen, is dit in de praktijk niet wenselijk vanwege het belang van de kalibratie van sensoren.
- Sensoren hebben daarmee vooral toegevoegde waarde op locaties waar hotspots in emissies of concentraties worden verwacht.

2.6 Samen Analyseren-tool

Een ander product van het RIVM waar sensordata beschikbaar zijn, is de Samen Analyseren-tool. De Samen Analyseren-tool is ontwikkeld om burgerwetenschappers in staat te stellen gemakkelijk sensordata te combineren met weergegevens, en om eenvoudige visualisaties en analyses uit te voeren. De tool wordt in verschillende projecten ingezet en is zowel in het Nederlands als Engels beschikbaar [17]. De Samen Analyseren-tool haalt de sensordata op via de eigen Samen Meten-API en combineert de sensordata met luchtmeetnetdata en weergegevens van het KNMI. Hierdoor wordt een bruikbare dataset voor burgerwetenschappers gecreëerd die met behulp van de tool verder geanalyseerd kan worden, of gedownload kan worden voor eigen gebruik.

Figuur 11. Screenshot van de Samen Analyseren-tool



Door het aanbieden van een centrale data-analyse tool is het ook makkelijk voor het RIVM om relevante visualisaties aan te bieden, of om *good practices* te faciliteren. Zo is het bijvoorbeeld zinvol om niet al te veel in te zoomen op individuele sensoren, maar juist naar een algemeen beeld te kijken, waarin meerdere sensoren worden meegenomen. Daarom is het in de tool erg makkelijk gemaakt om sensoren te groeperen. Op deze manier is het ook mogelijk om de eindgebruiker te sturen richting relevante manieren van data-analyse.

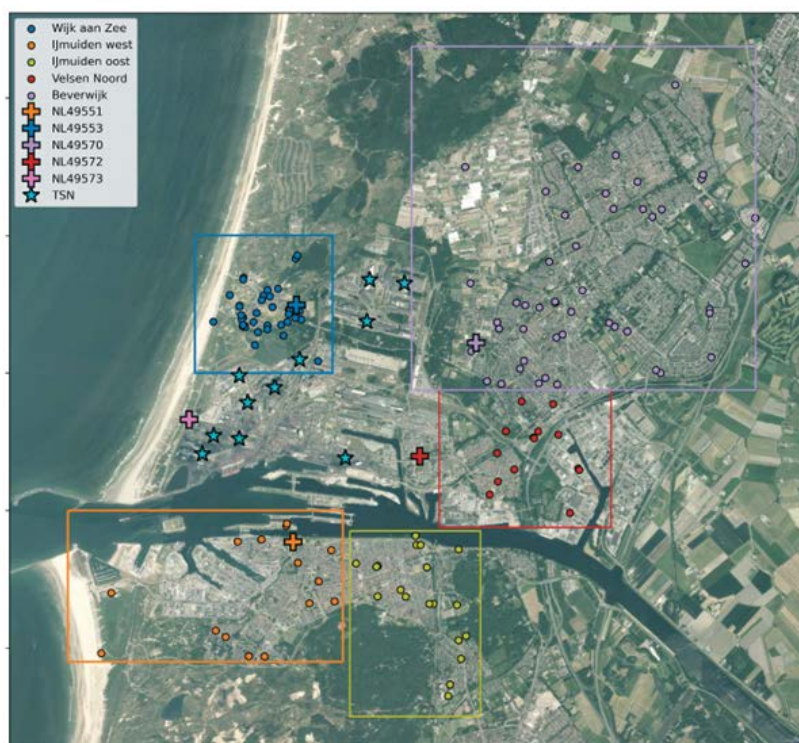
¹⁹ <https://www.samenmeten.nl/initiatieven/jaar-lang-fijnstof-meten>

²⁰ <https://samenmeten.rivm.nl/ozk/>

2.7 (Lokale) Onderzoeksvragen

Het vorige gedeelte van dit hoofdstuk heeft laten zien dat het RIVM sensordata gebruikt op het Samen Meten-dataportaal, voor een gedetailleerdere uurlijkse luchtkwaliteitskaart, en een Samen Analyseren-tool beschikbaar stelt voor verdere analyses. Met deze producten zijn, samen met de bestaande informatie over luchtkwaliteit op onder andere de Atlas Leefomgeving en via de GCN-app, verschillende onderzoeksvragen te beantwoorden, die relevant zijn in (lokale) meetprojecten. Het is hiermee vooral mogelijk om algemene vragen over de luchtkwaliteit te beantwoorden, zoals: *hoe is het gesteld met de luchtkwaliteit in mijn buurt? Wat zijn jaargemiddeld gezien de belangrijkste veroorzakers van luchtverontreiniging in mijn gemeente?* Echter, met behulp van sensoren zijn er potentieel lokale onderzoeksvragen te beantwoorden die moeilijker zijn te beantwoorden vanuit de landelijke monitoring. Zo is het mogelijk om zeer lokale bronnen, zoals houtstook en de invloed van industrie, in beeld te brengen, omdat sensoren dicht bij de bron staan en op een hogere temporele resolutie meten. Om een lokale bron goed in beeld te brengen, of een lokale onderzoeksvraag te beantwoorden, is het van belang om voldoende aantallen sensoren te hebben en om een goed meetplan te hebben [45, 46].

Figuur 12. Kaart van de IJmond-regio. De bolletjes tonen de locaties van de PM10-sensoren in de regio, gekleurd naar de clusterindeling die in deze analyse gebruikt wordt. De '+'-symbolen geven de locaties van de luchtmeetnetstations in het gebied. Tenslotte worden ter illustratie ook mogelijke lokale bronnen weergegeven (let wel dat dit geen complete weergave is).

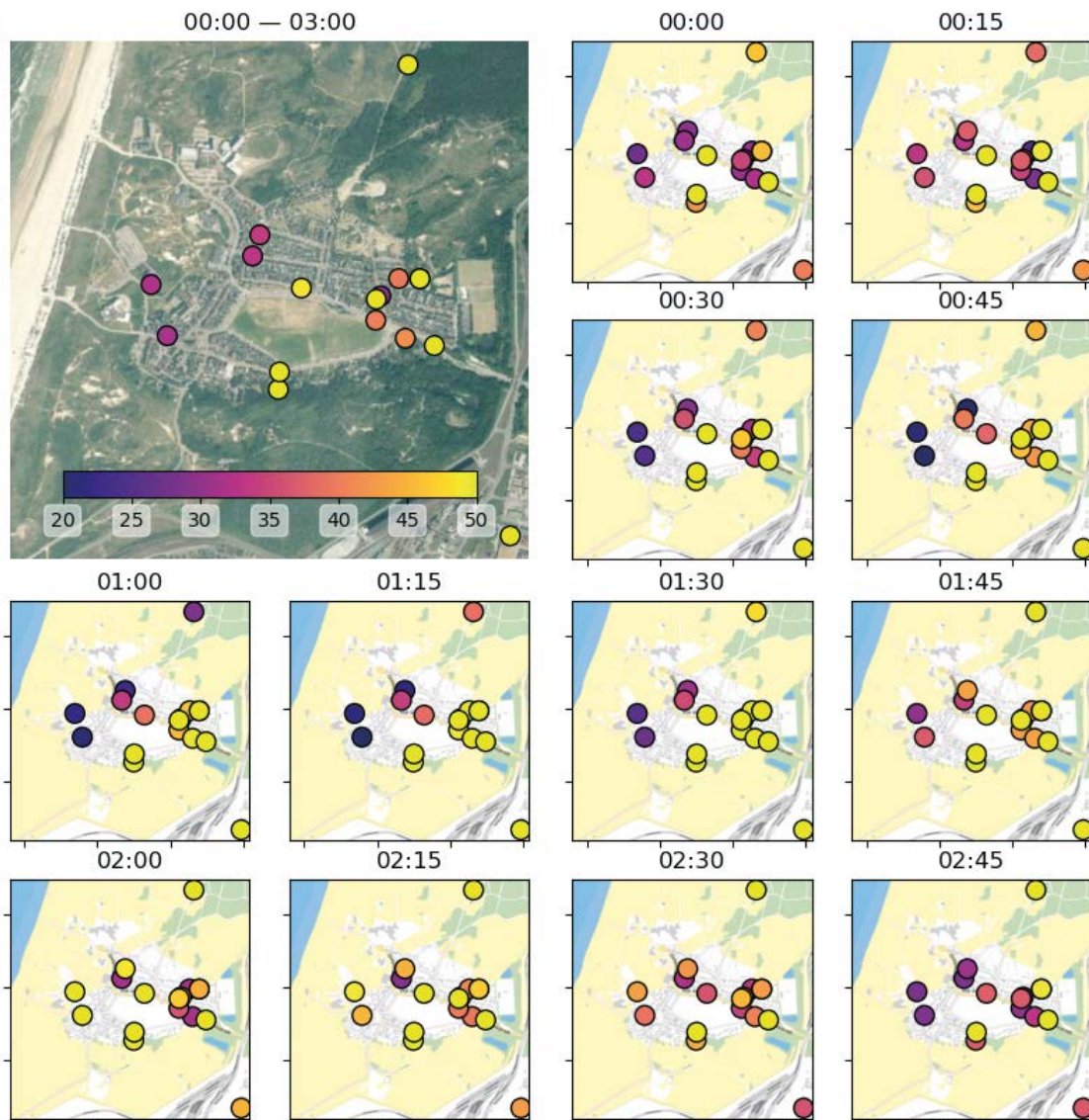


In de volgende paragrafen presenteren we twee casestudies die laten zien op welke manier een lokale bron in beeld gebracht kan worden, hierbij gebruikmakend van de unieke kenmerken van sensoren.

2.7.1 Case study: Industrie IJmond

In de regio IJmond wordt al enkele jaren met behulp van fijnstofsensoren de luchtkwaliteit gemeten, met name in het project Hollandse Luchten. Tegelijkertijd wordt in de IJmond ook veel gemeten met officiële luchtmeetnetstations. Het RIVM doet op dit moment verkennend onderzoek of het burgermeetnetwerk aanvullende inzichten kan opleveren die niet of minder goed te verkrijgen zijn met het officiële luchtmeetnet, omdat deze beperkter in aantal (vijf versus enkele tientallen sensoren) en temporele resolutie zijn (uurwaarden versus ~3-min data). Om te onderzoeken of sensoren in staat zijn om verhogingen door de industrie in de IJmond te registreren, zijn in een voorlopige analyse de sensoren in verschillende clusters rondom het terrein ingedeeld. Vervolgens worden de concentraties die deze clusters meten systematisch vergeleken met elkaar en met de bijbehorende luchtmeetnetstations.

Figuur 13. Ruimtelijk beeld in Wijk aan Zee tijdens een episode waarbij sensoren een ander ruimtelijk beeld van de concentratie geven dan het LML-station. Ieder plaatje laat een 15-minuutgemiddelde zien, waarbij de aangeven tijd de starttijd van het interval is. De kleuren geven de gemeten PM10-concentratie met een verloop van donkerblauw via oranje naar geel (zie legenda inzet). Gedurende deze periode zien we van rechtsonder naar linksboven een PM10-wolk overwaaien.



2.7.2 Case study: Houtstook

Een voorbeeld van een onderzoeksvraag die bij veel bewoners, beleidsmakers en wetenschappers speelt, is “hoe meet ik houtstook?”. Deze belangstelling voor houtstook als bron van luchtvervuiling neemt toe en er zijn dan ook verschillende (citizen-science-)projecten waarin metingen van luchtkwaliteit gekoppeld worden aan houtstook, bijvoorbeeld binnen de Samenwerking Houtrookonderzoek [47], een pilot binnen Hollandse Luchten, onderzoek van burgermeetinitiatief Scapeler [48], en onderzoek hoe de Milieu Ongevallen Dienst (MOD) sensoren kan inzetten bij brand [49].

De conclusies van dergelijke onderzoeken zijn gemengd. Het is vaak mogelijk om pieken in de fijnstofconcentratie te meten op het moment dat er ook houtrook wordt geroken. Het ligt dan voor de hand om deze pieken toe te schrijven aan houtrook, maar dat is niet altijd eenvoudig, omdat er ook andere redenen van lokale verhogingen kunnen zijn. Er bestaan goede markers voor houtrook, zoals levoglucosan, maar die zijn (nog) niet goed te meten met goedkope meetapparatuur. Goedkope roetsensoren kunnen ook een goede optie zijn om houtstook in beeld te brengen. Maar ook goedkope roetsensoren zijn nog niet op grote schaal beschikbaar (zie ook paragraaf 2.8).

Er zijn wel mogelijkheden om specifiek met sensoren in te zoomen op houtrook. Een optie is, zoals bijvoorbeeld wordt gehanteerd door burgerinitiatief Scapeler, de lokaal gemeten concentraties te vergelijken met een officieel meetpunt, en met behulp van geurobservaties 'houtstook-uren' vast te stellen. Vervolgens kunnen de concentraties gemeten op 'houtstook-uren' vergeleken worden met 'niet-houtstook-uren'. Vaak blijkt dan dat de gemeten concentraties op houtstook-uren daadwerkelijk hoger zijn dan op de niet-houtstook-uren. De cruciale aanname hierbij is dat er geen andere lokale bronnen of invloeden aanwezig zijn, en dat het gemeten verschil dus toegewezen kan worden aan houtstook. Afhankelijk van de lokale situatie kan dit een valide of een mindervalide aanname zijn.

Het voordeel van het gebruik van uurwaarden in het voorbeeld hierboven is dat men gebruik kan maken van gekalibreerde waarden (zie paragraaf 2.2 over de kalibratie). Hierdoor worden *systematische* afwijkingen in de sensorwaarden gecorrigeerd en zijn de sensorwaarden betrouwbaarder. Een nadeel van het gebruik van deze gekalibreerde uurwaarden is echter dat houtrookpieken zich karakteriseren door een veel kortere tijdspanne en deze pieken dus worden gemist bij het gebruik van uurwaarden. Andere studies, waaronder een in Maastricht, richten zich juist op het gebruik van minuutwaarden [50]. Dit onderzoek, uitgevoerd door de RUD Limburg, koppelt minuutwaarden van fijnstofsensoren aan dagboekgegevens met hindermeldingen. Van de 180 verzamelde hindermeldingen bestond er in 70 procent van de gevallen een verband tussen de hinder en gemeten fijnstofconcentraties. In 69 procent van deze meldingen ruikt men de houtrook binnen, en wordt de hinder als zeer *onprettig* ervaren. De conclusie van dit onderzoek is dan ook dat het goed mogelijk is om met behulp van een fijnstofsensoren en het bijhouden van een dagboek houtrookoverlast in kaart te brengen en klachten verder te objectiveren.

Kortom, met behulp van sensoren is het mogelijk om lokale verhogingen te meten op momenten dat het ook waarschijnlijk is dat er veel houtstook plaatsvindt. Het is echter lang niet altijd mogelijk om deze verhoogde concentraties direct toe te wijzen aan houtrook, zonder aanvullende metingen. Opties voor deze aanvullende metingen zijn bijvoorbeeld levoglucosan (duur, maar beste indicator voor houtrook), roet (duur, maar goede indicator), of met behulp van dagboekgegevens over geur (bewerkelijk). In de context van citizen science is de optie om systematischer hinder of beleving vast te leggen veelbelovend. In nieuw RIVM-onderzoek zal dit ook plaatsvinden (zie volgende paragraaf over roetsensoren).

2.8 Andere metingen naast fijnstof en NO₂

2.8.1 Meten van roet met sensoren

Op dit moment is het nog niet goed mogelijk om roet met goedkope sensoren te meten, hoewel er veelbelovende ontwikkelingen zijn. In het Europese project COMPAIR is een goedkope roetsensor ontwikkeld, die volgens de Vlaamse Milieu Maatschappij goede resultaten geeft [51]. In 2025 zal het RIVM deze roetsensor verder onderzoeken via een co-locatie op een luchtmeetnetstation en door metingen te testen bij burgerwetenschappers. Onderdeel van dit onderzoek is ook om te kijken in hoeverre roetmetingen correleren met: i) fijnstofconcentraties gemeten door sensoren; ii) met gerapporteerde hinder die uitgevraagd wordt met de RIVM-belevingapp [52]; en: iii) met klachten zoals die gerapporteerd worden aan de Stookwijzer. De resultaten van dit onderzoek worden halverwege 2025 verwacht.

2.8.2 Meten van ammoniak met sensoren

Het meten van ammoniak is met sensoren nog erg uitdagend. Er zijn veel verschillende mogelijke meetprincipes, maar de meeste sensoren zijn niet in staat de (lage) omgevingsconcentraties te meten [53]. De ontwikkelingen gaan echter snel, en het is een onderwerp waar veel belangstelling voor is. Het RIVM onderzoekt op dit moment nog of ammoniak sensoren zijn in te zetten voor het detecteren van pieken van NH₃. Hierover wordt begin 2025 gerapporteerd. Een alternatieve meetmethode voor zowel NO₂ als ammoniak is het gebruik van Palmes-buisjes. Dit zijn passieve samplers die gemiddelde concentraties over een langere tijd (enkele dagen tot maand) kunnen meten (zie ook pagina 26).

2.9 Conclusie instrumentele waarde Samen Meten

Dit hoofdstuk heeft laten zien dat de hoeveelheid sensordata in de afgelopen acht jaar sterk is toegenomen. Daar waar sensordata eerst alleen geschikt waren om hoge pieken te meten zoals rondom Oud & Nieuw, kunnen ze nu door de grotere aantallen en betere kwaliteit gebruikt worden in verschillende RIVM-producten, waaronder een uurlijkse, gedetailleerdere luchtkwaliteitskaart. Op dit moment worden sensordata nog niet gebruikt in de jaarlijkse monitoringsrapportages van het RIVM. Dit omdat de kwaliteit van de meeste sensoren nog te variabel is, en omdat er geen verplichtingen zijn om burgermetingen mee te nemen in de officiële monitoring. Wel wordt er volop onderzoek gedaan naar manieren om met behulp van de fusie van verschillende databronnen (sensormetingen, officiële metingen en modelberekeningen), de kwaliteit

van de luchtkwaliteitsmodellering te verhogen, en de onzekerheden in de verkregen resultaten te verkleinen. Op dit moment gebeurt dit al met behulp van burgermetingen met Palmes-buisje. De verwachting is dat dit de komende jaren ook met fijnstofsensoren gaat gebeuren. Onderzoek naar de waarde van sensordata laat ook zien dat kalibratie van sensoren belangrijk is om *systematische* afwijkingen uit de sensordata te kalibreren. Het RIVM geeft hierbij de voorkeur aan een *netwerkkalibratie*, waarbij het netwerk van sensoren als geheel wordt gekalibreerd. Dit heeft als voordeel dat de kwaliteit van individuele sensor(kits) niet bekend hoeft te zijn. En het past bij de praktijk van sensormetingen in Nederland, waarbij lang niet altijd bekend is wie de sensorhouder is. Het nadeel hiervan is dat er voldoende sensoren in het netwerk moeten zijn, en het benadrukt het belang van grote aantallen sensoren, die in voldoende mate over het land verspreid zijn. Sensordata kunnen helpen bij bepaalde onderzoeksvragen die bewonersinitiatieven hebben, bijvoorbeeld over de aanwezigheid van lokale bronnen zoals industrie en houtstook. Hiervoor werkt het RIVM aan een automatische piekdetectie, die met name rondom industrie kan helpen om de blootstelling aan fijnstofpieken en mogelijke hinder hiervan in beeld te brengen. Daarnaast helpt het RIVM burgerwetenschappers met het beantwoorden van hun

eigen onderzoeksvragen door de analyse van sensordata te vergemakkelijken met behulp van de Samen Analyseren-tool. Deze tool helpt burgerwetenschappers met het combineren van sensordata en meteogegevens en stelt hen in staat om zelf eenvoudige visualisaties en analyses uit te voeren. Het blijft hierbij van belang om ook de tekortkomingen van met name individuele sensordata te benadrukken.

Los van de verwachte organische groei van luchtkwaliteits-sensoren in Nederland, is er nog onderbenutte ruimte voor specifieke inzet van sensoren rondom hotspots van emissies of concentraties. Er zijn veelbelovende voorbeelden van projecten in bijvoorbeeld Rotterdam of in de provincie Noord-Holland. Het in stand houden van een sensornetwerk vereist continue aandacht voor de hardware en dataconnectiviteit. Juist door de grote aantallen sensoren is het niet kosteneffectief om op afstand de sensoren te beheren. Dit vraagt om het actief betrokken houden van mensen die een sensor hebben, en de organisatie en communicatie hieromheen. Als dit goed wordt vormgegeven, dan is het mogelijk om bronnen van hinder beter in beeld te brengen, en komen de specifieke eigenschappen van sensoren (grote aantallen en hogere temporele resolutie) het beste tot hun recht.

3 De participatieve waarde van Samen Meten ('Dialogoog')

Steeds meer burgers zijn de leefomgeving gaan meten. Ook in bredere zin is er een ontwikkeling waarin burgers zelf in initiatieven opzetten om kennis te verzamelen of hun stem organiseren om meer betrokken te zijn bij hun leefomgeving. Binnen de overheid is er ook een ontwikkeling naar het meer betrekken en meenemen van burgers, bijvoorbeeld via burgerparticipatie. Het betrekken van burgers leidt tot andere perspectieven, relevante inzichten in de lokale context, en data. Daarnaast kan burgerparticipatie bijdragen aan draagvlak onder de bevolking voor maatregelen die helpen om transities richting een duurzamere en gezonde samenleving vorm te geven. Samen Meten vervult een belangrijke rol in dit speelveld, doordat het op verschillende manieren samenwerking en data- en kennisuitwisseling kan faciliteren. Daarnaast biedt Samen Meten, als onderdeel van het RIVM, toegang tot professionele kennis over de leefomgeving. Deze combinatie van lokale kennis en data, met expertkennis en data, versterkt zowel de reguliere monitoring als de citizen science-initiatieven.

Citizen science-initiatieven in Nederland bestaan in vele vormen. Er zijn burgers die via Sensor.Community een sensor bouw pakket bestellen, deze in elkaar zetten, en ophangen in de tuin, op het balkon of in de buurt. Er zijn groepen burgers die gezamenlijk optrekken en een initiatief beginnen ('bottom-up'). En er zijn gemeenten, provincies, universiteiten en andere partijen als het RIVM die zelf een meetproject opzetten en burgers uitnodigen om deel te nemen ('top-down').

Citizen science-initiatieven verzamelen data via sensoren, samples of waarnemingen, op voor hun relevante onderwerpen (*citizen sensing*, zie pagina 14-15). Meetinitiatieven brengen ook allerlei partijen en bewoners bij elkaar, met uiteenlopende doelen, belangen en achtergronden: een meetcommunity. *Communities* zijn daarmee onlosmakelijk verbonden met het doen van citizen science. Het 'Samen' 'Meten'. Samen Meten biedt een ontmoetingsplek voor meetcommunities en betrokken partijen, waardoor deze kennis en ervaring kunnen uitwisselen en samenwerkingen kunnen aangaan. Tegelijkertijd blijven de lokale communities autonoom en kunnen naar eigen wens gebruikmaken van het Samen Meten-netwerk, aangeboden tools en infrastructuur. Kortom, Samen Meten heeft zowel een technologische

en datagerichte component, als een sociale, community component. In dit hoofdstuk beschrijven we deze community, welke rol Samen Meten heeft in deze community en welke *participatieve waarde* dit oplevert.

3.1 Een faciliterende rol voor Samen Meten

Voordat we de participatieve opbrengst van Samen Meten bespreken, staan we stil bij de *rol* die Samen Meten vervult in veel van de meetinitiatieven. We laten ons hierbij inspireren door het veelgebruikte 'sturingskwadrant' van de Nederlandse School voor Openbaar Bestuur (NSOB) [54]. In dit kwadrant staan vier vormen van overheidssturing centraal, met twee variabelen: 1) gaat het met name om de *resultaten* of om de *randvoorwaarden*?; en: 2) werkt de overheid van *binnen naar buiten*, met de samenleving aan het einde van het proces, of is de *buitenwereld een actieve deelnemer*? Zonder dit kwadrant één op één op Samen Meten toe te passen – Samen Meten maakt geen beleid –, betogen we hier dat veel activiteiten van Samen Meten passen bij een *responsieve, faciliterende rol*, waarbij vooral de randvoorwaarden centraal staan, en het initiatief vanuit de samenleving als uitgangspunt wordt genomen. In deze rol is het belangrijk om mee te bewegen met de doelen van andere groepen in de samenleving, en de eigen doelen te verbinden aan de doelen van andere initiatieven. Dit houdt ook in dat de relatie met de samenleving tweezijdig wordt, en betekent – in de woorden van de NSOB – "*samen optrekken, op verkenning gaan, gaandeweg zien hoe we de gedeelde doelen dichterbij kunnen brengen.*" [54]

In de praktijk van Samen Meten zien we dit terug. In veel projecten zoeken we naar het gedeelde belang van goede metingen van de leefomgeving. Waarbij het primaire belang van het RIVM kan zijn om deze metingen te gebruiken voor een gedetailleerde luchtkwaliteitsmonitoring, kan dit voor een bewonersinitiatief zijn om aan te tonen dat er een probleem is met de lokale luchtkwaliteit. Het is belangrijk om vooraf duidelijkheid te scheppen over deze verschillende verwachtingen en hoe deze naast elkaar (kunnen) bestaan, en tegelijk een voortdurende zoektocht hoe dit in de praktijk werkt.

Een faciliterende, verbindende rol is een bewuste keuze. Veel meetinitiatieven ontstaan los van het RIVM, en zullen ook zonder betrokkenheid van het RIVM doorgaan. Omdat meetinitiatieven kunnen ontstaan vanuit een gebrek

aan vertrouwen in de representativiteit van de officiële monitoring voor de lokale situatie, helpt het in deze dynamiek om samen te zoeken naar wat goede metingen zijn. In het proces om te komen tot goede metingen kunnen dan andere zaken, waaronder de totstandkoming van de officiële monitoring én lokale issues, aan de orde komen. In de praktijk bestaat het faciliteren vooral uit het centraal proberen op te lossen van generieke uitdagingen die burgerwetenschappers tegenkomen bij het meten met sensoren. Door infrastructurele oplossingen te bieden – database, dataportaal, visualisaties, analysetools et cetera – heeft het meerwaarde voor burgerwetenschappers om zich ‘aan te sluiten’ bij de Samen Meten-infrastructuur. Hierdoor behouden initiatieven hun autonomie en kunnen ze gebruikmaken van de (data)faciliteiten die beschikbaar zijn. In hoofdstuk 4 over Samen Meten als infrastructuur bespreken we dit in meer detail. De andere manier om burgerinitiatieven te faciliteren is door kennis van het RIVM en anderen beschikbaar te stellen en initiatieven aan elkaar te verbinden. In dit hoofdstuk staan we vooral stil bij dit verbindende aspect.

3.2 Samen Meten als community

Naast een faciliterende rol, kiezen we bewust voor het positioneren van Samen Meten als een community. We doen dit onder meer door op het Samen Meten-kennisportaal ook een overzicht te geven van meet-initiatieven waarbij het RIVM geen rol heeft. Deze initiatievenpagina functioneert als wegwijzer voor individuen die in hun buurt willen deelnemen aan een initiatief of voor initiatieven om vergelijkbare initiatieven te vinden om kennis mee uit te wisselen. Ook bevat de Samen Meten-nieuwsbrief (zie Tekstbox 2), naast nieuws over RIVM (Samen Meten-) projecten, nieuws waarin het RIVM geen (grote) rol heeft, maar dat wel interessant is voor de Samen Meten-community.

Door Samen Meten expliciet als community te positioneren, is het ook makkelijker om direct contact te organiseren. Zo is Samen Meten bereikbaar via een apart e-mailadres (samenmeten@rivm.nl) en via sociale media (X @samenmeten). Inhoudelijke vragen worden beantwoord, vragenstellers worden soms doorverwezen naar de juiste instantie, of verbonden aan communities in hun eigen buurt. Tegelijk geeft dit het RIVM inzicht in welke vragen er leven, en kunnen we op basis hiervan bijvoorbeeld het Kennisportaal aanpassen. Daarnaast

kunnen mensen contact met elkaar zoeken via het Samen Meten-forum [55]. Het forum wordt gebruikt door initiatieven zelf, zoals Hollandse Luchten, of door het RIVM om feedback op te halen voor bijvoorbeeld de Samen Analyseren Tool. De provincie Zuid-Holland financiert het. Tot slot organiseren we de community ook offline. Het RIVM heeft vrijwel sinds de start van Samen Meten vrijwel elk jaar een bijeenkomst gehouden. Inmiddels wordt deze samen met het Schone Lucht Akkoord georganiseerd onder de naam ‘Participatiedag’. Elk jaar komen ruim 100 deelnemers op het RIVM; de helft burgers, de helft gemeenteambtenaren, provincieambtenaren, GGD-medewerkers en onderzoekers. Het is een dag van ontmoeting en kennisuitwisseling en we ontvangen veel positieve reacties van aanwezigen hierop.²¹ Het RIVM is ook aanwezig op bijeenkomsten die door of voor meetcommunities worden georganiseerd. Regelmatig wordt het RIVM gevraagd om een presentatie te geven over een bepaald onderwerp, zoals luchtkwaliteit algemeen, of over gezondheid en luchtkwaliteit.²² Soms gaat het om het beantwoorden van vragen of hulp bij de Samen Analyseren-tool. Omgekeerd leert het Samen Meten-team over welke vragen er leven over de leefomgeving en welke behoeftes de community heeft aan tools of informatie.

Tekstbox 2. Samen Meten-nieuwsbrief

De Samen Meten-nieuwsbrief komt drie keer per jaar uit en is na het smog-alert de grootste nieuwsbrief van het RIVM. Het wordt verstuurd aan inwoners, beleidsmedewerkers, GGD-medewerkers, wetenschappers, et cetera. De nieuwsbrief is ook een belangrijk kanaal om oproepen te plaatsen voor deelnemers aan citizen science-projecten, zoals het meten van NO₂ (zie ook hoofdstuk 2). Zo zocht het RIVM in 2018 twintig vrijwilligers – op specifieke plekken in NL – die maandelijks een Palmes-buisje wilden ophangen en wisselen. De oproep was zeer succesvol; meer dan honderd mensen meldden zich aan. De uiteindelijke deelnemers doen deze metingen nu een aantal jaar. Er zijn sinds 2018 maar twee afvallers. Dit benadrukt het belang van een community en eigen communicatiekanalen.

²¹ [Terugblik op SLA participatiedag 2023 - Schone lucht akkoord](#)

²² [Verslag bijeenkomst Hollandse Luchten in Haarlem](#)

3.3 De participatieve waarde van Samen Meten

Samen Meten wordt gezien als een ontmoetingsplek voor meetcommunities en betrokken partijen om te participeren, kennis en ervaring uit te wisselen en samenwerkingen aan te gaan. Het RIVM probeert dit zoveel mogelijk te faciliteren. Hiermee geven we mede invulling aan de sociale, verbindende kant van de Samen Meten- infrastructuur. Wat dat oplevert, beschrijven we aan de hand van zes opbrengsten. Deze opbrengsten zijn gebaseerd op onze eigen inzichten uit de projecten, wetenschappelijk (RIVM-)onderzoek binnen deze projecten, en algemene wetenschappelijke inzichten over burgerwetenschap.

1. **Bewustwording** van lokale milieukwaliteit en de complexiteit van het meten ervan.
2. **Dialoog** over een gezonde leefomgeving.
3. **Maatschappelijk relevant onderzoek** over de leefomgeving.
4. **Vertrouwen** in monitoring en overheidsinstellingen.
5. **Nieuwe beleids- en kennisinzichten** voor lokaal beleid.
6. **Signalering** van lokale vraagstukken voor landelijk beleid.

3.3.1 Bewustwording van lokale milieukwaliteit en de complexiteit van het meten ervan

Allereerst draagt Samen Meten bij aan bewustwording. Dit geldt voor verschillende betrokken partijen. Hier staan we specifiek stil bij bewustwording bij burgers die participeren in een meetinitiatief. Door de actieve deelname in het onderzoeksproces leren burgers meer over de lokale milieukwaliteit, oorzaken van vervuiling of hinder, en wat je zelf kan doen om dit te verbeteren. Ook ontstaat er bewustwording over hoe je de leefomgeving kunt meten en hoe je de metingen kunt interpreteren. Bovenal ontstaat er bewustwording van de complexiteit van al deze elementen. Samen Meten levert een belangrijke bijdrage aan het bewustwordingsproces. Op bewonersavonden wordt het RIVM uitgenodigd om, soms samen met lokale partners zoals de GGD, presentaties te geven over luchtkwaliteit, bronnen van vervuiling, gezondheidseffecten, en wet- en regelgeving. Zo leggen we regelmatig uit wat het verschil is tussen de Europese norm en de WHO-richtlijn van luchtkwaliteit, en dat deze gaan over jaargemiddelden en niet kunnen worden vergeleken met uurlijkse waarden. We leggen uit dat veel vervuiling afkomstig is uit het buitenland en het detecteren van een enkele bron niet gemakkelijk is, maar nodigen ze uit om het wel te proberen.

Andere keren denken we mee over het meetplan. En bij data-analyse-avonden helpen we de burgers om kritisch naar hun data te kijken, deze te interpreteren door ze te vergelijken met andere metingen in de buurt, en de officiële meetstations. Zo ontstaat er ook bewustwording bij inwoners over de complexiteit van meten en merken we begrip dat deze complexiteit soms ook geldt voor officiële metingen van het RIVM of een Omgevingsdienst [56]. Het stakeholderonderzoek (zie hoofdstuk 4 en Bijlage 2) laat zien dat lokale samenwerkingspartners het erg belangrijk vinden dat het RIVM aan burgers *“laat zien wat de uitdagingen zijn van metingen en het trekken van conclusies uit de metingen”*, en dat hiervoor dus aandacht moet zijn in de Samen Meten-projecten.

3.3.2 Dialoog over een gezonde leefomgeving

Een belangrijke opbrengst van burgerwetenschapsprojecten is dat er inhoudelijke dialoog ontstaat tussen de betrokken partijen. Wat dit oplevert, is uitgebreid besproken in een tussentijdse evaluatie van Hollandse Luchten [57]. Doordat partijen samenwerken en een gedeeld begrip ontwikkelen, fungeert participatie door samen te meten als een brug tussen burgers, beleidsmakers, onderzoekers, bedrijfsleven. Lokale en regionale overheden komen in direct contact met de zorgen, behoeften en ervaringen van hun inwoners. Inwoners kunnen daarmee thema's agenderen, die voor hen relevant zijn. Ambtenaren kunnen weer uitleggen waarom bepaalde keuzes wel of niet worden gemaakt. Ook kunnen ze duidelijk maken dat ze gemeenschappelijke doelen hebben en werken aan oplossingen. Deze oplossingen kunnen ze beter uitwerken in samenwerking met inwoners. Aandacht voor kwantiteit van de sensoren levert wetenschappelijk gezien misschien veel op; aandacht voor participatie levert een grote betrokkenheid op van de metende burgers. Het is belangrijk om bewust te zijn van deze beide aspecten.

Een belangrijke factor hierbij is dat – mits goed vormgegeven – een meetproject een *iteratief* proces is. Dat betekent dat deelnemers een gezamenlijk proces ingaan, waarbij ze moeten nadenken over onderzoeksvragen, een meetplan, data-analyse, eerste duiding van de resultaten, enzovoorts. Al deze stappen geven aanleiding om het probleem, de context en de metingen te bespreken. Hiermee geeft Samen Meten de mogelijkheid om ook te werken aan een continue dialoog, op basis van gelijkwaardigheid. Dit kan hiermee leiden tot een proces dat als eerlijk(er) en rechtvaardig(er) wordt ervaren dan een 'traditioneler' proces van bijvoorbeeld informatie verstrekken op bewonersavonden [19]. In deze dialoog neemt het RIVM een neutrale positie in, en dit wordt ook verwacht door inwoners en andere partijen [58].

3.3.3 Maatschappelijk relevant onderzoek over de leefomgeving

Ook voor het doen van onderzoek levert participatie van inwoners een waardevolle bijdrage, naast de bijdrage van de data zelf zoals beschreven in hoofdstuk 2. Het RIVM leert veel van bewonersparticipatie. En door met bewoners samen te werken, krijgt het RIVM directe terugkoppeling voor onderzoeken. Zo laat bijvoorbeeld het RIVM-onderzoek naar vliegtuighinder zien dat er andere vragen werden gesteld door de inwoners dan de onderzoekers zelf hadden. Hierdoor sloten de resultaten beter aan bij de beleving van de bewoners (Tekstbox 3) [2].

Tekstbox 3. RIVM-onderzoek Vliegtuiggeluid Schiphol

Binnen de Programmatische Aanpak van het Meten van Vliegtuiggeluid (PAMV) deed het RIVM met 28 burgers onderzoek gedaan naar de beleving van vliegtuiggeluid [2]. Via de Beleving App van het RIVM konden deelnemers gedurende een periode van drie weken vragenlijsten invullen over hinder. De geluidmetingen waren daarnaast voor iedereen zichtbaar op het Samen Meten-dataportaal. De vragenlijsten waren samengesteld met aanvullingen van deelnemers. Bewoners gaven aan dat er gevraagd moest worden naar pieken en naar momenten van rust. Ook vroegen ze om een langere uitvraagperiode, om de overlastperiodes door iedereen te kunnen laten vastleggen. Uit het onderzoek bleek dat de hinder deels verklaard werd door objectieve data, maar ook door de beleving ervan. Ook bleek dat hinder niet alleen veroorzaakt werd door het geluidniveau, maar ook door de lengte van vluchtblokken en rustmomenten ertussen. Een factor die niet was uitgevraagd als deelnemers dit niet hadden kunnen aangeven.

Een ander voorbeeld gaat over houtstook. Houtstook is een vaak terugkomende bron van zorg voor veel burgerwetenschappers. Tegelijkertijd is het niet altijd makkelijk om deze bron goed in beeld te brengen. Zeker niet met de gekalibreerde uurdata op het dataportaal, omdat houtrookpieken plaatsvinden op een kortere tijdschaal. Daarom is het Samen Meten-dataportaal in 2024 aangepast om ook 5-min-data weer te geven. Dit kan in de toekomst worden gebruikt om onderzoek te doen naar de detectie van lokale bronnen, als houtstook met behulp van sensordata. Op deze manier vormt de input van meetprojecten ook weer het RIVM-onderzoek en de functionaliteit van de Samen Meten- infrastructuur.

3.3.4 Vertrouwen in monitoring en overheidsinstellingen

Samen Meten kan ook bijdragen aan groeiend vertrouwen in de conclusies van officiële onderzoeksinstituten als het RIVM. Hoewel het vertrouwen van Nederlanders in de wetenschap en andere instituties over het algemeen hoog is én groeiend [59, 60], is er in het domein van milieumonitoring een groeiend wantrouwen waarbij men het gevoel heeft dat officiële instanties niet voor hun belangen opkomen [61]. Citizen science wordt hierbij gezien als een belangrijke mogelijkheid om dit vertrouwen te herstellen [61].

Daarom zorgen we ervoor dat alle metingen openbaar beschikbaar zijn op het Samen Meten-dataportaal en dat onderzoekers beschikbaar zijn voor vragen. Uit onderzoek blijkt bijvoorbeeld dat het voor deelnemers, zoals boeren die meededen aan het RIVM-onderzoek *Boeren en Buren*, belangrijk is om te kunnen nagaan of er niet ‘geknoeid’ is met hun metingen [58]. Doordat ook ruwe sensordata beschikbaar zijn, is het effect van bijvoorbeeld de kalibratie na te gaan. Dit zorgt ervoor dat het meetproces geen ‘black box’ is, waardoor het moeilijk is om te begrijpen wat er met alle data gebeurd is. Dit blijkt ook uit een ander citizen science-onderzoek met geluidmetingen [19]. Deelnemers in dit onderzoek hechtten veel waarde aan de mogelijkheid om de geluiddata te controleren, om zo direct geluidevenementen te controleren en te herkennen op het Samen Meten-platform. Zeker aan het begin van het onderzoek werd dit veel gedaan.

Daarnaast zijn Samen Meten-projecten een goede manier om lokale vragen en zorgen serieus te nemen. De officiële monitoring kan indicatoren gebruiken, die niet overeenkomen met de ervaring van bewoners. Jaargemiddelde fijnstofgemiddeldes kunnen bijvoorbeeld onder de norm scores, terwijl er wel veel overlast wordt ervaren van bijvoorbeeld houtrookpieken, of pieken door industriële uitstoot. Dit geldt ook voor geluid, waarbij men geen last heeft van een gemodelleerd jaargemiddelde, maar van geluidspieken van bijvoorbeeld overvliegende vliegtuigen. Het is daarom belangrijk om deze lokale kennis en ervaring mee te nemen als relevante bron van kennis en informatie. Dit sluit aan bij wetenschappelijk onderzoek dat laat zien dat alleen *betrouwbare kennis* vaak niet voldoende is om maatschappelijke problemen op te lossen, maar dat kennis gezamenlijk, in de juiste sociale context, moet worden geproduceerd om maatschappelijk te worden geaccepteerd [62]. In de tussentijdse evaluatie van het burgermeetproject *Hollandse Luchten* blijkt dan ook dat meerdere deelnemende partijen de combinatie van wetenschappelijke en lokale kennis als ‘waardevol’ ervaren [57].

Tegelijk is citizen science of Samen Meten geen wondermiddel. Zeker in situaties waarbij er veel partijen zijn met tegengestelde belangen, helpt het samen meten onvoldoende om tegenstellingen te overbruggen, maar kan het wel bijdragen aan een beter begrip (zie Vegt et al. (2023) [58]). Het blijft dus belangrijk om vooraf verwachtingen duidelijk te hebben.

In de praktijk zien we daarnaast ook meer bekendheid met, en waardering voor, de officiële luchtkwaliteitsmetingen, omdat deze als referentie worden gebruikt voor de sensormetingen. Daarmee kunnen burgers zelf onderzoeken of hun sensor kit het goed doet. Dit sluit ook aan op de behoefte van mensen, die regelmatig vragen stellen tijdens bewonersavonden over de kwaliteit van de metingen. Deelnemers krijgen ook suggesties voor verklaringen voor hoge metingen, zoals hoge luchtvochtigheid of mist. Opvallend daarbij is dat deelnemers zich deze kennis snel eigen maken en vervolgens aan nieuwe deelnemers uitleggen wat er aan de hand was, bijvoorbeeld op het Samen Meten-forum.

In recent onderzoek onder twaalf burgerinitiatieven naar de interacties tussen RIVM en deze burgerinitiatieven komt een positief beeld over Samen Meten naar voren. Burgerwetenschappers zijn enthousiast over de mogelijkheden van het platform, vooral ook als manier om contact met RIVM te onderhouden. Specifiek wordt hier de jaarlijkse communitydag genoemd. Burgermeetinitiatieven waarvan geen data worden getoond op het Samen Meten-dataportaal – omdat ze geen geluid of luchtkwaliteit meten – zouden graag gerepresenteerd worden op het Samen Meten-platform. Hieruit blijkt dat de open, tweezijdige manier van samenwerken bijdraagt aan het vertrouwen in een instituut als het RIVM. Het geeft de potentie weer van een platform als Samen Meten voor meerdere beleidsterreinen [63].

3.3.5 Nieuwe inzichten voor beleid

Burgerwetenschap levert nieuwe inzichten voor beleid. De lokale en gedetailleerde metingen kunnen problemen aan het licht brengen die nog niet bekend waren. Burgermetingen kunnen aanleiding zijn om officiële metingen te doen op een bepaalde locatie. Daarnaast kunnen inwoners meedenken over mogelijke oplossingen voor de milieukwesties. Zo sluiten beleidsmaatregelen beter aan bij de behoeften van bijvoorbeeld een wijk, waardoor ze effectiever en duurzamer zijn en meer draagvlak hebben. In Tekstbox 4 staat een voorbeeld over de gemeente Maastricht die samen met inwoners én metingen kleine interventies heeft gedaan waardoor de plaatselijke luchtkwaliteit verbeterde.

Tekstbox 4. Nieuwe beleidsinzichten in de Gemeente Maastricht

De gemeente Maastricht richtte in 2017 en drie jaren daarna een NO₂-buisjesmeetnet in voor de bewoners voor bewustwording en om naar luchtkwaliteit knelpunten te zoeken: ‘Een neus voor luchtkwaliteit’. NO₂ is een goede indicatie voor uitlaatgassen van verkeer. De gemeente gebruikte het initiatief ook om in gesprek te gaan met de deelnemers over waarover zij vragen hadden of waarover zij zich zorgen maakten. Naar aanleiding van de metingen bij een bushalte in de buurt heeft de gemeente aanpassingen kunnen doen aan de bushalte. Het bleek dat er hoge NO₂-waarden bij de bushalte waren, omdat de bus de weg half blokkeerde. Hierdoor ontstond er een rij van stilstaande auto's die wachtten op de bus. Door de bushalte te verlengen, hoefde de bus de weg niet meer te blokkeren en daalden de NO₂-concentraties.

In veel gevallen is de opbrengst van citizen science voor beleid nog vooral een belofte. Een systematische, internationale review naar het gebruik van citizen science-data voor beleid, laat zien dat het gebruik van citizen science-data in beleid nog beperkt is [64, 65]. Ook sensordata worden op dit moment nog niet gebruikt in de officiële luchtkwaliteitsmonitoringsrapporten van het RIVM (zie hoofdstuk 2). Dit komt onder andere omdat er nog geen breed geaccepteerde manier is van het beoordelen van de kwaliteit van sensordata. En omdat veel monitorings- en beleidscycli niet ingericht zijn op het meenemen van burgerdata. Aan de andere kant wordt uit deze review ook duidelijk dat beleidsmakers de kansen van burgeronderzoek nog veel te weinig gebruiken om hun eigen beleid vorm te geven. En dat er nog veel kansen liggen om beleid en dataverzameling door burgers beter op elkaar af te stemmen [65]. Verschillende Europese projecten, waaronder het more4nature-project waarbij het RIVM betrokken is [66], richten zich specifiek op het gebruik van citizen science-data voor beleid (zie ook pagina 43). De verwachting is dan ook dat burgerdata bij het monitoren van de leefomgeving een steeds grotere rol gaan krijgen, zeker op Europese schaal (zie ook hoofdstuk 4).

3.3.6 Signalering

Een belangrijk vraagstuk bij lokale citizen science-initiatieven is in hoeverre het RIVM als Rijkskennisinstelling dit zou moeten faciliteren. Het gaat immers om een ander schaalniveau. Hoewel het goed is om lokale kennis en expertise mee te nemen bij het opstellen van landelijke rekenmodellen, is het bijvoorbeeld niet mogelijk om

in elke lokale context aanwezig te zijn. Het is daarom belangrijk om een juiste balans te zoeken tussen (lokale) relevantie, de schaalbaarheid van een onderzoek, en de meerwaarde van een citizen science-aanpak. In het recente RIVM-rapport over het burgermeetnetwerk in America wordt hierbij uitgebreider stilgestaan [19]. Tegelijkertijd geven veel citizen science-projecten inzichten die op landelijk niveau van waarde kunnen zijn. Projecten over geluidshinder laten zien dat de geluidsnormen, en de hierbij gehanteerde indicatoren, vaak niet overeenkomen met de ervaren hinder. En/of dat de huidige wet- en regelgeving zo complex is, dat ze tot frustratie bij burgers leidt [19]. In coronatijd werd al snel duidelijk dat er veel zorgen in het landelijk gebied leefden rondom luchtkwaliteit en COVID-19. Deze waren zelfs zodanig dat in verschillende gemeenten binnen enkele weken een grootschalig netwerk van sensoren werd opgebouwd in de gemeente Meierijstad (zie Tekstbox 5).

Tekstbox 5. Samen Meten Meierijstad

Samen Meten Meierijstad is een bottom-up community die ontstond op het Brabantse platteland tijdens de coronapandemie. Bewoners vroegen zich af of het relatief grote aantal COVID-19-slachtoffers in Brabant iets te maken kon hebben met de slechte luchtkwaliteit. Ook viel het ze op dat veel officiële meetstations voor luchtkwaliteit zich rondom grote steden bevonden. Ze besloten daarom om zelf een meetnet op te zetten en keken op het Samen Meten-kennisportaal hoe ze dat het beste konden aanpakken. De kick-off vergadering is in zijn geheel terug te kijken op YouTube en biedt een mooi inkijkje in hoe bottom-up citizen science tot stand komt. Drie maanden na de kick-off vergadering, en met een kleine subsidie van de gemeente, had Meierijstad een meetnet van zo'n 80 Sensor.Community-sensorkits. Bij het verkrijgen van de subsidie had het geholpen dat in de plannen vermeld kon worden dat de methode van het RIVM werd gevolgd.

Dit soort signalen zijn waardevol om mee te nemen bij het vormen van (nieuw) beleid. Juist de aanwezigheid in verschillende lokale projecten en contexten maakt dat deze signalen beter opgehaald kunnen worden. Het is hierbij zaak om in goede afstemming te bepalen welke lokale projecten meerwaarde bieden voor deelname van het RIVM.

3.4 Conclusie participatieve waarde Samen Meten

Samen Meten heeft een faciliterende rol voor lokale en regionale citizen science-initiatieven en schept een aantal randvoorwaarden om te meten aan de leefomgeving. Daarbij zijn de data die worden gegenereerd door inwoners essentieel om Samen Meten vorm te geven en data zijn daarmee verbindend tussen alle initiatieven. Daarnaast is ook verbinding nodig tussen verschillende partijen, om de data te duiden en de data te gebruiken voor lokale milieuvragen. Dit is de participatieve waarde van Samen Meten. Samen Meten biedt daarmee zowel een technische, als een sociale infrastructuur waarbij verschillende partijen een community vormen.

Door burgers te betrekken bij het meten van de leefomgeving, bevordert Samen Meten de bewustwording over zowel de lokale milieukwaliteit als de complexiteit van het meten ervan. Deze betrokkenheid stimuleert een inhoudelijke dialoog over het creëren van een gezonde leefomgeving en levert maatschappelijk relevant onderzoek dat direct voortkomt uit de behoeften van de community. Onderzoek laat daarbij zien dat het proces om te komen tot beleid belangrijk is voor het maatschappelijk vertrouwen. Samen Meten biedt kansen om juist dit proces op een gelijkwaardige wijze vorm te geven, met aandacht voor de lokale context. In beleidsvorming wordt nog weinig gebruikgemaakt van de kansen die citizen science hiervoor biedt, terwijl overheden zich in toenemende mate tot citizen science zullen moeten verhouden [67]. Op deze manier kan ook het vertrouwen in monitoringprocessen en overheidsinstellingen versterkt worden door transparantie en gezamenlijke inspanningen. Daar komt bij dat citizen science waardevolle beleidsinzichten kan genereren, en signalering van lokale aspecten die ook relevant zijn op nationale schaal. Op de lange termijn kunnen deze uitkomsten bijdragen aan doeltreffende milieubeleidsmaatregelen en een gezonde leefomgeving.

4 Samen Meten als infrastructuur

In dit hoofdstuk richten we ons specifieker op de voordelen van een *infrastructuur* voor burgermetingen. We staan ook stil bij een aantal relevante ontwikkelingen voor Samen Meten. We gebruiken hiervoor, naast onze eigen inzichten, ook de resultaten uit een stakeholderonderzoek, dat is uitgevoerd onder lokale samenwerkingspartners.

4.1 De waarde van een nationale infrastructuur

In de afgelopen jaren is er met Samen Meten een nationale infrastructuur voor burgermetingen van de leefomgeving opgebouwd. Deze infrastructuur is ontstaan doordat centrale oplossingen zijn ontwikkeld die burgerinitiatieven en het RIVM helpen bij het verzamelen en duiden van sensordata. De data-infrastructuur die zo ontstaan is, is hierbij met name geschikt voor geautomatiseerde tijdreeksen (lees: sensordata). Op dit moment wordt de Samen Meten-infrastructuur vooral gebruikt voor het ontsluiten van sensordata op het gebied van luchtkwaliteit en geluid, en in mindere mate voor waterkwaliteit. Theoretisch is het mogelijk om allerlei sensorreeksen via deze data-infrastructuur te ontsluiten. Zo wordt er ook gewerkt aan het verzamelen van trillingsdata van spoor, en geëxperimenteerd met data over bodemvocht en temperatuur in het project Pientere Tuinen [68].

4.2 Onderzoek onder lokale samenwerkingspartners

Naast burgerinitiatieven maken veel projecten van lokale overheden gebruik van de Samen Meten-infrastructuur. Om de waarde van de Samen Meten-infrastructuur voor onze lokale samenwerkingspartners beter in beeld te krijgen, hebben we een verkennend vragenlijstonderzoek uitgevoerd. Doel van dit onderzoek was om de belangrijkste elementen van Samen Meten voor meetprojecten te identificeren, op te halen waar samenwerkingspartners kansen voor doorontwikkeling zien, en welke relevante ontwikkelingen zij zien voor Samen Meten. Met dit doel wordt ook voor onze opdrachtgever IenW duidelijk welke rol de Samen Meten-infrastructuur speelt in het bredere landschap van burgermeetinitiatieven. In Bijlage 2 is een uitgebreide samenvatting van het stakeholderonderzoek beschikbaar. In dit hoofdstuk zullen we het onderzoek gebruiken om de voordelen van een nationale infrastructuur, en relevante ontwikkelingen voor deze infrastructuur verder in te kleuren.

4.3 Voordelen van een nationale infrastructuur voor burgermetingen

Een nationale infrastructuur voor burgermetingen van de leefomgeving, specifiek op het terrein van luchtkwaliteit en geluid, biedt de volgende voordelen:

- **Het voorkomt versnippering en vergemakkelijkt duiding van burgerinitiatieven.** Veel burgerinitiatieven zijn divers in ontstaan, wijze van organisatie, continuïteit, en de wijze waarop ze luchtkwaliteit meten. Dit zorgt voor uitdagingen bij de interpretatie en duiding van de data waarmee burgerinitiatieven komen. Door deze burgerinitiatieven zoveel mogelijk te faciliteren met een nationale infrastructuur, wordt versnippering voorkomen. Het heeft namelijk voordelen om je aan te sluiten bij het Samen Meten-dataportaal, omdat sensordata gekalibreerd worden, er analysetools beschikbaar zijn, en je data kunt vergelijken met die van andere initiatieven en met officiële metingen. Het heeft ook duidelijk zin om met bepaalde sensoren luchtkwaliteit te meten op het moment dat deze sensoren door het RIVM gekalibreerd worden. Hierdoor behouden burgerinitiatieven autonomie over hun eigen project, maar kunnen ze wel ervoor kiezen om gebruik te maken van de Samen Meten-infrastructuur. Het RIVM kan makkelijker vanuit een landelijke rol de waarde van de data van deze initiatieven duiden, voor lokale overheden, maar ook voor de landelijke overheid. In de praktijk werkt dit ook zo. Voorbeelden hiervan zijn onder andere www.knowyourair.net van de firma SODAQ. In afstemming met het RIVM is voor dit dataportaal dezelfde legenda gekozen als het Samen Meten-dataportaal. Op deze manier werken we aan consistente informatie over luchtkwaliteit in Nederland.
- **Schaalbaarheid van data en *good practices*.** Een belangrijk voordeel van een nationale infrastructuur is dat goed werkende sensoren, en manier van werken, schaalbaar zijn. Door de DIY-sensors van Sensor.Community, en de lokale inzet van de Rijksuniversiteit Groningen, was het bijvoorbeeld mogelijk om binnen enkele maanden vrijwel alle postcodegebieden in Noord-Nederland van een luchtkwaliteitssensor te voorzien. Hierdoor heeft Noord-Nederland nu een goed dekkend netwerk aan sensoren, die het RIVM vervolgens weer gebruikt in de kalibratie van andere sensoren in Noord-Nederland (zie Tekstbox 6).

Tekstbox 6. Onze Lucht zet Noord-Nederland op de kaart

[Onze Lucht](#) is een citizen science-initiatief dat is opgezet door de Universiteit van Groningen. Het heeft als doel om in de provincies Groningen en Friesland per postcodegebied een sensorkit onder te brengen bij een burgerwetenschapper. De deelnemers bouwden de Sensor.Community-sensorkit met de hulp van studenten op een bouwworkshop. Veel gemeentes subsidieerden de sensorskits, en Dagblad van het Noorden en de Leeuwarder Courant besteedden aandacht aan het initiatief. Later kwam ook de provincie Drenthe er nog bij. Het lukte Onze Lucht inderdaad om heel veel mensen te interesseren om mee te doen en Noord-Nederland letterlijk op de kaart te zetten. In Noord-Nederland zijn er weinig officiële meetpunten – in heel Noord-Nederland zijn het er maar drie. Juist daarom wilden veel mensen meedoen: misschien is de luchtkwaliteit wel heel slecht, als je dat niet meet, weet je het niet. Onze Lucht laat in ieder geval zien dat met de juiste aandacht en een klein beetje subsidie er heel snel een sensormeetnetwerk is op te zetten.

Ook onze lokale samenwerkingspartners benoemen dit aspect van schaalbaarheid:

“RIVM kan met kennis en platform een sterke landelijke basis vormen voor citizen science. Lokale partners kunnen die rol niet vervullen, maar kunnen wel adviseren, analyseren.”

- **De Samen Meten-infrastructuur biedt netwerkeffecten.**

Een netwerkeffect is het effect dat ervoor zorgt dat de waarde van een platform stijgt, naarmate er meer gebruikers zijn. Dit is ook het geval bij Samen Meten. De kwaliteit van de kalibratie stijgt met het aantal sensoren en hiermee stijgt de waarde voor alle andere gebruikers. Uiteindelijk kan dit ertoe leiden dat projecten en initiatieven zich automatisch gaan aansluiten op de Samen Meten-infrastructuur vanwege de meerwaarde van de infrastructuur. Investerings in de infrastructuur blijven dan noodzakelijk, maar nieuwe functionaliteiten kunnen dan mede door andere partijen worden ontwikkeld. In de praktijk zijn deze netwerkeffecten al ontstaan

doordat projecten van lokale overheden zich bijvoorbeeld ook bij Samen Meten aansluiten. Zo financiert de provincie Zuid-Holland bijvoorbeeld het Samen Meten-forum als een manier om initiatieven in de provincie aan elkaar te verbinden, maar ook om breder Samen Meten-activiteiten in heel Nederland te faciliteren en om informatie en kennis vanuit andere initiatieven te krijgen. Andere projecten, bijvoorbeeld Hollandse Luchten van de provincie Noord-Holland of het project Snuffelfiets van de provincie Utrecht, hebben ook bijgedragen aan het ontwikkelen van nieuwe functionaliteiten op het dataportaal.

- **Flexibiliteit: Opstarten van nieuwe citizen science-projecten/burgermeetnetwerken op andere dossiers kent lagere kosten.** In de afgelopen jaren is de Samen Meten- infrastructuur al gebruikt voor andere lenW-beleidsdossiers. Voorbeelden hiervan zijn de pilots in het kader van het Schone Lucht Akkoord, en het meten van geluid met omwonenden in het kader van PAMV [2]. De opstartkosten van deze projecten zijn laag, met name aan de datakant, omdat er al veel kennis is opgebouwd over sensoren en het aansluiten van de sensoren vrijwel geen extra investeringen kost.
- **Een manier om samenwerking met burgerwetenschappers serieus te nemen en tweezijdig vorm te geven.** Uit recent onderzoek onder twaalf burgermeet-initiatieven blijkt dat burgerwetenschappers erg positief staan ten opzichte van een platform als Samen Meten [63]. Het geeft hun namelijk toegang tot RIVM-onderzoekers die met hun eigen onderzoek kunnen meedenken, maar ook manieren om hun data landelijk onder de aandacht te brengen. Juist door de data-infrastructuur én de community-elementen die Samen Meten kent, kan deze samenwerking langdurig aangegaan worden. Hierbij kan Samen Meten fungeren als een 'neutrale plek', waar zowel onderzoekers die op landelijke schaal opereren, als burgerwetenschappers met lokale kennis elkaar ontmoeten. Daarbij kunnen partijen verschillende doelen hebben, maar kan gezocht worden naar een gezamenlijk belang: namelijk goede metingen.
- **De Samen Meten-infrastructuur vertegenwoordigt een waarde van enkele miljoenen euro's.** Op dit moment krijgt het RIVM de sensordata van ongeveer 3.500 sensoren binnen. De waarde van deze sensoren alleen is ongeveer 1 miljoen aan hardware. Veel sensoren worden operationeel gehouden door vrijwilligers. Het is geen optie om dit centraal te organiseren of te financieren. Hierdoor is de totale financiële waarde die de Samen Meten-infrastructuur vertegenwoordigt zeker enkele miljoenen.

4.4 Relevante ontwikkelingen voor Samen Meten

Hieronder bespreken we een aantal relevante ontwikkelingen voor Samen Meten. Deze zijn gebaseerd op signalen vanuit de verschillende projecten waarbij het RIVM betrokken is, en op het stakeholderonderzoek dat is uitgevoerd onder onze lokale samenwerkingspartners.

4.4.1 Meer metingen

Er is een toenemende vraag naar metingen van de leefomgeving. Dit komt ook duidelijk naar voren uit het stakeholderonderzoek en we zien dit ook terug in onze projecten. Hierbij worden metingen vooral gezien als aanvulling op modellering. We horen bijvoorbeeld vaak dat houtstook meer gemeten moet worden, omdat de modellen nooit kunnen ‘weten’ of een bewoner zijn houtkachel wel of niet aanheeft. Ook in discussies rondom stikstof, die raken aan het meten van luchtkwaliteit in Nederland, is er een toenemende roep om meer metingen. Burgermetingen zouden hieraan gedeeltelijk invulling kunnen geven. Met name als aanvulling op het kwalitatief hoogstaande luchtmeetnet, kunnen sensoren dingen die het luchtmeetnet niet kan: op hoge ruimtelijke en temporele resolutie meten.

4.4.2 Een groeiende doelgroep

Vaak trekt burgerwetenschap eerst de technisch geïnteresseerde, wat oudere, inwoners. Naarmate een community echter groter wordt, komen er ook anderen op af. Bijvoorbeeld mensen met een gezondheidsvraagstuk, van mensen met zelf een gezondheidsprobleem tot ouders die bezorgd zijn voor hun kinderen. Ook heeft dit te maken met de manier van communicatie. We zien dat verschillende communities meer vragen gaan stellen over participatie, inclusie, en communicatie, juist als de technische infrastructuur op orde is. Bij het Europese project CitiObs wordt aan deze socio-technische combinatie in het bijzonder aandacht besteed [69]. Er wordt technische infrastructuur ontwikkeld op Europees niveau, maar ook toolboxes om de community te versterken en te verbreden.

4.4.3 Van luchtkwaliteit naar meerdere thema's

In dit rapport hebben we ons voornamelijk gefocust op luchtkwaliteit. Dit komt omdat er voor luchtkwaliteit al snel redelijk goede en betaalbare sensoren beschikbaar zijn. Ook is het makkelijker om luchtkwaliteitssensoren met elkaar te vergelijken, omdat met name fijnstof niet al te grote lokale variaties kent. We hebben ons in dit rapport

ook alleen gericht op stationaire sensoren. In de afgelopen jaren zijn er ook meer mobiele sensoren beschikbaar gekomen, bijvoorbeeld voor het project *Snuffelfiets*. Deze sensoren worden op een fiets geplaatst en meten continu de luchtkwaliteit. Ze worden ook ingezet in het lespakket van GLOBE voor middelbare scholieren. Verwacht wordt dat er in 2025 rond de 1.000 van deze sensoren beschikbaar komen. Dit vraagt nieuwe manieren om de data te kalibreren en eventueel mee te nemen in andere (officiële) producten.

Inmiddels zijn er ook sensoren beschikbaar om geluid te meten (inclusief hardware, goede dataconnectiviteit, et cetera), en om waterkwaliteit te meten. Samen Meten haakt hierop aan door ook geluid op het dataportaal te tonen, expertise te delen over het meten van geluid, burgerwetenschappers die geluid meten samen te brengen, en onderzoek te doen naar de kwaliteit van de geluidmeters [18]. In de afgelopen jaren zijn er dan ook verschillende citizen science- onderzoeken naar geluid (beleving) geweest, zowel door het RIVM zelf gefinancierd (Burgermeetnetwerk America [19]), als binnen bredere opdrachten vanuit het ministerie van IenW (zoals binnen de opdracht Programmatische Aanpak Meten Vliegtuig Geluid [2]). Tot slot heeft het Samen Meten-dataportaal als uithangbord gefungeerd voor de Nationale Geluidmeetdag. Een dag waarop bijna 3.000 mensen geluid hebben gemeten in hun nabije leefomgeving ²³.

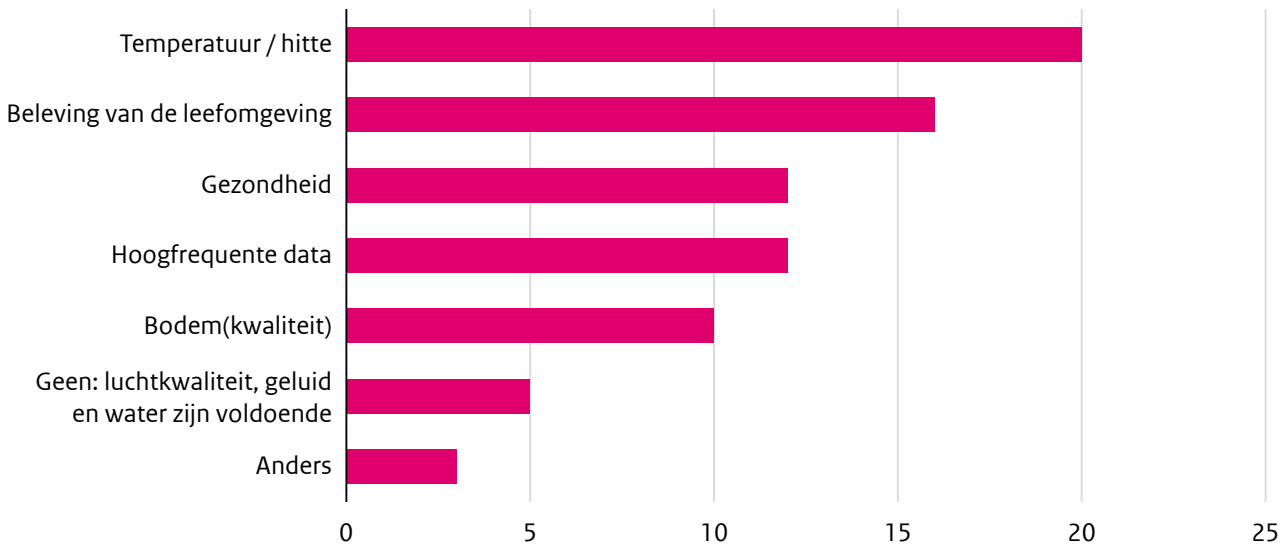
Verder is er interesse in het meten van bodemvocht (Pientere Tuinen), verkeer (Telraam) en temperatuur (bijvoorbeeld MeetJeStad). Een belangrijke vraag voor de toekomst van Samen Meten is dan ook in welke mate we ook deze metingen kunnen en willen faciliteren. Uit het stakeholderonderzoek onder lokale samenwerkingspartners blijkt dat hittestress/temperatuur de belangrijkste burgermetingen zijn die stakeholders ook op het Samen Meten-dataportaal willen hebben (Figuur 14). Hiervoor wijst men op het toenemend belang van klimaatadaptatie en bijvoorbeeld de mogelijkheid om maatregelen op het gebied van groen en blauw te kunnen beoordelen.

De vraag naar meer metingen én op andere (milieu) parameters onderstreept de integraliteit van maatschappelijke opgaven, en dus ook het belang van verschillende metingen. De traditionele, hoogwaardige maar domeinspecifieke monitoring voorziet daarom ook maar ten dele in een behoefte, en is aan te vullen met burgermetingen.

²³ [Nationale Geluidmeetdag groot succes | Samen meten](#)

Figuur 14. Vraag uit stakeholderonderzoek naar de behoefte aan meer en/of andere metingen op het Samen Meten-dataportaal

Aan welke metingen heb je nog meer behoefte?



4.4.4 Beleving van de leefomgeving

Naast milieufactoren die je kunt meten met een sensor, is er steeds meer vraag naar het in kaart brengen van beleving en toevoegen van zelf-gerapporteerde data bij de interpretatie van sensordata. Ook dit komt duidelijk naar voren uit het stakeholderonderzoek.

“Beleving zou een mooie informatiebron zijn voor ruimtelijke ordening en kan voor meerdere onderzoeken bruikbaar zijn, aangezien in leefomgeving-gezondheidsonderzoek tot dusver vooral naar fysieke omgevingsaspecten wordt gekeken.”

De laatste jaren groeit de aandacht voor beleving van de leefomgeving, als aanvulling op het meten van de leefomgeving. Dit heeft toegevoegde waarde op twee manieren. Ten eerste creëert de beleving, of de waarneming, een context om metingen te interpreteren. Zonder waarnemingen, is de interpretatie van bepaalde resultaten lastig. Als er een hoge waarde wordt gemeten, kan dit allerlei oorzaken hebben, zoals een lokale bron of een incident, waarop alleen lokale inwoners zicht hebben.²⁴ Ten tweede komt de beleving van inwoners niet altijd overeen met de gemeten of berekende waarden.

²⁴ Zie bijvoorbeeld: [Hollandse Luchten | Verslag: Data-analyse bijeenkomst in Zaanstad \(hollandse-luchten.org\)](#)

Dit is bijvoorbeeld het geval bij vliegtuighinder. Waar jaargemiddelde geluidniveaus niet boven de norm uitkomen, kan de ervaren overlast substantieel zijn. Met het meten van de beleving, is te onderzoeken wanneer er overlast is en welke aspecten kunnen leiden tot hinder. Het RIVM heeft in de afgelopen jaren de RIVM- belevingapp [52] ontwikkeld. Deze app is al ingezet in het onderzoek rondom het burgermeetnetwerk in America [19], en in het onderzoek naar beleving van vliegtuiggeluid [2]. Uit dit onderzoek blijkt dat de app een doeltreffende manier is om beleving uit te vragen. De Samen Meten-infrastructuur zou, met deze app, uitgebreid kunnen worden met een meer systematische manier van het meenemen van beleving in meetprojecten. Op dit moment gebeurt dit alleen nog maar op projectbasis.

4.4.5 Van sensordata naar gezondheid

Er is een toenemende vraag van burgerwetenschappers en professionals naar het duiden van metingen voor de gezondheid. Dit speelt met name op aspecten die goed door sensoren gemeten kunnen worden, en minder aan bod komen in de langjarige monitoring, traditioneel het domein voor epidemiologische studies. Sensoren zijn goed in staat om kortdurende pieken in bijvoorbeeld fijnstof of geluidbelasting in beeld te brengen. De logische vervolgvraag is vervolgens wat dit betekent voor de gezondheid van burgers. Maken deze kortdurende pieken daadwerkelijk iets uit voor de gezondheid? Deze duiding is maar beperkt mogelijk, omdat veel epidemiologisch onderzoek gebaseerd is op representatieve gezondheidsmonitors en jaargemiddelde blootstellingen.

Sensormetingen kunnen hierbij aanvullende inzichten opleveren ten opzichte van dit onderzoek, maar de duiding hiervan is moeilijker.

Juist in de context van (kortdurende) hinder en overlast kunnen sensormetingen aanvullingen opleveren. Ook uit het stakeholderonderzoek komt de vraag om meer gezondheidskundige duiding naar voren.

“Om van data naar informatie te komen. Met data alleen ben je er zeker nog niet. De samen analyseren-tool kan daarbij hopelijk helpen. [...] Maar duiding van wat kortdurende pieken wel of niet betekenen voor gezondheid, wat ze zeggen over bronnen van afkomst, enzovoorts, is vooral ook erg belangrijk. Anders komt men niet verder t.b.v. een gezondere leefomgeving. Uitwerking van voorbeelden op de website zou dan erg behulpzaam kunnen zijn, want de GGD of het RIVM kan en zal niet altijd naast elke burger staan om die duiding voor hen te doen.”

Een andere respondent benadrukt juist dat het beter in beeld hebben van pieken en hinderbeleving ook voor meer handelingsperspectief kan zorgen, ondanks dat de gezondheidskundige duiding misschien minder vanzelfsprekend is.

“Hinder kan zijn verbonden aan pieken die gezondheidskundig niet zijn te duiden. Meer inzicht in hinder(beleving) biedt mogelijk kansen op handelingsperspectief.”

Met de komst van de Omgevingswet hebben lokale overheden meer handvatten om gezondheid expliciet en vroegtijdig mee te nemen in de ruimtelijke planvorming. Ook het opstellen en de monitoring van lokale omgevingswaarden bieden hiervoor aanknopingspunten. Een combinatie met een monitoringstrategie met behulp van sensoren kan hieraan verdere invulling geven.

4.5 Samen Meten in internationale context

Ook buiten Nederland is men volop bezig met de vraag hoe op een goede manier om te gaan met burgerwetenschap in beleid. In veel landen bloeien er burgerinitiatieven op van allerlei aard. Van groot tot klein, van top-down tot bottom-up, van langdurig tot kort, en van wetenschappelijk tot activistisch. De manier waarop nationale instituten omgaan met deze nieuwe bron van data varieert van open en enthousiast, tot een meer afwachtende, of kritische houding. De vraag om uitwisseling van kennis en om standaardisering van aanpak groeit. De Europese Commissie herkent deze behoefte en heeft in zijn HORIZON-programma hiervoor ruimte gemaakt. Vooral ook omdat de Europese Commissie de kansen ziet die citizen science biedt om mensen te laten participeren [70]. De inschatting hierbij is dat vooral de taken die de Europese Unie zich stelt op het gebied van de Green Deal, de Sustainable Development Goals, en het klimaat, niet haalbaar zijn zonder de actieve inzet van EU-burgers. Samen Meten – met een succesvolle citizen science-infrastructuur op nationale schaal – is een aantrekkelijke partner voor consortia die aan de HORIZON-calls meedoen. Het RIVM is op deze manier betrokken bij twee EU-projecten op het gebied van citizen science: CitiObs en morenature. Beide projecten versterken elkaar (zie Tekstbox 7).

Ook in de Europese en internationale context is er dus veel aandacht voor burgerdata. Op de (middel) lange termijn is het dan ook aannemelijk dat er op Europese schaal zogenoemde ‘citizen observatories’ ontstaan, waarbij burgerdata bijdragen aan het in beeld brengen van verschillende milieuaspecten, waaronder luchtkwaliteit. Samen Meten biedt kansen om hieraan bij te dragen en de standaarden mede te bepalen op Europees niveau. Op internationale schaal gelden namelijk dezelfde voordelen als op nationale schaal: door verdere samenwerking en met een op elkaar afgestemde aanpak gaan we ook op Europese schaal versnippering tegen en worden de data meer waard vanwege de toenemende hoeveelheid. Daarbij is luchtkwaliteit ook een mondiaal probleem, en niet enkel nationaal op te lossen. Ook de regelgeving is op EU-schaal geregeld; om burgerdata echt te kunnen inzetten om bijvoorbeeld de officiële rapportages te verfijnen, zijn EU-brede afspraken nodig. Juist door de opgebouwde Samen Meten-infrastructuur zijn we in staat om op Europees niveau betrokken te zijn.

Tekstbox 7. CitiObs en More4nature

CitiObs werkt aan het versterken en met elkaar verbinden van bestaande citizen-observatories/-burgerwetenschapsinitiatieven, met name (maar niet uitsluitend) op het gebied van luchtkwaliteit. Zoals hierboven gezegd, richt CitiObs zich zowel op de sociale als op de technologische kanten. Het doel is om uit te zoeken waaraan de burgerwetenschapsinitiatieven behoeften hebben en daarvoor tools aan te bieden, die zowel over technische vragen kunnen gaan (welke sensoren gaan we gebruiken? Hoe regelen we de connectiviteit?), als over sociale de kant (hoe betrekken we meer jonge mensen of diversere groepen mensen, hoe betrekken we beleidsmakers?). Samen Meten heeft veel expertise te delen, maar kan ook veel expertise binnenhalen. Hiermee kunnen we de Samen Meten-community nog meer ondersteunen.

More4nature bouwt in zekere zin voort op CitiObs, en richt zich met name op de rol die burgerwetenschappers en burgerdata kunnen hebben bij het halen van beleidsdoelen. Wat luchtkwaliteit betreft, kan het dan gaan om het creëren van een grotere bewustwording van het probleem, het zelf monitoren van het probleem, het actie voeren, en – samen met beleidsmakers – zoeken naar oplossingen van het probleem. De focus op de link met beleid en beleidsmakers sluit goed aan op de ambities van Samen Meten om de burgerdata een grotere rol te laten spelen bij producten, gericht op (nationaal, regionaal of EU) beleid. More4nature richt zich niet alleen op luchtkwaliteit, maar ook op waterkwaliteit, biodiversiteit en ontbossing. Dit biedt de kans om ook te leren van hoe citizen science een rol speelt op heel andere beleidsterreinen.

4.5.1 Conclusie infrastructuur

Dit hoofdstuk heeft laten zien dat een nationale infrastructuur voor burgermetingen op het gebied van luchtkwaliteit en geluid meerwaarde heeft, ook voor projecten die primair een lokaal karakter hebben. Het nationaal aanbieden van oplossingen en bevorderen van *best practices* leidt namelijk tot harmonisatie en standaardisatie van burgermetingen, zonder de autonomie van burgerinitiatieven aan te tasten. Dit voorkomt versnippering, vergemakkelijkt de interpretatie en duiding van deze metingen, en zorgt voor vergelijkbaarheid op nationaal niveau. De interpretatie en het handelingsperspectief blijven daarmee nog steeds een zaak van de lokale partijen, maar de dataverzameling en werkwijze zijn dan landelijk inzichtelijk. Ook op Europese schaal wordt er steeds meer geïnvesteerd in *citizen observatories*, waar burgerdata van de leefomgeving verzameld worden, met het doel deze data te laten bijdragen aan beleid, bijvoorbeeld op het gebied van de *Sustainable Development Goals* [71]. Doordat Samen Meten al bijna tien jaar ervaring heeft met het verzamelen van burgermetingen, heeft het een duidelijke en sterke positie opgebouwd, ook in Europees verband. Burgerwetenschappers en lokale samenwerkingspartners geven aan dat er behoefte is aan meer metingen van de leefomgeving, en ook op andere terreinen, waaronder hittestress en beleving van de leefomgeving. Er is dus duidelijke behoefte aan een nationale infrastructuur voor burgermetingen.

5 Conclusie

In dit rapport bespreken we de opbrengst van acht jaar Samen Meten. We stonden hierbij stil bij verschillende aspecten van Samen Meten: wat leveren sensordata op voor de *monitoring van luchtkwaliteit*, en welke opbrengst heeft ‘Samen Meten’ als we kijken naar de participatieve waarde? Tot slot hebben we gekeken naar *infrastructurele* waarde van Samen Meten, hoe onze samenwerkingspartners dit zien, en welke toekomstige ontwikkelingen relevant zijn voor deze infrastructuur. In deze conclusie vatten we de belangrijkste elementen van dit rapport samen.

5.1 Instrumenteel: Werken aan het luchtkwaliteitsnetwerk van de toekomst

In de afgelopen acht jaar zijn het aantal burgermetingen en de burgermeetprojecten sterk gegroeid. Het onderzoek naar burgermetingen met sensoren laat zien dat bestaande luchtmeetnetstations belangrijk zijn om de kwaliteit van sensordata te beoordelen en verhogen. De mogelijkheid om met sensorkits luchtmeetnet-stations te vervangen, is beperkt. Juist de combinatie van officiële metingen en sensormetingen is krachtig. De officiële stations dragen bij aan het verbeteren van de kwaliteit van sensordata, terwijl de sensormetingen aanvullende informatie kunnen opleveren ten opzichte van officiële metingen.

Op dit moment is de opname van sensordata in landelijke officiële monitoring nog niet gerealiseerd. Dit heeft onder andere te maken met de uitdagingen om met sensoren een continue kwaliteit te halen, maar ook door het ontbreken van een (wettelijk) kader hiervoor. Sensordata worden nu gebruikt in de uurlijkse luchtkwaliteitskaart op het Samen Meten-dataportaal, en dit gebruik wordt verder wetenschappelijk onderzocht en onderbouwd. De stikstofdioxidekaarten van het RIVM worden wel verbeterd met behulp van citizen science-data, waarbij vrijwilligers helpen met NO₂-buisjes verwisselen. Op dit moment wordt onderzocht of eenzelfde aanpak voor fijnstof ook zinvol is. Een fijnmaziger, – ruimtelijk en temporeel –, lokaler beeld van luchtkwaliteit is mogelijk, met name rondom grote puntbronnen (zoals industrie) of diffuse bronnen, zoals houtstook. Het is hierbij belangrijk om de unieke kenmerken van sensoren goed te gebruiken, en sensoren niet slechts in te zetten als ‘luchtmeetnet-light’. Juist de aantallen en de hoge temporele resolutie van sensoren maken dat ze de officiële metingen kunnen aanvullen met locatie-specifieke inzichten, zeker als deze gecombineerd worden met belevingswaarden van de leefomgeving. Meer onderzoek zal hierbij nieuwe toepassingen opleveren.

5.2 Participatieve waarde Samen Meten: Werken aan verbinding en vertrouwen

Naast de instrumentele opbrengst, hebben we in de afgelopen jaren gezien dat Samen Meten een verbindende rol speelt tussen burgerinitiatieven, kennisinstellingen en overheden. Door in projecten samen te meten, wordt een context gecreëerd om luchtkwaliteit én de monitoring hiervan bespreekbaar te maken, om zo te werken aan gedeeld begrip, vertrouwen in de monitoring en aan de dialoog overheid–burger. Burgerwetenschappers en onze lokale samenwerkingspartners zien én waarderen dat. Duidelijke verwachtingen over wat wel en niet kan (bijvoorbeeld over sensoren) in Samen Meten-projecten is hierbij belangrijk.

Voor het ministerie van IenW draagt dit bij aan de signalering vanuit de lokale projecten: bijvoorbeeld zorgen in het landelijk gebied over de luchtkwaliteit. Dit kwam bijvoorbeeld tot uiting rondom COVID-19 en luchtkwaliteit (zie ook pagina 38). Tot slot biedt de Samen Meten-infrastructuur burgers de mogelijkheid om actiegericht onderzoek te doen, waarbij het RIVM zijn neutrale positie als kennispartij kan behouden.

5.3 Infrastructurele waarde: Werken aan het faciliteren van burgermetingen

Als derde hebben we in dit rapport laten zien dat Samen Meten is uitgegroeid tot een nationale infrastructuur voor burgermetingen van de leefomgeving. Het biedt een oplossing voor generieke uitdagingen: dataopslag, -connectiviteit, -visualisatie en -analyse, en het zorgt voor technische innovatie op bijvoorbeeld het gebied van dataconnectiviteit. Deze innovaties worden ingezet voor andere projecten die het ministerie van IenW financiert. Zo speelt de infrastructuur bijvoorbeeld een belangrijke rol bij de uitvoering van het Schone Lucht Akkoord, door participatiepilots aan te sluiten op de al bestaande Samen Meten infrastructuur.

Een nationale infrastructuur voor burgermetingen biedt mogelijkheden om andere onderzoeksvragen op het gebied van burgermeetnetwerken, en hun rol in de uitvoering en het vertrouwen tussen burger en overheid, verder te beantwoorden (zie ook SKIA IenW [14]). Het biedt de flexibiliteit om nieuw burgeronderzoek snel aan te sluiten op bestaande landelijke structuren, en biedt hiermee kansen om bijvoorbeeld hinder rondom specifieke bronnen, of op andere onderwerpen (water, bodem, hitte)

verder in beeld te brengen. Uit het verkennend onderzoek onder lokale samenwerkingspartners blijkt dat hieraan sterk behoefte is.

Burgerwetenschappelijk onderzoek ontstaat soms uit een gebrek aan vertrouwen in de officiële monitoring. Juist het actief faciliteren van initiatieven en het aanbieden van bestaande infrastructurele oplossingen biedt kansen voor standaardisatie en harmonisatie, en daarmee duiding van data uit burgerinitiatieven, zonder de autonomie van burgerinitiatieven aan te tasten.

5.4 Tot slot

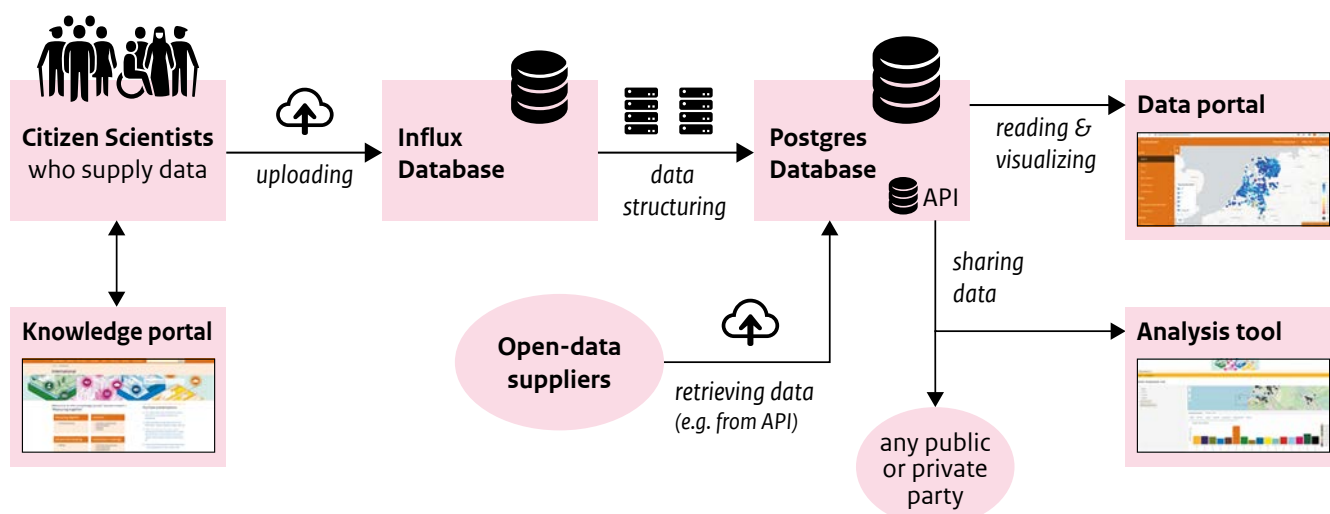
We hebben in dit rapport de instrumentele, participatieve, en infrastructurele waarde van Samen Meten uit elkaar gehaald om een helder overzicht van de opbrengst van Samen Meten te geven. Deze benadering sluit aan bij een veelgebruikt onderscheid in het begrijpen van de framing van citizen science [3]. Het is belangrijk om hier te benadrukken dat deze aspecten in de praktijk van Samen Meten onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn. Als sensordata niets opleveren voor het inzicht in luchtkwaliteit, zal de participatieve waarde hiermee ook

beperkt zijn. En zonder bestaande infrastructuur worden sensordata slechts incidenteel benut, en maakt het burgerinitiatieven onderling slecht vergelijkbaar. Het is daarom belangrijk om in projecten én in te zetten op grote aantallen sensoren, én deze goed in te bedden in lokale initiatieven.

Vanuit burgermeetinitiatieven, en onze lokale samenwerkingspartners, komt sterk de behoefte naar voren om de 'Samen Meten-infrastructuur' breder in te zetten op het gebied van andere metingen en dossiers. Met name de temperatuur/hittestress en de beleving van de leefomgeving worden hierbij vaak genoemd. Ook zaken als hinder en overlast worden regelmatig genoemd en bieden aanknopingspunten om samen met burgerwetenschappers – die lokale kennis kunnen inbrengen – productief op te trekken. Het is daarbij belangrijk om Samen Meten niet enkel als een dataproject te zien, maar als een manier om te werken aan een gezamenlijke monitoring, in een multi-stakeholdersetting. Juist de diversiteit aan partijen kan het vertrouwen in de landelijke monitoring doen toenemen. Op die manier blijven we samen werken aan het meetnetwerk van de toekomst.

Bijlage 1 Opbouw Samen Meten dataportaal

Figuur 15. Schematisch overzicht van de opbouw van de Samen Meten data-infrastructuur



Bijlage 2 Stakeholderonderzoek

Een belangrijk element van de Samen Meten-infrastructuur is dat het verschillende projecten ondersteunt, en hiermee ook de samenwerking met verschillende partners bevordert. Om ook de input van lokale samenwerkingspartners mee te nemen in dit rapport, is een verkennend vragenlijstonderzoek uitgevoerd om de belangrijkste elementen uit te vragen.

Kenmerken vragenlijstonderzoek

Voor dit vragenlijstonderzoek hebben we vragenlijsten uitgezet onder 75 personen, verspreid over 55 organisaties. Al deze personen hebben – in meer of mindere mate – een link met een Samen Meten-project en zijn dus op de hoogte van hoe Samen Meten functioneert. Het gaat hierbij om mensen die vanuit hun *professionele* rol de vragen beantwoorden. De vragenlijst is te vinden in Bijlage 3. Uiteindelijk is de vragenlijst door 32 personen ingevuld. De meeste respondenten werken voor een gemeente, gevolgd door andere organisaties, bijvoorbeeld bedrijfsleven of stichtingen, en kennisinstellingen. Slechts één respondent was nog niet betrokken bij een burgermeetinitiatief, alle andere respondenten wel. De respondenten hebben dus vrijwel allemaal ervaring met Samen Meten-projecten, en kunnen hierop goed feedback leveren.

Resultaten

Waardering van burgermeetinitiatieven

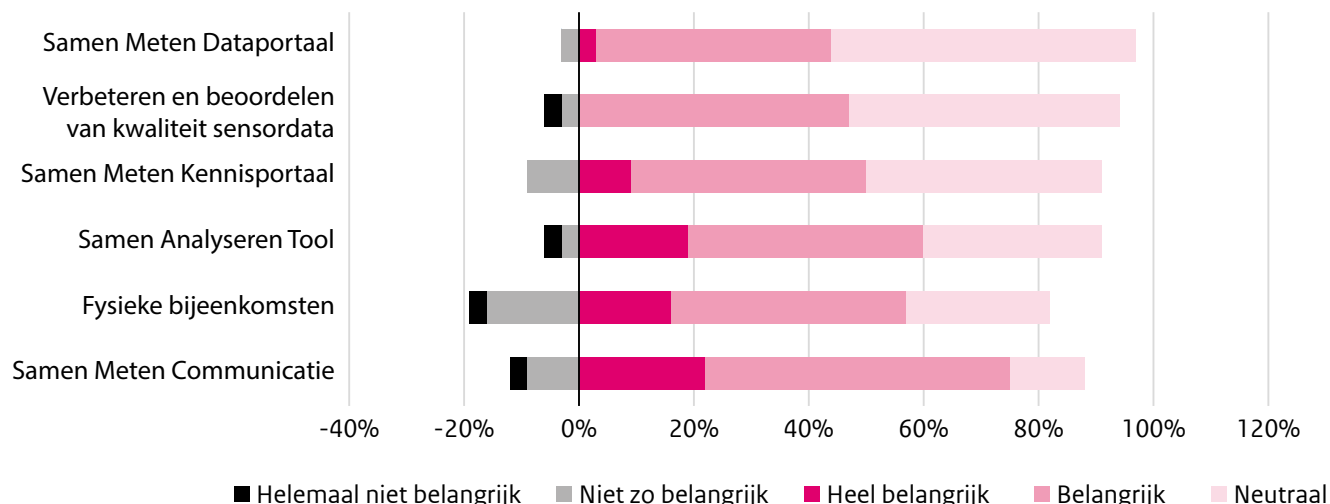
De belangrijkste positieve aspecten van burgermetingen zijn volgens de respondenten de mogelijkheid om inwoners te betrekken en de beleving van inwoners mee te nemen. Daarnaast zien veel respondenten dat inwoners zich bewuster worden van bepaalde (luchtkwaliteits) problematiek. En zien ze kansen om het handelen van inwoners te beïnvloeden door Samen Meten-projecten. Als respondenten gevraagd wordt naar waarop ze het meest kritisch zijn over de burgermetingen, geven de meesten aan dat er een gebrek aan handelingsperspectief is op basis van de data. En dat deze verwachtingen er wel vaak zijn, waardoor dit tot teleurstelling kan leiden. Verder geven meerdere respondenten aan dat de kwaliteit van de sensordata nog tegenvalt, en dat ook dit leidt tot een gebrek aan duidelijk handelingsperspectief. Tot slot noemen met name de overheden dat het 'in de lucht houden' van een burgermeetinitiatief een grote investering vraagt. En dat het in de praktijk lastig is om een citizen science-project langdurig te ondersteunen vanuit de gemeente/provincie.

Feedback op de Samen Meten-infrastructuur

We hebben de respondenten expliciet gevraagd naar de belangrijkste onderdelen van de Samen Meten-infrastructuur (Figuur 16).

Figuur 16. Respons op de vraag uit het stakeholderonderzoek naar hoe belangrijk de verschillende onderdelen van de Samen Meten-infrastructuur zijn.

Geef voor elk van deze elementen aan hoe belangrijk je deze vindt voor jouw eigen werk



Op de vraag waaraan het RIVM meer aandacht zou moeten besteden, zijn er vier categorieën die eruit springen: dataportaal, Samen Analyseren-tool, verbeteren en beoordelen kwaliteit sensordata en meer onderzoek naar de toepassing van sensoren. In de toelichting op deze vraag komt vooral naar voren dat er meer behoefte is aan duiding van de sensordata, maar ook aan informatie over wat er met de sensordata gebeurt, met name ook de gezondheidskundige duiding van pieken. Of zoals een van de respondenten zegt:

“Om van data naar informatie te komen. Met data alleen ben je er zeker nog niet. De Samen Analyseren-tool kan daarbij hopelijk helpen. [...] Maar duiding van wat kortdurende pieken wel of niet betekenen voor gezondheid, wat ze zeggen over bronnen van afkomst, enzovoorts, is vooral ook erg belangrijk. Anders komt men niet verder t.b.v. een gezondere leefomgeving. Uitwerking van voorbeelden op de website zou dan erg behulpzaam kunnen zijn, want de GGD of het RIVM kan en zal niet altijd naast elke burger staan om die duiding voor hen te doen.”

Daarnaast noemen meerdere respondenten de mogelijkheid om data van professionals en burgers in eenzelfde tooling aan te bieden. Er leeft dus, in ieder geval onder lokale professionals, een behoefte om alle data van zowel professional als burger over de leefomgeving op een toegankelijke plek te hebben. En dat het hier duidelijk is hoe deze data elkaar beïnvloeden of versterken. Verschillende respondenten geven namelijk ook aan dat het voor hen onduidelijk is hoe officiële metingen, burgermetingen en rekenmodellen met elkaar samenhangen.

Rol van het RIVM volgens lokale samenwerkingspartners
Over de belangrijkste rol van het RIVM bij burgermeetprojecten komt er in grote lijnen hetzelfde beeld naar

voren onder de respondenten: het is vooral belangrijk dat het RIVM informeert, adviseert en analyseert, en minder allerlei lokale initiatieven faciliteert of bijdraagt aan handelingsperspectief. Dat heeft een praktische reden volgens meerdere respondenten (het RIVM kan niet overal zijn), en een meer fundamentele reden: lokale overheden zijn vaak veel beter in staat om het handelingsperspectief van hun inwoners te versterken. Meerdere respondenten zien wel de waarde van een landelijk platform om initiatieven te faciliteren.

“RIVM kan met kennis en platform een sterke landelijke basis vormen voor citizen science. Lokale partners kunnen die rol niet vervullen, maar kunnen wel adviseren, analyseren.”

Dilemma's over de functie van Samen Meten

We hebben de respondenten een groot aantal dilemma's voorgelegd om zo een beter gevoel te krijgen welke factoren respondenten echt belangrijk vinden. Met andere woorden: we proberen met stellingen te achterhalen waaraan deelnemers echt prioriteit geven als ze moeten kiezen tussen twee belangrijke factoren. Er zijn twee stellingen waarmee de respondenten het uitgesproken eens zijn:

Samen Meten is vooral van waarde als het de samenwerking tussen burger en overheid verbetert.

En:

Samen Meten moet duidelijker maken aan burgers wat de uitdagingen zijn van metingen en het trekken van conclusies uit de metingen.

De stellingen waarmee de respondenten het minste eens zijn, zijn:

Samen Meten is vooral van waarde als de data wetenschappelijke inzichten opleveren.

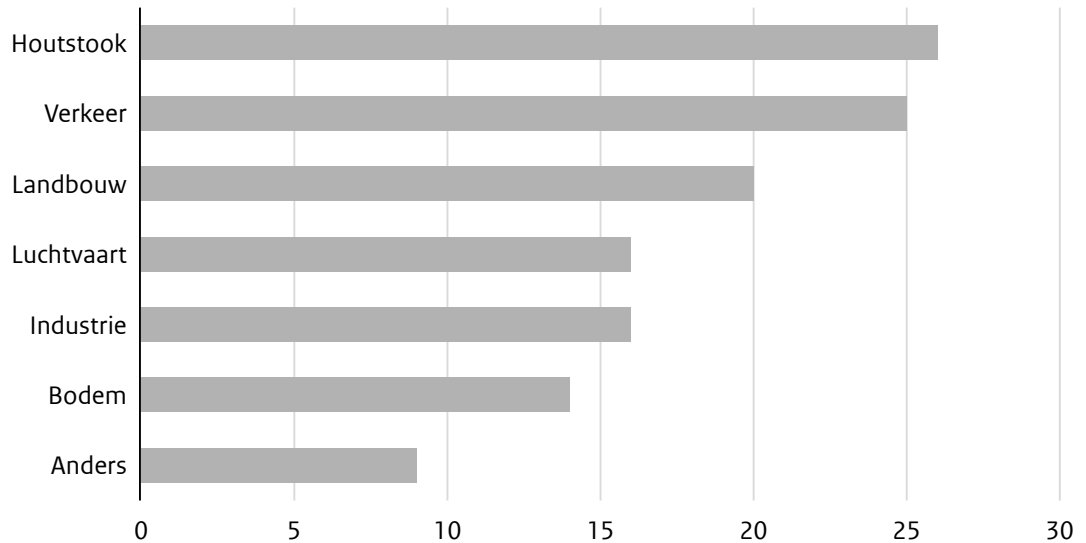
En:

Samen Meten is vooral van waarde als de metingen door overheden kunnen worden gebruikt in officiële monitoring.

Toekomst Samen Meten

Figuur 17. Respons op vraag uit het stakeholderonderzoek naar dossiers waarin burgermetingen volgens respondenten in de toekomst een rol kunnen spelen. Getallen geven absolute aantallen weer.

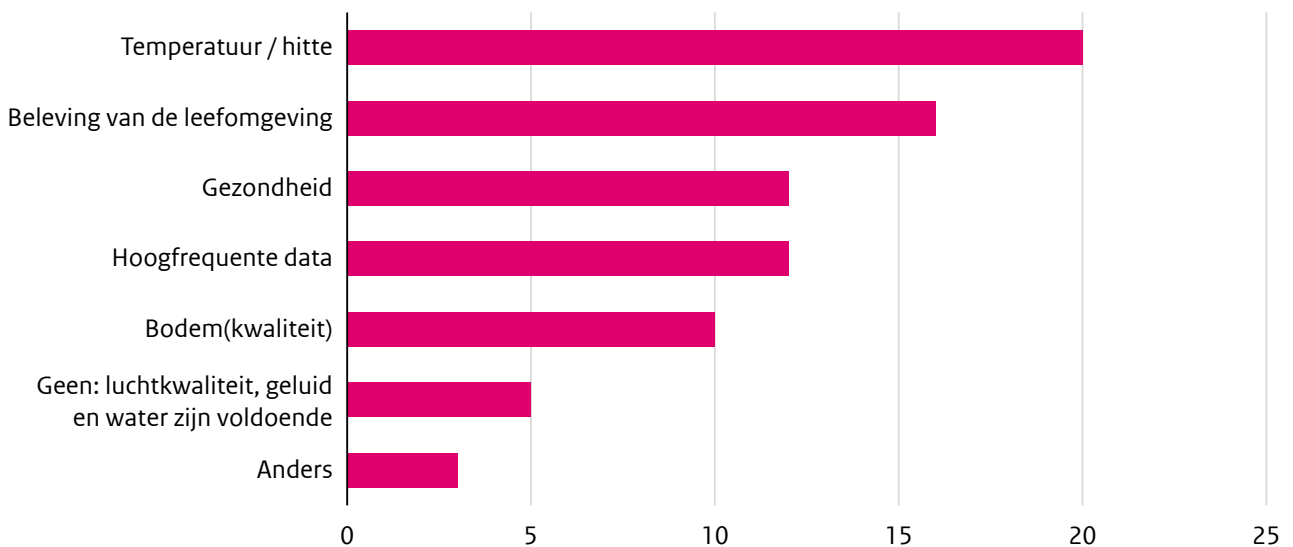
Op welke dossiers zie je toekomst voor burgermetingen van de leefomgeving?



Een soortgelijke vraag naar specifieke metingen levert het volgende beeld op:

Figuur 18. Respons op vraag uit het stakeholderonderzoek naar welk type burgermetingen in de toekomst belangrijk zijn volgens stakeholders. Getallen geven absolute aantallen weer.

Aan welke metingen heb je nog meer behoefte?



Tot slot, als gevraagd wordt naar ontwikkelingen binnen de organisatie die van belang zijn voor Samen Meten, geven redelijk wat stakeholders aan dat de relatie tussen meten en modelleren duidelijker/beter moet, en dat CS-data van

belang is in de trend naar 'meer meten'. Ook de mogelijke verbindende rol van Samen Meten als dataplatform bij het ontstaan van allerlei dataplatforms op gebied van de leefomgeving wordt vaker genoemd.

Bijlage 3 Stakeholdervragenlijst

Hieronder staat de vragenlijst zoals deze is verspreid onder onze lokale samenwerkingspartners.

Vanuit het RIVM werken we aan een rapport over Samen Meten. Als betrokkene bij Samen Meten is jouw mening belangrijk voor ons. Vertel ons hoe Samen Meten jouw werk ondersteunt en help ons om het nog beter te maken voor de toekomst. Je zou ons enorm helpen door de vragenlijst in te vullen. Dat duurt ongeveer 15 minuten.

Achtergrond Samen Meten en toelichting

Samen Meten is een programma dat sinds 2016 burgermetingen van de leefomgeving (luchtkwaliteit, water, geluid) verzamelt en duidt. Burgermetingen wordt ook wel burgerwetenschap of citizen science genoemd. Het programma wordt uitgevoerd door het RIVM in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Samen Meten bestaat uit onder andere een kennisportaal (www.samenmeten.nl), een dataportaal (samenmeten.rivm.nl), de community (inwoners die zelf meten en andere geïnteresseerden) en een onderzoekscomponent. De vragenlijst gaat over al deze onderdelen samen. Het gaat dus niet om specifieke projecten, zoals bijvoorbeeld Hollandse Luchten, Samen Meten Utrecht of de Luchtclub Rotterdam, maar om de overkoepelende infrastructuur die deze projecten ondersteunt.

Rapport en vragenlijst

In 2024 zal het RIVM een rapport opleveren over de stand van zaken van Samen Meten. Onderdeel hiervan is het in beeld brengen van het gebruik en de behoeften van samenwerkingspartners die in hun werk (mogelijk) te maken krijgen met burgermetingen van de leefomgeving. Jullie inbreng is dus zeer waardevol, omdat we graag zicht krijgen op hoe Samen Meten in de toekomst (blijvend) van waarde kan zijn.

De resultaten van dit onderzoek worden besproken met onze opdrachtgever, het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, en met een aantal burgerwetenschappers. De belangrijkste uitkomsten worden uiteindelijk in het rapport opgenomen. Alle antwoorden worden vertrouwelijk behandeld. Aan het einde is een mogelijkheid om je e-mailadres achter te laten zodat wij je eventueel kunnen benaderen voor een vervolgesprek.

Deze vragenlijst bestaat uit vier onderdelen:

1. Burgerwetenschap algemeen
2. Samen Meten op dit moment
3. Samen Meten in de toekomst
4. Gegevens respondent

Algemeen

Als eerste volgen een aantal vragen over burgerwetenschap binnen jouw organisatie en het perspectief dat jij zelf hebt op burgerwetenschap.

1. *Mijn organisatie is als stakeholder betrokken bij burgermeetinitiatieven voor de leefomgeving (meerdere antwoorden mogelijk)*
 - a. Wij hebben zelf één of meerdere initiatieven opgezet
 - b. Wij nemen deel aan één of meerdere initiatieven van andere partijen
 - c. Wij zijn (nog) niet betrokken, en zouden dit wel willen zijn
 - d. Wij zijn niet betrokken, en dat hoeft ook niet
 - e. Anders, namelijk...
2. *Wat is jouw rol daarbij?*
 - a. Open vraag
3. *Mijn organisatie maakt gebruik van data van burgermeetinitiatieven*
 - a. Ja, we gebruiken burgermeetdata
 - b. Nee, nog niet, maar zijn dit wel van plan
 - c. Nee, we gebruiken geen burgermeetdata
 - d. Anders, namelijk...
 - e. Weet ik niet
4. *Als antwoord a is ingevuld. Op welke manier gebruikt jouw organisatie de data van burgermeetinitiatieven en wat is jouw rol hierin?*
5. *Waar ben jij, vanuit jouw eigen rol, het meest positief over als het gaat om burgermetingen van de leefomgeving?*
6. *Waar ben jij, vanuit jouw eigen rol, het meest kritisch over als het gaat om burgermetingen van de leefomgeving?*
7. *Op welke manier ken jij Samen Meten vooral? (meerdere antwoorden mogelijk)*
 - a. Via het Samen Meten dataportaal
 - b. Via de Samen Meten website
 - c. De Samen Meten nieuwsbrief
 - d. Via een specifiek project
 - e. Anders, namelijk...

Samen Meten op dit moment

Nu volgen een aantal vragen over Samen Meten van het RIVM. Het gaat om jouw eigen ervaringen over Samen Meten zoals het op dit moment is. We beschrijven hieronder een aantal elementen waar we feedback op zouden willen hebben:

1. Het **Samen Meten Dataportaal** (<https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal/>). Hier vind je alle burgermetingen van luchtkwaliteit, geluid en water.
2. Het **Samen Meten Kennisportaal** (www.samenmeten.nl). Dit is de website waar je onder andere informatie vind over het zelf meten van de leefomgeving en initiatieven in de buurt.
3. **Samen Meten Communicatie**, zoals de nieuwsbrief (elk kwartaal) met nieuws en oproepen op het gebied van Samen Meten, het Samen Meten Forum en sociale media (bijvoorbeeld het Youtube of X kanaal).
4. **Fysieke bijeenkomsten**, zoals aanwezigheid op bewonersavonden of de jaarlijkse Participatiedag.
5. **Samen Analyseren Tool** (<https://analyseren.samenmeten.nl>). Hiermee kan iedereen zelf data analyseren op project- of gemeenteniveau.
6. **Verbeteren en beoordelen kwaliteit van sensordata**, bijvoorbeeld door het ontwikkelen van landelijke kalibraties van sensoren en het toevoegen van een plausibiliteitsscore aan de sensoren op het dataportaal.
7. **Onderzoek naar toepassing van sensoren**, bijvoorbeeld naar het opnemen van sensordata in de (landelijke) monitoring en naar de mogelijkheden van sensordata om lokale bronnen te herkennen.
8. *Geef voor elk van de bovenstaande elementen aan hoe belangrijk je deze vindt voor jouw eigen werk (allemaal op 5 puntenschaal van belangrijkheid en "weet ik niet").*
 - a. Het Samen Meten Dataportaal
 - b. Het Samen Meten Kennisportaal
 - c. Samen Meten Communicatie
 - d. Fysieke bijeenkomsten
 - e. Samen Analyseren Tool
 - f. Verbeteren en beoordelen kwaliteit van sensordata
 - g. Onderzoek naar toepassing van sensoren
9. *Welke elementen zijn het meest belangrijk voor jouw eigen werk? Geef waar mogelijk concrete voorbeelden.*
 - a. Open antwoord

10. Geef voor elk van de bovenstaande elementen aan hoe belangrijk je deze vindt voor burgers geïnteresseerd in het meten van de leefomgeving (allemaal op 5 puntenschaal “niet belangrijk ...heel erg belangrijk”, en “weet ik niet”).
- Het Samen Meten Dataportaal
 - Het Samen Meten Kennisportaal
 - Samen Meten Communicatie
 - Fysieke bijeenkomsten
 - Samen Analyseren Tool
 - Verbeteren en beoordelen kwaliteit van sensordata
 - Onderzoek naar toepassing van sensoren
11. Welke elementen zijn, naar jouw mening, het meest belangrijk voor burgers? Geef waar mogelijk concrete voorbeelden.
- Open antwoord
12. Zijn er elementen waar Samen Meten wat jou betreft meer aandacht aan zou moeten besteden?
- Het Samen Meten Dataportaal
 - Het Samen Meten Kennisportaal
 - Samen Meten Communicatie
 - Fysieke bijeenkomsten
 - Samen Analyseren Tool
 - Verbeteren en beoordelen van sensordata
 - Onderzoek naar toepassing van sensoren
 - Geen
 - Anders, namelijk...
13. Licht je antwoord toe. Op welke manier zou Samen Meten hier meer aandacht aan moeten besteden en waarom? Geef dit zo concreet mogelijk aan.
- Open antwoord
14. Welke rol verwacht je van een kennisinstelling als het RIVM in projecten waar inwoners zelf de leefomgeving meten? (heel belangrijk naar helemaal niet belangrijk)
- Informeren** over wat en hoe te meten, luchtkwaliteit en gezondheid
 - Adviseren** over sensoren, meetplan, betrouwbaarheid en toepassingsmogelijkheden van sensoren
 - Faciliteren** van initiatieven, bijvoorbeeld door aanwezigheid op bewonersavonden
 - Analyseren** van sensordata
 - Bijdragen aan handelingsperspectief** van lokale overheden en inwoners
15. Licht je antwoord toe, waarom vind je dat?

Toekomst Samen Meten

Hieronder volgen een aantal vragen en stellingen over Samen Meten in de toekomst.

16. Op welke dossiers zie je toekomst voor burgermetingen van de leefomgeving?
- Industrie
 - Landbouw
 - Verkeer
 - Luchtvaart
 - Houtstook
 - Bodem
 - Anders, namelijk...
17. Licht je antwoord toe, welke data zou je specifiek willen zien?
18. Op dit moment faciliteert Samen Meten vooral burgermetingen en initiatieven op het gebied van luchtkwaliteit, geluid en water. Aan welke andere metingen heb je nog meer behoefte? (meerdere antwoorden mogelijk)
- Geen: luchtkwaliteit, geluid en water zijn voldoende
 - Geen: luchtkwaliteit, geluid en water zijn voldoende maar ik zou wel graag deze metingen uitbreiden naar minuutdata (voor luchtkwaliteit) of frequentiedata (voor geluid)
 - Temperatuur / hitte
 - Beleving van de leefomgeving
 - Bodem(kwaliteit)
 - Gezondheid
 - Anders, namelijk...
19. Indien gezondheid: Specificeer welke gezondheidsmetingen je zou willen zien.
20. Licht je antwoord toe, op welke manier zou dit jou in jouw werk helpen?

Nu volgen een aantal stellingen over de toekomst van Samen Meten.

21. In hoeverre ben je het eens met de volgende stellingen (5 puntenschaal) (helemaal oneens – helemaal eens)
- Het is belangrijker dat Samen Meten inzet op *verdieping* van de huidige metingen (luchtkwaliteit, geluid en water) dan dat Samen Meten inzet op *verbreding* naar andere metingen in de leefomgeving.
 - Samen Meten moet alleen data laten zien waarvan het RIVM, of een andere kennispartij, de betrouwbaarheid heeft beoordeeld.
 - Samen Meten moet burgerinitiatieven zoveel mogelijk faciliteren, ook als het wetenschappelijk weinig oplevert.

- d. Samen Meten is vooral van waarde als de data wetenschappelijke inzichten opleveren.
 - e. Samen Meten is vooral van waarde als de metingen door overheden kunnen worden gebruikt in officiële monitoring.
 - f. Samen Meten is vooral van waarde als er brede representatie van inwoners is (diversiteit/inclusiviteit).
 - g. Samen Meten is vooral van waarde als het de positie van de burger versterkt.
 - h. Samen Meten is vooral van waarde als het de samenwerking tussen burger en overheid verbetert.
 - i. Samen Meten moet meer advies geven aan overheidsinstellingen en anderen over de toepassing van burgermetingen.
 - j. Samen Meten moet duidelijker maken aan burgers wat de uitdagingen zijn van metingen en het trekken van conclusies uit de metingen.
22. *Op welke manier zou Samen Meten voor jouw organisatie nog meer van betekenis kunnen zijn?*
- a. Open antwoord
23. *Zijn er ontwikkelingen (bijvoorbeeld in jouw eigen organisatie) die van belang zijn voor burgermetingen en/of Samen Meten?*
- a. Open antwoord
24. *Zijn er verder nog zaken die je ons mee wil geven wilt over Samen Meten en waarom?*
- a. Open antwoord

Gegevens

Je bent nu aan het einde van onze vragenlijst. Tot slot willen we nog een paar gegevens van je weten die ons helpen bij de interpretatie van de resultaten.

25. *Voor wat voor soort organisatie ben je werkzaam?*
- a. Ik werk bij een gemeente
 - b. Ik werk bij een provincie
 - c. Ik werk voor een ministerie
 - d. Ik werk voor het RIVM
 - e. Ik werk bij een kennisinstelling (anders dan het RIVM)
 - f. Anders, namelijk...
26. *Indien gemeente, hoe groot is de gemeente?*
- a. Klein (<30.000 inwoners)
 - b. Middel (30-100.000 inwoners)
 - c. Groot (>100.000 inwoners)
27. *Indien provincie, ministerie of kennisinstelling, wil je benoemen welke?*
28. *Op welk gebied / onderwerp ben je werkzaam?*
- a. Milieu
 - b. Innovatie
 - c. Volksgezondheid
 - d. Sociaal domein
 - e. Strategie
 - f. Anders...
29. *Wat is jouw rol binnen jouw organisatie?*
- a. Onderzoeker
 - b. Beleidsmaker
 - c. Beleidsadviseur
 - d. Anders, namelijk...
30. *Mogen wij jou benaderen om door te praten over deze vragenlijst? Let op! Dit heeft effect op de anonimiteit van de ingevulde vragen.*
- a. Zo ja, dan Emailadres...

Referenties

1. Ratingen, S. van, et al., *Seasonal influence on the performance of low-cost NO₂ sensor calibrations*. *Sensors*, 2021. **21**(23): p. 7919.
2. Devilee, J., et al., *Samen meten aan geluid en beleving rond de luchthaven Schiphol. Een verkennend citizen science-onderzoek naar kortetermijnhinder in het kader van de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid*, in *Collectively measuring noise and perceptions around Schiphol Airport. An exploratory citizen science study into short-term nuisance in the context of the Programmatic Approach to Measuring Aircraft Noise*. 2024, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
3. Suomela, T.E., *Citizen science: framing the public, information exchange, and communication in crowdsourced science*. 2014.
4. Emissieregistratie. *Definitieve Dataset 1990-2022 en voorlopige nationale totalen 2023*. 2024 06-09-2024 [cited 2024 10/09].
5. RIVM, *GCN-tool: inzicht in lokale emissies en concentraties lucht*. 2023. Beschikbaar op: <https://gcn-app.rivm.nl/>
6. Beijck, R., et al., *Meetstrategie roet*. 2014.
7. Atlas Leefomgeving. *Fijnstof*. 2024 [cited 2024 09/10]; Beschikbaar op: <https://www.atlasleefomgeving.nl/thema/schone-lucht/fijnstof>.
8. RIVM. *GGD-richtlijn medische milieukunde: Luchtkwaliteit en gezondheid*. 2019 [cited 2024 11/12]; Beschikbaar op: <https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid>.
9. Robinson, L.D., et al., *Ten principles of citizen science*, in *Citizen science: Innovation in open science, society and policy*. 2018, UCL Press. p. 27-40.
10. Volten, H., et al., *Enhancing national environmental monitoring through local citizen science*. 2018, UCL Press.
11. Coulson, S., M. Woods, and M.S. EU, *Citizen sensing: An action-orientated framework for citizen science*. *Frontiers in Communication*, 2021. **6**: p. 629700.
12. Klikkesbaas, *HANDREIKING SLA PARTICIPATIE: Handreiking voor het thema Participatie binnen het Schone Lucht Akkoord*. 2022: Rotterdam.
13. Bouma, J., et al., *Betrokken burgers: onmisbaar voor een toekomstbestendige leefomgeving*. 2023, Planbureau voor de Leefomgeving.
14. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, *Strategische Kennis en Innovatieagenda 2024-2028, D.A.S. Advies, Editor*. 2024: Den Haag.
15. NPOS, *Open Science 2030 in the Netherlands: NPOS2030 Ambition Document and Rolling Agenda (Approved version)*. 2022.
16. Millerand, F. and K.S. Baker, *Data infrastructures in ecology: An infrastructure studies perspective*. 2020.
17. Tenner, E.H., W.; Spijker, J.; & Ypenburg, S., *Analyse Together (2.0.5)*. 2024, National Institute for Public Health and the Environment. <https://doi.org/10.21945/a32c33e3-8a98-4a69-8996-93ao8f4e3a37>
18. Mabjaia, N., et al., *Vergelijkende metingen met betaalbare zelfbouwgeluidmeters*, in *Comparative measurements with affordable DIY-noise meters*. 2023, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
19. Vegt, K., et al., *Burgermeetnetwerk Spoor America - Geluidhinder door treinverkeer met citizen science in kaart gebracht*, in *Citizen monitoring network 'train traffic in America' - noise pollution from train traffic mapped with citizen science*. 2024, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
20. AG, S. SPS30. 2024 [cited 2024 09/10]; Beschikbaar op: <https://sensirion.com/products/catalog/SPS30>.
21. VAQUUMS. *Factsheet Nova Fitness SDS011*. 2021 [cited 2024 10/29]; Beschikbaar op: <https://www.vaquums.eu/deliverables/factsheets-english/nova-fitness-sds011.pdf>.
22. Amaral, S., et al., *An Overview of Particulate Matter Measurement Instruments*. *Atmosphere*, 2015. **6**(9): p. 1327-1345.
23. SODAQ. *SODAQ AIR*. 2023 [cited 2024 09/10]; Beschikbaar op: <https://sodaq.com/portfolio/air/>.
24. Sensor.Community. *Sensor Kit #1*. 2024 [cited 2024 09/10]; Beschikbaar op: <https://sensor.community/nl/sensors/airrohr/>.
25. Wesseling, J., et al., *Development and implementation of a platform for public information on air quality, sensor measurements, and citizen science*. *Atmosphere*, 2019. **10**(8): p. 445.
26. Koster, T., *1^e Rapportage Hollandse Luchten colocatie onderzoek naar de kwaliteit van Sodaq PM2.5 sensorkastjes*. 2024, GGD Amsterdam: Amsterdam.
27. Roberts, F.A., et al., *Evaluation of a new low-cost particle sensor as an internet-of-things device for outdoor air quality monitoring*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2022. **72**(11): p. 1219-1230.
28. Kuula, J., et al., *Laboratory evaluation of particle-size selectivity of optical low-cost particulate matter sensors*. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2020. **13**(5): p. 2413-2423.
29. Wesseling, J., et al., *Using synthetic data to benchmark correction methods for low-cost air quality sensor networks*. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2024. **17**(5): p. 979-996.

30. Wesseling, J., et al., *Assessment of PM_{2.5} exposure during cycle trips in the Netherlands using low-cost sensors*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021. **18**(11): p. 6007.
31. Alphasense. Nitrogen Dioxide sensor NO₂-B43F. 2024 [cited 2024 09/10]; Beschikbaar op: <https://store.alphasense.com/NO2-b43f/>.
32. Tagle, M., et al., *Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile*. *Environmental monitoring and assessment*, 2020. **192**(3): p. 171.
33. Jayaratne, R., et al., *The influence of humidity on the performance of a low-cost air particle mass sensor and the effect of atmospheric fog*. *Atmos. Meas. Tech.*, 2018. **11**(8): p. 4883-4890.
34. RIVM, *Kalibratie van de NO₂ sensoren*. 2021. https://www.samenmeten.nl/sites/default/files/2021-03/2021-03-11%20Kalibratie%20van%20NO2%20sensoren_aanvulling%20openheid.pdf
35. Elshout, S.v.d., S. Willers, and E.v.d. Gaag, *Duurtest NO₂-sensor*. *Lucht*, 2019(2).
36. RIVM, *Grootschalige concentratiekaarten Nederland. Rapportage 2024, in Large-scale concentration maps for the Netherlands. 2024 report*. 2024, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
37. RIVM, *Monitoringsrapportage NSL 2023. Stand van zaken Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit, in NSL 2023 monitoring report. State of affairs of National Air Quality Cooperative Programme (NSL)*. 2023, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM.
38. Janssen, S., et al., *Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data*. *Atmospheric Environment*, 2008. **42**(20): p. 4884-4903.
39. FAIRMODE. *WG6 –Sensors and data-fusion*. 2024; Beschikbaar op: <https://fairmode.jrc.ec.europa.eu/activity/ct6>.
40. Samen Meten. *Palmes diffusiebuisjes: Passief meten aan luchtkwaliteit*. 2024 [cited 2024 09/12]; Beschikbaar op: <https://www.samenmeten.nl/palmes-diffusiebuisjes-passief-meten-aan-luchtkwaliteit>.
41. VMM. *Hoe werken de meetbuisjes?* 2018; Beschikbaar op: <https://2018.curieuzeneuzen.be/vlaanderen-2018/over-luchtkwaliteit/over-curieuzeneuzen/#1538063709200-77bd41d4-92b4>.
42. P.L. Nguyen and J. Wesseling, *Metingen van stikstofdioxideconcentraties (NO₂) met Palmes-buisjes*. 2016, RIVM.
43. Siteur, K., et al., *Nauwkeurige NO₂-concentratiekaarten dankzij vrijwilligers*. *Lucht*, 2021. **3**.
44. Amsterdam, G. *Luchtkwaliteit - NO₂-metingen*. 2024 [cited 2024 09/12]; Beschikbaar op: <https://maps.amsterdam.nl/no2/>.
45. Voogt, M., *Meetplan Boeren en Buren – v1.0*. 2019. https://www.samenmeten.nl/sites/default/files/2019-10/2019-10-02%20Meetplan%20Boeren%20en%20Buren%20v1.0_website.pdf
46. RIVM, *7 tips voor een succesvol citizen science-project*. 2024. <https://www.samenmeten.nl/documenten/7-tips-voor-succesvol-citizen-science-project>
47. RIVM, et al., *Samenvatting Samenwerking Houtrook-onderzoek*. 2022.
48. Pientka, D. and A.v.d. Wiel, *De bijdrage van houtrook aan de fijnstofconcentratie in de leefomgeving*. 2024. <https://www.scapeler.com/index.php/onderzoeksrapport-bijdrage-van-houtrook-aan-de-fijnstofconcentratie-in-de-leefomgeving/>
49. Hagens, W., *Nieuw project: Inzet sensoren bij branden*. *Altijd Alert*, 2022. **1**. <https://www.rivmmagazines.nl/altijdalert/2022/01/inzet-van-sensoren-bij-branden>
50. Pijnenburg, J. and E. Hartogsveld, *Houtrook hinder in beeld*. *Lucht*, 2023(4): p. 19-24.
51. Meter, B. *BC Meter*. 2024 [cited 2024 09/12]; Beschikbaar op: <https://bcmeter.org/>.
52. RIVM. *Beleving App RIVM*. 2024; Beschikbaar op: <https://www.samenmeten.nl/beleving-app-rivm>.
53. Kwak, D., Y. Lei, and R. Maric, *Ammonia gas sensors: A comprehensive review*. *Talanta*, 2019. **204**: p. 713-730.
54. Van der Steen, M., J. Scherpenisse, and M. van Twist, *Sedimentatie in sturing. Systeem brengen in netwerkend werken door meervoudig organiseren*. Den Haag: NSOB, 2015.
55. Samen Meten. *Samen Meten-forum*. 2024; Beschikbaar op: <https://forum.samenmeten.nl/>
56. Woutersen, A., et al., *Farmers and Local Residents Collaborate: Application of a Participatory Citizen Science Approach to Characterising Air Quality in a Rural Area in The Netherlands*. *Sensors*, 2022. **22**(20): p. 8053.
57. Verhoeven, E. and A. Souren, *Wat levert burgerwetenschap op? De tussentijdse resultaten van 'Hollandse Luchten'*. 2023, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
58. Vegt, K.R., et al., *Impacts of citizen science on trust between stakeholders and trust in science in a polarized context*. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 2023. **25**(6): p. 723-736.
59. Rathenau Instituut., *Vertrouwen van Nederlanders in wetenschap (enquête 2021)*. 2021.
60. CBS, *Vertrouwen in medemens en instituties voor en tijdens de pandemie*. 2022.
61. Berti Suman, A. and E. Alblas, *Exploring Citizen Science over Time: Sensing, Technology and the Law*. *Sustainability*, 2023. **15**(5): p. 4496.
62. Nowotny, H., *Democratising expertise and socially robust knowledge*. *Science and public policy*, 2003. **30**(3): p. 151-156.
63. Schoemaker, J. *The preference of interactions between citizen initiatives developing knowledge in the living environment and the RIVM*. 2024; Beschikbaar op: <https://www.samenmeten.nl/nieuws/burgerinitiatieven-en-rivm-samenwerking-en-spanningsvelden>.

64. Mahajan, S., et al., *Translating citizen-generated air quality data into evidence for shaping policy*. Humanities and Social Sciences Communications, 2022. **9**(1): p. 1-18.
65. Hecker, S., et al., *How does policy conceptualise citizen science? A qualitative content analysis of international policy documents*. Citizen Science: Theory and Practice, 2019. **4**(1).
66. More4Nature. *more4nature with citizen science*. 2024 [cited 2024 09/22]; Beschikbaar op: <https://more4nature.eu/>.
67. De Ruiter, H., et al., *Epiloog: nieuwe rollen voor citizen science*. Bestuurskunde, 2024. **33**.
68. Pientere Tuinen. *Pientere Tuinen*. 2022; Beschikbaar op: <https://pienteretuinen.nl/>.
69. Citiobs. *Enhancing Citizen Observatories for healthy, sustainable, resilient and inclusive cities*. 2024; Beschikbaar op: <https://citiobs.eu/>.
70. European Commission. *The Role of Citizen Science in the European Green Deal*. 2022, European Commission.
71. Moczek, N., et al., *A Self-Assessment of European Citizen Science Projects on Their Contribution to the UN Sustainable Development Goals (SDGs)*. Sustainability, 2021. **13**(4): p. 1774.

Henri de Ruiter | Wouter Hendricx | Hester Volten |
Eline Verhoeven | Amber Woutersen

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

januari 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag