



Meten voor een gezonde stad

Citizen Science en luchtkwaliteit



Colofon

Deze publicatie is een uitgave in het kader van het programma Slimme en Gezonde Stad. Slimme en Gezonde Stad is een samenwerking van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, gemeenten en kennisinstellingen.

Zie www.slimmeengezondestad.nl voor meer informatie.

Auteurs RIVM - Joost Wesseling, Annemarie van Alphen, Hester Volten, Edith van Putten

Programma Slimme en Gezonde Stad Ministerie van Infrastructuur en Milieu – Evelyn Hijink

Redactie SME Advies – Bregje van den Brand en Noortje Brookhuis

Vormgeving Punt Grafisch Ontwerp

Bronvermelding foto's en afbeeldingen:

pagina 6 Jimena Gauna voor Waag Society

pagina 9 Smart Citizen Kit, <http://waag.org/nl/projectsmart-citizen-kit>

pagina 12 EPA USA, <http://epa.gov/airquality/particlepollution/basic.html>

pagina 13 Palmes tubes, Joost Wesseling

pagina 15 Air Quality Egg, <http://airqualityegg.com/>

pagina 15 Dylos, <http://www.fijnstofmeter.com/DC1100-PRO.html>

pagina 17 Airbox, ECN



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



Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Januari 2016



Inhoud

1. Inleiding	4
2. Citizen Science	7
3. Luchtkwaliteit: over welke stoffen hebben we het?	10
4. Verschillende sensoren om luchtkwaliteit te meten	13
5. Hardware voor metingen	16
6. Netwerken	18
7. Aan de slag!	19
8. Citizen Science: de toekomst	22

1. Inleiding

Luchtkwaliteit en effect op gezondheid

De luchtkwaliteit heeft effect op onze gezondheid. Een slechte luchtkwaliteit kan tot gezondheidsproblemen als hart- en vaatziekten en luchtwegklachten leiden en de levensduur met enkele maanden verkorten. Om de luchtkwaliteit te verbeteren, zijn er Europese normen opgesteld die in Nederland zijn geïmplementeerd. Op een paar knelpunten in de grote steden na, voldoet Nederland aan de Europese luchtkwaliteitsnormen. Om te weten of aan deze normen wordt voldaan en om meer inzicht te hebben in de luchtkwaliteit op verschillende plaatsen en momenten, is het belangrijk de kwaliteit van de lucht om ons heen te bepalen. Op nationale schaal worden metingen en berekeningen aan luchtkwaliteit uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Het RIVM combineert kennis op de gebieden van luchtkwaliteit en gezondheid.

Stoffen en bronnen van vervuiling

Als we het in dit boekje hebben over luchtkwaliteit, dan gaat het over de stoffen stikstofdioxide (NO₂) en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}, ultrafijnstof (UFP) en roet (EC)). De bronnen van deze vervuilende stoffen zijn divers. Het wegverkeer is één van de grote oorzaken voor luchtvervuiling. Ook de industrie, huishoudens en de veehouderij dragen bij. Daarnaast zijn er ook natuurlijke vormen

van luchtvervuiling, zoals zeezout deeltjes en bodemstof. Een belangrijk deel van de luchtvervuiling vanuit het buitenland komt overgewaaid naar Nederland. In hoofdstuk 3 vindt u meer informatie over de luchtvervuilende stoffen, bronnen en effecten.

Metten is weten

Er zijn veel factoren die invloed hebben op de concentraties van vervuilende stoffen in de lucht. Denk aan de locatie, het tijdstip, de weersomstandigheden, de afstand tot de vervuilsbron en de emissie-activiteit van de bron.

De concentraties van vervuilende stoffen die zich op een bepaalde plaats en op een bepaald moment in de lucht bevinden, worden gemeten. Deze data wordt verzameld op verschillende plaatsen in Nederland. Hoe meer data, hoe beter er uitspraken gedaan kunnen worden over de kwaliteit, en hoe beter het beleid daarop kan worden aangepast. De metingen worden ook gebruikt om de rekenmodellen te ijken.

Luchtkwaliteitsmetingen worden traditioneel uitgevoerd met professionele meetapparaten in vaste meetstations. Het onderhoud, beheer en de aanschaf van deze stations is complex en kostbaar.



Hoe u kunt bijdragen

De afgelopen jaren is een ontwikkeling op gang gekomen die het voor burgers mogelijk maakt om ook zelf luchtkwaliteit te meten. Doordat zij op plaatsen kunnen meten (balkon, tuin, gevels) waar de officiële instanties niet meten zijn deze gegevens potentieel betekenisvol en een aanvulling op de bestaande meetlocaties. Ook kan er doelgericht actie ondernomen worden wanneer informatie beschikbaar is over specifieke locaties.

In dit boekje vindt u enkele voorbeelden van projecten waar burgers een bijdrage leveren aan het meten van de luchtkwaliteit in steden. Bij 'burgerwetenschap', ofwel Citizen Science, worden burgers vrijwillig betrokken bij, en leveren hun bijdrage aan, wetenschappelijke onderzoeksprojecten. Voor aanvullende, actuele en meer gedetailleerde informatie over Citizen Science op het gebied van luchtkwaliteit en het meten met verschillende sensoren kunt u terecht op de website www.rivm.nl/lucht.



2. Citizen Science

De ontwikkeling van Citizen Science

Al honderden jaren worden observaties van en over de omgeving, zoals meteorologie, ecologie en waterkwantiteit, onderzocht en geanalyseerd. Hierdoor kunnen we veranderingen in gegevens die over een langere tijd zijn bijgehouden beter begrijpen. Het uitvoeren van deze observaties en metingen gebeurt door wetenschappelijke instellingen in opdracht van of in samenwerking met de overheid.

Steeds vaker zijn en worden ook burgers betrokken bij onderzoek. Met toegepaste kennis, creativiteit, extra rekenkracht, financiële middelen of dataverzameling kunnen zij bijdragen aan de wetenschap. Soms nemen zij zelfs de rol van de wetenschapper over. Burgers kunnen bij het gehele onderzoeksproces worden betrokken: van het opstellen van de onderzoeksvraag tot het destilleren van resultaten. Met hulp van burgers kan in sommige gevallen een grotere hoeveelheid onderzoeksdata worden verzameld op een grote(re) geografische schaal. Samenwerking tussen burgers en wetenschappers leidt tot vergroting van kennis en inzichten voor ons allemaal.

Technische mogelijkheden en bijdrage aan de wetenschap

De verwachting is dat Citizen Science de komende jaren snel zal groeien. Technische vooruitgang maakt kleine sensoren betaalbaarder en toegankelijker voor het algemeen publiek. Daarbij hebben ontwikkelingen in de ICT de opslag van, en toegang tot data vergemakkelijkt. Citizen Science maakt het uitvoeren van onderzoek op een grote(re) schaal mogelijk zonder dat daarbij de kosten hoog op hoeven te lopen. Kwalitatief mindere data die grote onzekerheden bevat hoeft geen problemen op te leveren, wanneer de data niet systematisch van de juiste waarde afwijkt. Het gemiddelde van veel datapunten met elk een aanzienlijke onzekerheid kan dan dicht bij de waarde liggen die je met een nauwkeurig apparaat zou meten. Citizen Science stimuleert creativiteit, biedt soms een kritisch platform voor de wetenschap en bevordert internationale en nationale samenwerking. Wetenschap en de maatschappij worden dichter bij elkaar gebracht.

Smart Emission in Nijmegen

Via een meetnetwerk met low-cost sensoren brengt het Smart Emission consortium (bestaande uit gemeente Nijmegen, Radboud Universiteit, Geonovum, CityGis, Intemo en RIVM) de lokale variatie in luchtkwaliteit in kaart. Bewoners en overheden gaan samen meten in hetzelfde netwerk. Verspreid over de stad worden in het kader van dit project zo'n 20 sensoren geplaatst in tuinen en/of aan huizen. Een oproep in het lokale huis-aan-huis-blad leverde ruim voldoende geïnteresseerde bewoners op.

Het doel van deze studie is om te kijken of de gemeten data daadwerkelijk aanvullend inzicht oplevert op zowel lokaal- als op stadsniveau, ten opzichte van de professionele data van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM. In de studie wordt ook gewerkt aan het slim inzetten van de verkregen data en het visualiseren en communiceren van de data ten behoeve van gedragsverandering. Ook wordt gekeken naar de samenwerking tussen burgers, wetenschappers en de gemeente met deze nieuwe vormen van open data, democratisering van kennis, actieve burgers en 'bottom-up planning' processen.

Het project laat zien dat heel veel verschillende partijen worden verenigd bij een Citizen Science project. Een Citizen Science project biedt de kans om nieuwe technologieën uit te proberen en onder de aandacht te brengen. De gemeente krijgt meer inzicht in de luchtkwaliteitsproblemen in de stad en werkt op een nieuwe manier samen met burgers. Ook kennisinstellingen profiteren van de data en de interactie met burgers.

Luchtkwaliteit, monitoring en (lokaal) beleid

In heel Europa wordt berekend of de luchtkwaliteitsnormen worden behaald. Het beheer en onderhoud van deze vorm van monitoring is duur. In Nederland wordt er op bijna 100 locaties gemeten. Voor een gedetailleerder lokaal beeld van de luchtkwaliteit kunnen burgers bijdragen aan de dataverzameling. Dergelijke projecten bieden mogelijkheden voor nauwere interacties tussen overheden en burgers. Citizen Science kan worden toegepast op lokaal en nationaal niveau als onderdeel van beleid en lokale besluitvorming.

Waarom is Citizen Science leuk en interessant?

- Voor de Science: het is leuk om bij te dragen aan de wetenschap.
- Persoonlijke belangen: interesse voor het eigen leefmilieu en de gezondheid.
- Controle: resultaten van anderen, zoals de rijksoverheid, controleren.
- Informeren: overheden doen naast centrale ook lokale metingen om burgers te informeren.
- Open data beleid: bijdrage aan open data beleid van overheden.



Smart Citizen Lab Amsterdam

Waag Society heeft in 2014 70 burgers in Amsterdam uitgerust met een Smart Citizen Kit (zie foto's hierboven). De open source Smart Citizen Kit kan koolmonoxide (CO), stikstofdioxide (NO₂), de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, de lichtintensiteit en het omgevingsgeluid meten. De verzamelde data werden geanalyseerd en gevisualiseerd. Experts hielpen de deelnemers op weg en waren vraagbaak tijdens de uitvoering van het project.

Vanuit dit project zijn verschillende leerpunten naar voren gekomen. Burgers vinden het erg interessant om meer over hun leefomgeving te weten, en willen door zelf te meten een bijdrage leveren. Een goede aansluiting van de meetapparatuur, het juiste bereik van de sensoren en een simpel en robuust gebruik zijn belangrijke eigenschappen van een Citizen Science project. Deze leerpunten zijn meegenomen in de opzet van het project Making Sense dat in 2016 van start gaat in Amsterdam, Barcelona en Kosovo.

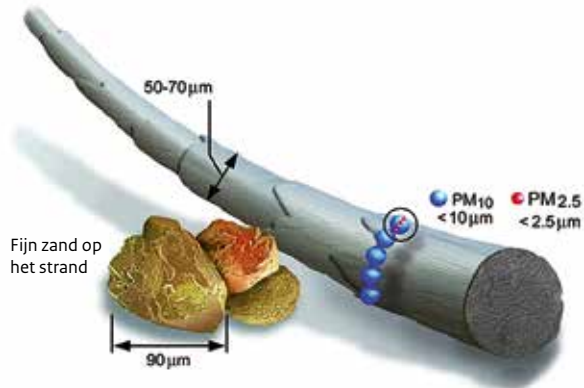
3. Luchtkwaliteit: over welke stoffen hebben we het?

Onderstaande tabel geeft beknopt weer welke stoffen invloed hebben op de luchtkwaliteit, waar deze stoffen vandaan komen, wat de effecten zijn, wat de wettelijke normen zijn en wat de gemiddelde waarden zijn in de Nederlandse lucht.

	Fijnstof				
	Stikstofdioxide (NO ₂)	Fijnstof (PM ₁₀)	Fijnstof (PM _{2,5})	Ultra Fijnstof (UFP)	Roet (EC/BC)
Wat is het?	Een gas.	Verzamelnaam voor alle (stof)deeltjes in de lucht, kleiner dan 10 micrometer (µm).	Fijnere fractie van fijnstof, kleiner dan 2,5 µm.	Kleiner dan 0,1 µm.	Elementair koolstof. Ontstaat bij samenklontering van ultrafijn stof.
Bronnen	Met name wegverkeer en industrie.	Wegverkeer, verbrandingsprocessen, veehouderijen en natuurlijke bronnen.	Wegverkeer, verbrandingsprocessen en natuurlijke bronnen.	Wegverkeer, verbrandingsprocessen, opstijgen/landen vliegtuigen.	Met name wegverkeer.
Effecten	Longirritatie, verminderde weerstand, infecties van de luchtwegen. Chronische blootstelling aan huidige NO ₂ niveaus leidt tot gemiddelde levensduurverkorting van 4 maanden.	Chronische blootstelling aan de huidige niveaus van fijn stof leidt tot een gemiddelde levensduurverkorting van 9 maanden.	Chronische blootstelling aan de huidige niveaus van fijn stof leidt tot een gemiddelde levensduurverkorting van 9 maanden.	Bij blootstelling aan zeer hoge hoeveelheden ultrafijnstof, treden (tijdelijke) effecten op het systeem van hart en bloedvaten en het ademhalings-systeem op. Langetermijneffecten zijn nog onvoldoende bekend.	Elke 0,5 µg roet per m ³ lucht extra waar mensen langdurig bloot aan staan, leidt tot een levensduur-verkorting van gemiddeld 3 maanden.

		Fijnstof			
	Stikstofdioxide (NO ₂)	Fijnstof (PM ₁₀)	Fijnstof (PM _{2,5})	Ultra Fijnstof (UFP)	Roet (EC/BC)
Normen	Jaargemiddelde grenswaarde: 40 µg/m ³ . Uurgemiddelde grenswaarde van 200 µg/m ³ mag niet meer dan 18 keer per jaar worden overschreden.	Jaargemiddelde grenswaarde: 40 µg/m ³ . Etmaalgemiddelde: 50 µg/m ³ (mag niet meer dan 35 keer per jaar worden overschreden).	Jaargemiddelde grenswaarde: 25 µg/m ³ . Vanaf 2020 is er een grenswaarde van 20 µg/m ³ .	Er zijn voor ultrafijnstof geen wettelijke grenswaarden	Er zijn voor roet geen wettelijke grenswaarden.
Waarden in Nederland?	Nederlands jaargemiddelde 2014: ruim 15 µg/m ³ . Randstad gemiddelde: 22-25 µg/m ³ . Langs hoofdwegen en in drukke stedelijke straten: oplopend tot boven de norm van 40 µg/m ³ .	De gemiddelde concentraties variëren voor PM ₁₀ tussen 18 µg/m ³ (Noord-Nederland) en 22 µg/m ³ (grote steden en zuidelijke helft van Nederland).	Voor PM _{2,5} variëren de concentraties tussen 11 en 15 µg/m ³ . De gemiddelde waarde is circa 12 µg/m ³ .	Uurgemiddelde concentraties UFP liggen tussen de 5.000 en in extreme gevallen 100.000 deeltjes per cm ³ .	De gemiddelde roetconcentratie in drukke straten is 1.5-2.0 µg/m ³ , in stedelijk gebied 0.9-1.5 µg/m ³ en in gebieden buiten de steden 0.5-1.0 µg/m ³ .
Eisen aan meting en onzekerheid	Over een langere periode (enkele weken) gemiddeld, dient de onzekerheid niet boven de 10 µg/m ³ te komen.	Het is belangrijk om het daggemiddelde te bepalen en hogere (30-50 µg/m ³) en lagere (10-20 µg/m ³) daggemiddelden te kunnen onderscheiden.	De PM _{2,5} concentraties zijn altijd iets lager dan die van PM ₁₀ . De vereiste nauwkeurigheid is dan minimaal vergelijkbaar met die voor PM ₁₀ .	Omdat er geen eisen aan de concentraties ultrafijnstof worden gesteld zijn er ook geen eisen aan de kwaliteit van de metingen gesteld.	Omdat er geen eisen aan de concentraties roet worden gesteld zijn er ook geen eisen aan de kwaliteit van de metingen gesteld.

Menselijke haar



Basis figuur: EPA (USA)

Eenheden voor luchtkwaliteit

Hoeveelheden en concentraties stoffen of gassen in de lucht worden in verschillende maten uitgedrukt. Een in Nederland en Europa veel gebruikte maat voor luchtkwaliteit is “microgram per kubieke meter buitenlucht” ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bij veiligheidstoepassingen, waarbij kortstondig veel hogere concentraties kunnen voorkomen, wordt soms in “milligram per kubieke meter buitenlucht” (mg/m^3) gerekend, 1000 keer zo veel.

Een andere maat is “parts per billion/million” (ppb/ppm). Dit geeft aan hoeveel gasmoleculen er voorkomen per miljard (billion) of per miljoen (million) luchtmoleculen. Er zit een factor 1000 tussen ppm en ppb.

Sensoren voor luchtkwaliteit moeten, om nuttig bruikbaar te zijn, in ppb of $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kunnen meten.

De algemene formule voor de omzetting van ppb naar $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor een gas met molecuulgewicht M luidt:

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = (\text{ppb}) \cdot (12.187) \cdot (M) / (273.15 + \text{°C})$$

Zo komt 1 ppb NO_2 (bij druk van 1 atmosfeer en temperatuur van 15 °C) overeen met 1.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. Verschillende sensoren om luchtkwaliteit te meten

Er zijn verschillende methoden en sensoren beschikbaar voor Citizen Science. De apparatuur en de markt voor het (zelf) meten van de luchtkwaliteit zijn sterk in ontwikkeling. De belangrijkste methoden en sensoren worden hieronder kort omschreven. Voor actuele en gedetailleerde informatie over de verschillende sensoren (o.a. verkrijgbaarheid en indicatie van de kosten) kunt u terecht op de website www.rivm.nl/lucht.

Kwaliteit van metingen

Alle sensoren, zowel goedkopere als duurdere, zullen meetafwijkingen vertonen. Het is daarom belangrijk de meetinstrumenten regelmatig te ijken, om de gemeten data op waarde te kunnen schatten. Dit kan bijvoorbeeld door data te vergelijken met die van een officieel meetstation. Eén van de huidige uitdagingen is om een kwaliteitsoordeel en/of toezicht op de kwaliteit en betrouwbaarheid van de verschillende sensoren en apparatuur te organiseren. Het RIVM zal hier de komende tijd aan werken. Het is overigens altijd goed om naar gebruikerservaringen van anderen te kijken.

Invloed van omgevingsfactoren op sensoren

Omgevingsfactoren als temperatuur, wind, schaduw en vochtigheid beïnvloeden de resultaten van sensoren. Zo heeft de omgevings-

temperatuur een grote invloed op de prestatie van sensoren en dus op de meetresultaten. Probeer de invloed van omgevingsfactoren zo klein mogelijk en stabiel te houden, zodat de kwaliteit van de gegevens en dus de bruikbaarheid toeneemt. Een sensor kan het beste worden gebruikt op een open plek, op minstens 0,5 tot 1 meter van muren en 1 tot 2 meter boven de grond.

Meten met Palmes diffusiebuisjes

Palmes diffusiebuisjes meten de concentratie stikstofdioxide (NO_2) in de lucht. Palmesbuisjes zijn kleine buisjes. Aan één kant van het buisje kan een chemische stof de NO_2 binden op een gaasje. De buisjes blijven enkele weken buiten hangen en meten in die periode de hoeveelheid NO_2 in de lucht. De resultaten worden aan het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit geijkt.

De onzekerheid van metingen via Palmesbuisjes in jaargemiddelde NO_2 -concentraties ligt tussen de 15 en 25%. Doordat deze meetmethode een vergelijking op veel punten



mogelijk maakt levert dit, ondanks de hoge onzekerheid, toch nuttige en bruikbare data over de luchtkwaliteit op. Daarnaast kan de data gebruikt worden om rekenmodellen te ijken. Metingen via de Palmesbuisjes kunnen gecombineerd worden met metingen van actieve sensoren die verschillen in tijd weergeven.

Goedkope (gas)sensoren

Er zijn diverse goedkope (gas)sensoren op de markt. Zo is er de serie 'MQ' van Groove. Deze sensoren zijn relatief goedkoop (zo'n €10 per stuk), maar hebben als nadeel dat ze allemaal in meer of mindere mate voor meerdere stoffen gevoelig zijn. Het is dus nauwelijks mogelijk om één specifieke stof te meten, je meet het effect van verschillende stoffen door elkaar. Het grote voordeel is dat deze sensoren via standaard connectoren aangesloten kunnen worden op een Arduino of Raspberry Pi (zie hoofdstuk 5 Hardware) en dat alle benodigde software gratis via internet beschikbaar is.

Meer geavanceerde sensoren, apparaten en systemen

Verschillende bedrijven (zoals Alphasense, City Tech, Sensortech en Shinyei) bieden meer gespecialiseerde (professionele) gassensoren op de markt voor metingen op NO₂ en fijnstof. De sensoren verschillen van elkaar wat betreft meetbereik, nauwkeurigheid en gevoeligheid. Onderstaand een aantal populaire sensoren voor NO₂- en fijnstofmetingen. Meer informatie over deze en andere sensoren is te vinden via www.rivm.nl/lucht.

NO₂-metingen	<ul style="list-style-type: none">• Sensoric NO2 3E 50 (Citytech)• MiCS-2710/2714 (SGX Sensortech)• NO2-B42F (Alphasense)	circa 10 tot 250 euro
Fijnstof-metingen (via deeltjesaantallen)	<ul style="list-style-type: none">• Shinyei PPD42NS• Sharp Gp2y1010au0f	circa 15 euro

Meetcampagne Milieudefensie

Milieudefensie heeft in 2013 een actie opgezet om de maandelijkse NO₂ waarden in de lucht te meten met behulp van Palmesbuisjes. Door honderden burgers in 60 meetgroepen, werd de luchtkwaliteit gemeten op 101 locaties in Nederland. Vooral burgers uit de grote steden (Rotterdam, Den Haag en Amsterdam) die zich zorgen maakten over luchtvervuiling in hun buurt deden mee. De meetlocaties werden door de burgers in overleg met Milieudefensie gekozen en de kosten werden gezamenlijk gedragen. De verzamelde data werd vervolgens aan de betreffende gemeenteraden aangeboden en gaf voeding aan de discussie over luchtkwaliteit en te nemen maatregelen.

Complete apparaten en samengestelde kits

Het gebruik van 'losse' sensoren en de meetresultaten zelf uitlezen en opslaan, is vooral geschikt voor meer technisch ingestelde personen. Er zijn ook complete apparaten en samengestelde kits op de markt voor luchtkwaliteit metingen op fijnstof en NO_2 . Het betreft zowel mobiele (draagbare) apparaten als apparaten die bedoeld zijn voor metingen op een vaste locatie. Onderstaand twee voorbeelden van dergelijk apparaten. Meer informatie is te vinden via www.rivm.nl/lucht.



Voor het meten van fijnstof kan bijvoorbeeld de Dylas worden gebruikt. Dit apparaat telt langskomende deeltjes (> dan $1 \mu\text{m}$) en rekent die op basis van een aangenomen gemiddelde samenstelling om naar $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Het Air Quality Egg (versie 2) meet NO_2 en CO concentraties, temperatuur en luchtvochtigheid en zet de meetresultaten direct op het internet. Zie <http://airqualityegg.com> voor meer informatie.

5. Hardware voor metingen

Om luchtkwaliteit te kunnen meten is alleen een sensor niet voldoende. Er is ook apparatuur (hardware) nodig om de meting te registreren, op te slaan, te verwerken en mogelijk te versturen via het internet. Voor Citizen Science zijn twee soorten microcomputers momenteel erg populair: de Arduino en de Raspberry Pi. Veel van de recente simpele meetapparaten zijn ofwel geheel op een Arduino of Raspberry Pi gebaseerd of op daarvan afgeleide hardware.

Arduino

De Arduino is een opensource-computerplatform, waarbij (bijna) de gehele besturingssoftware voor alle gebruikers toegankelijk is. Programmeren van een Arduino wordt gedaan door op een gewone computer een programma ('Sketch') te ontwikkelen en dit vervolgens te uploaden naar de Arduino. De taal waarin programma's voor de Arduino worden geschreven lijkt sterk op de algemene programmeertaal C/C++. Zodra de Arduino wordt aangezet start deze met het uitvoeren van het laatst ingeladen programma. Voor de Arduino's is veel software en hardware beschikbaar.



Verschillende leveranciers leveren pakketjes waarbij soft- en hardware is gecombineerd. Via leverancier Groove is een aparte module ('shield') beschikbaar waarmee tot 22 losse apparaten via standaard connectoren op de Arduino kunnen worden aangesloten.

Raspberry Pi

De Raspberry Pi is vooral bedoeld voor educatieve doeleinden en gebaseerd op ARM-processors.

De hardware van de Raspberry Pi maakt het mogelijk om verschillende soorten besturingsystemen te gebruiken. Deze worden via een micro-SD kaart op de computer aangesloten. Veel van de beschikbare besturingsystemen zijn gebaseerd op LINUX varianten, maar Chrome OS, RISC OS en Windows 3.1 zijn beschikbaar. De Raspberry Pi is dus een echte computer, in tegenstelling tot de Arduino die meer een controller is.

Voor de Raspberry Pi is ook veel soft- en hardware beschikbaar, evenals de mogelijkheid om randapparatuur aan te sluiten. Veel van de simpele





randapparatuur die voor de Arduino te koop is, is ook voor de Raspberry Pi te koop, inclusief vergelijkbare simpele manieren om allerlei sensoren en randapparatuur aan te sluiten.

Aansluiten sensoren

Voor zowel de Raspberry Pi als de Arduino zijn verschillende kits te koop of op het internet beschreven waarmee relatief simpel eenvoudige (gas)sensoren kunnen worden aangesloten en uitgelezen. In veel gevallen is wel soldeerwerk nodig, vaak om de verbindingspennen te monteren. Als dit niet zorgvuldig wordt gedaan kunnen problemen optreden. Beide computers hebben een uitgebreide community op het internet die als vraagbaak kan dienen.

AiREAS Eindhoven

Binnen AiREAS Eindhoven werken burgers, bedrijven, wetenschappelijke instituten, gemeente en provincie samen aan een schone stad. Sinds eind 2013 houdt een netwerk van zo'n 35 zogenaamde AirBoxen de luchtkwaliteit in Eindhoven 'in de gaten'. Het is het eerste stedelijke sensor netwerk in Nederland, en voor zover bekend ook het omvangrijkste stedelijke netwerk in Europa.

Het begon met het ontwerp van het 'Innovatief Lucht Meet-systeem' (ILM). ECN verbeterde bestaande sensoren zodat ze bruikbaar werden voor routine monitoring: een fijnmazig netwerk van sensoren dat fijnstof, ultrafijnstof, NO₂ en ozon meet. Op de AiREAS website (www.aireas.com) kan iedereen de meetgegevens bekijken en deze gebruiken voor eigen initiatieven en acties. De meetgegevens op de online-kaarten worden ieder uur ververs, waardoor zichtbaar wordt hoe de concentratie van stoffen gedurende de dag en afhankelijk van weersomstandigheden verandert. Door de inzet van nieuwe, hoogwaardige en betaalbare technologie geeft het AiREAS netwerk inzicht in de actuele luchtkwaliteit, waardoor het duurzaam verbeteren van gezondheid en veiligheid in de woon- en werkomgeving mogelijk wordt. De data worden onder andere gebruikt voor informatie en bewustwording naar burgers en gezondheidsonderzoek. Een ander voorbeeld is een fiets-app die de schoonste fietsroute in de stad geeft. En dan blijkt dat de gezondste route meestal niet de kortste route is.

6. Netwerken

Het meten van concentraties stoffen in de lucht is een belangrijke stap in Citizen Science. De zeggingskracht van een enkele meting is echter beperkt. Metingen winnen aan waarde als er veel van zijn. De beschikbaarheid van veel data maakt het mogelijk om meetgegevens met elkaar te vergelijken, patronen te ontdekken en betekenis te geven aan de data.

De snelste manier om meetgegevens te delen is door deze, voorzien van meta-data (informatie over de aard van de data), op het internet te zetten. Meetapparatuur kan via WiFi of Bluetooth met het internet worden verbonden of meetgegevens kunnen uit logbestanden in databases worden ingevoerd.

Voorbeelden van gratis dataservers zijn data.sparkfun.com en dweet.io. Wanneer de data eenmaal op het internet staat kan deze met andere sites, zoals freeboard.io, worden gevisualiseerd.

Een meer professionele aanpak wordt door Geonovum ontwikkeld in het SOSpilot platform (zie sensors.geonovum.nl). Op deze website worden de resultaten van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM volgens de INSPIRE en Eionet standaarden gepubliceerd.

iSPEX

iSPEX is ontwikkeld door een breed team van wetenschappers van het RIVM, NOVA, SRON en het KNMI. Het bestaat uit een opzetstukje (spectropolarimeter) dat voor de lens van een iPhone (4,45 of 5) kan worden geplaatst. Op deze manier kunnen individuen fijnstof-metingen verzamelen. De metingen worden via internet verzonden naar een server en daar gecombineerd met fijnstofkaarten en meegenomen in gezamenlijke analyses. De via iSPEX verzamelde data komen overeen met de data van vergelijkbare professionele meetinstrumenten.

Een Europees project met de iSPEX werd recent uitgevoerd door de steden Athene, Barcelona, Belgrado, Berlijn, Londen, Kopenhagen, Manchester, Milaan en Rome. Er werden metingen gedaan in de periode van 1 september tot en met 15 oktober 2015 op onbewolkte dagen. Negenduizend mensen ontvingen hiervoor een iSPEX opzetstukje voor hun iPhone. Ook Nederlanders die al een opzetstukje hadden konden meedoen.

Zie ispex.nl voor meer informatie en hoe u aan een vervolgonderzoek mee kunt doen.

7. Aan de slag!

Met dit boekje heeft u de (basis)informatie meegekregen om zelf aan de slag te gaan met het meten van luchtkwaliteit. Hieronder staan de stappen op een rij:

Waarom en wat wilt u meten?

Het is goed om eerst na te denken over wat u wilt bereiken met de metingen, wat is het doel? Vanuit gezondheidsperspectief wordt vaak naar stikstofdioxide (NO₂), fijnstof (PM₁₀ & PM_{2,5}) en roet (EC) gekeken. In hoofdstuk 3 leest u meer over deze stoffen.

Stof	Typische concentraties	Onzekerheid officiële apparatuur	Minimaal te meten verschil
NO ₂	Uur: 5-200 µg/m ³ Jaar: 15-45 µg/m ³	7% 9%	5-20 µg/m ³
PM ₁₀	Dag: 5-70 µg/m ³	8-17%	~5-10 µg/m ³
PM _{2,5}	Dag: 5-50 µg/m ³	11%	~5-10 µg/m ³
UFP	Uur: 5000 – 100000 deeltjes/cm ³	Nvt	~3000 deeltjes/cm ³
EC	Jaar: 0.5 – 2.0 µg/m ³	Nvt	0.25 µg/m ³

Welke kwaliteit van de meting wilt u bereiken?

Bij de keuze van de sensoren en de meetmethode, is het belangrijk om te kijken naar het minimale verschil (resolutie) dat gemeten moet kunnen worden, wil een meting 'zinnig' zijn. Factoren die hierbij een rol spelen zijn de 'typische' (gemiddelde) concentratie van de te meten stof in de lucht en de onzekerheidsmarge van de meetapparatuur. Zie de tabel hiernaast voor meer informatie.

Welke sensor is voor u geschikt?

Om te weten welke sensor (of meetapparaat) voor u het meest geschikt is, is het goed om te bepalen welke stof u wilt meten, waarom u wilt meten en welke hardware u wilt gebruiken. Ook het meetbereik, de gevoeligheid, de nauwkeurigheid en de prijs van de apparatuur hebben invloed op uw keuze. Zie hoofdstuk 4 voor meer informatie over de verschillende sensoren en meetapparaten.

Waar en wanneer meten?

Factoren als locatie en tijdstip van uw metingen kunnen sterk bepalend zijn voor de resultaten.

De gemeten concentraties dichtbij een bron kunnen een stuk hoger zijn dan de gemiddelde waarden in Nederland. Voor de locatiekeuze van de sensor is het verder belangrijk of u specifieke

bronconcentraties wilt meten (zoals wegverkeer) of de gemiddelde concentraties die zich in de lucht bevinden (achtergrondwaarde) op locaties die zich verder van emissiebronnen bevinden. De locaties waar mensen verblijven zijn over het algemeen interessanter om te meten dan de locaties waar niemand verblijft, omdat de duur en de mate van blootstelling van belang is voor het bepalen van het effect op de gezondheid.

Kwaliteit data bewaken

Als er gemeten wordt dan moet periodiek worden gecontroleerd dat de data correct zijn en de meetapparatuur goed werkt. Professionele apparatuur wordt vaak met behulp van iJkgassen gecontroleerd. Voor simpele sensoren is het van belang om de resultaten regelmatig met die van andere (professionele) apparatuur te vergelijken en ze hieraan te ijken. Een simpele manier is om eigen sensoren een tijdje naast een station van het Landelijk Meetnet te hangen en de resultaten te vergelijken.

Welke manier van data verzameling wilt u toepassen?

De manier van dataverzameling en analyse beïnvloedt de keuze van de hardware. Op zowel de Raspberry Pi als de Arduino is het relatief simpel om eenvoudige gassensoren aan te sluiten en uit te lezen. Een apart aandachtspunt is of u de data direct op het internet wilt posten, of deze periodiek wilt uitlezen. Meer informatie over de beschikbare hardware vindt u in hoofdstuk 5.

Kennis delen

De waarde van één enkele meting is beperkt. Hoe meer metingen er zijn, hoe waardevoller een meting wordt. Wanneer veel data beschikbaar is, wordt het mogelijk meetgegevens met elkaar te vergelijken, te analyseren en ook betekenis te kunnen geven aan de data. Ook komt meer kennis beschikbaar over lokale luchtverontreiniging en kunnen de gegevens gebruikt worden als aanvullende informatie voor lokale en nationale beleidsvorming.

De gemeten data kunnen gratis naar de eerder genoemde sites data.sparkfun.com en dweet.io (of een van de andere mogelijkheden) worden gestuurd en daar met anderen worden gedeeld.



Screenshot app 'Mijn Luchtkwaliteit'

Ook interessant...

Er zijn er verschillende websites en app's die informatie bieden over luchtkwaliteit, bijvoorbeeld:

- **'Mijn Luchtkwaliteit'**: deze app toont zowel de actuele luchtkwaliteit als verwachtingen voor verschillende stoffen voor de komende 48 uur. Gebruikers kunnen op de app een waarschuwningsniveau instellen, waarboven zij automatisch een bericht krijgen. Naast de meest recente meetwaarden, biedt de app ook een voor geheel Nederland berekende kaart voor verschillende stoffen.
- **Atlas Leefomgeving** (www.atlasleefomgeving.nl): deze website biedt informatie over de gezondheidsaspecten van de Nederlandse leefomgeving. Met onder andere gedetailleerde interactieve kaarten van actuele en jaargemiddelde concentraties van verschillende stoffen.
- **'Ik heb last'**: via deze app kunnen gebruikers bijhouden en doorgeven op welke momenten en op welke locaties zij last hebben van hun luchtwegen. Met deze gegevens hoopt het RIVM meer te weten te komen over de gevoeligheid van personen voor de meest voorkomende stoffen.
- **Luchmeetnet.nl**: deze website toont de gemeten luchtkwaliteit op meetpunten in Nederland en de berekende luchtkwaliteit in de vorm van kaarten. Meetgegevens zijn afkomstig van meetpunten van het RIVM, GGD Amsterdam, DCMR Milieudienst Rijnmond, Provincie Limburg en Omgevingsdienst Midden- en West-Brabant.



8. Citizen Science: de toekomst

Op korte termijn

De technologie van luchtkwaliteit metingen met behulp van kleine en relatief goedkope sensoren staat nog in de kinderschoenen, maar is volop in beweging en ontwikkeling. De meetresultaten van deze sensoren zijn in de praktijk nog erg gevoelig voor factoren als temperatuur, andere gassen en vochtigheid. De meetresultaten zijn ook nog niet voldoende consistent. Binnen enkele jaren zal de technologie zich waarschijnlijk dusdanig ontwikkelen dat metingen van burgers bruikbaar zijn voor wetenschappelijke en beleidsmatige doelen.

Voor gemeenten is het interessant om te kijken welke vragen er bij burgers op het gebied van luchtkwaliteit leven en hoe overheden hier met nieuwe technologie op in kunnen spelen. Met kleine sensoren en metingen door burgers zal het makkelijker worden om een gedetailleerd beeld van de lokale luchtkwaliteit te krijgen. Hiermee wordt het mogelijk om effecten van gemeentelijke maatregelen op specifieke locaties en op specifieke momenten te bepalen. De nieuwe technologie en meer gedetailleerde data bieden mogelijkheden voor beleid (en wetenschap) om de onderbouwing van beleid met metingen (deels) anders in te richten. We krijgen zo een steeds beter beeld van de kwaliteit van de leefomgeving en een betere basis voor beleid.


Verdere toekomst

Citizen Science wordt gezien als een onderdeel van de moderne slimme stad. In die stad zijn burgers niet (alleen) passief betrokken maar vervullen zij ook een eigen actieve rol. Frank Kresin (research director bij Waag Society) ziet een duidelijke evolutie in de 'slimme stad' en de rol van burgers daarin.

Slimme Stad 1.0: de slimme stad van de eerste generatie probeert haar bewoners van alle gemakken te voorzien, maar ziet hen uitsluitend als consument. Deze slimme stad is een machine die geoptimaliseerd moet worden, zonder ruimte of begrip voor de organische werkelijkheid.

Slimme Stad 2.0: in de slimme stad van de daarop volgende generaties kan en zal technologie een steeds prominentere rol gaan spelen in het oplossen van stedelijke problemen. Dit gaat ons nieuwe inzichten brengen en levert vrijwel zeker een gezondere leefomgeving, kostenbesparingen en efficiencyvoordelen op.

Voor duurzame innovatie is intensieve participatie van burgers essentieel. Zij komen met nieuwe inzichten en zullen bereid zijn om mee te werken aan het invoeren van oplossingen als hun stem in de ontwikkeling is gehoord. Een Slimme Stad 2.0 zet daarom in op innovatie van onderaf, het versterken van verbindingen en het omarmen van de creatieve frictie die dit oplevert.



Deze publicatie is tot stand gekomen vanuit de samenwerking tussen het Rijksinstituut voor Volkshuisgezondheid en Milieu en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu in het kader van het programma Slimme en Gezonde Stad.

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

Januari 2016