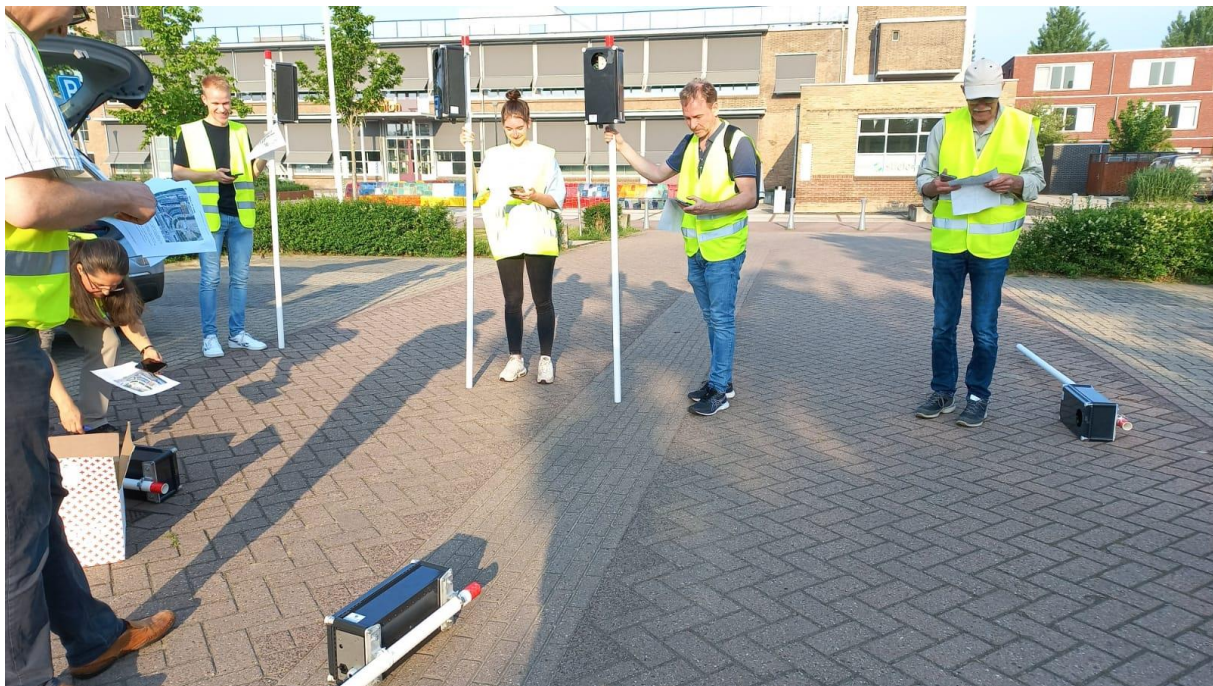


Verslag Veldexperiment Lent

Ochtendspits en avondspits meting

Smart Emission 2.



Project Smart Emission 2, deelproject Veldexperiment

Presentaties en verslag: Sytze de Bruin, Linda Carton, Roderick Peters, Willem Posthumus, Rob Lemmens.

26 juli 2021.

Met medewerking van: NWO-TTW onderzoeksprogramma Maps 4 Society, Wageningen Universiteit, Radboud Universiteit, Universiteit Twente, burgerwerkgroep Luchtkwaliteit Lent, sensor techniek mobiele sensoren van Intemo, meetnet Luchtkwaliteit Lent van Ohnics, gemeente Nijmegen, RIVM.

(C) Smart Emission 2 project, 26 juli 2021.

Verslag over deelproject 3, veldexperiment.

Onderdeel van project Smart Emission 2.

Project Smart Emission 2 is gefinancierd door **NWO-TTW** als *Klein Innovatie Project*, onderdeel in het programma **Maps 4 Society**. Voor meer informatie, zie: <https://www.nwo.nl/projecten/17643-0>

Ontwikkeling en ondersteuning mobiele sensoren en sensorplatform: Intemo.

Advies bij de analyse van resultaten: gemeente Nijmegen en RIVM.

Betrokken onderzoeksgroepen: Wageningen Universiteit, Radboud Universiteit en Werkgroep Luchtkwaliteit Lent. Deze laatste partij is een werkgroep van burgerwetenschappers die werken aan een project om een lokaal luchtmeetnet op te bouwen in Lent.

Dit verslag geeft resultaten weer van het deelproject met een veldexperiment als onderdeel van project Smart Emission 2.

- Foto cover: Tom Ammerlaan.
- Foto's in verslag: Linda Carton, Sytze de Bruin en Ton Ammerlaan.
- Tekst: Sytze de Bruin, Linda Carton, Roderick Peters, Willem Posthumus, Rob Lemmens.
- Eindredactie: Linda Carton.

Acknowledgements:

Het veldexperiment heeft advies gekregen van luchtkwaliteitsexperts van gemeente Nijmegen en van het RIVM. Het project is erkentelijk voor de adviezen van luchtkwaliteitsexperts dhr. Henk Nijhuis, dhr. Peter van der Voorn, dhr. Joost Wesseling en mevr. Hester Volten.

Techniek: Mobiele sensoren en API Intemo, Ohnics sensoren meetnet in Lent, speciale App (Wageningen Universiteit).

Het veldexperiment is mede mogelijk gemaakt door de participatie van vrijwillige deelnemers van de woonwijk in Lent, de bewoners-werkgroep Luchtkwaliteit Lent, een aantal vrijwillige burgerwetenschappers uit Nijmegen en Arnhem, en een aantal studenten en collega's van de betrokken universiteiten uit Wageningen, Nijmegen en Enschede.

Het veldexperiment is mogelijk gemaakt dankzij een subsidie van NWO-TTW, Onderzoeksprogramma Maps4Society (M4S) KIP, projectnummer 17643.

Inhoudsopgave

Samenvattende conclusie	5
Onderzoekopzet van het veldexperiment Lent in project Smart Emission 2, in het kort	5
Resultaten en conclusies na de 2 ^e veldmeting op 9 juni, tijdens de ochtendspits	8
Praktische observaties lokale activiteiten in de wijk.....	11
Afronding Veldexperiment Lent.....	12
I. Uitgebreid verslag van de presentaties op 23 juni 2021 na 2 ^e veldmeting.....	13
1. Links naar online presentaties van de 2 ^e veldmeting.....	13
2. Eerste presentatie van Sytze de Bruin, ochtendspits meting en geostatistische analyse	14
2.1. Meetopzet	14
2.2. Methode analyse tweede veldmeting.....	15
2.3. Resultaten 2 ^e veldmeting	17
2.3.1. Variogram visualisatie	18
2.3.2. Verklaring met visualisatie van afwijkende sensor t.o.v. het gemiddelde.....	19
2.3.3. Vergelijking sensor metingen met RIO model.....	19
2.4. Conclusies 1e presentatie door Sytze de Bruin	21
2.5. Terugkijkend op 2 veldmetingen, vergelijking	22
2.6. Discussie na 1 ^e presentatie.....	23
3. Tweede presentatie OHNICS sensor data analyse van de ochtendspits door Roderick Peters	25
3.1. Meetopzet 2 extra Ohnics sensoren aan lantaarnpalen	25
3.2. Methode met 2 extra Ohnics sensoren.....	26
Toelichting regressie analyse, scatterplot en R ² , concepten uit de statistiek	28
3.3. Resultaten Ohnics metingen	30
3.3.1. Verschillende tijdreeksen van de Ohnics sensoren op 9 juni.....	31
3.3.2. Figuur 15 toegelicht, analyse Ohnics sensoren op 9 juni	31
4. Discussie na de twee presentaties op 23 juni	32
4.1. Onzekerheid in de metingen	32
4.2. Suggesties voor kalibratie van het lokaal luchtmeetnet Lent in opbouw	33
II. Verslag van de eerste veldmeting, avondspits op 25 mei 2021.....	34
5. Links naar online presentaties 1 ^e veldmeting	34
6. Eerste presentatie over de analyse van de veldmeting met behulp van geostatistische analyse, door Sytze de Bruin	35
7. Tweede presentatie over vragenlijst deelnemers, door Willem Posthumus.....	36
8. Derde presentatie over Communicatie over burgerwetenschap, door Rob Lemmens	37
9. Voorlopige resultaten en conclusies na eerste veldmeting	38

9.1. In het kort, voorlopige antwoorden op de gestelde onderzoeksvragen:	38
9.2. Vervolgstep tweede veldmeting op basis ervaringen 1 ^e veldmeting.....	38
10. Tenslotte, over burgerwetenschap en project opbouw meetnet met Ohnics sensoren in Lent	39
Bijlage 1: Agenda van de eerste online zoom sessie op 2 juni.....	40
Bijlage 2: Agenda van de tweede online zoom sessie op 23 juni.....	41
Bijlage 3: Verschil tussen primair en secundair fijnstof PM2,5.....	42

Onderzoekopzet van het veldexperiment Lent in project Smart Emission 2, in het kort

Experiment om een innovatieve App en geostatistische analysemethode toe te passen: In dit veldexperiment is meetdata gecombineerd met het fijnstof model RIO. Het doel was om sensor meetdata te combineren met een model over luchtkwaliteit, met behulp van een geostatistische methode en een App van de Wageningen Universiteit. Als nieuwe praktische toepassing wilden de Wageningen Universiteit en Radboud Universiteit onderzoeken of met deze methode een “ruimtelijk-temporele gradiënt” van luchtverontreiniging kan worden vastgesteld in het veld.

In dit veldmeet-experiment is tijdens een avondspits en een ochtendspits met mobiele sensoren gemeten in een nieuwbouwwijk in Nijmegen Lent om fijnstof (PM_{2,5}) te monitoren. Ervaring opdoen en leren over de combinatie van burgerwetenschap en geostatistische analyse is tevens een doel van dit experiment, vanuit het idee dat modellen en burgermetingen elkaar kunnen aanvullen.

Combinatie burgerwetenschap en modelleren: De toepassing van een drukke verkeersweg in Nijmegen Lent is daarvoor gekozen als praktische toepassing in het veld. Dit veldexperiment is uitgevoerd in samenwerking met een lokale burgerwerkgroep in Lent, die zelf tevens een meetnet uitrolt met een low-cost sensor aan lantaarnpalen om de luchtkwaliteit intensief te monitoren gedurende langere tijd. De bewoners van Lent hebben een werkgroep opgericht, die een meetnet uitrolt met sensorkastjes die gebouwd worden door een jong initiatief van 3 mensen, waaronder een trekker inwonend in Lent. Dit meetkastje, met een systeem voor dataverwerking Ohnics sensoren genoemd, is gemaakt met een Sensirion SPS30 sensor om fijnstof PM_{2,5} te meten.),

Wetenschappelijke en maatschappelijke relevantie: De combinatie geostatistische analyse en burgerwetenschap met mobiele sensoren is maatschappelijk en wetenschappelijk interessant. De wetenschappelijke relevantie ligt in de combinatie van methoden en technieken om metingen met modelwaarden te vergelijken. De maatschappelijke relevantie ligt in het doen van burgerwetenschap en meten van luchtkwaliteit in een woonwijk naast een drukke weg, waar burgers zelf nieuwsgierig zijn naar metingen ter plekke.

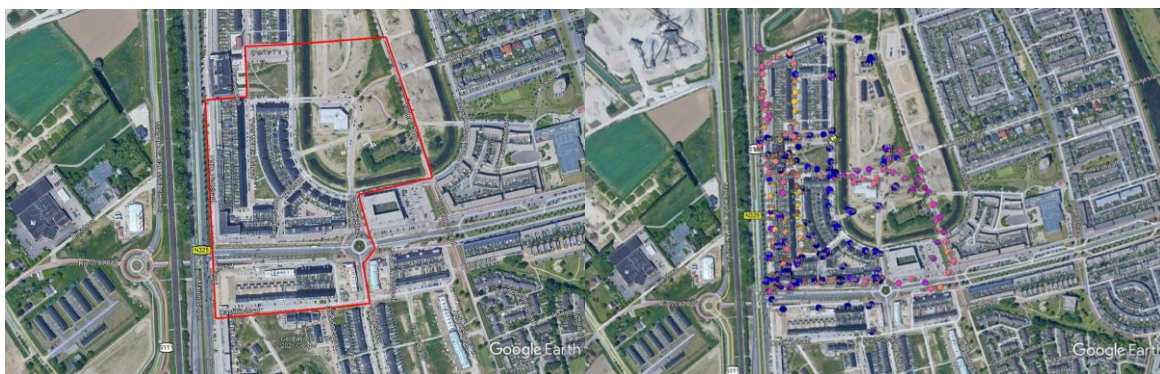


Foto: Uitleg voor de eerste veldmeting op 25 mei 2021.

Mobiele Sensoren: De mobiele sensorkastjes zijn voor dit project gemaakt door Intemo, uitgerust met een veelgebruikte low-cost Nova SDS011 sensor. Dit is een standaard fijnstofsensor die wordt gepropageerd aan burgerinitiatieven en die bijvoorbeeld ook door het Sensor.Community platform wordt gebruikt.

De metingen zijn aangevuld met meetwaarden van Ohnics meetkastjes uit Lent, waarin de Sensirion SPS30 sensor is gebruikt voor PM_{2,5} metingen. Dit is een andere veelgebruikte low-cost fijnstofsensor voor PM_{2,5}. Deze sensor is ook gebruikt bij het Snuffelfiets project in Utrecht in 2020.

Veldmeting, studiegebied: Als studiegebied dient een deel van de nieuwbouwwijk Lent, rondom het Thermion gebouw en nabij de drukke verkeersader Prins Mauritssingel (N325), de regionale verbindingsweg Nijmegen-Arnhem. Er is gewandeld met 10 mobiele sensoren, gedurende de spits, om dit studiegebied in ruimte en tijd goed te 'bedekken' met metingen, op veel plekken in de wijk gedurende de meetperiode. Dit experiment is dus lokaal geconcentreerd, circa 300 x 300 meter in de ruimte en circa 1,5 uur in de tijd, om begin en einde van een ochtendspits in het meetexperiment te betrekken.



Kaarten: studiegebied in nieuwbouwwijk Lent (links) en metingen in realtime zichtbaar in de App (rechts).

Presentaties en zoom recording: Tijdens het veldexperiment zijn twee zoom-sessies gegeven met feedback aan de deelnemers, op 23 juni met feedback over de analyse van de ochtendspitsmeting op 9 juni, en op 2 juni met feedback over de analyse van de avondspitsmeting op 25 mei 2021.

Analyse mobiele sensoren: De analyse van de sensore data is uitgevoerd met behulp van een app en geo-statistische analysemethoden ontwikkeld en toegepast door dr. Sytze de Bruin.

Analyse lantaarnpaal sensoren: Het Ohnics sensor meetsysteem is ontwikkeld en de data geanalyseerd door Roderick Peters.

Analyse burgerwetenschap aspect: Naast presentaties over analyse van sensor data zijn in het verslag over de 1e veldmeting tevens presentaties opgenomen die gegeven zijn door Willem Posthumus (studentassistent voor Smart Emission 2, onder andere voor deelproject 1, tevens enquête deelnemers bij het veldexperiment, deelproject 3) en door dr. Rob Lemmens (onderzoeker in Smart Emission 2, met name over communicatie over burgerwetenschap, deelproject 4).

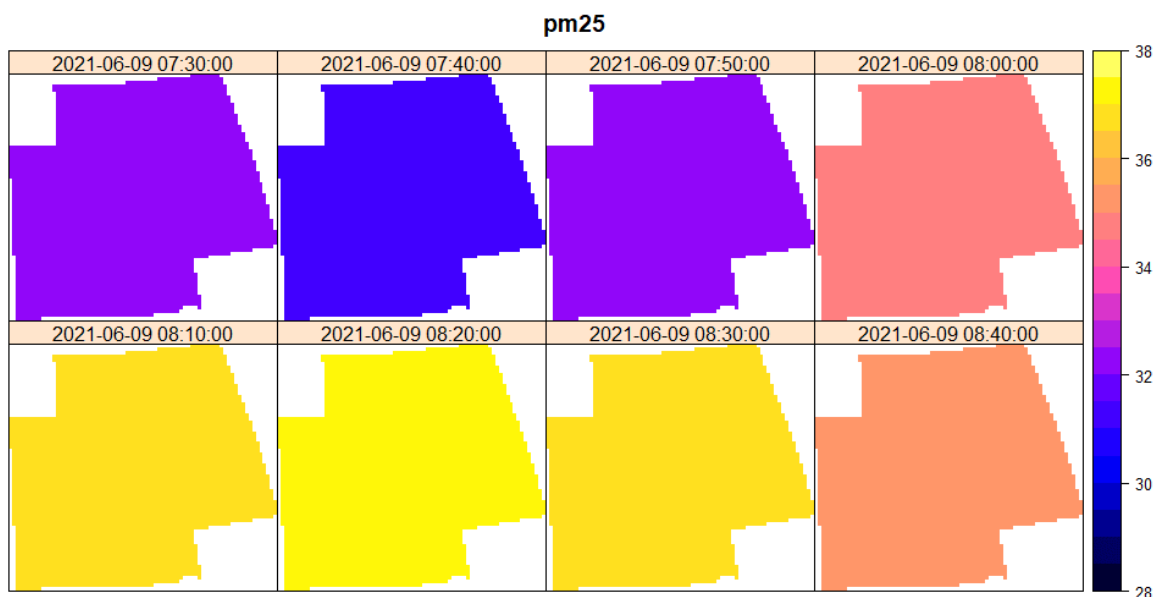


Foto's tijdens de eerste veldmeting.

Resultaten en conclusies na de 2^e veldmeting op 9 juni, tijdens de ochtendspits

Onderzoeksvraag 1: Is er een gradiënt te ontdekken in ruimte en tijd, in de wijk naast een drukke verkeersweg tijdens een spits, wat betreft fijnstof PM_{2,5}?

Antwoord: Een ruimtelijke gradiënt voor PM_{2,5} is niet gevonden. We concluderen dat met deze meetopzet, met de huidige mobiele sensoren en met de verkeerscondities en meteorologische condities die in Nederland gemiddeld zijn, en variëren, er geen ruimtelijke gradiënt in PM_{2,5} ontdekt is in het studiegebied tijdens een ochtendspits, wel een temporele gradiënt. De piek lag tijdens dit tweede experiment, tijdens de ochtendspits, om 8:20 uur.

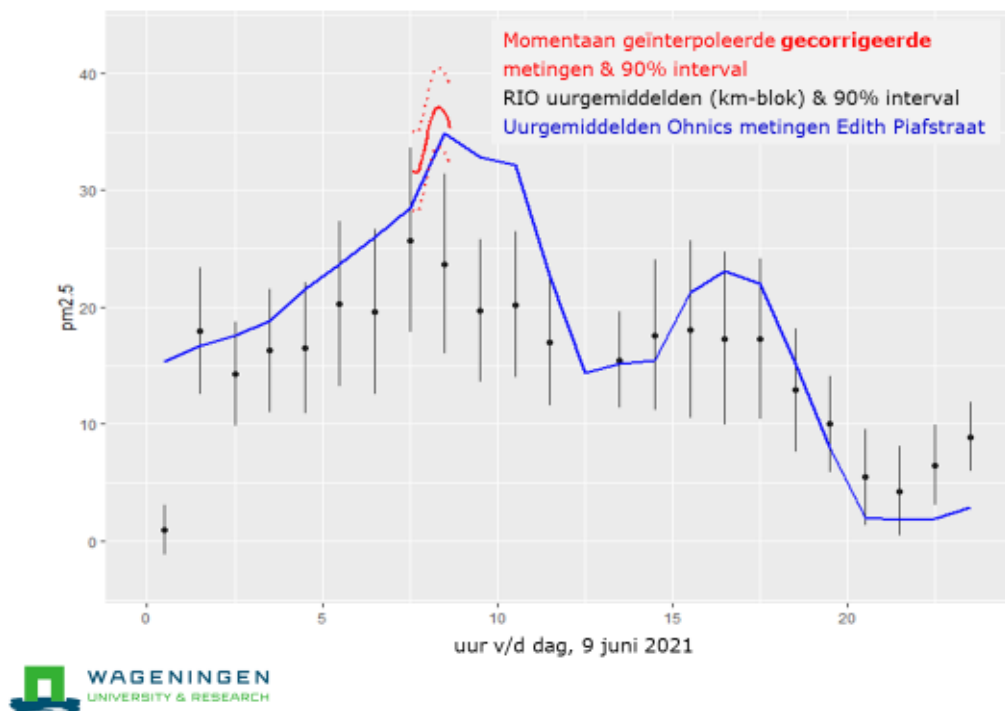


Figuur (4). Temporele gradiënt, gebaseerd op het model dat op basis van de gecorrigeerde meetwaarden kon worden opgesteld. Een verloop in de tijd is zichtbaar, dit patroon kon gevonden worden in de 2^e veldmeting in Lent op 9 juni. Gebaseerd op geostatistische analyse gemaakt door Sytze de Bruin, Wageningen Universiteit.

Onderzoeksvraag 2: Combineren lokale metingen en nationale modellen: In welke mate kunnen de lokale (fijnschalige) fijnstofwaarnemingen van kleine sensoren gebruikt worden om de resolutie van (grofschaliger) nationale modellen aan te vullen met lokale informatie?

Antwoord: De meetdata van de sensoren zijn achteraf gecombineerd/vergeleken met de RIO modeldata van het landelijk luchtkwaliteitsmodel. Dat model monitort de luchtkwaliteit op een schaal van een vierkante kilometer en uurgemiddelden. Het is mogelijk gebleken om beide data te combineren, maar dit levert in dit veldexperiment alleen extra informatie op in de tijd, ten opzichte van de reeds beschikbare informatie in de vorm van een landelijk luchtkwaliteitsmodel dat PM_{2,5} monitort in blokken van een vierkante kilometer (km²).

Onderlinge vergelijking sensoren & RIO



Figuur (7). Combinatie van de sensor metingen en de waarden van het RIO model. Bron: Sytze de Bruin en RIO waarden van het RIVM.

Onderzoeksvraag 3: Methode van werken: Kunnen we mobiele sensoren combineren met een ruimtelijke app die participatieve burgermetingen kan vergelijken met een model (middels een geostatistische methode), en in welke mate biedt de in de app gekozen visualisatie de burgerwetenschappers houvast om tijdens het experiment nieuwe meetlocaties te kiezen?

Antwoord: Het is mogelijk gebleken om met de gebruikte technieken om “live” te meten, een relatieve correctie tussen sensoren toe te passen, en de meetwaarden in een gemeenschappelijke app weer te geven, om zodoende eventueel de plek van nieuwe meetpunten bij te stellen tijdens het experiment. De vergelijking met modelwaarden moest achteraf plaatsvinden. Het is gebleken dat de meetstrategie met burgerwetenschappers tijdens het tweede veldexperiment beter werkte: met vooraf vastgestelde routes waar al wandelend metingen werden verricht, en aan deze vaste routes vast te houden. Zo werd een gelijkmatigere ruimtelijke dekking van het studiegebied bereikt.

Een aantal conclusies op een rij van het Fijnstof Veldexperiment Lent, na 1^e veldmeting avondspits 25 mei en 2^e veldmeting ochtendspits 9 juni:

- Tijdens de ochtendspits op 9 juni werd een temporele gradiënt vastgesteld, geen ruimtelijke; dit komt overeen met de conclusies van de eerste veldmeting op 25 mei bij een avondspits.
- De gemeten pm2.5 concentraties in Lent waren op 9 juni tijdens de ochtendspits *significant* hoger dan op 25 mei tijdens de avondspits. Het verschil in achtergrondconcentraties PM2,5

op beide dagen is groot, orde van grootte meer dan 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op 9 juni en orde van grootte van 4 a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op 25 mei. Dit ligt wellicht aan de 'achtergrondconcentratie die toevallig langs komt waaien', zoals het Copernicus Atmosfeer model voor Europa laat zien. De combinatie van sensormetingen (zowel SDS011 als een Sensirion sensor vanuit het wijk-meetnet met Ohnics sensor meetkastjes) en nationale modelwaarden van het RIO model is in dit verslag opgenomen voor de tweede veldmeting op 9 juni.

- De meteorologische omstandigheden verschilden veel tussen 25 mei en 9 juni. Op 25 mei tijdens de avondspits was het weer koud, vochtig, na een regenbui, met relatief veel wind (windkracht 4 a 5 in Beaufort). Op 9 juni tijdens de ochtendspits was het weer warmer, droog, met weinig wind; dat we in beide gevallen, met een uitgekende meetopstelling, wel een temporele gradiënt konden vaststellen en geen ruimtelijke gradiënt, doet ons vermoeden dat er in het veld ter plaatse ook niet of nauwelijks een ruimtelijke gradiënt in PM_{2,5} aanwezig was. De metingen lijken te zeggen dat een relatieve verhoging van de concentratie fijnstof (PM_{2,5}) wel significant merkbaar is tijdens beide spitsuren, maar dat deze verhoging in de hele wijk merkbaar is, en dat deze niet significant méér verhoogd is dichtbij de drukke verkeersweg Prins Mauritssingel, dan in andere straten in de wijk.
- Precisie van fijnstofmetingen met de gebruikte PM_{2.5} sensoren, voor de mobiele sensoren: De SDS011 metingen vergen onderlinge en absolute correctie; Rekening houdend met onzekerheid in de correctiefactoren kwamen we met het gebruikte model op een precisie van $\sim 2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor pm_{2.5} in de range 31 – 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tijdens de ochtendspits op 9 juni; tijdens de avondspits op 25 mei, de eerste veldmeting, kwamen we met het destijds gebruikte model inclusief onderlinge relatieve correcties uit op een precisie van $\sim 1.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor pm_{2.5} in de range 4.0 – 5.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (relatief lage PM_{2,5} concentraties).
- Ohnics sensoren: De uurgemiddelden van de Ohnics sensor aan de Edith Piafstraat komt vrij aardig overeen met de uurgemiddelden van het RIO model, met kleine verschillen die verklaarbaar zijn aangezien het RIO model een vierkante kilometer representeert en niet de preciese locatie van de Edith Piafstraat waar deze Ohnics sensor hangt (zie figuur 7).
- Ohnics sensoren: De figuur 12 t/m 15, gemaakt door burgerwetenschapper Roderick Peters, tonen aan hoe onderzoek verricht kan worden met een lokaal meetnet, door gegevens van officiële meetstations, meteogegevens en meerdere lokale PM_{2,5} sensoren te analyseren en over een langere periode continu te monitoren. Hiervoor werkt de burgerwerkgroep Luchtkwaliteit in Lent aan een eigen lokaal meetnet, met een Ohnics meetsysteem. Dit meetsysteem werkt op basis van een Sensirion SPS30 PM_{2,5} sensor. Dit onderzoek biedt lessen voor meetmethoden en suggesties om het lokale meetnet met Ohnics sensoren beter te kalibreren.
- Een les die we trekken voor citizen science onderzoek: Het is beter om in de wijk met enkele nauwkeurigere sensoren te meten dan met vele sensoren waarbij wordt bezuinigd op de kwaliteit.

Praktische observaties lokale activiteiten in de wijk

- Door zelf, met een aantal vrijwilligers, te meten, is een eerste indruk 'op zicht' ('face value') verkregen van mogelijke bronnen van luchtverontreiniging door te observeren in de wijk, tijdens het meten. Er lijkt tijdens de spits een 'opleving van activiteit' en drukte van autoverkeer in de hele wijk merkbaar, niet alleen op de Prins Mauritssingel. Ook de lokale Frankrijkstraat leek bijvoorbeeld drukker met autoverkeer. Vooral tijdens de ochtendspits was daarbij de lagere school een centrale plek waar veel autoverkeer zich concentreerde rond 8:20 uur, op een tijdstip dat veel kinderen werden afgezet bij school. Dit was ook het tijdstip van de temporele 'piek' in de gemeten PM_{2,5} concentraties. Zo'n praktijkobservatie zou kunnen corresponderen met wat de sensormetingen constateren.
- Praktische observatie ten aanzien van *geluid*: Waar de luchtkwaliteit wat betreft fijnstofdeeltjes PM_{2,5} zich lijken te verspreiden over de wijk, zo geldt dat niet voor een eerste indruk van het geluidsniveau dat afkomstig is van de Prins Mauritssingel. Dit geluid was op de ventweg, de Edith Piafstraat, zo luid dat de uitleg aan deelnemers op 25 mei is verplaatst van de Edith Piafstraat naar het Thermionpark, in de straat achter de eerste huizenrij. Qua ervaren geluidsniveaus was het Thermionpark een plek waar mensen de instructie konden horen en verstaan, in tegenstelling van de plek voor het Thermiongebouw op de Edith Piafstraat (= de ventweg van de drukke verkeersweg). Ook tijdens de ochtendspits op 9 juni is het verschil in geluidsniveaus tijdens het wandelen van routes opgevallen. Bij de wandelroutes werd een relatief aangename rust ervaren na een lawaaiig stuk wandelroute over de Edith Piafstraat, bijvoorbeeld in de eerstvolgende straat achter de eerste huizenrij, zoals de Yves Montandstraat. Een aanbeveling voor vervolgonderzoek zou kunnen zijn om een vergelijkbaar onderzoek uit te voeren voor (omgevings-) geluid in en met de wijk, en de relatieve verschillen in (gemeten en beleving van) geluidsniveaus in de verschillende straten in de wijk.

Afronding Veldexperiment Lent

- De **Whatsapp-groep 'Meten fijnstof Lent 25-5'** zal nog een tijdje in de lucht blijven voor de Veldmeting Lent van het Smart Emission 2 project, in ieder geval tot 30 juni. U kunt uzelf dan uit de groep verwijderen, of wij kunnen desgewenst uw telefoonnummer uit de groep verwijderen, zoals de AGV (verordening persoonsgegevens) voorschrijft. Of u kunt besluiten al-dan-niet mee te doen met het vervolg met de 'schrijfgroep Lentse Lucht artikel'. De Whatsapp-groep wordt daarna voor wie nog in de app-groep wil blijven, doorgegeven aan die groep mensen, met een vernieuwd doel, naam en logo, en nieuwe beheerders.
- Het **veldexperiment** dat is uitgevoerd in het kader van onderzoeksproject Smart Emission 2, nadert hiermee het einde. Deze tweede veldmeting is de laatste experimentele meting met mobiele sensoren in het veld. Doel van dit experiment is geweest om te onderzoeken in hoeverre we in staat zijn om lokale gradiënten in PM2.5 concentratie vast te stellen vanaf een vervuiliingsbron zoals een drukke weg rond spitsuur, met lokale metingen met burgers en goedkope sensoren. En ten tweede, in hoeverre de combinatie van fijnmazige waarnemingen en meer grofmazige geïnterpoleerde modellen meerwaarde kan bieden.
- De **onderzoekresultaten** zullen worden gedocumenteerd later, in het najaar/winter, verder worden verwerkt voor wetenschappelijke doeleinden, voor een wetenschappelijk artikel. Aan mensen die hebben deelgenomen aan het veldexperiment en hun emailadres hebben doorgegeven, kunnen we te zijner tijd een kopie van het artikel (Engels) toesturen via mail.
- **Dankuwel voor uw deelname.** Voor het project Smart Emission 2 wordt dit deelproject hierbij afgesloten. Aan alle deelnemers willen we een hartelijk DANKUWEL uitspreken. Het was een bijzonder prettige ervaring om te merken dat de onderzoeksmatige nieuwsgierigheid zo goed aansloot bij de maatschappelijke nieuwsgierigheid van de werkgroep Luchtkwaliteit in Lent. Het is goed gelukt om voldoende vrijwillige deelnemers te vinden om samen de fijnstofconcentratie in het woongebied nabij het Thermiongebouw en de Prins Mauritssingel in kaart te brengen. Zowel bij een avondspits als bij een ochtendspits hebben we met 10 sensoren door de wijk heen gelopen om metingen te verrichten. Zonder uw deelname daaraan hadden we dit experiment niet kunnen uitvoeren.

In dit verslag kunt u, in tekst en beeld, uitleg vinden over de resultaten van de tweede veldmeting tijdens de ochtendspits in Lent.

De lange links naar de zoom recording en de twee presentaties, als de korte tinyurls niet goed doorverwijzen naar Google Drive locaties:

Zoom recording: <https://drive.google.com/file/d/1qXokzWD-B0A4wwM2n5tKfLhtiz9AsSp8/view?usp=sharing>

Presentatie Sytze de Bruin: <https://drive.google.com/file/d/1K9X4ekKUOqOqqw4DL9JeVyUKUnt3Rd2n/view?usp=sharing>

Presentatie Roderick Peters: https://drive.google.com/file/d/1Vf6_H2ba5-sc132P6OHeg_VWV0872V2a/view?usp=sharing

I. Uitgebreid verslag van de presentaties op 23 juni 2021 na 2^e veldmeting

1. Links naar online presentaties van de 2^e veldmeting

Er zijn in het kader van onderzoeksproject “Smart Emission 2” twee veldexperimenten in Lent uitgevoerd, door onderzoekers van de Universiteit Wageningen, in samenwerking met Radboud Universiteit en Universiteit Twente.

1. Op 25 mei 2021 waren de fijnstof emissies gemeten tijdens een avondspits in een nieuwbouwwijk in Lent, tussen 16:30 en 18:15 uur.
2. Op 9 juni 2021 heeft de tweede veldmeting plaatsgevonden, tijdens een ochtendspits, tussen 7:15 en 8:45 uur. waarin een aantal verbeteringen zijn doorgevoerd in de meetopzet, en de sensor, en waar bij andere weersomstandigheden is gemeten. De weersomstandigheden waren warmer, droog met minder luchtvochtigheid, minder wind, ongeveer zelfde windrichting.

Hierbij een verslag van de tweede zoom sessie op woensdag 23 juni met een presentatie van de resultaten na de tweede veldmeting, dit keer van een ochtendspits op 9 juni 2021.

De presentaties en zoom sessie recording zijn met behulp van de onderstaande links terug te zien.

Terugkijken: De zoom sessie na de 2^e veldmeting is hier voor deelnemers te downloaden, om terug te zien:

Zoom: Digitale link naar de zoom recording: <https://tinyurl.com/SE2-Veldexp-Lent-zoom-23juni>

A. Eerste presentatie sensor data analyse van de ochtendspits door Sytze de Bruin:

Digitale link naar de presentatie van Sytze, met analyse van de ochtendspits metingen met de mobiele sensoren met behulp van geostatistiek:

<https://tinyurl.com/SE2-Analyse-9juni-Sytzedebuin> (PDF)

B. Tweede presentatie OHNICS sensor data analyse van de ochtendspits door Roderick Peters:

Digitale link naar de presentatie van Roderick Peters over de ochtendspits veldmetingen op basis van de OHNICS sensoren in de wijk Lent, incl de mobiele snuffel-Ohnics-sensor, en de extra opgehangen sensoren aan twee lantaarnpalen:

<https://tinyurl.com/SE2-OHNICS-data-RoderickPeters> (PDF)

Zie de links naar de presentaties van de eerste veldmeting in het verslag van de eerste veldmeting, van de avondspits op 25 mei 2021, ook toegevoegd in dit document. Zie daarvoor de paragraaf "Links naar online presentaties 1e veldmeting."

2. Eerste presentatie van Sytze de Bruin, ochtendspits meting en geostatistische analyse



2.1. Meetopzet

Tweede veldmeting met mobiele sensoren en met Ohnics sensoren

Door Intemo zijn twee mobiele SDS011 fijnstof sensoren in de 10 meetkastjes vervangen. Deze twee sensoren gaven me grootste afwijkende meetwaarden tijdens de 1^e veldmeting. De meetkast heeft een betere luchtinlaat gekregen, de 'klep' aan de buitenzijde van de mobiele sensor is weggehaald, zodat de luchtstroming direct na binnenkomst in de meetkast de PM2,5 sensor bereikt, zie foto.

Ook heeft Roderick Peters, die namens de burgerwerkgroep Luchtkwaliteit Lent bezig is met het opzetten van een Ohnics meetnet in Lent, een aantal Ohnics sensoren ingezet om gelijktijdig mee te meten tijdens de veldmeting. Daarvoor zijn 4 Ohnics sensoren gebruikt: een vaste sensor aan de Edith Piafstraat, en twee extra sensoren die aan twee lantaarnpalen zijn opgehangen op een onderlinge kleine afstand loodrecht op de Prins Mauritssingel, plus een mobiele Ohnics sensor die mee wandelt met Roderick als burgerwetenschapper, direct naas een mobiele Intemo sensor. Dit noemt Roderick de 'snuffelOhnics'. De Ohnics sensoren gebruiken een Sensirion SPS30 sensor. De mobiele Intemo sensoren gebruiken een SDS011 sensor.

De participerende burgerwetenschappers en wetenschappers lopen dit keer vooraf vastgestelde routes, in subgroepen, zodat het gehele studiegebied goed zal worden afgedekt gedurende de looptijd van het experiment. Deze strategie is anders dan de eerste veldmeting, toen mensen n.a.v. de metingen, zelf op zoek konden waar ze een nieuw meetpunt zouden willen inmeten.

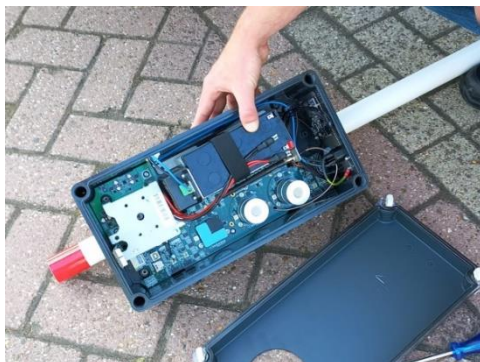
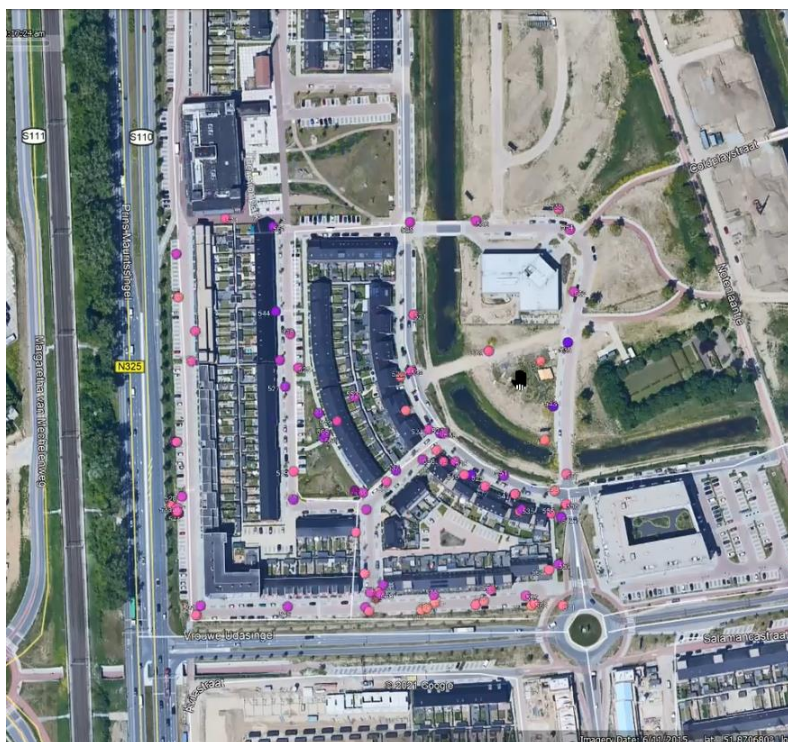


Foto: Meetkastje Intemo sensor met SDS011 PM2,5 device en accu

De animatie in Google Earth laat zien dat de metingen goed verdeeld zijn over het gehele studiegebied gedurende het experiment, in ruimte en tijd.

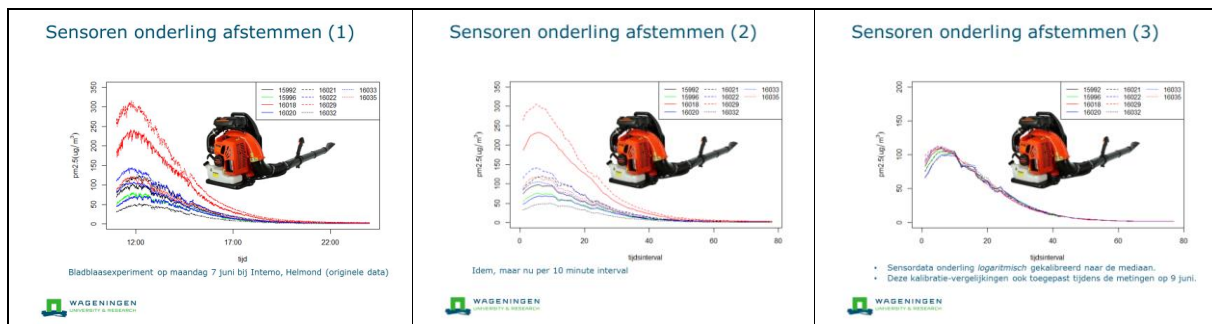


Figuur 1. Luchtfoto met daarop geprojecteerd een animatie van de metingen in Google Earth. (zie zoom sessie met de dynamische animatie, waarvan hier een screenshot is gemaakt – dit beeld toont dus een momentopname). Bron: Sytze de Buin.

2.2. Methode analyse tweede veldmeting

Opstellen van een model op basis van relatieve kalibratie en correctie individuele sensoren

De ruwe data vergen echt een correctie door middel van relatieve kalibratie, anders zijn de onderlinge verschillen tussen de sensoren te groot. Vooraf aan de metingen is een test uitgevoerd met een bladblazer, op dezelfde wijze als voor de eerste meting van de avondspits op 25 mei, om de mobiele sensoren relatief te kalibreren ten opzichte van elkaar, zie figuur 2.



Figuur 2. Relatieve kalibratie van de sensoren op elkaar met behulp van een bladblaas meting. Bron: Sytze de Bruin en Intemo.

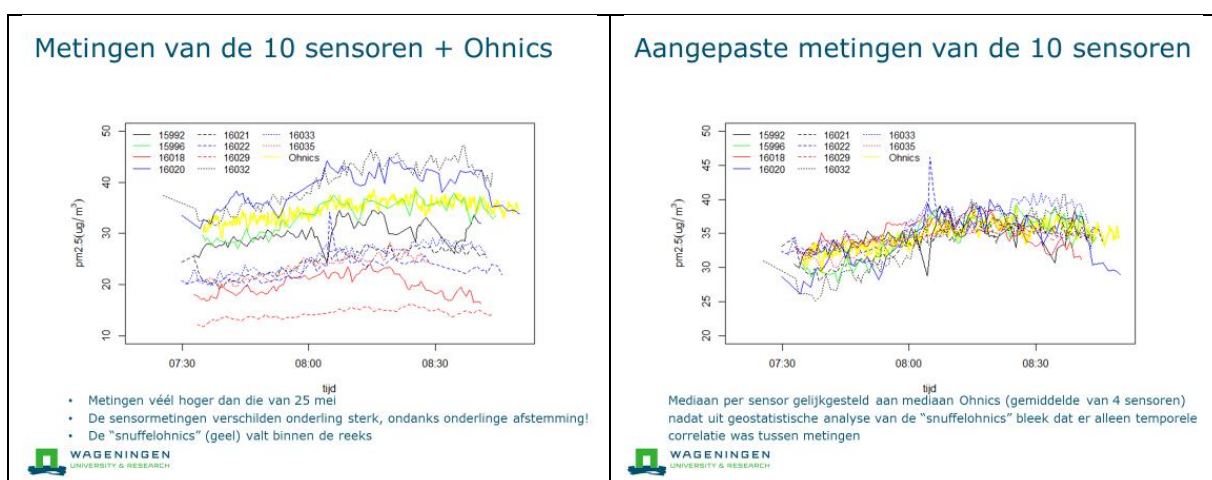
Sytze heeft een model opgesteld om de ruwe sensordata zoals gemeten op 9 juni te corrigeren:

Model berekenen PM2 waarden op basis van de hele ruwe sensormetingen, gecorrigeerd, 9 juni:

PM2,5 meting = onderling gekalibreerde metingen (op basis bladblazer proef) + een correctiefactor *per sensor* (gebaseerd op het verschil met de gemiddelde mediaan van 4 Ohnics sensoren en de sensor mediaan)

De correctiefactor per sensor:

De 10 Intemo sensoren met een SDS011 sensor voor PM2,5 wijken veel van elkaar af. Er was één Ohnics sensor die mobiel meeliep met een Intemo sensor, daarnaast hingen er nog 3 Ohnics sensoren in het studiegebied, met een Sensirion SPS30 sensor. De mediaan van elke sensor is gelijkgesteld aan de mediaan van de 4 ruimtelijke sensoren. Deze correctie is gedaan nadat uit de analyse van de Ohnics data door Sytze blijkt dat er geen ruimtelijk patroon is in de data, alleen een temporele gradiënt; het maakt dus niet uit waar de sensor binnen het studiegebied op dat moment meet. Het maakt uit op welk moment de meting gedaan wordt, niet op welke precieze locatie. Daarom vindt Sytze het billijk om de metingen naar de Ohnics meetwaarde te 'trekken', om zo de verschillende lijnen van elke sensor beter op elkaar te leggen, en hiermee het verschil in gemiddeld niveau tussen de sensoren te corrigeren. Dit is te zien in figuur 3.



Figuur 3. Het gelijktrekken van elke sensor tijdreeks naar een vergelijkbaar niveau langs de mediane Ohnics sensor waarde. Hiermee worden de absolute verschillen tussen de sensoren opgeheven door op elke SDS011 sensorwaarde een individuele correctie toe te passen, om zo dichterbij de Sensirion SPS30 sensorwaarde van de Ohnics sensoren te 'fitten'. Bron: Sytze de Bruin.

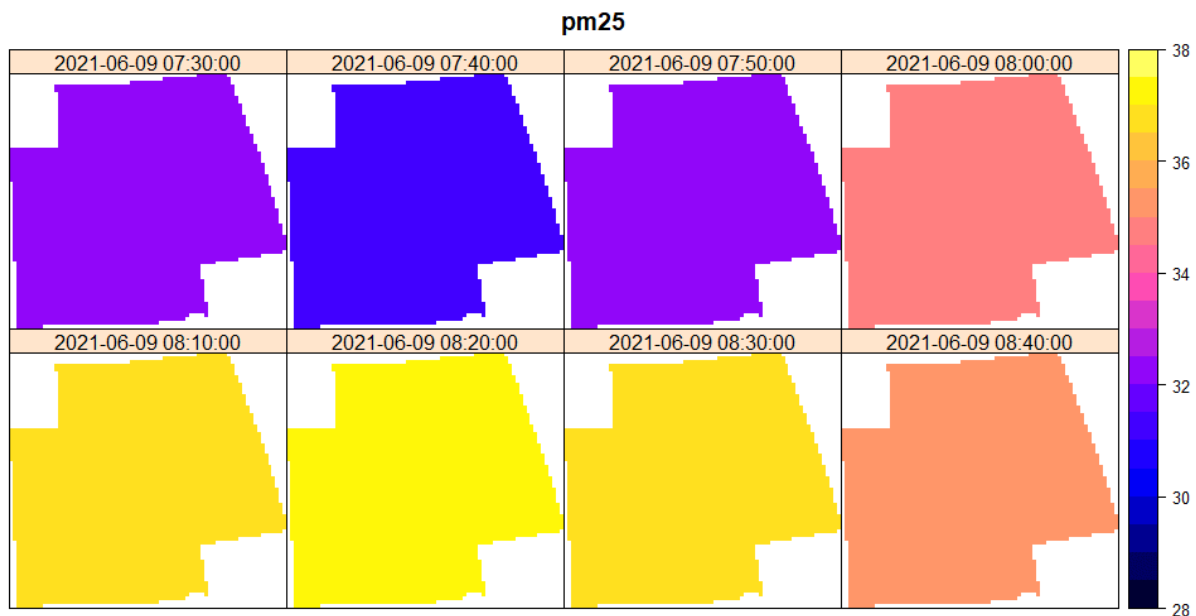
2.3. Resultaten 2^e veldmeting

Deze gecorrigeerde waarden zijn vervolgens onderzocht op correlaties tussen meetpuntenparen, in ruimte en in tijd met behulp van geostatistische analyse. Omdat er een patroon in de tijd ontdekt kon worden, wordt dit resultaat zichtbaar gemaakt met behulp van temporele interpolatie, in 8 kaartjes, opvolgend in de tijd.

De conclusie is dezelfde als vorige keer, toen tijdens de avondspits op 25 mei 2021. Ook tijdens de ochtendspits hebben we WEL een temporele gradiënt kunnen meten, maar GEEN ruimtelijke gradiënt.

De kaartjes van het studiegebied zijn daarom weer homogeen ingekleurd, maar de kaartjes hebben wel een verschillende meetwaarde in de tijd, zie figuur 4.

- Tussen 7:30 uur en 7:50 uur schommelt de waarde tussen ongeveer **30 - 32** $\mu\text{gram}/\text{m}^3$
- Tussen 7:50 en 8:20 uur is deze waarde gestegen naar circa **38** $\mu\text{gram}/\text{m}^3$
- Tussen 8:20 en 8:40 uur dalen de meetwaarden naar circa **35** $\mu\text{gram}/\text{m}^3$.

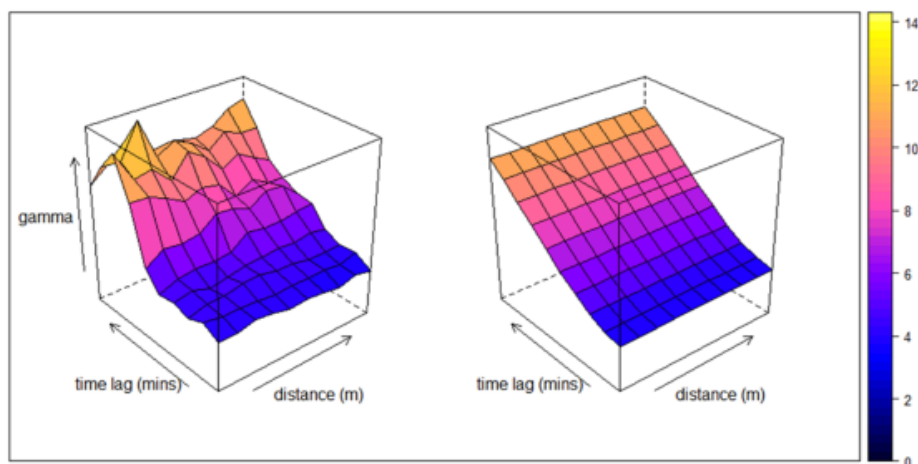


Figuur 4. Temporele gradiënt, gebaseerd op het model dat op basis van de gecorrigeerde meetwaarden kon worden opgesteld. Een verloop in de tijd is zichtbaar, dit patroon kon gevonden worden in de 2^e veldmeting in Lent op 9 juni. Gebaseerd op geostatistische analyse gemaakt door Sytze de Bruin, Wageningen Universiteit. In deze kaartjes is de vorm van de figuur zo vanwege de omtrek van het studiegebied. Patronen van systematische verschillen tussen de metingen die we kunnen karteren zijn alleen in de tijd zichtbaar, en niet ruimtelijk. In de ruimte is er geen correlatie te vinden tussen puntenparen. Dat wil zeggen dat metingen dicht bij de drukke weg liggen, dus niet systematisch hoger liggen dan metingen verder van de weg vandaan. Daarom is het kaartje telkens, op ieder van de 8 momenten, in de ruimte homogeen ingekleurd met één kleur. Er is wél een gradiënt in de tijd zichtbaar.

2.3.1. Variogram visualisatie

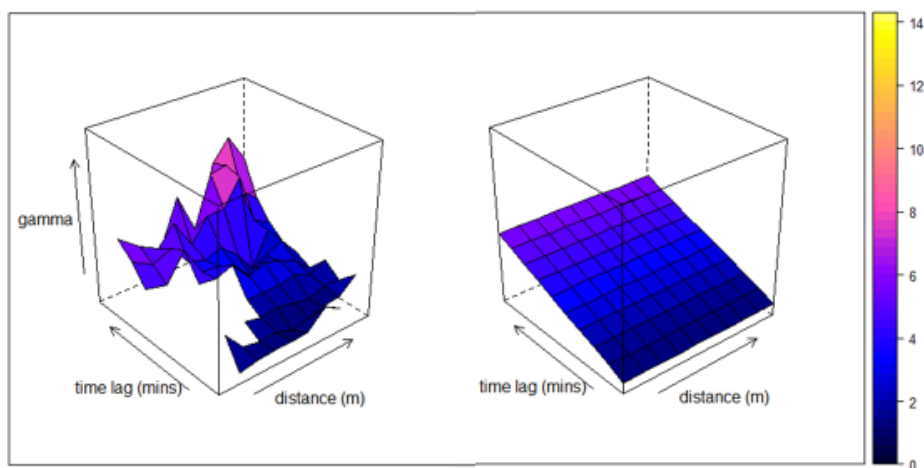
We konden dus opnieuw geen ruimtelijke patronen worden gekarteerd, maar wél verschillen in de tijd. Dit is goed zichtbaar in de 'variogram' grafieken. Deze heeft Sytze voor de metingen van 9 juni kunnen maken van zowel de mobiele Intemo sensoren, als voor de mobiele 'snuffel Ohnics' sensor van Roderick Peters. In beide ruimte-tijd grafieken is een toename van de variantie tussen puntenparen te zien in de as-richting naar 'links,' in de tijd-richting. In de richting naar 'rechts', langs de 'ruimtelijke afstand-as' in meters, zie je dat de variantie van puntenparen in de ruimte vlak blijft, hoe ver je ook naar rechts gaat in de grafiek.

Ruimte-tijd "variogram" Intemo sensoren



Variantie van puntenparen op verschillende afstanden in de ruimte-tijd. Geen ruimtelijke correlatie, wel temporele correlatie. **Daarom temporele interpolatie**

Variogram van de "snuffelOhnics"



Springerig door weinig data, "gaten". Fitten van variogramfunctie (gewogen naar # puntenparen) gaf temporeel variogram.

Figuur 5. Variogram van puntenparen van de Intemo sensoren (boven) en de snuffelOhnics sensor (onder). Met links een kubus met variantie in de ruwe data, en rechts een kubus met modelresultaten

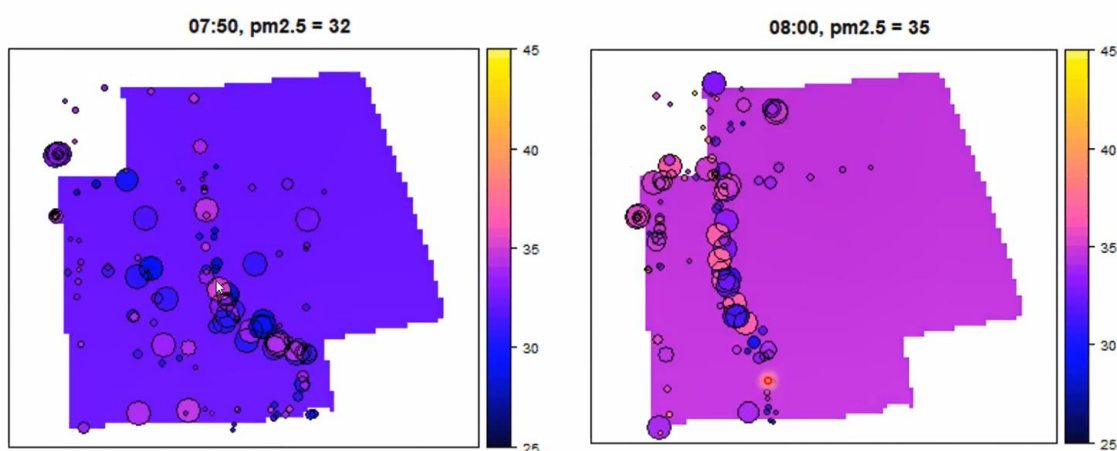
van een model dat van de ruwe data is afgeleid, na kalibratie en afstemming met de Ohnics sensoren. Bron: Geostatistische analyse Sytze de Bruin.

2.3.2. Verklaring met visualisatie van afwijkende sensor t.o.v. het gemiddelde

Visualisatie van het effect van een afwijkende sensor die consequent hogere waarden gaf in het veld:

Waarom lijken de metingen in het veld tijdens het experiment wel een systematisch ruimtelijk verschil te tonen? Dat zou kunnen komen doordat er toch nog enkele sensoren meededen, die consequent hogere/lagere waarden gaven.

Er is een sensor die consequent hogere waarden geeft. Dit heeft Sytze in een filmpje gezet, tegen de achtergrond van het kaartje dat in de tijd van kleur verandert. Je ziet tijdens de animatie een clustertje van hogere metingen, die 'door het gebied heen wandelt'. Dat is dezelfde sensor, die consequent hogere waarden meet (figuur 6).



Figuur 6. Animatie in het geostatistisch model waarbij individuele sensoren zichtbaar worden gemaakt, hoe deze door de ruimte heen 'gewandeld' hebben door het studiegebied. Hierin is te zien dat een sensor structureel hogere meetwaarden geeft, dan de gemiddelde waarde (te zien aan de achtergrondkleur op ieder moment). Hier zijn twee screendumps te zien, waarbij dit patroon van een afwijkende sensor zichtbaar is. Visualisatie door Sytze de Bruin.

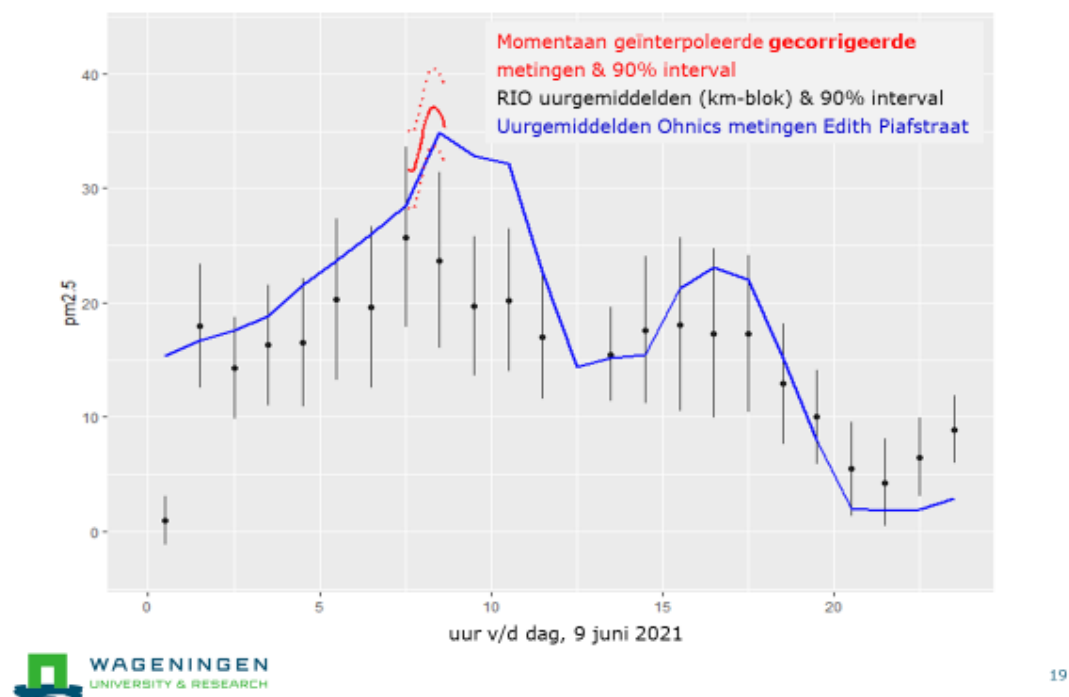
2.3.3. Vergelijking sensor metingen met RIO model

Onderlinge tussen de sensoren en de RIO data van het Luchtkwaliteitsmodel dat het RIVM gebruikt.

Het RIO model gebruikt kaarten met 'kilometerblokken' in de ruimte, en uurgemiddelden in de tijd: De ruimtelijk-temporeel resolutie is dus kilometer x kilometer x uur (kilometer bij kilometer blokken met uurgemiddelde waarden). Er kunnen dus afwijkingen zitten tussen wat het model heeft geconstateerd op 9 juni, en de veldmetingen in Lent met de sensoren.

Zie figuur 7 met de combinatie van de tijdreeks van de sensormetingen en het RIO model.

Onderlinge vergelijking sensoren & RIO



Figuur 7. Combinatie van de sensor metingen en de waarden van het RIO model. Bron: Sytze de Bruin en RIO waarden van het RIVM.

Toelichting bij figuur 7:

- De **rode lijn** geeft de sensorwaarden aan van half 8 tot ongeveer half 9, de momentane metingen, per moment (niet uurgemiddeld). De rode stippellijnen boven en onder dit 'golfje' geven de gecorrigeerde waarden aan, met een 90% waarschijnlijkheidsinterval boven en onder de doorgaande rode lijn. Omdat het experiment slechts ongeveer 1,5 uur geduurd heeft, met netto tijd die hier is weergegeven van 7:30 tot 8:30 uur, is deze lijn kort.
- De **blauwe lijn** geeft per uur de uurgemiddelden aan van de vaste Ohnics sensormetingen aan de Edith Piafstraat, in het studiegebied in Lent. Deze vaste Ohnics sensor hangt gedurende lange tijd, in ieder geval het komende jaar, als onderdeel van een burgerwetenschapsproject Lentse Luchten. Vanwege de continue metingen van deze vaste sensor, kan deze blauwe lijn voor alle uren worden getoond.
- De **zwarte, vertikale lijnen** met een punt in het midden geeft de RIO meetwaarde plus de 90% waarschijnlijkheid bandbreedte weer, voor het kilometerblok waarin ook het studiegebied in Lent zich bevindt.

Om half 8 liggen de metingen dicht bij elkaar, en de bandbreedtes liggen binnen elkaars bereik (vertikale *range*). Hier is dus sprake van overlap en met elkaar overeenstemmende metingen en modelwaarden.

Op het tijdstip half 9 wijkt de RIO modelwaarde iets af van het blokgemiddelde van het kilometerblok rondom het studiegebied, maar niet heel veel. De bandbreedte van de rode stippellijn ligt dan boven de bandbreedte van de zwarte lijn, die de bandbreedte van het RIO model weergeeft. Ook de Ohnics

sensor geeft nog een piek te zien om half 9. Het model verwacht dus een andere waarde dan de metingen aangeven, maar dan over een groter gebied uitgesmeerd, en bovendien gemiddeld over een uur, terwijl er een piekje te zien was binnen dit specifieke uur. Het kilometer x kilometer x uurgemiddeld RIO model zit hier dus iets lager, maar niet veel, dan de Ohnics (Sensirion SPS30) en de Intemo (SDS011) sensoren, die een piekje hebben waargenomen gedurende dit uur, in het studiegebied.

Dit 'piekje' lag tijdens dit tweede experiment, tijdens de ochtendspits, om 8:20 uur. Opmerking in combinatie met de meet-ervaring in de wijk: 8:20 uur was tevens het tijdstip dat het in de wijk een piekdrukke merkbaar was van activiteit op straat, vooral in de buurt van de lagere school in de wijk, en bij de weg die de wijk uitgaat, met veel auto's en mensen die onderweg gingen en/of kinderen bij school afzetten.

Reacties in de chat, tijdens de zoom sessie:

- Reactie 1, burgerwetenschapper: In beide gevallen kwam RIO dicht bij de metingen van 25 mei in regen en in wind voor de avondspits versus 9 juni ochtend, droog en weinig wind in de ochtendspits...
- Reactie 2, wetenschapper: Yep, geweldig model ;-)

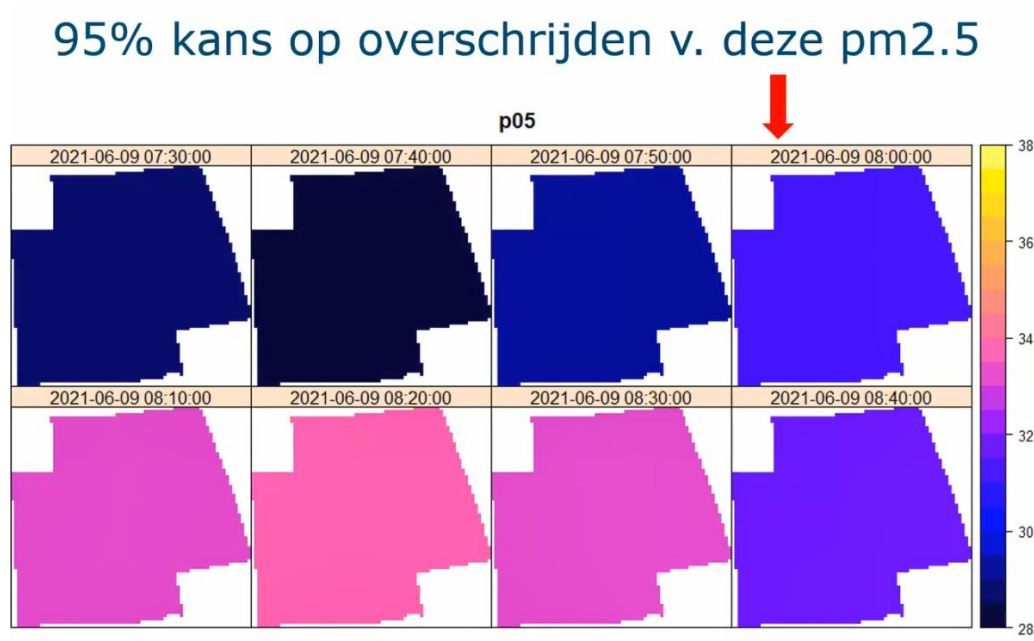
2.4. Conclusies 1e presentatie door Sytze de Bruin

- De SDS011 metingen vergen onderlinge en absolute correctie;
- Rekening houdend met onzekerheid in de correctiefactoren kwamen we met het gebruikte model op een precisie van $\sim 2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor $\text{pm}_{2.5}$ in de range $31 - 37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tijdens de ochtendspits op 9 juni;
- De gemeten $\text{pm}_{2.5}$ concentraties in Lent waren op 9 juni tijdens de ochtendspits *significant* hoger dan op 25 mei tijdens de avondspits;
- Ook tijdens deze ochtendspits werd een temporele gradient vastgesteld; geen ruimtelijke;
- Het is beter om in de wijk met enkele nauwkeurigere sensoren te meten dan met vele sensoren waarbij wordt bezuinigd op de kwaliteit.

2.5. Terugkijkend op 2 veldmetingen, vergelijking

Vergelijking meetwaarden op 9 juni en op 25 mei: groot verschil in weersomstandigheden

Als we onzekerheden meenemen, dan kunnen we waarden laten zien, die met 95% kans overschreden worden. De meetwaarden met 95% kans op overschrijding, zijn opgesteld volgens het model voor gecorrigeerde ruwe sensordata (Sytze de Bruin, 23 juni 2021), zie figuur 8.



Figuur 8. Resultaten onzekerheidsberekening met een 95% kans van overschrijding van waarden PM_{2,5} na correctie van de ruwe sensordata (Sytze de Bruin.)

We kunnen zien dat de waarden op 9 juni met grote mate van zekerheid hoger dan de waarden op 25 mei: .

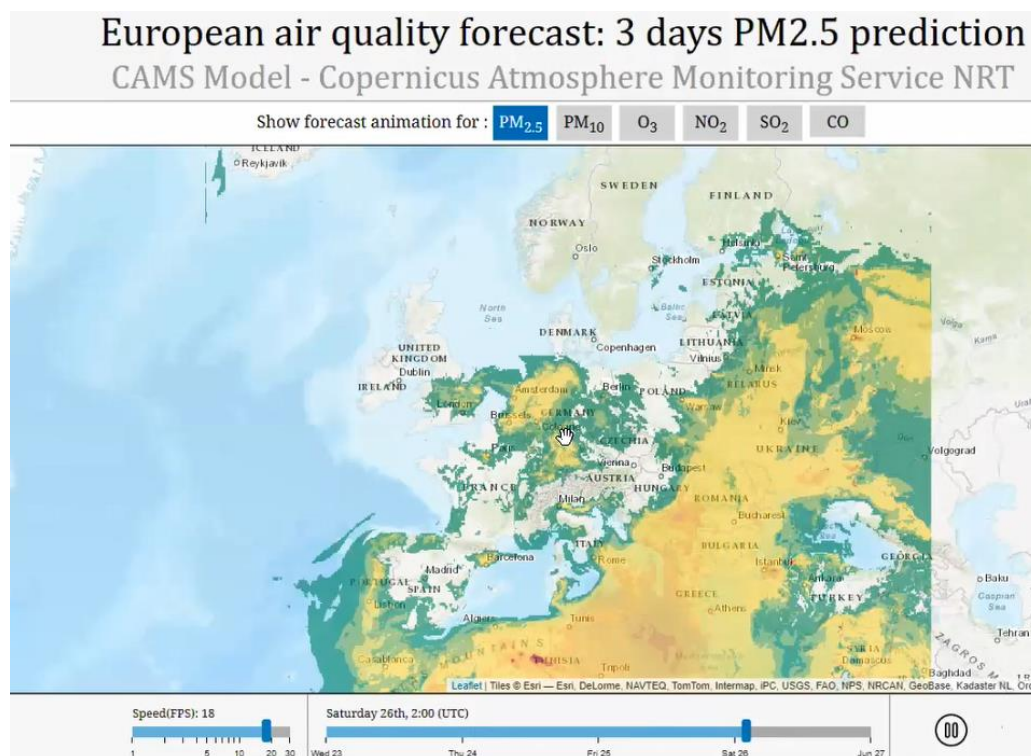
- Metingen op 25 mei 2021: **4 – 5** µgram/m³
- Metingen op 9 juni 2021: **30 – 38** µgram/m³.

Daar zit een significant verschil tussen. Meteorologische verschillen liggen voor de hand als verklaring. De meteorologische condities waren behoorlijk verschillend op beide dagen:

- Het weer op 25 mei 2021: koud, vochtig met een bui, windkracht 4 tot 5 in Beaufort, wind richting West
- Het weer op 9 juni 2021: warm, droog, weinig wind, windrichting WZW (West-ZuidWest)

Een belangrijke bron voor de algehele PM_{2,5} concentraties in het veld, de zogenoemde 'achtergrondconcentratie PM_{2,5}', is afhankelijk van grootschalige weersystemen op Europees niveau. Sytze toont een Europese driedaagse verwachting voor PM_{2,5}, op basis van een Copernicus atmosferische monitoringdienst, met de informatie online via een Chinese website die wereldwijd de beschikbare luchtkwaliteit monitoring data verzamelt: <https://aqicn.org/forecast/europe/cams>. Een mogelijke verklaring is dus dat deze verschillen komen vanuit grofschalige weersystemen die actief zijn in de atmosfeer boven Europa. Deze zorgen ervoor dat er toevallig meer of minder fijnstof komt aanwaaien, deze geven hogere of lagere achtergrondwaarden PM_{2,5} en dit meandert een beetje door de tijd. (Dit wordt beaamd door luchtkwaliteitsexpert Joost Wesseling.)

Figuur 9 toont een schermafbeelding van zo'n atmosferische 'wolk' die voor meer fijnstofconcentratie zorgt, van de AQICN website, als momentopname van het CAMS model, in juni.



Figuur 9. Schermafbeelding op 23 juni 2021 van AQICN website met CAMS model, Copernicus Atmosphere Monitoring Service. Bron: <https://aqicn.org/forecast/europe/cams>.

2.6. Discussie na 1^e presentatie

Reactie en uitleg bij de interpretaties van deze veldmeting

Joost Wesseling, luchtkwaliteitsexpert en wetenschapper bij het RIVM, ervaren in het analyseren van data vanuit low-cost sensoren, geeft reactie als wordt gevraagd naar het gedrag van fijnstof in de lucht en metingen nabij verkeerswegen.

Joost geeft aan dat het wel naar verwachting is dat er geen ruimtelijk patroon gevonden zou worden met de meetopzet van een kleine ruimte en tijd, en een kleine sensor met meeton nauwkeurigheid, en een relatief kleine bron van PM_{2,5}, in de vorm van een verkeersweg. Hij legt uit dat een verkeersweg niet een hele grote bron van fijnstof is, behalve misschien de A2 ter hoogte van Abcoude. Voor het vinden van echte verschillen is een grote lokale bron nodig, die veel extra PM_{2,5} veroorzaakt bovenop de achtergrondconcentratie. Als je verschil wil detecteren in een kleine ruimte in ruimte en tijd, dus heel lokaal, dan heb je een dag met weersomstandigheden nodig die gemiddeld niet vaak voorkomt in Nederland:

- Een koude winterdag
- Winig wind, gestaag in dezelfde windrichting
- Een hele lage menglaaghoogte (in de verticale kolom lucht)
- Veel lokale emissies, een grote bron.

Joost Wesseling vertelt over een experiment met de Snuffelfiets.

Een groot aantal fietsen zijn uitgerust met een Sensirion fijnstofmeter in de regio Utrecht. Daar zijn 70.000 fietsroutes gereden die tesamen voor een grote hoeveelheid meetdata zorgden, met daarbinnen hele lage en hoge metingen. Daaruit kon, na veel bewerking, een onderscheid gemaakt worden tussen wegen, met zwaarbelaste en minder belaste fietsroutes langs verschillende wegen. Dit ging om een grote hoeveelheid fietsroutes afgelegd in een grote variëteit in de ruimte en tijd.

Figuur 10 toont een afbeelding uit het artikel over dit experiment, met verschillende fietsroutes die met een snuffelfiets in kaart gebracht zijn. Link naar wetenschappelijk artikel:

<https://doi.org/10.3390/ijerph18116007>

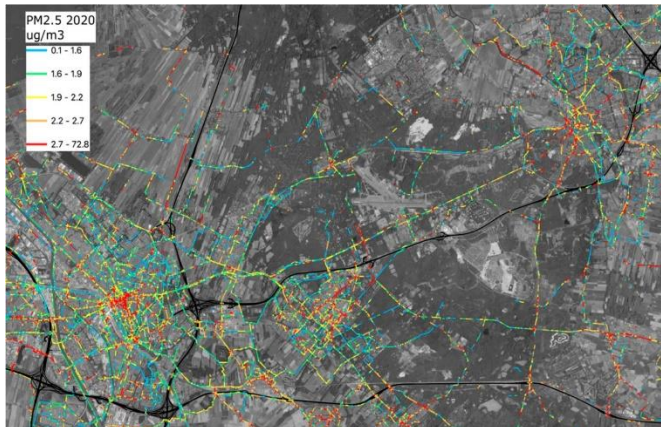


Figure 10. Gemiddelde PM2.5 concentratie bijdragen door lokaal verkeer tussen de steden Utrecht (linksonder op kaart) en Amersfoort (rechtsboven op kaart). Alle concentraties zijn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bron: Wesseling et al (2021) Assessment of PM2.5 Exposure during Cycle Trips in The Netherlands Using Low-Cost Sensors. International Journal of Environmental Research and Public Health 18(11).

<https://doi.org/10.3390/ijerph18116007>

3. Tweede presentatie OHNICS sensor data analyse van de ochtendspits door Roderick Peters

Metingen van extra OHNICS sensoren, en meetwaarden van het project Lentse Luchten van de wijkbewoners, werkgroep Luchtkwaliteit Lent.

Roderick toont hierbij ook data van het fijnstofmeetnet van project Lentse Luchten, waar de wijkbewoners langdurig PM_{2,5} gaan meten.

Over de data: de Ohnics sensoren geven een tijdstip aan dat 2 uur eerder ligt dan de Nederlandse tijd, dus er moeten bij een tijdstip, 2 uur opgeteld worden.

3.1. Meetopzet 2 extra Ohnics sensoren aan lantaarnpalen

Roderick Peters:

We hebben met de burgerwerkgroep ook bijgedragen aan dit veldexperiment, met plaatsing van twee tijdelijke OHNICS sensoren aan twee lantaarnpalen, vlakbij de Prins Mauritssingel, in de wijk Lent. Twee extra Ohnics sensoren zijn opgehangen voor deze dag met het tweede veldexperiment, op 9 juni. Een Ohnics sensor is opgehangen precies op de T-splitsing, op een afstand van ongeveer 9 meter van de Prins Mauritssingel, en de tweede sensor ongeveer 19 meter verder weg, de Castiliëstraat in, zie figuur 11.

Vooraf aan het veldexperiment hebben deze twee Ohnics sensoren een dag bij Roderick Peters in de achtertuin gehangen, op een relatief rustige plek in de wijk Lent. Hier hebben de twee Ohnics sensoren 10 uur naast elkaar gehangen en gemeten.

Experiment 9 juni ochtendspits, tijdelijke sensoren



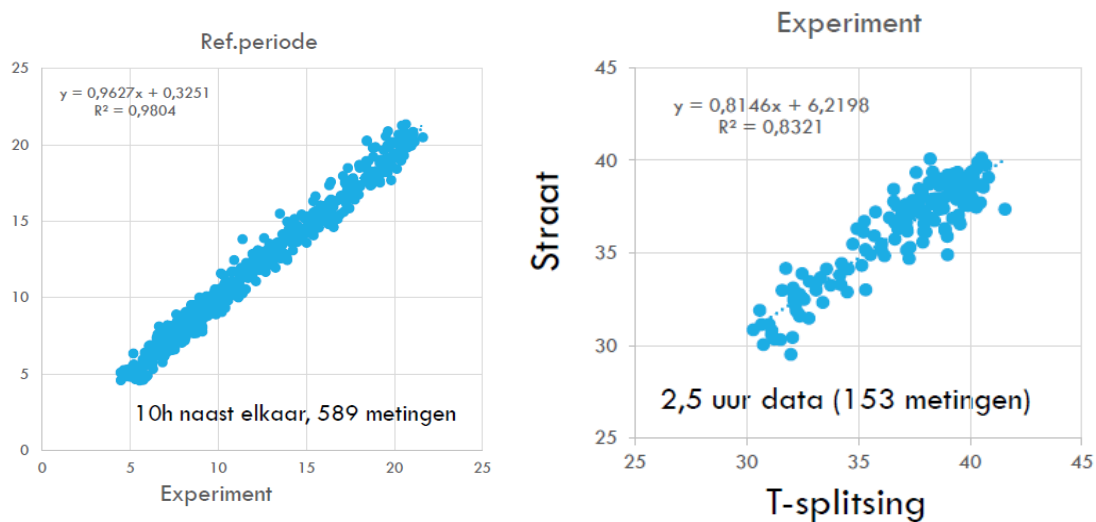
Figuur 11. Kaartje van Lent met de locatie van 2 extra Ohnics sensoren op een gradient dicht bij de Prins Mauritssingel, op een afstand van 9 meter en circa 28 meter van de Prins Mauritssingel vandaan. Met een onderlinge afstand van circa 19 meter. Bron: Roderick Peters.

3.2. Methode met 2 extra Ohnics sensoren

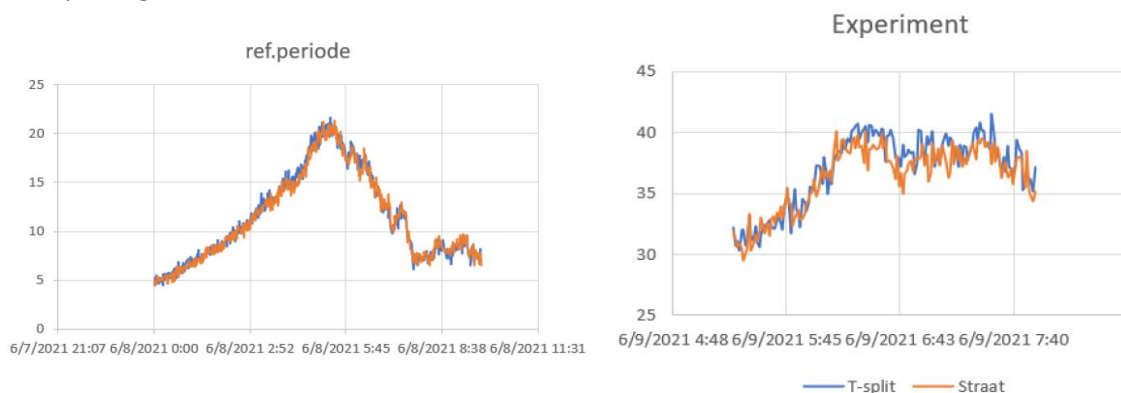
Hieronder staat een korte uitleg van de analyse, gemaakt door Roderick Peters, van het experiment. In de volgende paragraaf staat een korte uitleg over statistiek, over wat lineaire regressie analyse is, en de concepten van een scatterplot en de maat voor 'goodness of fit' van een model, de R-square waarde (R^2).

Waarnemingen Ohnics sensoren na 'referentie meting' voor relatieve kalibratie:

In de figuur 12 staan twee scatterplots getoond, van een referentiemeting (van 10 uur, waarbij de 2 Ohnics sensoren naast elkaar in een achtertuin hingen) en een meting tijdens het veldexperiment, van circa 2,5 uur, met 153 metingen. De referentiemeting dient om de twee sensoren relatief ten opzichte van elkaar te kalibreren. In figuur 14 staan de metingen weergegeven in de tijd, in een tijdreeks; dit is een meer intuïtieve representatie van wat de Ohnics sensoren gemeten hebben.



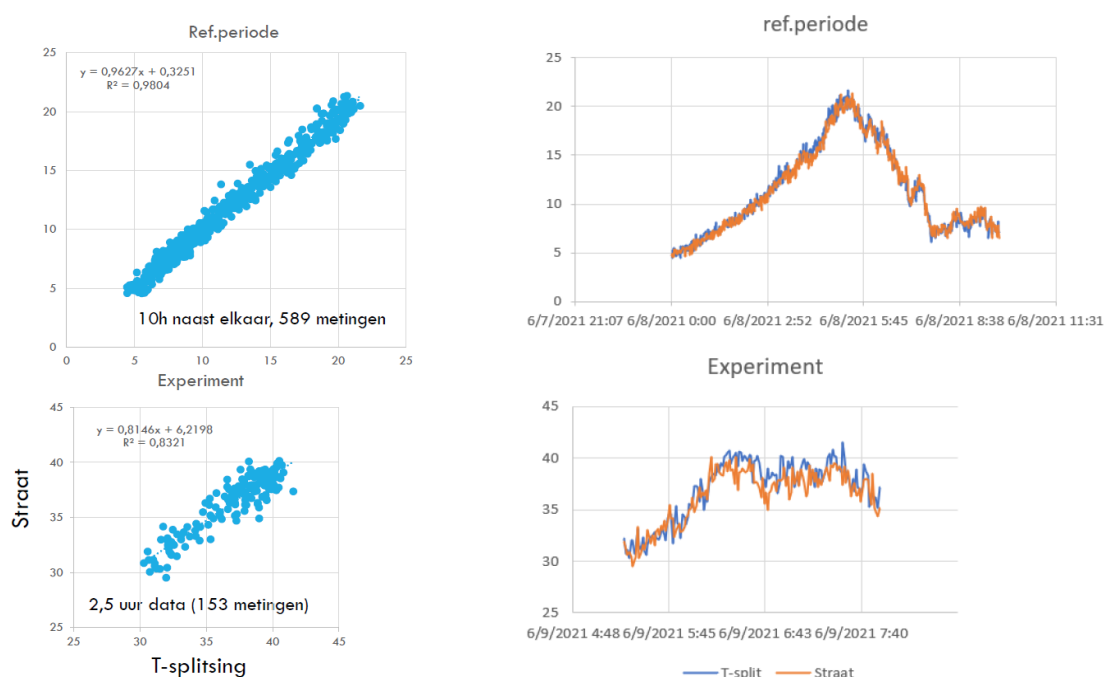
Figuur 12: In deze scatterplots staan de meetwaarden van de Ohnics sensoren ten opzichte van elkaar afgebeeld. Links tijdens de referentiemeting van tevoren, met 10 uur meten naast elkaar, en rechts de metingen van de Castiliëstraat (y-as) als responsevariabele ten opzichte van de meetwaarde van de Ohnics sensor op de T-splitsing (x-as). Bron: Roderick Peters.



Figuur 13: In deze tijdreeksen staan de meetwaarden van de Ohnics sensoren afgebeeld ten opzichte van de tijd. De klok van de Ohnics sensormetingen loopt 2 uur achter, dus voor de daadwerkelijke

tijd (Central European Time, de tijd in Nederland) moet men bij het uur op de x-as 2 uur optellen. Men kan zien dat de blauwe lijn (Ohnics sensor 1) en de oranje lijn (Ohnics sensor 2) elkaar vrij dicht benaderen tijdens de 10 uur durende referentiemeting, links. Tijdens het experiment, rechts, lijkt het erop dat de sensor met de blauwe lijn, de Ohnics sensor 1 op de T-splitsing, structureel iets hogere waarden aangeeft dan de Ohnics sensor 2 die 19 meter verderop in de Castiliëstraat hangt. Dit geldt in de grafiek tussen circa waarden 5:45+2h en 7:13+2h op de x-as, dus tussen tijdstip 7:45 en 9:13 uur. Dit zou misschien te maken kunnen hebben met een verschil in primair en secundair fijnstof: misschien meet de Ohnics sensor op de T-splitsing, die heel dicht op de drukke verkeersweg staat, meer primaire fijnstof van het verkeer. Bron: Roderick Peters.

In Figuur 14 staat een overzicht van de analyses zoals in Powerpoint gepresenteerd door Roderick Peters op 23 juni.



Figuur 14. Overzicht van **scatterplots**, links, van referentiemeting (boven) en experiment (onder) en de **tijdreeksen**, rechts, van referentiemeting (boven) en experiment (onder). Bron: Roderick Peters, werkgroep Luchtkwaliteit Lent. Bij de referentiemetingen (boven) hangen de twee Ohnics sensoren naast elkaar (in een achtertuin, waar een achtergrondconcentratie PM2,5 gelijk wordt verondersteld). Bij de metingen tijdens het veld-experiment op 9 juni, hangen de twee Ohnics sensoren aan de lantaarnpalen aan de Castiliëstraat, op de T-splitsing en 19 meter verderop. Bron: Roderick Peters.

Toelichting regressie analyse, scatterplot en R2, concepten uit de statistiek

Korte uitleg statistische analyse gemaakt in Excel van de data, scatterplot en R2:

In de statistiek wordt regressie analyse gebruikt bij het zoeken naar de samenhang tussen de waarnemingen op 2 verschillende variabelen. In de statistiek is zo'n regressie analyse geldig als men veronderstelt dat een variabele is aan te wijzen als 'afhankelijk', als die deels verklaard wordt door een andere onafhankelijke variabele, en hiertussen een lineair verband zit. De overige variantie wordt dan verondersteld toevallig te zijn (volgens een normaal verdeling).

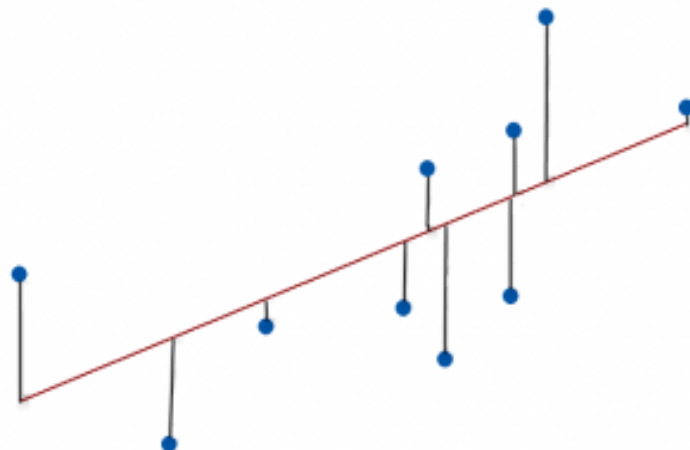
Een scatterplot is een grafiek met een puntenwolk, van twee waarnemingsvariabelen.

R2 (R squared) is een maat voor de verklaring van variantie ten opzichte van de 'fitted lineaire regressielijn' in een dataset: R2 heeft waarden tussen 0 en 1, het is een maat voor hoe dicht elk datapunt ten opzichte van de regressielijn ligt. R2 = 0.90 betekent dat 90% van de variatie in de meetwaarde langs de y-as in een scatterplot wordt verklaard door de regressie-analyse van de meetwaarde langs de x-as. In een regressie analyse is het zaak om vooraf te kijken of de aannames voor lineaire regressie hier wel geldig zijn, daarvoor kun je bijvoorbeeld een 'residuen plot' maken.

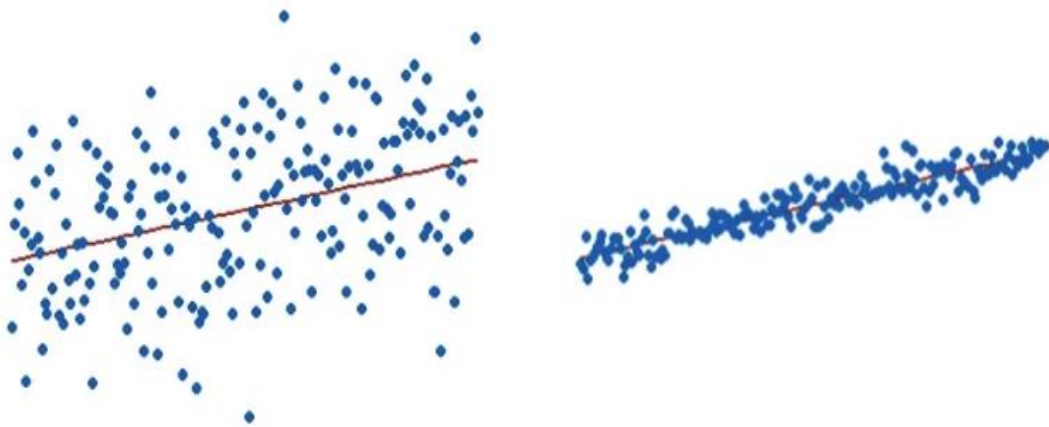
Kennisclips:

- Youtube explanatory clip: Regression and R-Squared (23 NOV. 2015, anonymous): <https://www.youtube.com/watch?v=Q-TtIPF0fCU>
- Youtube explanatory clip, using Excel: Excel Scatter Plot with r-squared value (7 Nov. 2010, anonymous): <https://www.youtube.com/watch?v=kiCeJHwpYDQ>
- Youtube explanatory clip, jbstatistics: Introduction to Simple Linear Regression (6 Dec. 2012, jbstatistics): <https://www.youtube.com/watch?v=KsVBBJRb9TE>
- In figuur 13 en 14 staan enkele concepten uit de statistiek kort uitgelegd.

Figuur 13: In deze figuur wordt de "goodness-of-fit" in een regressie model beoordeeld. De zwarte lijnen tonen de residuen, de afstanden tussen de geobserveerde waarnemingen (de blauwe punten) en de bijbehorende waarde op de (rode) regressielijn. Door lineaire regressie wordt de lijn gevonden die in totaliteit over de hele waarnemingsset het kleinste verschil maakt tussen de



geobserveerde waarnemingen, en de 'gefitted' waarden op de regressielijn. (bron: Statistics by Jim Frost, <https://statisticsbyjim.com/regression/interpret-r-squared-regression/>)



Figuur 14: In deze figuur worden twee scatterplots vergeleken, als voorbeeld: Scatterplot links: $R^2 = 0.15$. Scatterplot rechts: $R^2 = 0.85$. (bron: Statistics by Jim Frost, <https://statisticsbyjim.com/regression/interpret-r-squared-regression/>)

3.3. Resultaten Ohnics metingen

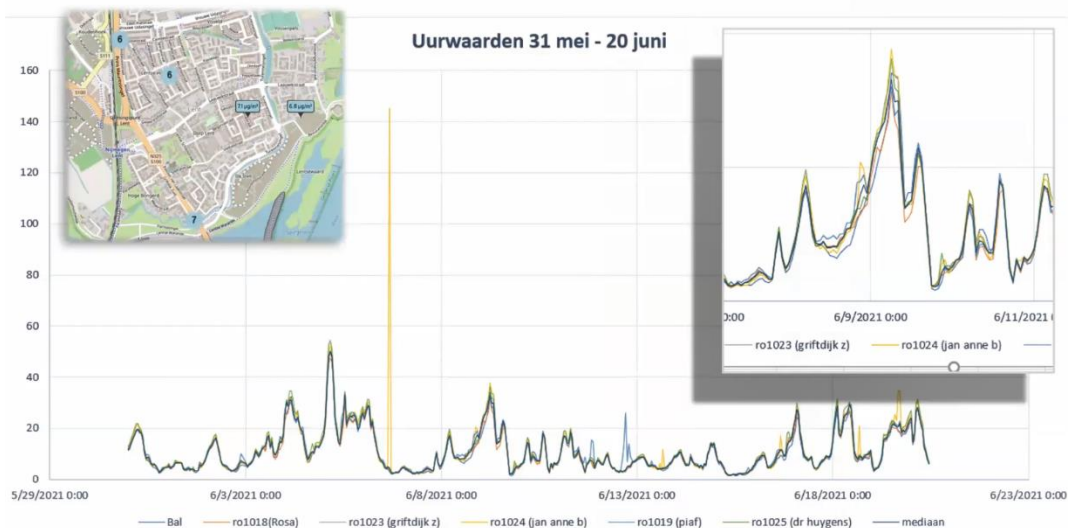
Verdere analyse van andere Ohnics sensoren in de wijk Lent. Roderick Peters: We hadden meer sensoren in de wijk hangen. Dat valt onder het meetnet fijnstof project in Lent, waarmee we langdurig PM_{2,5} gaan meten met minstens 10 sensoren. Je ziet op het kaartje www.ohnics.online/kaart/#Lent de metingen in real-time online (zie figuur 15).



<https://www.ohnics.online/kaart/#Lent>

<https://www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl/projecten/lentse-luchten>

Figuur 15. Het fijnstofmeetnet project “Lentse Luchten” van de werkgroep burgerwetenschappers in Lent. Bron: Roderick Peters.



Figuur 14. Uurgemiddelden van 6 Ohnics sensoren in de wijk Lent, van 31 mei t/m 20 juni. Rechts bij het inzoomen het stukje tijdreeks ten tijden van het veldexperiment op 9 juni 2021. Bron: Roderick Peters, werkgroep Luchtkwaliteit Lent.

SnuffelOhnics genoemd, is hier ook afgebeeld (de groene, springerige lijn). De SnuffelOhnics meet heel vaak, elke paar seconden, daar zijn minuutgemiddelden van gemaakt, daarom is dit een springerige lijn in figuur 15. Daarnaast zitten de sensoren met namen afgeleid van straatnamen als 'Bal', 'ja Beijer' en 'Piaf' ook in deze orde van hoogte.

Het laagste 'blok', de tijdreeksen die aan het eind van de ochtendspits het laagst liggen, zijn de Ohnics sensoren op de locaties Huyg en Rosa, dit zijn ook rustige plekken. Opvallend is dat sensor 'Grift' ook dicht bij de weg hangt, maar deze hangt redelijk dicht op de dijk die daar ligt. Kijkend naar het kaartje met de windrichting op 9 juni, met de weersinformatie van het KNMI station Volkel, met windrichting West en Zuidwest, zou het kunnen dat fijnstof over de dijk heen waait. Zie figuur 15. Om de bronnen en variaties te duiden zou je meer moeten meten en meer informatie moeten hebben. Interessant is wel of we op een gegeven moment, als we langer meten, de verschillen in waarden PM_{2,5} tussen Ohnics sensoren in de wijk kunnen gaan duiden.

4. Discussie na de twee presentaties op 23 juni

4.1. Onzekerheid in de metingen

Belangrijk is om rekening te houden met de meetonzekerheid tussen de verschillende sensoren. Is dit random variatie (ruis) en is deze weg te filteren als je gaat middelen, of zitten er systematische verschillen tussen de sensoren waar we rekening mee moeten houden? De SDS011 sensoren van de eerste presentatie vertonen systematische verschillen, sommige sensoren zitten structureel hoger.

Sytze, Henk en Michel stellen hier vragen over.

Sytze: Bij de SDS011 hebben we gezien dat er systematische verschillen tussen de sensoren optreden. Is dat bij de Sensirion sensoren in de Ohnics sensorkasten ook zo, zitten er systematische verschillen tussen de verschillende sensoren? Als dat zo is, dan zul je altijd verschillen vinden, maar die hebben dan niet te maken met lokaal verschil in PM_{2,5} niveau, maar met sensorverschillen.

Joost: In de SPS Sensirions spelen beide onzekerheden een rol: (a) random ruis in de meetonzekerheid, en (b) systematische verschillen. Er is een systematische onzekerheid die afhangt van de condities: De SPS Sensirion sensor wijkt bij lage waarden wat meer af dan bij hogere concentraties (systematische onzekerheid, b), en daarnaast heb je de nodige scatter tussen sensoren (random ruis, a), zeker als je naar hele korte middelingsperioden gaat. Op hele korte tijdschalen vind je tientallen procenten verschil zijn. Het hangt ook af of je een goeie sensor hebt, of een wat minder goeie.

Linda: Kent het RIVM relatief goede low-cost sensoren die, weliswaar met een grote bandbreedte, dienst zouden kunnen doen als een lokaal meetnet?

Joost: Nee, de sensoren die wij bij het RIVM kennen die voldoen nog niet aan de eisen die gesteld worden aan 'indicatieve metingen'.

Ik sluit niet uit dat de Sensirion dat ooit kan halen. Tot 5 microgram is de onzekerheid bij een Sensirion sensor vrij groot, dat kan een factor 2 zijn. Dus als een sensirion sensor zegt dat de PM_{2,5} concentratie 2 is, dan kan het in het echt 6 zijn. Dat stukje, bij lage waarden, moet je goed meenemen in je kalibratie. Dat stukje moet je heel goed kalibreren. In Nederland hebben wij vrij lage concentraties PM_{2,5} microgram, orde grootte 10-12 microgram. Dat heb je nodig om de sensoren over een heel jaar goed mee te laten lopen met officiële meetapparatuur, om uiteindelijk ze goed

mee te laten lopen in de middeling die je over een jaar gaat doen. Die heb je uiteindelijk nodig om ze een officiële status te geven. De sensor kan uiteindelijk wellicht een heel eind komen, maar je hebt wel iets van een kalibratiestap nodig.

Henk: Ik wil meegeven om voorzichtig te zijn met termen zoals overschrijdingen of normoverschrijding, omdat het hier over metingen gaat die niet als indicatieve metingen voor een absolute waarde van fijnstof gelden. Ook gezien de korte tijdsduur van de meting zou ik voorzichtig zijn.

Linda: Een grote onzekerheidsmarge is hier van toepassing, de metingen hebben geen officiële status.

4.2. Suggesties voor kalibratie van het lokaal luchtmeetnet Lent in opbouw

De luchtkwaliteitsexperts die deelnemen aan de discussie geven tenslotte suggesties en tips aan de werkgroep Lent, hoe ze hun lokale meetnet beter kunnen proberen te kalibreren.

Sytze:

Als ik de suggesties van Joost goed begrijp, dan zou het een goede oefening zijn om de sensoren geregeld onder verschillende omstandigheden bij elkaar in de buurt te hebben, zodat je ze bij mekaar onderling kan vergelijken. Suggestie om vaker de sensoren een keer bij elkaar op te hangen, en onder verschillende omstandigheden de meetwaarden te vergelijken.

Dus meer aan kalibratie te doen.

Joost: Het feit dat je nu geen gradiënt gemeten hebt, wil niet zeggen dat die er nooit zal zijn. Er komen vast nog wel beroerde dagen met hele slechte dispersie omstandigheden dat je wel verschillen gaat zien.

Het kan nut hebben om te kalibreren om 3:00 uur 's nachts of 4:00 uur 's nachts, waar je weet dat er weinig bronnen zijn, als alle open haarden uit zijn. Als er dan veel verschillen zijn, dan kan het zijn dat er systematische verschillen zijn tussen sensoren. Die systematische verschillen tussen sensoren kan je proberen weg te kalibreren. De resterende verschillen die je dan ziet op andere tijdstippen, zijn dan misschien echt representatief voor verschillen tussen de lokaties. Het is zeker de moeite waard om dat te proberen.

Advies: Dus neem een tijdvak midden in de nacht dat de lokale bronnen minimaal zijn in de wijk. Dus dat je mag aannemen dat de concentraties van de sensoren in de wijk allemaal hetzelfde zouden moeten zijn, dat de sensoren dat voor dat uur op dezelfde waarde gezet worden. Ik zou daarvoor zeker met uurgemiddelden werken, en niet met tijdsperioden korter dan een uur.

Henk: Ik kan me voorstellen dat je de tijdreeksen dan op elkaar kunt leggen met uurgemiddelden (op een tijdstip in de nacht), en dat je dan voor andere tijdstippen kunt kijken of je effecten kunt onderscheiden (overdag, als er wel verschillende lokale bronnen spelen).

Afronding van de discussie.

En dank aan alle deelnemers die hebben gemeten, en de luchtkwaliteitsexperts Joost en Henk voor hun input en advies.

Na afloop van de meeting vertelt Ton Ammerlaan over opties om een stukje voor de lokale media (website en wijkkrant Lentse Lucht) kunnen schrijven.

II. Verslag van de eerste veldmeting, avondspits op 25 mei 2021

5. Links naar online presentaties 1^e veldmeting

In een online zoom sessie zijn de eerste resultaten van het veldexperiment in Lent gepresenteerd aan de participanten die op 25 mei 2021 hebben deelgenomen aan het meten met een mobiele sensor, in een wijk van Lent. De resultaten worden teruggekoppeld aan burgerwetenschappers, collega wetenschappers en studenten die hebben meegeholpen met het experiment door in het veld te meten. In een online zoom sessie zijn de eerste resultaten gecommuniceerd.

De presentaties en zoom sessie recording zijn met behulp van de onderstaande links terug te zien.

1. De zoom sessie is hier voor deelnemers te downloaden, om terug te zien:

Digitale link naar de zoom recording: <https://tinyurl.com/SE2-Veldexp-Lent-zoom-2juni>

NB. Alleen mensen met de specifieke link kunnen de presentatie zien, deze is niet op een openbaar kanaal zoals Youtube gezet.

2. Presentatie sensor data analyse door Sytze de Bruin:

Digitale link naar de presentatie: <https://tinyurl.com/SE2-Veldexp-Lent-25mei-Analyse>

In deze presentatie, in de zoom recording te volgen, worden de resultaten gepresenteerd, met zowel ruwe waarden gevisualiseerd met een animatie in Google Earth, en met uitleg bij diverse grafieken, zoals een tijdreeks, een ruimte-tijd variogram en informatie over relatieve kalibratie van de sensoren.

3. Presentatie korte vragenlijst aan deelnemers door Willem Posthumus:

Digitale link naar de presentatie: <https://tinyurl.com/SE2-Veldexp-Lent-participatie>

6. Eerste presentatie over de analyse van de velmeting met behulp van geostatistische analyse, door Sytze de Bruin

De gehele presentatie en het verhaal met toelichting is te vinden in de zoom recording en de eerste presentatie, zie de paragraaf met online links. In deze paragraaf zijn enkele slides van de presentatie opgenomen.

Enkele beelden uit de presentatie van resultaten eerste veldmeting

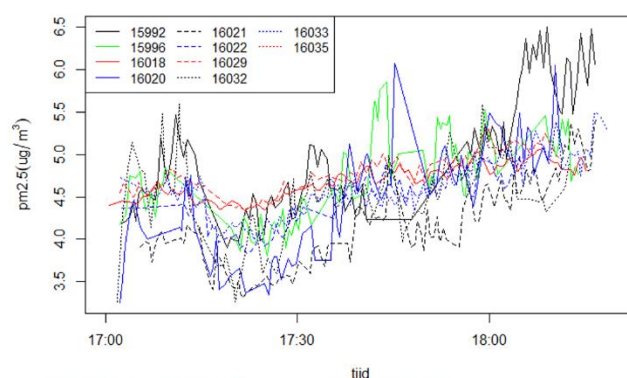
Figuur 1. Animatie in Google Earth met de ruwe meetwaarden van de mobiele sensoren. (bron: Sytze de Bruin)



Vergelijking van de sensor metingen met luchtkwaliteitsgegevens van het RIO model

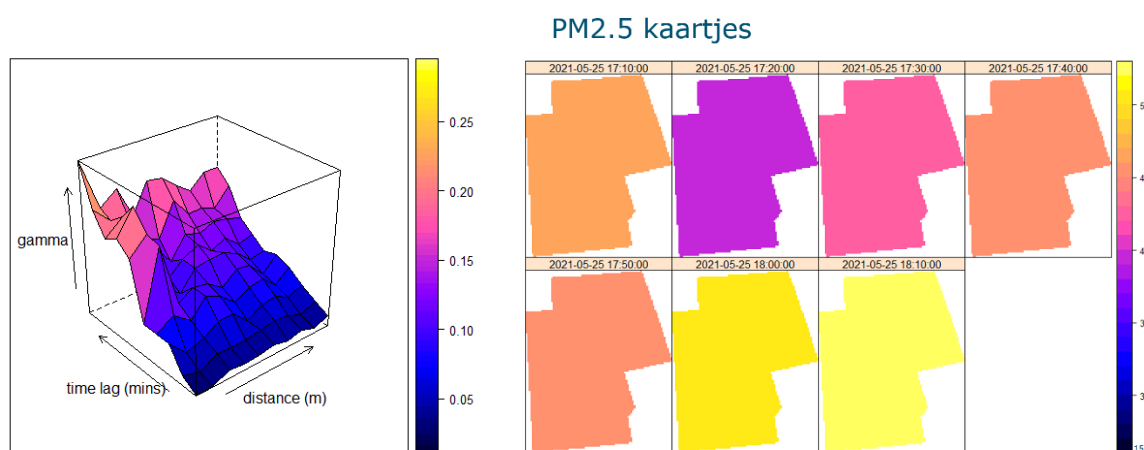
Aangepaste metingen van de tien koppels

Figuur 2. Tijdreeks met de 10 mobiele sensoren, na aanpassing m.b.v. relatieve kalibratie en vaste correctiefactor vanuit uurgemiddelden RIO model voor PM2,5 voor dit ruimte-tijd vak. (bron: Sytze de Bruin)



- Gemiddelde gelijkgesteld aan uurgemiddelde RIO
- Ogenscheinlijk veel "ruis", maar waarden zijn laag.
- De sensoren 16018 en 16029 (eerst hoogst) vlakken af; deze worden vervangen

Data analyse en interpolatie in de tijd. Er is geen ruimtelijke interpolatie gemaakt, omdat de metingen volgens de variogram analyse niet ruimtelijk gecorreleerd zijn.



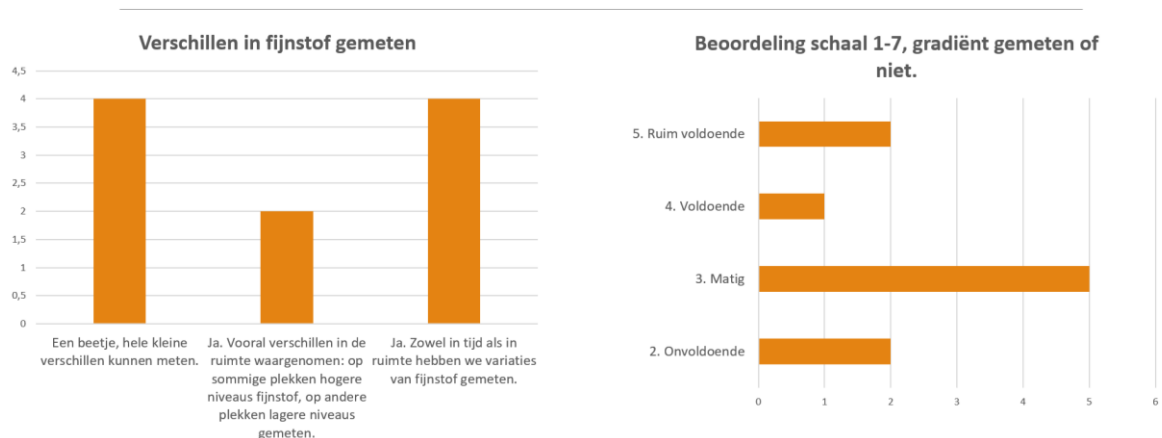
Figuur 3a en 3b. Variogram in ruimte-tijd (3a, links). Variantie van puntenparen op verschillende afstanden in de ruimte-tijd. Geen ruimtelijke correlatie, wel temporele correlatie. Resultaat temporele interpolatie voor het studiegebied (3b, rechts). (bron: Sytze de Bruin)

Zie voor de discussie over deze data analyse de zoom recording terug. In de beantwoording van vragen en discussie die volgt, worden verschillende aspecten, onzekerheden en technische nauwkeurigheid van sensor metingen besproken. Waaronder: technische werking van de sensor SDS011 en invloed van vocht op de telling van deeltjes, de werking van de eerste rij woningen langs de weg, verschil in metingen op open plekken en beschutte straat achter de eerste rij woningen, mogelijke bronnen, invloed van het weer (bui, daarna oplopende luchtvochtigheid), en de planologische compositie van infrastructuur en woningen in Lent. (Zoom recording: <https://tinyurl.com/SE2-Veldexp-Lent-zoom-2juni>)

7. Tweede presentatie over vragenlijst deelnemers, door Willem Posthumus

Willem Posthumus gaat in op de perceptie van de deelnemers aan het veldexperiment, waarvoor een korte vragenlijst is ingevuld door de deelnemers. Aan deelnemers wordt onder andere gevraagd in hoeverre een ruimtelijke gradiënt waarneembaar lijkt. 7 op de 10 mensen beoordeelt de waarneming van een ruimtelijke gradiënt als matig tot onvoldoende. Dit komt redelijk overeen met de latere data analyse van de sensordata met de gecorrigeerde waarden en variogram vergelijking.

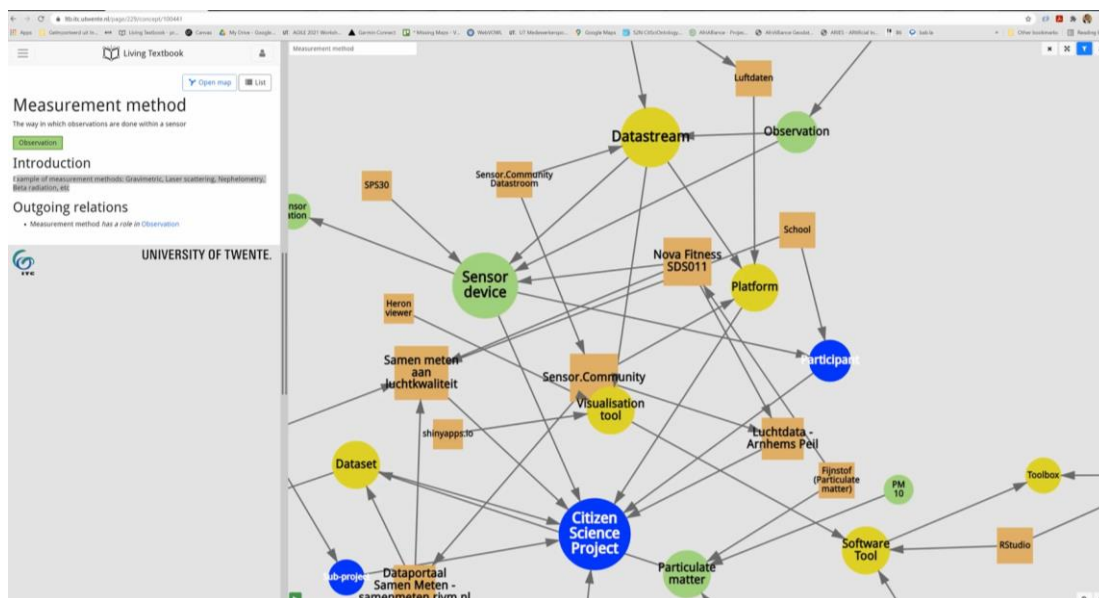
Verschillen en gradiënt



Figuur 3. Resultaten uit de korte vragenlijst ingevuld door deelnemers veldmeting Lent. (bron: Willem Posthumus)

8. Derde presentatie over Communicatie over burgerwetenschap, door Rob Lemmens

In een derde korte presentatie is een Concept Map uitgelegd die gemaakt wordt van burgerwetenschap en luchtkwaliteit meten met sensoren, door Rob Lemmens. Dit is een ander deelproject van Smart Emission 2. Rob Lemmens vraagt aan burgerwetenschappers of zij input en feedback willen geven over deze online conceptenkaart.



Figuur 4. Gedeelte van de online Concept Map, over citizen science, datastromen en luchtkwaliteit sensing. (bron: Rob Lemmens)

9. Voorlopige resultaten en conclusies na eerste veldmeting

9.1. In het kort, voorlopige antwoorden op de gestelde onderzoeksvragen:

1. In welke mate zijn we in staat met de PM2.5 sensor fijnstof gradiënten in PM2.5 concentratie vast te stellen vanaf een vervuiliingsbron zoals een drukke weg rond spitsuur?

Korte antwoord: Er is een gradiënt vastgesteld in de tijd. Er is in de sensordata, na relatieve kalibratie (van de sensoren onderling) geen ruimtelijke gradiënt vastgesteld.

2. In welke mate biedt de in de app gekozen visualisatie burgerwetenschappers houvast om nieuwe meetlocaties te kiezen?

Korte antwoord: De app biedt meetwaarden en geeft daarmee real-time inzicht in de metingen en verschillen in ruimte en tijd, maar dit geeft niet veel houvast om nieuwe meetlocaties te kiezen. Suggestie om bij de tweede meting (herhaling van het veldexperiment) een vooraf vastgestelde route te kiezen met het oog op de doelstelling om een ruimtelijke gradiënt in beeld te krijgen.

3. Wat is de precisie van fijnstofmetingen met de gebruikte PM2.5 sensor?

Korte antwoord: Na onderlinge kalibratie van de sensoren was de meetprecisie (standaarddeviatie) ongeveer $0.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tijdens de omstandigheden op 25 mei (bij lage concentraties). Rekening houdend met onzekerheid in de correctiefactor kwamen we met het gebruikte model op een precisie van $\sim 1.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor $\text{pm}_{2.5}$ in de range $4.0 - 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

4. In welke mate kunnen de fijnstofwaarnemingen gebruikt worden om de resolutie van grofschalig geïnterpoleerde fijnstofmetingen met het RIO model van RIVM te verbeteren?

Korte antwoord: Het RIO model geeft uurgemiddelden voor $\text{PM}_{2.5}$. Met deze methode kan binnen het uur een temporele gradiënt worden toegevoegd. Dat levert extra, fijnmazige, kennis van het verloop van de fijnstofconcentratie $\text{PM}_{2.5}$ in de tijd op. Met de toegepaste methode met relatieve kalibratie van de gebruikte sensor (SDS011) waarbij deze sensoren onderling op elkaar worden afgestemd, is vervolgens in het veld een patroon in de data zichtbaar, met een temporele gradiënt.

Tot standgekomen met veel dank aan alle deelnemers, voor de samenwerking tussen de werkgroep luchtkwaliteit van Lent en de onderzoekers en studenten/collega's van de betrokken universiteiten en opleidingen!

9.2. Vervolgstep tweede veldmeting op basis ervaringen 1^e veldmeting

Dinsdag 25 mei was nat en winderig en de $\text{PM}_{2.5}$ concentraties daarom laag. We herhalen het veldmeten een tweede keer, op een warmere, droge dag met weinig wind. Dan vinden we wellicht wél ruimtelijke patronen.

Concreet plan: Op 9 juni aanstaande voeren we tweede veldmeting uit, tijdens de ochtendspits, om te onderzoeken of dan wel een ruimtelijke gradiënt kan worden gevonden. Met dezelfde apparatuur, en op een aantal punten de sensor, onderlinge kalibratie, en meetstrategie iets verbeterd.

Met deze presentatie en zoom sessie zijn de voorlopige resultaten teruggekoppeld aan burgerwetenschappers, collega wetenschappers en studenten. Op de website Lentse Lucht heeft een webredacteur een bericht gepost over dit veldexperiment:

- <https://lentselucht.nl/berichten/voortgang-in-metingen-van-luchtkwaliteit-in-lent>

10. Tenslotte, over burgerwetenschap en project opbouw meetnet met Ohnics sensoren in Lent

In Lent is een werkgroep actief met het opzetten van een eigen burger-sensor-meetnet om luchtkwaliteit langdurig (in real-time) te monitoren. Dit meetnet in Lent is online op de Ohnics website:

- <https://www.ohnics.online/kaart/#ro-1019>

Door langer te meten, en de informatie te koppelen aan andere informatie over windsterkte, windrichting, andere meteogegevens en luchtkwaliteitsgegevens en lokale informatie over verkeersdruk, en activiteiten met emissies zoals de scheepvaart op de Waal, beoogt de Lentse werkgroep met burgerwetenschappers meer te leren over de lokale luchtkwaliteit en milieukwaliteit in Lent. In de nabespreking na de zoom-sessie werd ook de link met lange termijn planologie gelegd: Een onderzoeksvraag die werd genoemd was of het onderscheid tussen huurwoningen en koopwoningen een verband heeft met milieukwaliteit. En een vraag ging over het plannen en schaalvergroten van het infrastructuursysteem, mede aangezien er nog veel woningen bijgebouwd zullen worden in Lent. Dit biedt mogelijkheid voor onderzoeksvragen en mogelijk studentenprojecten bij de opleiding Geografie, Planologie en Milieu aan de Radboud Universiteit. Bij de zoom sessie waren in ieder geval twee studenten betrokken die zich verdiepen in burgerwetenschap. Het ziet er naar uit dat burgerwetenschap verder groeit. Met lokale werkgroepen en lokale burgermeetnetten die data inwinnen over lokale milieukwaliteit, en gezamenlijk onderzoek doen, door meer te pionieren, te monitoren, technieken te verbeteren, data te interpreteren, expertise erbij te zoeken, en te evalueren.

Het gedane veldexperiment van project Smart Emission 2 levert ook nieuwe vragen op over het gedrag van fijnstof in een fijnmazig gebied: Wat is de betekenis van het tijdsverloop van de fijnstofconcentratie, en wat zijn daarbij bronnen en barrières voor de verspreiding van de vervuiling? En klopt de hypothese van bewonersdeelnemers dat de woningen aan de Prins Mauritssingel mogelijk een soort beschutting vormen, een soort muur tegen fijnstof? (Dit naar aanleiding van de impressie tijdens de veldmeting dat achter grote gebouwen andere meetwaarden werden gemeten dan bij grotere open plekken). Dergelijke concrete vragen kunnen het werken aan een burgermeetnet spannend maken; want wetenschap maakt nieuwsgierig, en gezamenlijke nieuwsgierigheid verbindt. Tijdens het veldexperiment werd besproken dat het meten aan iets lokaals als luchtkwaliteit kan helpen om bij jongeren aandacht voor een schoon milieu en bewustwording over gedrag aan te wakkeren. Ook voor opleidingen kan het goed zijn om meer onderzoek in het veld te doen, om theorie en praktijk dichterbij elkaar te brengen.

Vriendelijke groeten namens de organisatie van het experiment,

Sytze de Bruin, Willem Posthumus, Roderick Peters, Janus Hoeks, Linda Carton.

Bijlage 1: Agenda van de eerste online zoom sessie op 2 juni

Verslag Veldexperiment Lent, zoom sessie 2 juni 2021, 17:30 – 18:30 uur

- Datum en Tijd: woe. 2 juni, 17:30 – 18:30 uur
- Locatie, online sessie via zoom.
- Onderwerp: Veldexperiment Fijnstof Meten in Lent, resultaten van meting op 25 mei



Agenda van de online zoom sessie op woensdag 2 juni 2021:

17:30 Welkom

17:30 Sytze presenteert de voorlopige resultaten van de veldmeting (20 min)

17:50 Discussie over de presentatie en de resultaten, ronde tafel sessie (10 min)

18:00 Willem presenteert de resultaten van de vragenlijst (5 min)

18:05 Discussie over resultaten tot nu toe (10 min)

18:15 Rob Lemmens presenteert de Concept Map over dit veldexperiment (5 min)

18:20 Discussie over de Concept Map en communicatie in citizen science, met verzoek voor een vervolgsessie met deze Concept Map (5 min)

18:25 Vervolg, te plannen vervolg experiment met mogelijke data, overige afspraken.

18:30 Einde sessie.

Na afsluiting om half 7 kan het gesprek nog een informeel vervolg hebben, voor wie wil napraten.

Projectteam van dit veldexperiment, onderdeel van project Smart Emission 2:

1. Sytze de Bruin, hoofdonderzoeker veldexperiment, geostatistiek, Wageningen Universiteit.
2. Linda Carton, onderzoeker burgerwetenschap en verduurzaming, Radboud Universiteit.
3. Willem Posthumus, research assistent project Smart Emission 2, Radboud Universiteit.
4. Roderick Peters, leider werkgroep Luchtkwaliteit Lent, burgerwetenschapper.
5. Janus Hoeks, ontwikkelaar mobiele sensor en data verbinding, Intemo.

Vragen of contact:

Linda Carton, mail: linda.carton@ru.nl en mobiel: 06-24548646.

Bijlage 2: Agenda van de tweede online zoom sessie op 23 juni

Verslag van zoom sessie:

- Zoom sessie 23 juni 2021, terug rapportage aan burgerwetenschappers werkgroep
- Datum en Tijd: woe. 23 juni, 16:30 – 17:30/18:00 uur
- Onderwerp: Veldexperiment Fijnstof Meten in Lent



Agenda:

16:30 Welkom

16:30 **Sytze de Bruin** presenteert de voorlopige resultaten van de veldmeting (20 min)

16:50 Discussie over de presentatie en de resultaten, vraag & antwoord (20 min)

17:10 **Roderick Peters** presenteert aanvullende resultaten van het Ohnics meetnet van o.a. 9 juni, eerste analyses, zo mogelijk in combinatie met eerste analyse van weergegevens en Ohnics meetnet PM2,5 in Lent (10 min)

17:20 Discussie over resultaten tot nu toe met Ohnics meetnet in Lent op o.a. 9 juni (10 min)

17:30: Einde presentaties. Voor wie vooral de presentaties wilde zien, is de meeting afgelopen.

Mensen die actief willen bijdragen aan een vervolgstap met de werkgroep Luchtkwaliteit Lent, worden van harte uitgenodigd om deel te nemen aan vervolg-actie om een populair (populariserende wetenschap, in heldere taal voor de burger) artikel te schrijven voor in de Lentse Lucht.

17:30 Vervolg: Half uur overleg over Lentse Lucht artikel

17:35 **Ton Ammerlaan** zet het doel met het Lense Lucht artikel uiteen.

17:40 Interactief overleg over het schrijven van het Lentse Lucht artikel

17:50 Afspraken over het oppakken van vervolgstap met burger-schrijfgroep voor Lentse Lucht.

18:00 Afsluiting

*Vriendelijke groeten namens de organisatie van het experiment,
Sytze de Bruin, Willem Posthumus, Roderick Peters, Janus Hoeks, Linda Carton.*

Projectteam van dit veldexperiment, onderdeel van project Smart Emission 2:

6. Sytze de Bruin, hoofdonderzoeker veldexperiment, geostatistiek, Wageningen Universiteit.
7. Linda Carton, onderzoeker burgerwetenschap en verduurzaming, Radboud Universiteit.
8. Willem Posthumus, research assistent project Smart Emission 2, Radboud Universiteit.
9. Roderick Peters, leider werkgroep Luchtkwaliteit Lent, burgerwetenschapper.
10. Janus Hoeks, ontwikkelaar mobiele sensor en data verbinding, Intemo.

Vragen of contact: Linda Carton, mail: linda.carton@ru.nl en mobiel: 06-24548646.

Bijlage 3: Verschil tussen primair en secundair fijnstof PM2,5.

Verschil tussen primair en secundair fijnstof, en relatief lage uitstoot door een benzine auto.

Sytze en Roderick laten nog een proefje zien waaruit je kunt leren over PM2,5, ook voor de wetenschappers die zelf geen luchtkwaliteitsexperts zijn. Fijnstof concentraties PM2,5 bestaan uit primaire en secundaire deeltjes, waarbij er slechts weinig primaire PM2,5 deeltjes worden uitgestoten door een moderne benzinemotor auto.

De meeste PM2,5 fijnstof is secundaire fijnstof, dit ontstaat op indirecte wijze nadat de emissies die de verbrandingsmotor (wel) uitstoot, in de lucht gaan klonteren, en secundaire PM2,5 stof vormen. Daarom kijken luchtkwaliteitsexperts voor luchtvervuiling door verkeer vooral naar de indicator NO2, stikstofdioxide. NO2 is een gas dat echter nog niet goed meetbaar is met low-cost sensoren.

Hieronder een klein proefje van Roderick Peters waarbij een Ohnics sensor achter een benzine-auto ligt, en daar de uitstoot van een draaiende motor meet. De fijnstofwaarde gaat nauwelijks omhoog. (zie figuur 10, grafiekje met groene pijlen bij start en einde van de draaiende automotor)



Figuur 10. Meting achter uitlaat van een benzineauto.