

Project SMAL Zeist

Samen meten aan Leefomgeving

Projectrapportage
mei 2019

Uitgevoerd door

Coöperatief Meten Natuurlijk U.A.
KvK Utrecht 71992553
BTW. nr. NL8589.32.623.B01

Mogelijk gemaakt door



SAMEN DUURZAAM
ZEIST



Gemeente Zeist



PROVINCIE  UTRECHT

Inhoudsopgave

Management samenvatting.....	3
Inleiding.....	5
Verloop van het project.....	6
Behaalde resultaten.....	7
Onderzoek & Ontwikkeling.....	7
Meetstation.....	7
Internet-of-Things gateway.....	8
100% zonnestroom.....	9
Server voor data-verwerking en opslag.....	10
Dashboard voor data-analyse.....	10
Website.....	11
Verwerking van KNMI-winddata.....	12
Data-koppeling met semi-professionele weerstations.....	12
3D-Printen van meetstation-frames.....	12
Uitrol van het LoRaWAN Internet-of-Things netwerk.....	12
Samenwerking.....	13
Kennisopbouw.....	13
Waarnemingen.....	14
Vuurwerk 2018/2019.....	14
Saharazand.....	14
Paasvuren.....	15
Een wolk fijnstof vanaf de Noordzee.....	15
Opgedane inzichten.....	16
Gevoelig voor luchtvochtigheid.....	16
Aanwaaiend fijnstof.....	16
Verschillen per Wijk / Buurt.....	17
Invloed van de seizoenen.....	17
Invloed van wind.....	18
'Agile' (wendbaar) werken.....	18
Uitdagingen.....	19
Kalibratie.....	19
Gateways / antennes op hoge gebouwen.....	19
Uitschalen in aantallen.....	19
Financiën.....	20
Uitgaven.....	20
Lange termijn financiering.....	20
Evalutatie.....	21
Maatschappelijke relevantie.....	21
Toegevoegde waarde.....	21
Toekomstvisie.....	23
Primaire focus.....	23
Internet-of-Things netwerk.....	23
Data-koppeling / Data-publicatie.....	23
Versnellen.....	23
Ambities.....	24
Kansen: Hoge gebouwen van het RIVM en de Provincie Utrecht.....	24
Betere sensoren en meten van andere lucht-eigenschappen.....	24
(Meta-)data combineren uit andere bronnen / meetsystemen.....	24
Klimaatkast.....	24

Management samenvatting

SMAL Zeist is een burgerinitiatief dat zich als doel gesteld heeft om te meten aan luchtkwaliteit in en om de gemeente Zeist. Om dit te realiseren wil SMAL Zeist een gemeente-dekkend Internet-of-Things (IoT) netwerk opzetten dat ook vrij gebruikt kan worden door andere initiatieven en organisaties.

Het initiatief maakt gebruik van de inzet van vrijwilligers voor het realiseren van deze doelen.

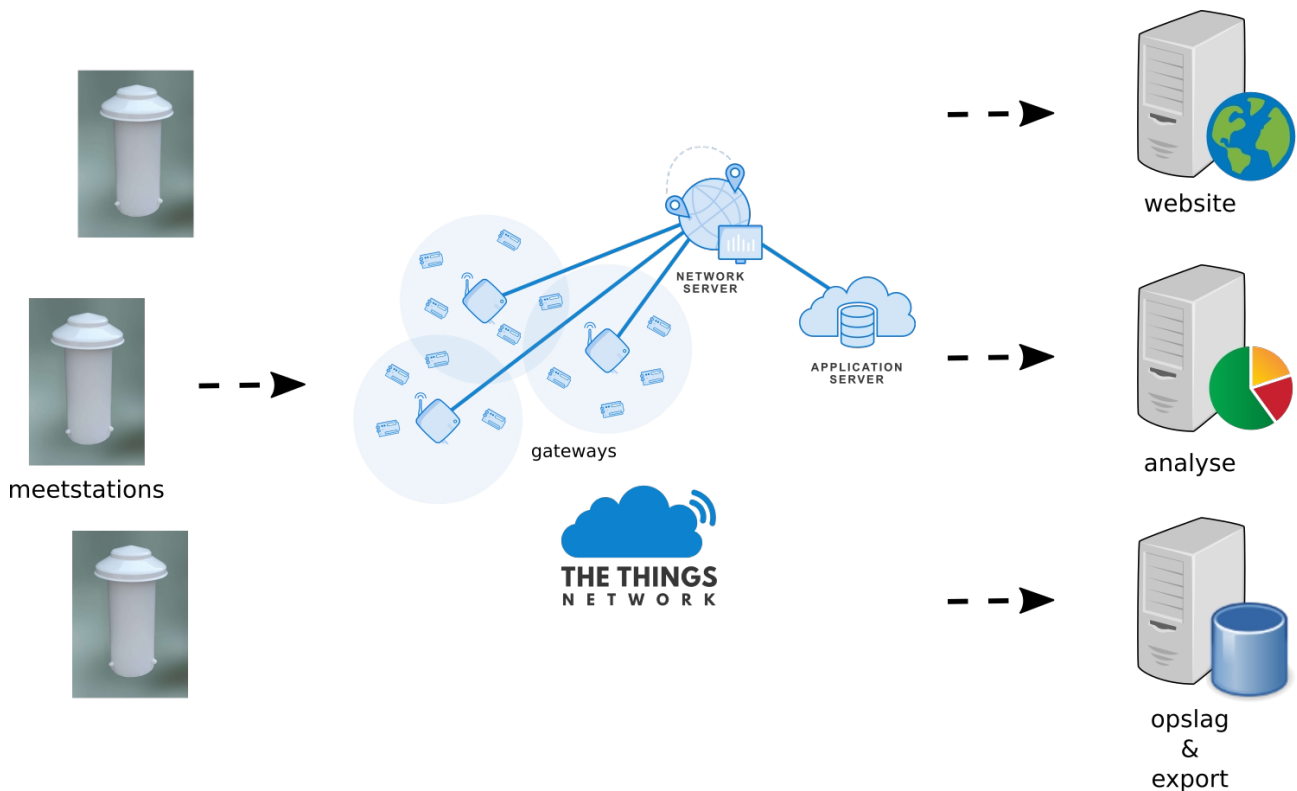
De afgelopen periode heeft de focus gelegen op het ontwikkelen van een goed meetstation.

Voor het IoT-netwerk is er een gateway-systeem ontwikkeld dat de metingen van de meetstations draadloos kan ontvangen en doorsturen naar de centrale server-omgeving.

Daarnaast is er veel aandacht gegaan naar het bouwen van een software die de binnenkomende meetdata goed kan verwerken, valideren en opslaan.

De metingen worden vervolgens real-time gepubliceerd op de website van het project.

<https://smal.meten-natuurlijk.nl/>



Met behulp van de visualisatie-omgeving zijn er een aantal interessante fenomenen waargenomen. Zo is gemeten wat de effecten zijn van vuurwerk tijdens de jaarwisseling, en zijn er hoge concentraties fijnstof gemeten als gevolg van saharazand, paasvuren en andere fijnstofbronnen.

Hoewel de metingen nu nog niet gekalibreerd zijn, zijn er toch al interessante patronen uit op te maken. Zo tonen de metingen aan dat de luchtkwaliteit per wijk/buurt verschillend is. Tevens is

gemeten dat de seizoenen, de windsnelheid en de windrichting invloed hebben de gemeten hoeveelheid fijnstof in de lucht.

Uit de analyses blijkt dat de gebruikte sensoren (vooral bij een hoge relatieve vochtigheid) gevoelig zijn voor luchtvochtigheid. Dit wil SMAL Zeist oplossen door voor de sensoren een goede kalibratie-methode te ontwikkelen.

Door ook serieus te blijven werken aan de kwaliteit van de metingen (o.a. door kalibratie), worden deze ook nuttig voor andere belanghebbenden, zoals bijvoorbeeld het RIVM, KNMI, ODRU, en anderen, die hun rekenmodellen kunnen verrijken. De waarde van de verzamelde data neemt toe naarmate ze meer inzichten oplevert die leiden tot betere informatie en kennis, en een mogelijk handelingsperspectief dat daaruit voort vloeit.

Naar verwachting zal de wetgeving op het gebied van luchtkwaliteit in de loop van de tijd worden aangescherpt. Daarmee zal de behoefte aan goede luchtmetingen toenemen, en zal de waarde van de inzichten in de factoren die van invloed zijn op de lokale luchtkwaliteit de komende periode groter worden.

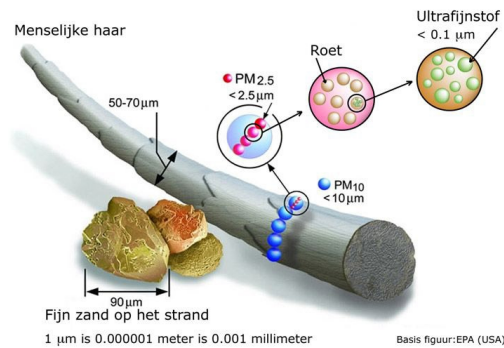
De focus van SMAL Zeist zal de komende periode liggen op:

- Het uitbouwen van het Internet-of-Things netwerk
- Het realiseren van een data-export zodat derden gebruik kunnen maken van de meetdata
- Het delegeren van werkzaamheden, zodat er parallel meer voortgang gemaakt kan worden

Inleiding

SMAL Zeist is een burgerinitiatief dat, met relatief goedkope sensoren, zo goed mogelijk wil meten aan de luchtkwaliteit in de gemeente Zeist.

Fijnstof wordt in Nederland gezien, na kanker en hart en vaatziekten, als derde oorzaak van een verkorting van de gemiddelde levensduur. Het zorgt voor een verslechtering van de productiviteit en heeft een negatief effect op de gezondheid.



Om die reden is SMAL Zeist de uitdaging aangegaan om te gaan meten en inzicht te geven in de niveaus van de fijnstof in de gemeente Zeist.

Voor het meten aan fijnstof zijn tegenwoordig redelijk wat betaalbare sensoren verkrijgbaar.

Ook zijn er communicatiemiddelen beschikbaar, in de vorm van Internet-of-Things die het mogelijk maken om draadloos kleine data-pakketjes over grote afstanden te versturen.

De combinatie van deze mogelijkheden heeft er toe bijgedragen dat SMAL Zeist de uitdaging is aangegaan om zo goed mogelijk te meten aan luchtkwaliteit, waarbij gebruik gemaakt wordt van betaalbare sensoren en een open toegankelijk Internet-of-Things netwerk.

Verloop van het project

Het project is gestart in November 2017.

Er is voor gekozen om een zgn. 'Agile' (<https://www.sixsigma.nl/wat-is-agile>) werkvorm te kiezen, omdat er nog veel zaken uitgezocht moesten worden waarvan niet op voorhand bekend was hoe deze de voortgang zouden kunnen beïnvloeden. Deze moderne werkwijze is gangbaar voor innovatieve projecten. Ook betekent het dat na iedere 'Sprint' (iteratie) een (voorlopig) resultaat kan worden opgeleverd, waarna de beslissing kan worden genomen of er een, danwel welke, volgende fase wordt ingegaan.

Voor de eerste sprint van het project is als doel gesteld om te meten aan de effecten van vuurwerk tijdens de jaarwisseling 2017 – 2018. Dat is succesvol afgerond. De metingen kwamen vrijwel 'real-time' binnen, en het terugkeren tot meer gangbare fijnstof niveaus ging vrij snel door de invloed van regen en wind.

In de periode daarna is het meetstation in meerdere iteraties verder doorontwikkeld.

Er is ook gewerkt aan het opzetten van een website voor deelnemers, waar men de meetresultaten van o.a. het eigen meetstation kan inzien. Dit ontwikkelproces is nog volop gaande, en er worden met hoge regelmaat nieuwe functies aan de website toegevoegd.

Om de financiën in goede banen te leiden is er een coöperatie opgericht:

Coöperatief Meten Natuurlijk U.A.

Dit waarborgt een transparante manier van financiële verantwoording, en geeft een structuur die het mogelijk maakt om ook nieuwe initiatieven te gaan ontwikkelen.

Ook is een samenwerkingverband opgezet met het meetinitiatief 'Meet je Stad' in Amersfoort, waarbij er gebruik gemaakt kan worden van elkaars ervaringen. Inmiddels is er met onze hulp ook in Bunnik een meetinitiatief in oprichting, en heeft een groep inwoners uit Utrecht-Noord ons via de ODRU benaderd voor adviezen.

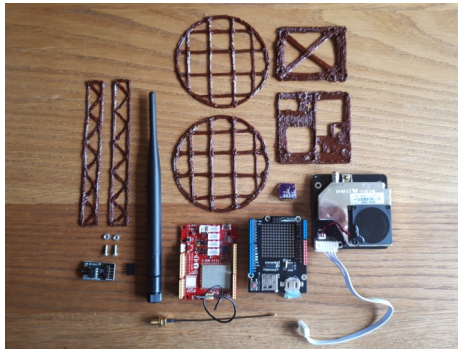
Er zijn eerste stappen gezet om te komen tot de installatie van zgn. 'Gateways' (ontvangst antenne-systeem) op hoge gebouwen, waarbij de stroomvoorziening door zonne-energie wordt verzorgd. De haalbaarheids-tests zijn inmiddels succesvol afgerond. Daarbij was het streven om ook op de donkerste dagen van het jaar 24-uur per dag te kunnen doorgaan met ontvangen en doorgeven van de meetdata die door de meetstations in de omgeving wordt gegenereerd. Dit reduceert tevens de afhankelijkheid van het openbare electriciteitsnet, waar soms uitval optreedt.

Behaalde resultaten

Onderzoek & Ontwikkeling

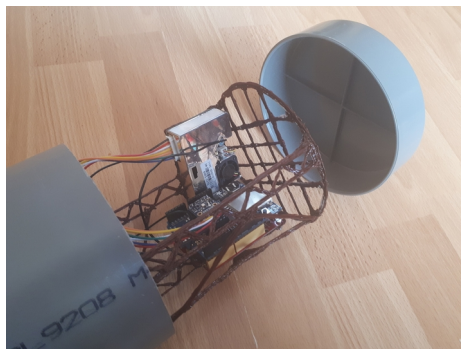
Meetstation

[✓] Er is, in meerdere stappen, elektronica ontwikkeld voor een meetstation dat vol-continu kan meten aan de luchtkwaliteit en deze kan versturen via het LoRaWAN netwerk van The Things Network.



Onderdelen van een meetstation

[✓] Er is, ook in meerdere stappen, een behuizing ontwikkeld voor het meetstation. Voor het ontwikkelen van de meetstation behuizing is met veel dank gebruikgemaakt van de eerdere ervaringen die door 'Meet je Stad' zijn opgedaan. Op basis daarvan zijn er door SMAL Zeist meerdere alternatieve behuizingen gebouwd en getest. Al snel bleek dat de temperatuur *in* de behuizing sterk fluctueerde als er zonschijn op de behuizing viel. Om mogelijke temperatuur invloed op de kalibratie te reduceren, is gekozen voor een dubbelwandige/spouw behuizing met een witte buitenkant. Dit heeft een positief effect op het reduceren van de temperatuur-schommelingen, wat ook resulteert in een langere levensduur van de elektronica.



*Eerste versie
van de meetstation-behuizing
(deels afgesloten, grijs,
en enkelwandig)*



*Nieuwste versie
van de meetstation-
behuizing
(dubbelwandig, wit
en geventileerd)*

Helaas heeft het project te maken gekregen met vandalisme en diefstal van onderdelen van een meetstation. Om die reden is er ook behuizing ontwikkeld die minder gevoelig is voor vandalisme in een natuurlijke omgeving, door gebruik te maken van camouflage techniek.

[✓] Er is een succesvolle test uitgevoerd om een meetstation zelfstandig (off-grid) te voeden uit een klein zonnepaneel i.c.m. een accu.

Internet-of-Things gateway

[✓] Er is een selectie gedaan voor een LoRaWAN Internet-of-Things gateway, met een bijpassende antenne. Deze combinatie is uitvoerig getest op meerdere lokaties.



*LoRaWAN gateway
in een
weerbestendige
behuizing*



*LoRaWAN antenne op een
dakkapel in Zeist-noord*

100% zonnestroom

[✓] Er is een frame ontwikkeld van steigerbuizen waarmee een zonnepaneel in de optimale hoek geplaatst kan worden zodat er zo veel mogelijk zon opgevangen kan worden tijdens de kortste winterdagen.



Zonnepaneel-frame



Steigerbuis-koppelingen

[✓] Er is een systeem samengesteld met een zonnepaneel, zonne-regelaar en een flinke accu, waarmee een LoRaWAN IoT gateway off-grid (zonder netstroom) gevoed kan worden uit 100% zonnestroom.



Zonne-regelaar



Bewakings-systeem



Compleet systeem met accu in een weerbestendige koffer

[✓] Er is een hijs-constructie ontwikkeld waarmee een lood-accu van 74kg veilig een verdieping omhoog getakeld kan worden



Takel stellage



Kettingtakel
9 / 24

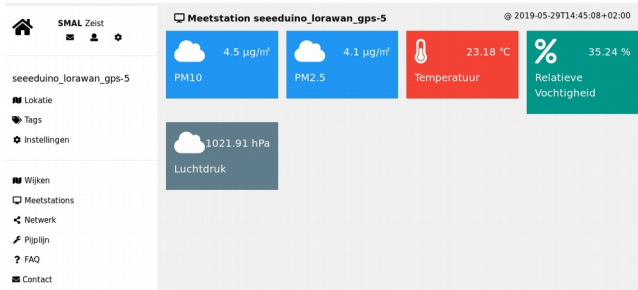


Koffer met accu en hijsbanden

Website

[✓] Er is een website gebouwd met daarin:

- Een pagina waar deelnemers live de meest recente metingen van hun meetstation kunnen inzien
- Een overzicht-pagina van de meetstations die wel en niet actief zijn
- Een overzicht-pagina van de gateways die wel en niet actief zijn
- Een wijken-pagina die de luchtkwaliteit van de verschillende wijken en buurten toont

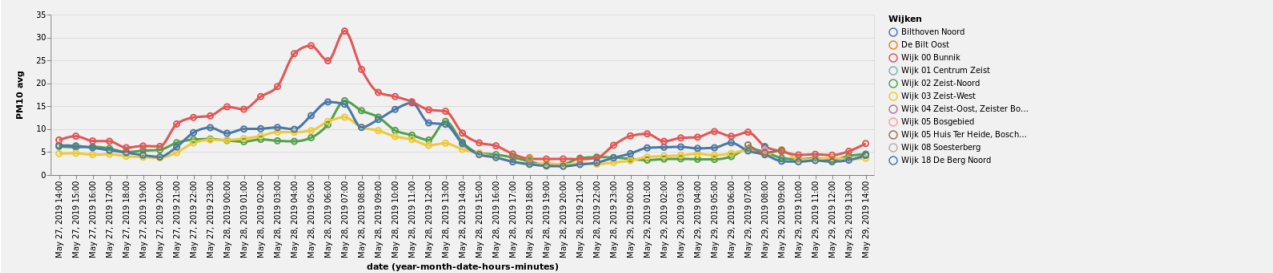


alias	enabled	env	alive	LPP [live/ena]
GPS-19_Mobile	✓	dev	▲ 2019-05-29T12:29:08+02:00	3/6
Gemeentehuis	✓	prd	✓ (987)	5/5
GPS-4	✓	tst	▲	1/1
Nijenheim_2	✓	tst	▲ 2019-03-02T15:48:20+01:00	11/13
Nijenheim_3	✓	prd	✓ (2764)	7/8
Voerlieden	✓	prd	✓ (111546)	6/6
GPS-11_Traveler	✓	prd	▲ 2019-04-19T07:07:52+02:00	7/10
GPS-14	✓	prd	✓ (276)	4/6
Nicolai	✓	prd	✓ (27942)	6/7
GPS-16	✓	tst	✓ (26327)	9/13
A28_GPS-2	✓	prd	✓ (3969)	7/7

SMAL Zeist - Wijken

Wijken

Gemeente	Wijk	Buurt	LKI	PM10 [µg/m³]	PM2.5 [µg/m³]	Aantal metingen
Zeist	Wijk 02 Zeist-Noord	Dijsenlburg	1	5.18	3.43	60
Zeist	Wijk 02 Zeist-Noord	Vollenhove	1	4.74	4.03	15
Zeist	Wijk 03 Zeist-West	Nijenheim	1	3.4	2.72	43
Zeist	Wijk 03 Zeist-West	Griffensteijn en Kersbergen	1	4.66	4.25	21
Bunnik	Wijk 00 Bunnik	Bunnik	1	6.9	6.1	13
De Bilt	Bilthoven Noord	Bilthoven Noord	1	4.54	4.11	12



De website (in ontwikkeling) is gepubliceerd op de volgende URL: <https://smal.meten-natuurlijk.nl/>

Verwerking van KNMI-winddata

SMAL Zeist wil niet alleen metingen uitvoeren, maar de meetdata ook van wat duiding kunnen voorzien. Om die reden is het belangrijk om inzicht te hebben de omgevings-factoren rondom het meetstation. De luchtvochtigheid, windsnelheid en windrichting lijken invloed te hebben op de gemeten hoeveelheid fijnstof in de lucht. De meetgegevens van externe bronnen worden daarom opgehaald om de oorzaken en het gedrag van fijnstof-concentraties beter te kunnen duiden.

[✓] Er is software ontwikkeld voor het ophalen en verwerken van Meteo-gegevens van het KNMI

Data-koppeling met semi-professionele weerstations

Uit een aantal voorvallen is gebleken dat de windrichting en windsnelheid invloed hebben op de concentraties en de samenstelling (PM₁₀ versus PM_{2,5}) van fijnstof in de lucht.

[✓] Om dit te kunnen onderzoeken zijn er 2 semi-professionele weerstations aangeschaft (Davis/MeteoBridge)

[✓] Er is software ontwikkeld zodat de Meteo-gegevens uit semi-professionele weerstations (MeteoBridge) verwerkt kunnen worden

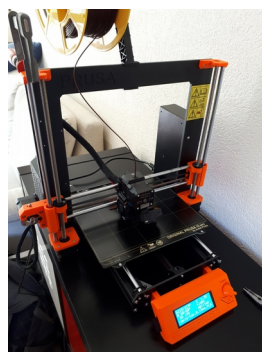
3D-Printen van meetstation-frames

Aan het begin van het project is er geëxperimenteerd met een 3D-pen voor het ontwikkelen van het binnenframe van het meetstation. Dit was prima voor de eerste fase, maar bleek te arbeidsintensief als er meerdere meetstations gebouwd moeten worden.

Om de snelheid van het ontwikkelen en bouwen van meetstations te verbeteren is er een 3D-printer aangeschaft. Dit heeft een zeer positief effect gehad op de ontwikkeling van de meetstation-behuizing. Ook print de 3D-printer nauwkeuriger en efficiënter dan een 3D-pen, waardoor het eindresultaat steviger is, er minder mislukt, en er effectief minder plastic gebruikt wordt.



*Handmatig gemaakt
frame*



3D printer



*3D geprint frame
m.b.v. BIO-plastic*

Uitrol van het LoRaWAN Internet-of-Things netwerk

[✓] Er zijn 3 gateways actief, waarvan 2 permanent.

Er wordt hard gewerkt aan het activeren van een Gateway op het gemeentehuis in Zeist. Ook zijn de voorbereidingen voor plaatsing op 2 andere lokaties al ver gevorderd.

[✓] Er zijn 10 meetstations gebouwd, waarvan 7 permanent actief.

Er zijn voorbereidingen getroffen voor het uitbreiden met zo'n 30-40 aanvullende stations.

Samenwerking

- **RIVM:** De samenwerking met het RIVM is erg waardevol. Dit heeft geleid tot een eerste kalibratie-curve voor de SDS011 fijnstofsensoren.
- **KNMI :** Het KNMI heeft aangeboden dat er gebruik mag worden gemaakt van hun klimaatkamer.
- **ODRU :** Vanuit de ODRU worden er relaties gelegd met andere meet-initiatieven. Daarnaast wil de ODRU haar modellen voor luchtkwaliteit graag verfijnen met de meetgegevens en inzichten van SMAL Zeist.
- **Meet je Stad, Amersfoort :** De samenwerking met Meet je Stad (Amersfoort) is zeer waardevol op het gebied van techniek en kennisuitwisseling. Daarbij is er een erg fijne sfeer en goede samenwerking. Kennis, inzichten en ervaringen worden transparant met elkaar gedeeld, zodat de initiatieven van elkaar kunnen leren en elkaar kunnen verrijken.
- **SMAL Bunnik :** Er is een samenwerking met een bewonersinitiatief in Bunnik opgezet. Dit initiatief gaat gebruik maken van het platform van SMAL Zeist. Daarbij zal het gaan zorgen voor eigen financiering.
- **Stichtse Vecht :** Er is contact gelegd met Stichtse Vecht, waarbij onderzocht is hoe SMAL Zeist kan helpen bij het meten van de luchtkwaliteit in die omgeving. Het platform van SMAL Zeist is goed toepasbaar voor Stichtse Vecht. Vanwege de beperkt beschikbare tijd heeft SMAL Zeist echter besloten om voorlopig eerst nog even focus aan te brengen op de gemeente Zeist. Als het netwerk daar voldoende omvang heeft kan de samenwerking met Stichtse Vecht verder worden opgepakt.

Kennisopbouw

Tijdens het project hebben de actieve deelnemers op veel vlakken nieuwe kennis opgedaan:

- Programmeren van Embedded elektronica (Arduino)
- Ervaring opgedaan met Internet-of-Things (LoRaWAN van The Things Network)
- Opzetten van IoT-communicatie op basis van Cayenne/LPP
- Ontwikkelen van website m.b.v. Ruby/Sinatra
- Ervaring opgedaan met HTML5/Angular & CSS
- Ervaring opgedaan met VegaLite als tool voor grafische website-visualisaties
- Ontwikkelen van web-API's m.b.v. Ruby/Grape/RSpec
- Ontwikkelen van streaming-data API op basis van Server-Sent-Events
- Opzetten van een data-analyse omgeving m.b.v. ElasticSearch & Kibana
- Onderzoek naar het realiseren van een API voor geo-shapes (buurten/wijken)
- Opzetten van GitLab als repository voor source-code
- Opzetten van GemInABox als repository voor Ruby Gems
- Ervaring opgedaan m.b.t. het opzetten van een Coöperatie (KvK, Belastingdienst, administratie, verzekeringen)
- Samenstellen van een off-grid energie-systeem dat werkt op basis van 100% zonnestroom
- Ervaring opgedaan m.b.t. het veilig verplaatsen en takelen van een lood-accu van 74 kilo.
- Ervaring opgedaan m.b.t. het in kaart brengen van de dekking van The Things Network

Alle bovengenoemde kennis is opgedaan op basis van "learning-on-the-job".

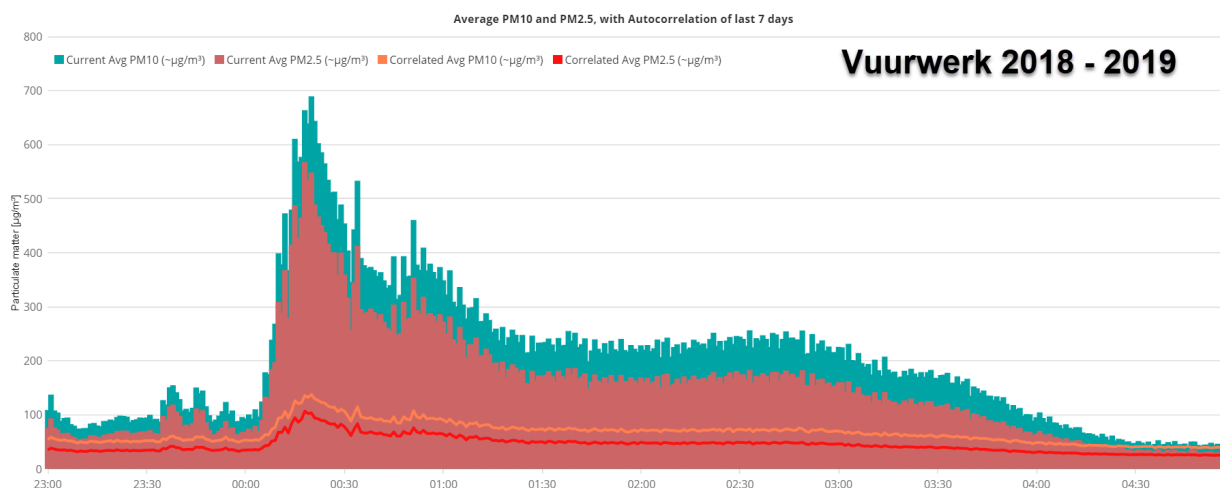
Waarnemingen

In de periode dat er gemeten is, zijn er vele waarnemingen gedaan. Hieronder volgen een aantal interessante waarnemingen die in het oog sprongen.

Vuurwerk 2018/2019

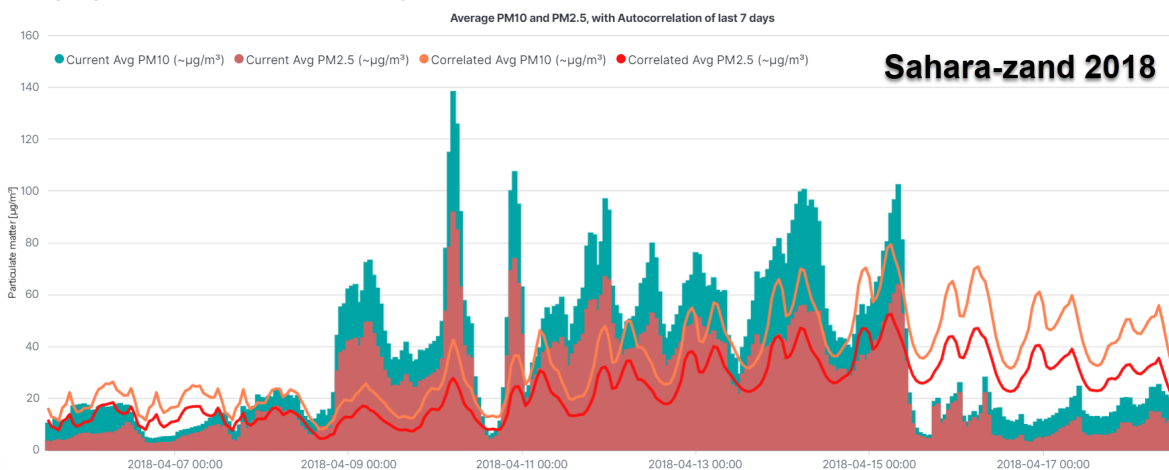
Soms zijn de oorzaken van fijnstof het direct gevolg van menselijk handelen (vuurwerk, brand, houtstook, werkzaamheden, etc.).

SMAL - Avg Histogram of PM10 and PM2.5, with Autocorrelation of last 7 days



Saharazand

SMAL - Avg Histogram of PM10 and PM2.5, with Autocorrelation of last 7 days

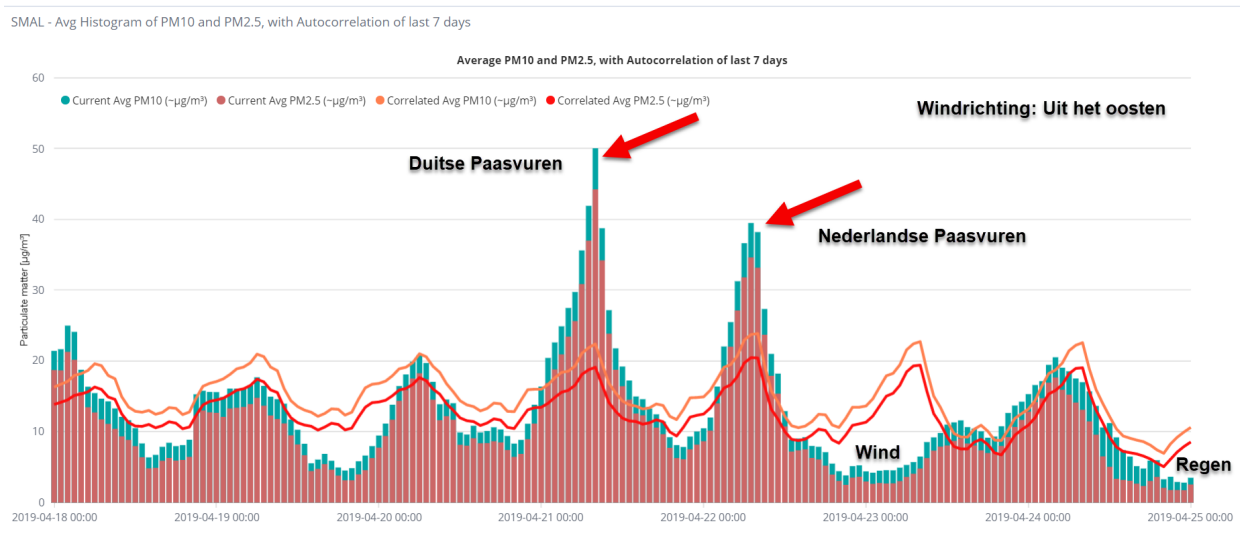


Soms zijn de oorzaken van natuurlijke origine en dus moeilijk te vermijden (Saharazand, zeezout, erosie, de kleinste pollen).

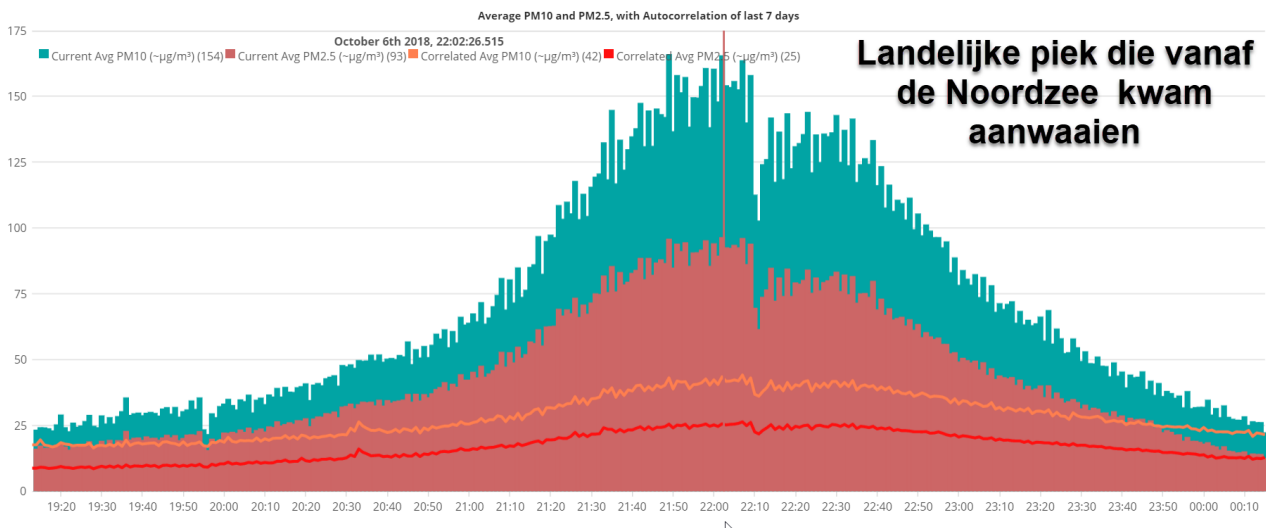
Het kan wel nuttig zijn voor mensen met verhoogde gevoeligheid en ademhalingsziekten om inzicht te hebben in die momenten waarop het beter is om geen activiteiten buitenshuis te ondernemen, indien vermijdbaar.

Paasvuren

Als gevolg van de paasvuren in Nederland en Duitsland is een duidelijke verhoging in de fijnstofconcentraties waargenomen.



Een wolk fijnstof vanaf de Noordzee

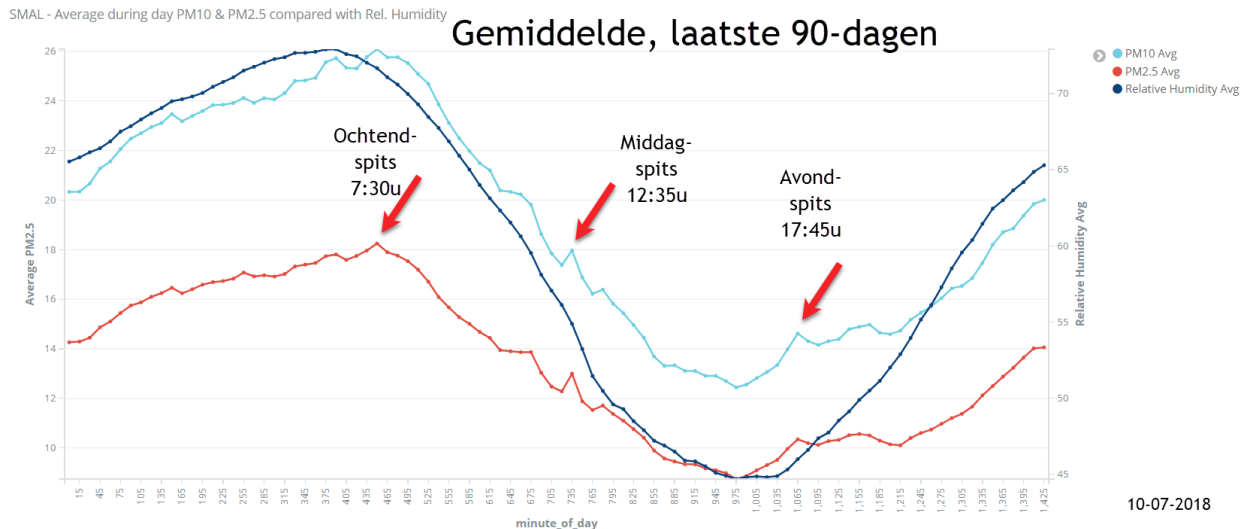


Er is in de nachtelijke uren van 6 oktober 2018, een wolk fijnstof geregistreerd die bij nader onderzoek van satellietbeelden vanaf de Noordzee over heel Nederland bleek te zijn getrokken. Wij werden door ons systeem al gewaarschuwd toen de fijnstof niveaus abrupt begonnen te stijgen tot meer dan 6x de op dat moment gemiddelde niveaus. Wij hebben de volgende dag een vraag bij het RIVM neergelegd, of men de herkomst kon duiden. Het RIVM heeft ons toen gewezen op een website waar Satelliet waarnemingen op worden getoond, en zo bleek de origine van de wolk fijnstof ontstaan te zijn op de Noordzee. De bron/oorzaak is nooit opgehelderd, maar onze meetstations zijn gevoelig genoeg om dit soort gebeurtenissen te detecteren.

Opgedane inzichten

Gevoelig voor luchtvochtigheid

De fijnstofsensoren zijn gevoelig voor luchtvochtigheid, met name als de luchtvochtigheid hoog is. Als gevolg van de dagelijkse temperatuur schommelingen, overdag warmer dan 's avonds, zien we een correlatie tussen de daardoor veroorzaakte fluctuerende Relatieve Vochtigheid en de gemeten fijnstof niveaus. In de volgende grafiek is deze correlatie duidelijk zichtbaar. Er is voor een gemiddelde over een lange periode gekozen om de meteorologische effecten (regen, wind, stijgende luchtstromen) er 'uit te middelen'.



Ondanks dat een langdurig gemiddelde fluctuaties onderdrukt, zijn toch de verkeersspitsmomenten te identificeren, terwijl de trendmatige correlatie tussen Relatieve Vochtigheid en schijnbare fijnstof niveaus vrij duidelijk wordt.

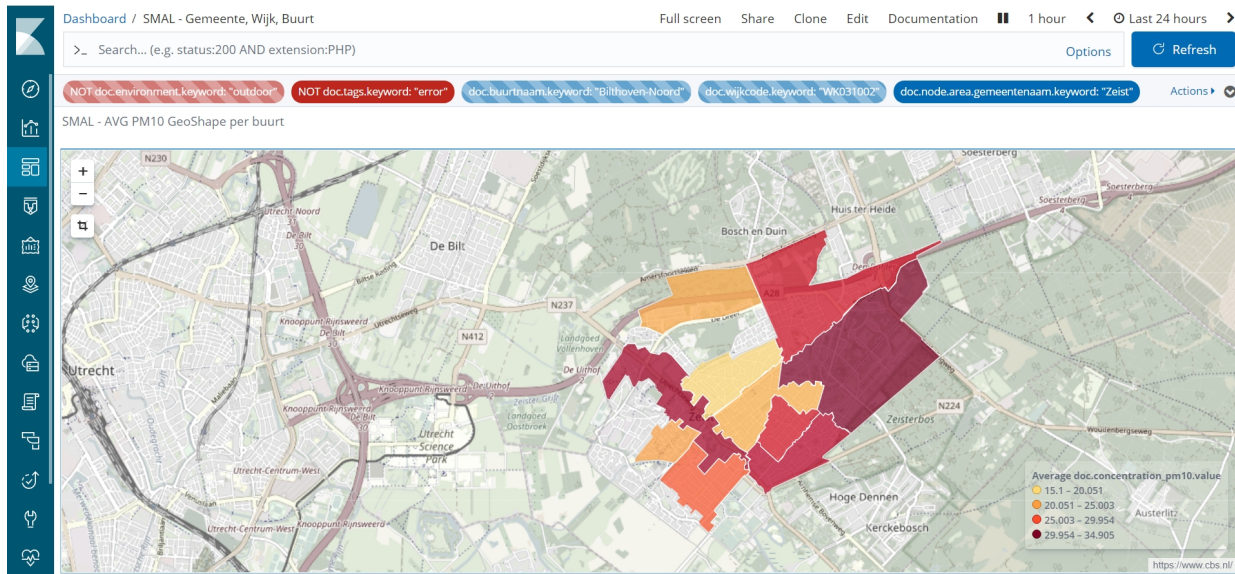
Aanwaaiend fijnstof

Uit de (nu nog ongekalibreerde, ruwe) metingen is duidelijk naar voren gekomen dat er af en toe een flinke fijnstofwolk over de gemeente waait.

De hoeveelheid fijnstof varieert constant, maar af en toe worden er extreem hoge uitschieters gemeten die soms te herleiden zijn tot een oorzaak of bron. Soms zijn deze verhoogde niveaus zelfs vroegtijdig te signaleren. Zo zagen wij al 3 dagen van te voren de fijnstofniveaus stijgen voordat het RIVM een Smogwaarschuwing voor 12 januari 2018 uit deed gaan.

Verschillen per Wijk / Buurt

Uit langdurige metingen is gebleken dat de luchtkwaliteit per wijk en buurt verschillend is. En zelfs op korte termijn zijn er verschillen waarbij sommige buurten dubbele niveaus laten zien (helaas is hiervan nog geen complete meetdekking voor de hele gemeente beschikbaar):



Invloed van de seizoenen

Uit langdurige metingen is gebleken dat de seizoenen invloed hebben op de luchtkwaliteit. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door meteorologische omstandigheden. Als bijvoorbeeld, met name in de zomer, de grond door zonnestraling overdag sterk opwarmt, dan zal die warmte 's avonds opstijgen en een deel van het fijnstof dat is neergeslagen op de bodem meenemen in de lucht. Als er zich dan op enige hoogte een laag warme lucht bevindt, een zgn. inversie-laag, dan kan die fungeren die als een soort deksel waardoor die koelere lucht met fijnstof op een lager niveau blijft hangen.

Ook zullen er als gevolg van de stijgende gemiddelde temperatuur, zgn. 'hitte eiland' effecten optreden boven bebouwde omgevingen. Die leiden tot bovengemiddelde temperaturen en een invloed op de fijnstof niveaus. De stijgende warme lucht heeft ook een aanzuigende werking op fijnstof uit de directe omgeving. Een bosrijke omgeving zorgt voor schaduw en evapotranspiratie (<https://nl.wikipedia.org/wiki/Evapotranspiratie>), hetgeen een dempende werking heeft op de opwarming. Tevens zorgt het bladoppervlak voor een reductie van fijnstof dat zich vrij in de lucht beweegt.

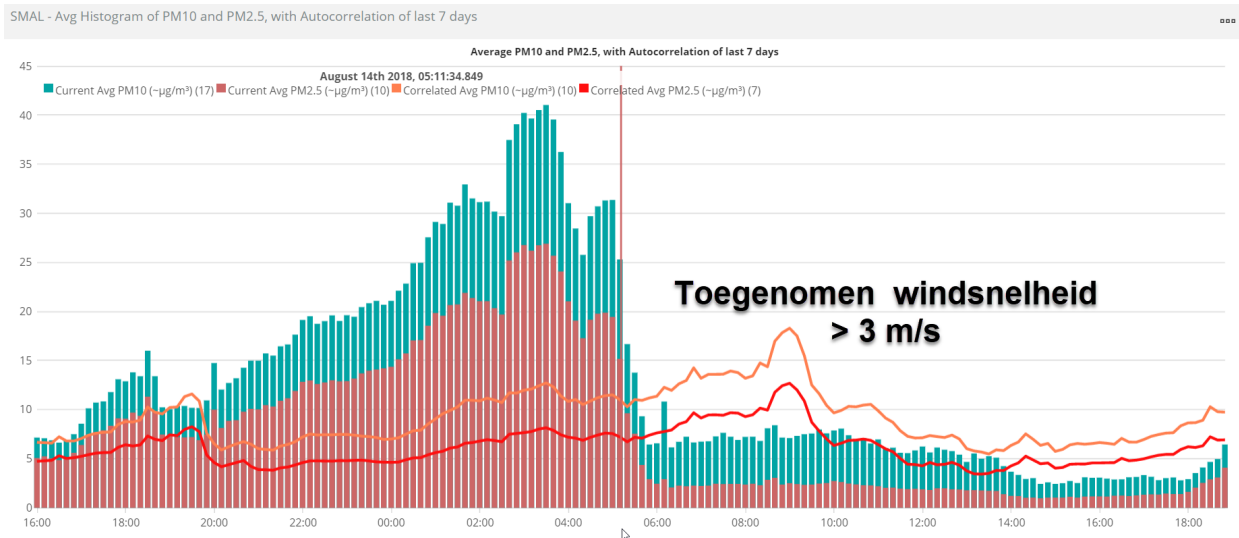
Wij hopen dat deze effecten met het SMAL meetsysteem beter inzichtelijk gemaakt kunnen worden naar mate de dekkingsgraad van meetstations toeneemt.

In de winter zullen de effecten van houtrook duidelijker in kaart gebracht kunnen worden, en kan er gerichter gewaarschuwd worden voor momenten (bijv. bij weinig wind) waarop het beter is om minder of niet met hout te stoken.

Invloed van wind

De windsnelheid lijkt een significante invloed te hebben op de verhouding in de concentraties fijnstof. Dit inzicht is met het RIVM gedeeld, en is daar op basis van onze input in onderzoek. Er lijkt een abrupte daling van het fijnstof niveau plaats te vinden, en de samenstelling daarvan, zodra de windsnelheid tot boven een bepaalde snelheid toeneemt. Dit kantelpunt kan door de lokale bebouwing verschillen per locatie.

Voor het aantonen van dit fenomeen is gebruik gemaakt van wind informatie van het KNMI uit De Bilt. Om dit in meer detail te kunnen onderzoeken heeft SMAL op twee locaties in Zeist semi-professionele meetstations geplaatst, zodat er ter plaatse van de SMAL-meetstations de windsnelheid en windrichting gemeten wordt.



'Agile' (wendbaar) werken

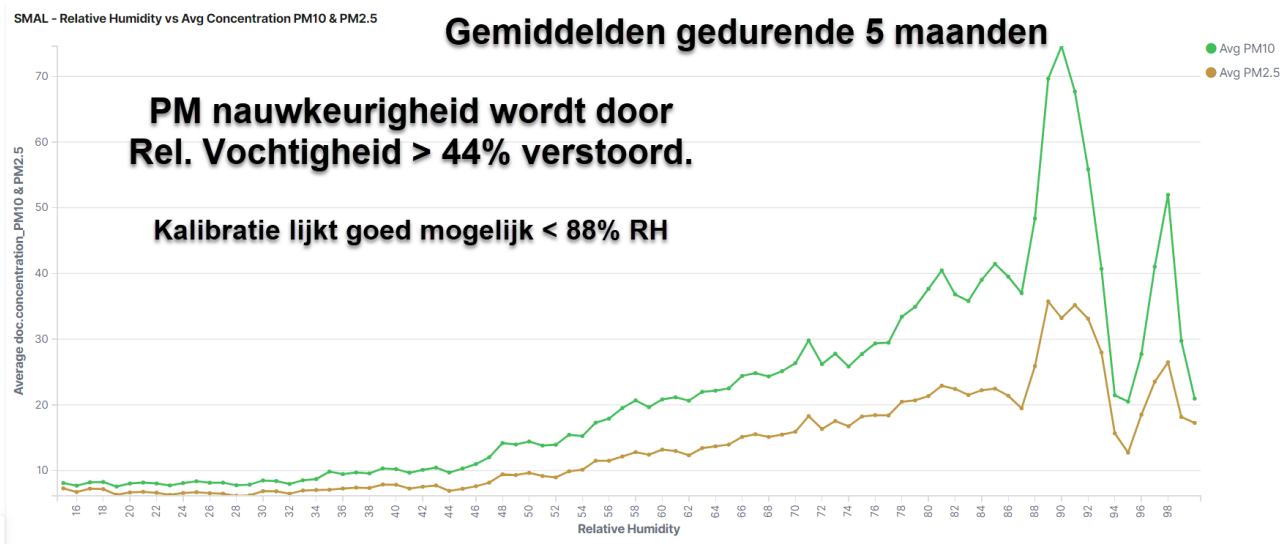
De keuze om het project op een Agile manier aan te pakken is heel effectief gebleken. Het proces om tot een besluit te komen bevat erg weinig (management-)overhead. Ook bleek dat het heel efficiënt was om gedurende de loop van het project tussentijds de koers aan te kunnen passen. De beschikbare tijd van deelnemers blijkt schaars, en op deze manier wordt de beschikbare tijd zo effectief en efficiënt mogelijk uitgenut.

Uitdagingen

Kalibratie

Het kalibreren van de fijnstofsensor (waaronder het goed wegrekenen van de invloed van luchtvochtigheid) is een leuke uitdaging, maar lijkt goed te doen voor niet extreem hoge vochtigheden. Naar mate er meer data beschikbaar komt kan de kalibratie verder verfijnd worden, wellicht per sensor.

SMAL Zeist wil graag gebruik gaan maken van een klimaatkast om het kalibreren van sensoren te vereenvoudigen.



Gateways / antennes op hoge gebouwen

Het bepalen wie de eigenaren zijn van hoge gebouwen in Zeist, en het leggen van contact voor het plaatsen van een antenne/gateway is een arbeids-intensief proces.

Uitschalen in aantallen

De meest recente versie van het meetstation heeft zich bewezen, en zal nu in grotere hoeveelheden gebouwd moeten worden. Dit vergt redelijk wat doorlooptijd, omdat het aantal actieve technische deelnemers beperkt is. Om dit op te lossen is de bouw van een meetstation vereenvoudigd, zodat het minder complex is, en minder tijd kost.

Het stuk-voor-stuk uitleveren van de meetstations aan deelnemers is ook een arbeidsintensief proces.

SMAL Zeist wil onderzoeken hoe deze werkzaamheden het beste kunnen worden gedelegeerd, nadat er in de omgeving van een deelnemer goede netwerkdekking is gerealiseerd door plaatsing van 'Gateways'.

Financiën

Project SMAL Zeist wordt gefinancierd door middel van een cofinanciering vanuit de Gemeente Zeist en de Provincie Utrecht.

Uitgaven

Onderstaande tabel toont de totale project-uitgaven vanaf het begin van het project tot eind april 2019.

Onderwerp	Bedrag	Verhouding
Hardware / materialen	€ 30 K	70 %
Software (open source)	€ 0 K	0 %
Afgenomen diensten	€ 1 K	2,2 %
Uren / vergoedingen	€ 4,2 K	10 %
Belastingen	€ 7,3 K	17,3 %
Trainingen / conferenties	€ 0,1 K	0,2 %

Lange termijn financiering

Het grootste aandachtspunt voor de continuïteit van het project is de financiering op de langere termijn. In 2018 is er tussen de Gemeente Zeist en de Provincie Utrecht vastgelegd dat de projecten in Zeist en Amersfoort voor 3 jaar van een cofinanciering worden voorzien. Hoe de financiering van het project er na die periode uit gaat zien is nu nog onduidelijk.

Evalutatie

Maatschappelijke relevantie

Voor ieder project geldt dat het verstandig is om regelmatig een pas op de plaats te maken en te bepalen of het project nog voldoende relevant is. Voor project SMAL Zeist geldt dat de maatschappelijke relevantie in het oog gehouden moet worden.

Kijkend naar de signalen uit de omgeving kan zonder meer geconcludeerd worden dat het project nog steeds maatschappelijk relevant is.

- Er is meer dan voldoende draagkracht voor het project onder bewoners en bewonersverenigingen en in de gemeente Zeist. Het project wordt actief geholpen en aanbevolen.
- Vanuit SDZ (Samen Duurzaam Zeist) Pijler 4 is er veel aandacht, feedback en drive om het project over de vele hobbels heen te helpen.
- Er zijn veel deelnemers die liefst zo snel mogelijk een meetkastje willen plaatsen, en bij voorkeur zouden zien dat het project nog meer voortgang zou hebben dan nu mogelijk is.
- Andere initiatieven, zoals die in Amersfoort, Bunnik en Stichtse Vecht willen graag samenwerken. Over de wens en het nut van de samenwerking bestaat geen twijfel. Wel is het zo dat de beschikbare tijd van de vrijwilligers van SMAL Zeist beperkt is, en dat er regelmatig sterk geprioriteerd moet worden welke activiteiten wel en niet opgepakt worden.
- Instanties zoals het RIVM willen heel graag beschikken over de meetdata die het project produceert.

Toegevoegde waarde

Ook is het verstandig om regelmatig opnieuw te bepalen of het project nog een toegevoegde waarde heeft naast de meetdata van b.v. het RIVM en andere initiatieven die aan luchtkwaliteit meten.

Project SMAL Zeist heeft een duidelijk aanwijsbare toegevoegde waarde:

- **Lokaal:** Er wordt lokaal in Zeist gemeten. Er zijn in Zeist, naast dit project, geen meetstations actief van het RIVM of van andere Nederlandse initiatieven die continu (24x7) en permanent aan de luchtkwaliteit meten.
- **Fijnmazig:** Er wordt fijnmazig gemeten. De meetstations van SMAL Zeist worden verspreid over de gemeente opgehangen en geven daarmee een geografisch fijnmazig beeld tot op wijk/buurt-niveau dat anders niet beschikbaar zou zijn. Uit de metingen blijkt dat de luchtkwaliteit per buurt verschillend is.
- **Trends:** Doordat er inmiddels al bijna 2 jaar gemeten wordt, kunnen er trend-analyses worden gedaan om te bepalen hoe de luchtkwaliteit zich over een langere periode heeft ontwikkeld.
- **Meer inzicht:** Er wordt relatief hoogfrequent (vaak) gemeten. Daaruit blijkt dat de luchtkwaliteit dynamisch is, en dat er ook korte, lokale pieken in de luchtkwaliteit optreden. Meetgegevens uit andere bronnen meten veelal met een langer interval, en werken met

gemiddelde waardes, waardoor dit soort korte inzichten veelal niet uit ander meetdata boven water te tillen zijn.

- **Kennisdeling met deelnemers:** SMAL Zeist geeft presentaties waarin actief aan bewoners en deelnemers uitgelegd wat luchtkwaliteit is en welke relatie dit heeft tot de gezondheid. Hierdoor wordt er een bijdrage gedaan aan het kennis-niveau van bewoners en deelnemers op het gebied van luchtkwaliteit.
- **Kennisdeling met andere initiatieven:** SMAL Zeist doet veel nieuwe inzichten op als het gaat om het meetstations, software-ontwikkeling en de bijbehorende IT-architectuur. De inzichten op dit gebied worden gedeeld met andere meet-initiatieven, zodat zij daarmee hun voordeel kunnen doen.

Ook andere initiatieven, zoals het tijdelijk Provinciaal project 'snuffelfiets' kan de mobiel verzamelde gegevens vergelijken met die van de stationaire meetstations, om zo te leren wat het effect is van verplaatsing tijdens het meten (bijv. In het geval dat een fietser met de vervuiling meerijdt).

Toekomstvisie

Primaire focus

Internet-of-Things netwerk

De primaire focus van het project zal het komende jaar liggen op het verder uitrollen van het gemeente-dekkend Internet-of-Things netwerk. Dat is de basis die nodig is om op alle plaatsen goed te kunnen meten.

Data-koppeling / Data-publicatie

Er moeten data-koppelingen ontwikkeld worden waarmee de meetdata live gedeeld kan worden met het RIVM en andere meet-initiatieven, zoals bijvoorbeeld Meet Je Stad uit Amersfoort. Omdat de data-modellen van de verschillende initiatieven echter niet hetzelfde zijn, is dit een serieuze klus.

Een bijkomende uitdaging is de privacy van deelnemers.

De meetgegevens bevatten geen persoonsgegevens, maar in het geval van mobiele meetstations kunnen ze wel iets zeggen over de locatie van een natuurlijk persoon.

SMAL Zeist vindt privacy belangrijk, en wil er zorg voor dragen dat er zorgvuldig wordt omgegaan met de privacy en wensen van deelnemers op het gebied van data-publicatie.

Versnellen

De inzet van de deelnemers is geweldig, maar veelal erg gebonden aan de tijd die de vrijwilligers voor het project kunnen vrijmaken (soms naast een full-time baan). De beschikbaar gestelde tijd wordt zo veel mogelijk ingezet op het leveren van toegevoegde waarde, en zo min mogelijk op (papieren) rapportage en lange meetings.

Er is veel begrip vanuit de omgeving (en de deelnemers) dat een vrijwilligers-project niet dezelfde voortgang kan hebben als een commercieel project.

Toch blijkt af en toe dat de omgeving veelal een hoger tempo van het project verwacht dan nu praktisch te realiseren is.

Om die reden wil SMAL Zeist graag gaan versnellen door niet enkel gebruik te maken van de inzet van vrijwilligers, maar ook van betaalde krachten. Op die manier kunnen goed gedefinieerde/afgekaderde werkzaamheden gedelegeerd worden, en kan er parallel meer voortgang geboekt worden.

Ook het ophangen van meetstations bij deelnemers vergt een boel tijd.

Hiervoor wil SMAL Zeist een slimme oplossing verzinnen, zodat dit werkt minder arbeidsintensief wordt, en de uitvoering hiervan niet op een klein aantal schouders terecht komt.

Ambities

Kansen: Hoge gebouwen van het RIVM en de Provincie Utrecht

Om het meetnetwerk snel te laten groeien kan er voor het plaatsen van de gateways het beste gebruik gemaakt worden van hoge gebouwen.

Het RIVM laat op dit moment in de Uithof een nieuw (hoog) gebouw plaatsen.

Het zou fantastisch zijn als er op dat gebouw een LoRaWAN antenne van The Things Network geplaatst kan worden.

Daarmee zal de dekking van het Internet-of-Things netwerk direct verbeteren in en om de Uithof. Naar verwachting zal dit ook de netwerkdekking in Zeist ten goede komen.

Ook de Provincie Utrecht heeft aan de oostkant van Utrecht een prachtig hoog gebouw staan. Hiervoor geldt ook dat dit een mooie lokatie is voor een Internet-of-Things gateway.

Betere sensoren en meten van andere lucht-eigenschappen

Met enige regelmaat komen er nieuwe sensoren op de markt voor het meten aan luchtkwaliteit.

Soms worden ze goedkoper, en soms hebben ze de mogelijkheid extra variabelen te meten (zoals b.v. kleiner fijnstof)

SMAL Zeist wil de sensor-markt goed in de gaten houden, en graag meebewegen met de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van betaalbare sensoren.

Vanaf het begin van het project is er de wens geweest om ook te gaan meten aan stikstofoxiden (met name NO₂), Ozon (O₃), en/of CO₂.

(Meta-)data combineren uit andere bronnen / meetsystemen

Tot op heden is er voornamelijk tijd besteed om de eigen meetdata goed te verwerken en visualiseren.

In de loop van het project is echter gebleken dat ook andere data-bronnen een duidelijke toegevoegde waarde kunnen hebben bij het analyseren van metingen en fenomenen.

Een concreet voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld de wind-informatie van het KNMI.

Een andere mooie kans die voor het oprapen ligt, is het kunnen vergelijken/combineren van de meetgegevens die door Meet Je Stad in Amersfoort worden geproduceerd.

Door externe data-sets te kunnen toevoegen aan de analyse-omgeving kunnen relaties met andere omgevings-factoren inzichtelijk worden gemaakt.

Klimaatkast

Er zijn verschillende manieren om sensoren te kalibreren.

Een snelle en handige methode daarvoor is het toepassen van een klimaatkast.

Daarbij worden een aantal sensoren in een afgesloten ruimte geplaatst, waarbij de condities in de klimaatkast goed bestuurd kunnen worden.

SMAL Zeist wil graag een klimaatkast bouwen, waarmee sensoren vooraf goed gekalibreerd kunnen worden voordat ze ingezet worden in het veld.