

Sensoren aan het werk in Eindhoven

E. Weijers (**ECN**)
J.-P. Close (**Stad van Morgen**)
S. van der Sterren (**Gemeente Eindhoven**)
E. de Groot (**Imagelabonline&Cardiovascular**)
R.P. Otjes (**ECN**)
G.J. de Groot (**ECN**)

December 2015
ECN-V--16-001



SENSOREN AAN HET WERK IN EINDHOVEN

WAT LEVERT HET EERSTE NEDERLANDSE SENSORMEETNET VOOR LUCHTKWALITEIT IN EINDHOVEN OP?

ERNIE WEIJERS, JEAN-PAUL CLOSE, SANDRA VAN DER STERREN, ERIC DE GROOT, RENÉ OTJES EN GERARD DE GROOT*

1. Inleiding

Sensoren zijn in. Overal zijn ze te vinden. Ze genereren veel data en 'Big Data' is dan ook een buzzword. Omdat sensoren steeds technisch verbeteren en goedkoper worden, zijn ze inzetbaar in grote aantallen. Ook in luchtkwaliteitsmetingen worden sensoren gebruikt. Inmiddels al weer twee jaar 'draaien' er nieuw ontwikkelde sensoren in een netwerk dat de luchtkwaliteit in de gemeente Eindhoven 'in de gaten houdt'. Het is het eerste stedelijke sensornetwerk in Nederland, en voor zover bekend ook het omvangrijkste stedelijke netwerk in Europa. Andere grootschalige sensornetwerken bevinden zich in havenindustriegebieden. Het RIVM en andere instanties meten de luchtkwaliteit in enkele tientallen meetstations in Nederland. Slechts enkele steden hebben meer dan één meetstation. De Stichting STIR, een stichting die sinds 2009 onder de naam 'Stad van Morgen' complexe verduurzamingstrajecten aanpakt, wilde een gezonde stad gaan creëren. Samen met de stad Eindhoven en de Provincie Noord-Brabant vond zij dat beter inzicht nodig was in de relatie tussen luchtvervuiling en gezondheid. Deze partijen besloten het samenwerkingsverband AiREAS op te zetten.



Dit startte met het definiëren van een nieuw en uniek meetsysteem: 'Innovatief Lucht Meetstelsel (ILM)', een fijnmazig netwerk van sensoren waarmee (ultra) fijnstof en stikstofoxiden (NO_x) in de stad worden gemeten. Real-time, zodat de actuele situatie snel op een computerscherm te zien is. De AiREAS partners zijn gemeente Eindhoven, provincie Noord-Brabant, Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), Universiteit Utrecht/IRAS, TU-Twente/ITC, Philips Research en Imtech (sinds 2014 Axioms). De missie: 'inzicht in actuele situaties, waardoor het duurzaam verbeteren van gezondheid en veiligheid in woon- en werk-omgevingen mogelijk wordt. Dit door de inzet van nieuwe, hoogwaardige en betaalbare technologie'. Deze technologie moest nog wel (verder) ontwikkeld worden. Met steun van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu is er flinke vooruitgang geboekt.

2. Sensoren

De afgelopen jaren heeft ECN de werking van de op de markt beschikbare 'fijnstofsensoren' en 'stikstofsensoren' aanzienlijk verbeterd. Ze meten nu

preciezer, sneller, meer en vaker. Met de door ECN 'in-house' ontwikkelde beheerssoftware worden de sensoren uitgelezen. De ILM-sensoren meten elke tien minuten het fijnstof in de lucht op basis van verstrooiing van licht. Deze optische sensoren kosten minder dan de bestaande referentie-meetapparatuur en bieden voldoende kwaliteit om trends en ruimtelijke variatie in een stad in kaart te brengen. Door het inzetten van veel sensoren wordt de ruimtelijke en temporele dekking veel groter. ECN heeft inmiddels ook betaalbare NO₂ (stikstofdioxide) sensoren ontwikkeld. Al deze sensoren zijn geïntegreerd in de zgn. AirBox (figuur 1): een behuizing waarin alle meetapparatuur wordt ingebouwd. In Eindhoven zijn deze



Figuur 1: AirBox, met daarin sensoren, accu en electronica voor aansturing en datatransmissie.



Figuur 2: De posities van de ILM stations in Eindhoven.



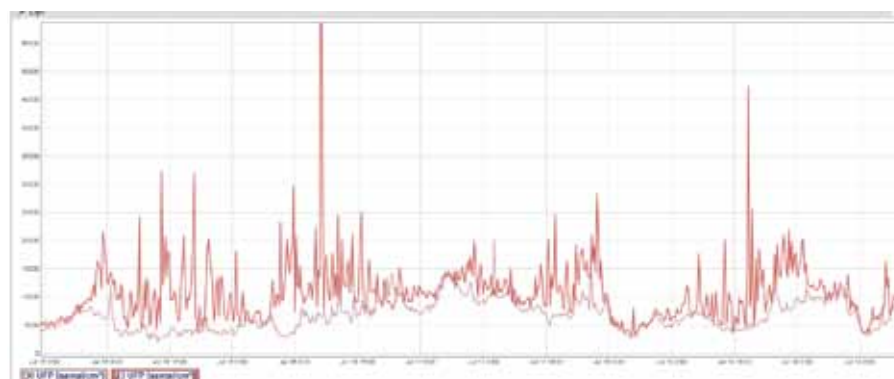
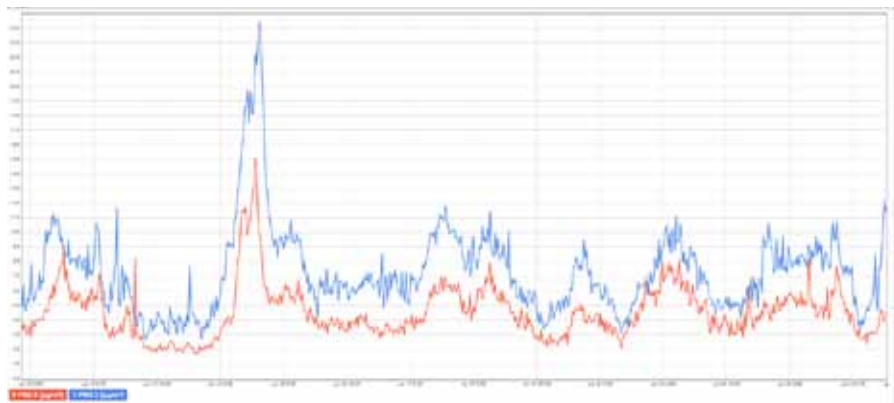
Figuur 3: De AiREAS website met de ILM data.



Figuur 4: Tijdregistratie van alle ILM sensoren in Eindhoven tijdens een storm in oktober 2013.

boxen opgehangen aan lantaarnpalen zodat ze 's nachts direct van elektriciteit zijn voorzien en overdag werken op een speciale accu die 's nachts wordt opgeladen.

Voor het ILM zijn 35 van deze fijnstofsensoren geplaatst in het binnenstedelijk gebied van Eindhoven (figuur 2). De ultrafijne deeltjes (UFP) worden gemeten op zes locaties met monitoren van Philips Research. De boxen voor de UFP-detectors zijn relatief klein, mobiel en kunnen makkelijk verplaatst worden. De sensordata worden draadloos naar



Figuur 5: Voorbeelden van metingen aan PM_{2,5} (boven) en UFP (beneden) in het ILM.

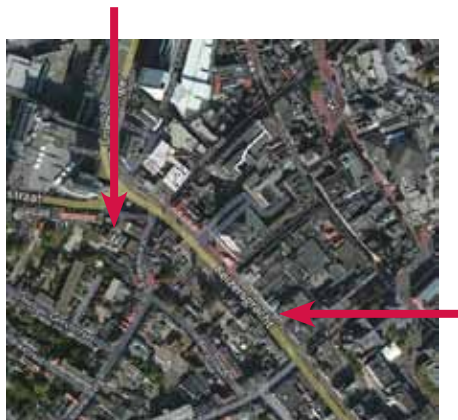
een centrale database gestuurd. De bouw van dit data-collectieplatform is verzorgd door Axians. Na analyse van de data wordt deze gevisualiseerd op een website.

3. Hoe werkt het ILM?

De Airboxen zijn nu bijna twee jaar operationeel. De resultaten worden zichtbaar gemaakt op de website van AiREAS (www.aireas.com) (zie figuur 3).

Meetlocaties zijn zo gekozen dat contrasten in (menselijke) blootstelling aan luchtverontreiniging gemeten worden. Deze blootstellingscontrasten zijn van belang voor het uit te voeren gezondheidsonderzoek en het inzicht in bronnen van luchtvervuiling. Zo is gekeken naar de aanwezigheid van drukke verkeerswegen en woonbebouwing. Airboxen zijn geplaatst daar waar concentraties naar verwachting relatief hoog, maar ook daar waar concentraties juist relatief laag zijn. Andere criteria waren: voldoende en evenredige spreiding over de stad en aanwezigheid van woningen of specifieke kwetsbare locaties als scholen, ziekenhuizen, bejaardenhuizen en dergelijke. In alle boxen wordt vanaf het begin fijnstof (PM₁, PM_{2,5} en PM₁₀), ozon, tem-

peratuur en vochtigheid gemeten. Op zes locaties zijn UFP-meters aangekoppeld en sinds maart 2015 zijn vijf stikstofdioxidesensoren toegevoegd. De databeschikbaarheid was met 98,5% uitstekend. Uitval werd voornamelijk veroorzaakt door problemen met de telecommunicatie en de accu die de Airbox overdag van spanning voorziet. Niet meegerekend is de uitval van een Airbox die compleet met lantaarnpaal omver werd gereden. Twee Airboxen meten naast cabines van het Landelijk Meetnet Luchtqualiteit (LML). Hierdoor is de betrouwbaarheid van de fijnstofsensoren voor PM₁₀ te volgen. Gemiddeld werd een afname in gevoeligheid van 7% per jaar waargenomen. Inzicht in de precisie van de sensoren van het ILM-netwerk hebben we verkregen tijdens een herfststorm (op 28 oktober 2013). Omdat lokale bronnen tijdens een dergelijke hevige storm nauwelijks bijdragen aan de PM-concentratie, moeten alle fijnstofsensoren vrijwel dezelfde waarden aangeven. Figuur 4 toont het concentratieverloop van PM_{2,5} van alle Airboxen tijdens deze episode. Een periode van twee dagen is zichtbaar. De windsnelheid bereikte de hoogste waarden halverwege de weergegeven periode.



Figuur 6: Locaties ILM-stations Keizersgracht (3) en Spijndhof (30).



Figuur 7: Locatie ILM-station Maaseikstraat (9).



Figuur 8: Locatie ILM-station Jeroen Bosch (23).

De relatieve standaarddeviatie was voor uurgemiddelde waarden 7%.

4. Wat leveren de data op?

Momenteel wordt een overzicht van gemeten concentraties uitgewerkt. In het voorjaar van 2016 zal daar gedetailleerd op kunnen worden ingegaan. Een eerste schets van resultaten van enkele stations is hier afgebeeld in figuur 5. Weergegeven worden: $PM_{2,5}$ en UFP. Opvallend in de $PM_{2,5}$ metingen (figuur 5 boven) op de stations Maaseikstraat (9) en Keizersgracht (3) is de overeenkomst in de tijd. Er is een langzame (en beperkte) variatie in de tijdreeksen te zien op beide stations. Dit klopt met de veronderstelling dat fijnstof als een deken over ons land ligt. Maar er zijn ook verschillen: het niveau op station Keizersgracht, gelegen in het centrum (figuur 6), is gemiddeld zo'n $2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger dan in de Maaseikstraat in een buitenwijk in het noorden van Eindhoven (figuur 7). Ook is de variatie in het signaal op de Keizersgracht groter. De aan- of afwezigheid van bronnen en de verschillen in ventilatie ter plekke (meer verdunning bij hogere windsnelheid) zijn verantwoordelijk voor deze verschillen.

Meer variatie is zichtbaar in de tijdreeksen (voor dezelfde periode) voor UFP (figuur 5 onder) op de stations

Spijndhof (30) en Jeroen Boschlaan (23). Spijndhof ligt niet ver van de Keizersgracht (figuur 6), maar wordt minder beïnvloed door verkeersemis-sies. Station 23 (Jeroen Boschlaan; figuur 8) daarentegen ligt aan de Ring van Eindhoven, een van de drukste wegen in de stad. Opvallend is het verschil met $PM_{2,5}$: er zijn veel hogere aantallen ultrafijne deeltjes en met snellere variaties langs de rondweg dan op de Spijndhof. Verantwoordelijk voor dit laatste is natuurlijk het verkeer dat met hoge snelheid langs het meetstation 23 rijdt. Het verschil tussen deze figuren illustreert fraai dat de aanwezigheid van verkeer veel beter 'zichtbaar' wordt in metingen van aantallen deeltjes dan in die van PM_{10} en $PM_{2,5}$. Dankzij het grote aantal meetstations ontstaat een beter beeld van verschillen binnen de stad. Over een korte periode zijn al verschillen zichtbaar maar ook over een lange periode. Na middeling over een langere periode wordt bijvoorbeeld een verschil zichtbaar van $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tussen de hoogste en laagste concentraties PM_{10} . In figuur 9 zijn de stations in Eindhoven gerangschikt naar concentratie.

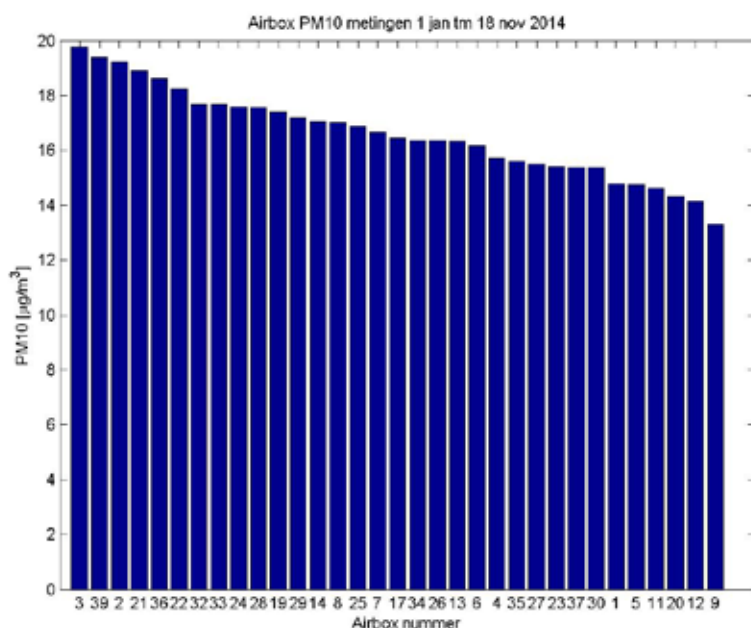
De belangrijkste oorzaken van deze verschillen zijn emissies in de omgeving en de mogelijkheid tot verdunning van (vervuilde) lucht. Station 9

(Maaseikstraat) heeft het laagste niveau. In de directe omgeving (figuur 10) is veel laagbouw, een groot park en weinig verkeer. Vlakbij station 3 (Keizersgracht) ligt een kruispunt met veel optrekkend en stilstaand verkeer (waaronder busvervoer) met rondom aaneengesloten een relatief hoge bebouwing die ventilatie belemmert.

5. Tot slot

Het meten in AiREAS gaat natuurlijk verder. Andere sensoren, meten aan ultrafijnstof en NO_2 op meer plekken en verbeterde temperatuurbepaling zijn voorgenomen stappen. Maar er is meer: de ILM dataset leidt tot een scala van nieuwe initiatieven. Enkele voorbeelden:

- Er wordt een project voorbereid voor een proef om de luchtmetingen te verbinden met een verkeersregelingssysteem. De bedoeling hiervan is verkeersaanbod zodanig aan te passen (bijvoorbeeld tijdens de spits) dat de luchtkwaliteit ter plekke niet verslechtert.
- Een ander initiatief is preciezer te kijken naar actuele verkeersstromen. Gebleken is dat deze niet overeenkomen met de verkeersdynamiek die men veronderstelde toen men keuzes voor een stedelijke infrastructuur maakte in een gebied. Zo kunnen kosten worden



Figuur 9: Gemiddelde PM₁₀ concentraties zoals gemeten in het ILM (periode: 1 jan-18 nov 2014).

1.	Eij-erven 41
2.	Lijmbekstraat 190
3.	Keizersgracht 28
4.	v. Weberstraat-Limburglaan
5.	Falstaff 8
6.	Grote Beerlaan 15
7.	Botenlaan 135
8.	Leenderweg 259
9.	Maaseikstraat 7
10.	Geen naam
11.	Leostraat 17
12.	Jan Hollanderstraat 70
13.	Siffertsestraat 12
14.	Twickel30
15.	Geen naam
16.	Geen naam
17.	Amstelstraat
18.	Geen naam
19.	Finisterelaan 45
20.	Sperwerlaan 4A
21.	Donk 24
22.	Hofstraat 161
23.	Jeroen Boschlaan 170
24.	v. Vollenhovenstraat
25.	Mauritsstraat 36-Anna v. Egmondstraat 14
26.	Gedempte gracht 109 (Vestdijk)
27.	S. Adrianusstraat 30
28.	Rijkwaertstraat 6
29.	Ds. Fiednerstraat
30.	Spjindhof
31.	"Vincent Ceerdinlaan, Waalre"
32.	Vesaliuslaan 50
33.	Beukenlaan 62
34.	Pastoriestraat 57
35.	Boschdijk 393
36.	Hudsonlaan 694 (Kennedylaan)
37.	Genovevalaan
38.	Geen naam
39.	Noord-Brabantlaan 36
40.	Geen naam

bespaard en keuzes veel resultaat-gericht worden onderbouwd.

- Groen, openbare ruimte en luchtkwaliteit leveren boeiende studies op. Er zijn reeds projecten in de stad gaande die gefocust zijn op vergroening, maar nog niet kijken naar de effecten op de leefomgeving en gedrag van de bevolking. AiREAS gaat daarbij helpen bijvoorbeeld door effecten op luchtkwaliteit (positief én negatief) in kaart te brengen.

Ook is aansluiting gemaakt met het programma 'Slimme en gezonde Stad' (SGS) van IenM. In dit programma werken IenM, gemeenten en andere betrokken partijen samen aan het verbeteren van de leefomgevingskwaliteit met name als het gaat om luchtkwaliteit, verminderen van geluidsoverlast en het verder brengen van slimme oplossingen. De activiteiten in AiREAS passen hier heel goed in. In januari 2016 zal dan ook een van de netwerk-bijeenkomsten gewijd worden aan AiREAS onder de titel 'Meten van luchtkwaliteit met sensoren'. Opedane ken-



Figuur 10: Omgeving station Maaseikstraat (9).

nis wordt zo gedeeld met andere gemeenten.

* Ernie Weijers, René Otjes en Gerard de Groot zijn allen werkzaam bij Energieonderzoek Centrum

Nederland (ECN), Jean-Paul Close is werkzaam bij Stad van Morgen, Sandra van der Sterren werkt bij de gemeente Eindhoven en Eric de Groot is werkzaam bij Imagelabonline&Cardiovascular.



Figuur 11: Omgeving station Keizersgracht (3).

De oprichter (Jean-Paul Close)

Toen wij als initiatiefnemers van AiREAS in 2010 op zoek gingen naar technologische partners voor de invulling van onze wensen konden we ze nergens vinden. Er waren genoeg meetproducten beschikbaar; van extreem dure tot goedkope opensourcevarianten waarvan de kwaliteit te wensen overlaet. Maar alle opties dekten maar een klein deel van ons wensenpakket af. Het ontwikkelen van specifieke technologie kent een hoog risico en is tijds- en kennisintensief. ECN bleek als enige de uitdaging van sensorontwikkeling in cocreatie met een relatief open einde, aan te durven.

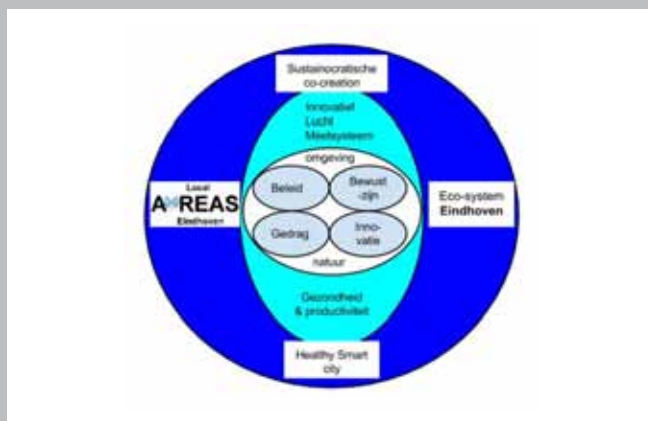
AiREAS is geen technologisch integratiebedrijf maar een samenwerkingsverband waarin technologie, innovatie, wetenschap, cultuur en beleid met elkaar worden verbonden om te komen tot een duurzame menselijke leefbaarheid. Binnen AiREAS maakt het meten onderdeel uit van een complex leerproces en discussietraject waarin betrouwbaarheid, bruikbaarheid en openheid essentieel is.

Met 'Local AiREAS' in Eindhoven ontstond een soort maatschappelijke en ecologische R&D-omgeving, met luchtkwaliteit, klimaat, weer, beleid, verkeer, gezondheid, open data, gedrag, cultuur en innovatiedrang als mengelmoes van ingrediënten. Ondertussen dienden zich allerlei andere gebieden en steden aan die hier ook mee aan de slag willen. In de open R&D-samenwerking is een ontwikkeling of innovatie steeds onderhevig aan nieuwe inzichten en wensen. Maar gebieden die zich aansluiten, maken gebruik van de reeds opgedane ervaringen en kant-en-klaarsystemen die inzetbaar zijn in hun eigen lokale AiREAS-aanpak. De product- en dienstenontwikkelaars dienen dan ook telkens momenten te vinden in de living-lab-context om een product af te sluiten en te verpakken in een overdraagbaar pakket.

Binnen AiREAS staat een product nooit alleen, maar is het een element binnen een functionele structuur. De eerste fase van het AiREAS ILM werd samengesteld door ECN, Axians en Philips. Dat kan als eenheid worden gezien die ook in andere lokale AiREAS-samenwerkingen geplaatst kan worden of kan worden opgenomen in een bestuurlijke hiërarchie. Fase twee van het AiREAS ILM omvat de verbinding met gezondheidsontwikkeling in de regio. Dat vraagt om een heel andere partnersamenstelling en samenwerking. Fase drie omvat de betrokkenheid van het lokale ondernemerscollectief en integratie van vele informatiestromen van andere databronnen, zoals verkeer, levend groen, klimaat enzovoort.

Telkens is het ILM de basis voor betrouwbaar en kwalitatief

hoogwaardige koppeling van thema's en producten met de leefomgeving. ECN en Axians zijn als structurele partners niet alleen voorbeeldorganisaties voor sensorontwikkeling en datatoepassing, maar vooral ook voor de toevoeging van maatschappelijke en ecologische waardecreatie voor wereldwijde uitvergroting.



Het AiREAS oog.

De gemeente Eindhoven (Sandra van der Sterren, adviseur luchtkwaliteit)

AiREAS gaat uit van een nieuwe manier van werken: gelijkwaardige samenwerking van overheid, ondernemer, wetenschap en burger, met het doel door inzet van kennis en techniek een bijdrage te leveren aan maatschappelijk relevante kwesties. Door deze samenwerking kan iets worden mogelijk gemaakt dat door de partijen afzonderlijk niet kan worden bereikt.

Eindhoven, tot bloei gekomen vanuit innovatie en samenwerking, was een logische plek om te starten met een Local AiREAS. Eindhoven stelde zich in 2012 graag beschikbaar als proeftuin voor dit initiatief aangezien het met innovatie bijdraagt aan een aantrekkelijke en gezonde stad. Vanaf de eerste verkenningen heeft de gemeente Eindhoven, als een van de partners, bijgedragen aan de ontwikkeling van een lokaal meetnet dat meer inzicht geeft in luchtkwaliteit op straatniveau en de relatie met gezondheid.

AiREAS is ontstaan vanuit de visie en ambitie van een paar burgers en blijft met haar aanpak ook dichtbij burgers. AiREAS betreft Eindhovense inwoners letterlijk bij onderzoek in relatie tot luchtkwaliteit, gezondheid en leefstijl. Zo wordt echt duidelijk dat we allemaal met luchtkwaliteit en effecten op gezondheid te maken hebben en hier actief mee kunnen omgaan. Naast bewustwording geeft het mogelijk-

heden voor het bieden van handelingsperspectief. Het leuke is dat door de open data en de open (maar niet vrijblijvende!) manier van samenwerken, er telkens bedrijven, ondernemers en burgers opstaan die betrokken raken en aan de slag gaan. Zo ontstaan steeds mogelijkheden die AiREAS verkent en uitprobeert. Daarvan wordt geleerd en ontstaan weer nieuwe kansen. Het traject was vooraf niet te voorspellen en toch was dat nou juist het idee!



De gezondheidswetenschapper (Eric de Groot, Imagelabonline & Cardiovascular, Eindhoven/ Lunteren)

Sleutelwoorden binnen AiREAS zijn burgerparticipatie en gezondheid. AiREAS start met 4000 Eindhovenaren een laagdrempelig burgerparticipatieprogramma over welbevinden, levensstijl en gezondheid. Participatie voor deelnemers is transparant, interactief en gebaseerd op real time open data aangaande luchtkwaliteit. Daarnaast vindt individuele terugkoppeling door deskundigen plaats. Inmiddels is het vooronderzoek voor dit project, een Proof-of-Principle (POP) studie, in de wijk Gestel succesvol afgerond.

In het project wordt de informatie over luchtkwaliteit gebruikt om PM-, UFP- en O₃-belasting van individuele deelnemers te schatten over langere (jaren) en kortere termijn (een week). Luchtkwaliteit is van directe invloed op de gezondheid van hart- en bloedvaten: vaatwanden van gezonde mensen zijn dunner, soepeler en reageren sneller op veranderende gewone dagelijkse situaties (als de trein halen of gaan staan). Per deelnemer wordt daarom driemaal, om de twee jaar, gedurende een week de gemiddelde locatie ten opzichte van de AirBoxen gemeten. Hiervoor worden deelnemers gevolgd met een GPS-tracker en worden hartritme en -acceleratie (stressmeting door middel van draagbare 'Heart Rate Variability' apparatuur) gemeten. Aan het eind

van de week wordt een aantal niet-belastende vaatonderzoeken van halsslagerwand en grote bloedvaten uitgevoerd met echografie (kortetermijneffecten van luchtkwaliteit op vaatwandfunctionaliteit; langetermijneffecten op vaatwandstructuur) en geavanceerde bloeddrukmetingen (vaat-souplesse).

De week wordt ingeleid en intensief begeleid met persoonlijke interviews door deskundigen. Ervaringen van deelnemers kunnen zo, samen met de onderzoeksresultaten van lucht- en gezondheidsmetingen, bijdragen aan een groter welbevinden en hogere levenskwaliteit in een gezondere stad.



Halsslageronderzoek; in beeld een deelnemer, de AirBox en het uitvoeren van een echografie.

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 LG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl

