

Metingen met sensoren in het Innovatief Lucht Meetnet in Eindhoven – resultaten en interpretatie

Daniëlle van Dinther
Ernie Weijers
René Otjes
Tetyana Klymko

maart 2017
ECN-E--17-015



Verantwoording

Dit werk is (grotendeels) uitgevoerd binnen het raamwerk van het IenM programma 'Slimme en Gezonde Stad (SGS)' (pr. no. 5.4166). De gepresenteerde resultaten zijn (o.a.) ter demonstratie gebruikt voor toelichting tijdens SGS-netwerkenbijeenkomsten, en in presentaties voor IenM, gemeentes, ingenieursbureau's en kennisinstellingen in binnen- en buitenland.

"Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeurs en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders."

Inhoudsopgave

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
2	Variatie in de tijd	8
3	Variatie met de plaats	12
4	Jaarlijkse gang fijnstof	15
5	Analyse NO₂-data	19
5.1	Inleiding	19
5.2	Meetnetwerk overzicht	20
5.3	Boxplot	21
5.4	Meetlocaties hoge en lage NO ₂ -concentraties	21
5.5	Windrozen	23
5.6	Dagelijkse gang	26
6	Temperatuursverloop en verdeling over de stad	28
7	Ultrafijne deeltjes in Eindhoven	32
8	Samenvattende conclusies	36
	Bijlagen	
A.	Vergelijking fijnstof LML-stations en AirBoxen	38

Samenvatting

In Eindhoven wordt op een groot aantal locaties de luchtkwaliteit gemeten met sensorsystemen die door ECN ontwikkeld zijn. Tezamen vormen deze systemen het Innovatie Lucht Meetnet (ILM). Het meetnet is gestart in 2014 en de afgelopen jaren zijn aantallen stations en te bemeten componenten verder uitgebreid. De belangrijkste componenten die nu gemeten worden zijn: fijnstof (PM_{10} , $PM_{2,5}$ en PM_1), stikstofdioxide (NO_2), en ozon (O_3). Daarnaast worden enkele meteorologische parameters gemeten: temperatuur (T) en relatieve vochtigheid (RH).

De meetgegevens die het meetnet oplevert, zijn bedoeld om een beeld te geven van de kwaliteit van de lucht en het stadsklimaat op verschillende plaatsen in de stad. Dit rapport laat diverse resultaten zien met een bijbehorende interpretatie en illustreert de mogelijkheden van een sensormetnet als het ILM. Hieronder volgen puntsgewijs de belangrijkste bevindingen:

- De tijdreeksen van fijnstof laten zien dat de locatie in een stad, hoogte en variatie in de tijd bepaalt. Dit geldt het sterkst voor de ultrafijne stofdeeltjes die vrijwel uitsluitend afkomstig zijn van verkeer. Verkeersemissies nabij een meetpunt leiden tot een geringe verhoging van PM_{10} en $PM_{2,5}$, fracties die gedomineerd door de actuele meteorologie. Om de invloed van verkeer op plaatsen in een stad te identificeren, zijn vooral de aantallen ultrafijne deeltjes en NO_2 de meest geschikte kandidaten.
- Na bestudering van de gemiddelde fijnstofconcentraties op verschillende meetpunten (over de periode van een jaar) kan de mate van 'ventilatie' en de aanwezigheid van bronnen, hogere of lagere concentratieniveaus verklaren. Ventilatie is vooral afhankelijk van de aan- of afwezigheid van bebouwing. Deze bevinding geldt overigens vooral voor de maximale en minimale waarden in de reeks van concentraties (na rangschikking van hoog naar laag).
- Verder is gevonden dat de hoogte van de atmosferische grenslaag ook in stedelijk gebied bepalend is voor de mate van luchtverontreiniging (PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2). Hogere niveaus treden op in de wintermaanden en dit wordt veroorzaakt door het voorkomen van een (gemiddeld genomen) lagere grenslaaghoogte. In de zomer is er meer zonnestraling, waardoor er meer energie beschikbaar is voor de grenslaag om te groeien. Dit leidt tot lagere niveaus.

De geïnstalleerde NO₂-sensoren werken naar behoren om gemiddelde concentraties, windrozen en dagelijkse gang te bestuderen. De data laten een logisch patroon zien met hogere NO₂-concentraties langs drukke verkeerswegen. De concentratie-windrozen voor verschillende meetstations in Eindhoven vertonen een regionale (en nog niet verklaarde) bijdrage van NO₂ uit het zuidzuidwesten.

De laagste aantallen ultrafijne deeltjes in het ILM zijn in het centrum van de stad: in een rustige, doodlopende straat. De hoogste aantallen worden gemeten aan de ring rond Eindhoven, dus een sterk verkeersbelaste locatie. Op basis van de windrichtingsafhankelijke resultaten kan geconcludeerd worden dat in het meetnet geen directe invloed zichtbaar is van de luchthaven (Eindhoven Airport). De onderzochte AirBoxen liggen relatief ver weg van de luchthaven.

De gemeente Eindhoven heeft aangegeven dat de resultaten van het ILM vooral bruikbaar zijn voor communicatie naar de Eindhovense burgers en de lokale politiek en (op langere termijn) monitoring. Men wil het meetnet graag uitbreiden met een goede monitoring van de luchthaven, zodat vastgesteld kan worden wat de invloed is van vliegtuigemissies op de stedelijke luchtkwaliteit. Verder zou ze graag zien dat het real-time karakter van de metingen in de praktijk een meerwaarde kan krijgen in de vorm van verkeersmanagement.

1

Inleiding

Op dit moment vinden allerlei (snelle) ontwikkelingen plaats op het gebied van sensoren bedoeld om de luchtkwaliteit te meten. Steden, maar ook burgers én kennisinstellingen, kunnen profiteren van deze nieuwe technologie en bijpassende meetstrategieën. Van belang is wel in hoeverre de nieuwe technologie antwoord zal geven op vragen die gemeenten hebben en of leven bij burgers. Zolang dat niet helder is, zullen gemeenten niet snel overgaan tot aanleg van zo'n meetnet alleen al vanwege de bijbehorende investering.

In meer algemene termen kan daar wel iets over gezegd worden. Met kleine sensoren (maar ook metingen door burgers) zal het voor steden makkelijker zijn om een verfijnder beeld van de lokale luchtkwaliteit te krijgen. Ook de aanwezigheid van vervuilde bronnen in stedelijke agglomeraties (doorgaans verkeer) is beter vast te stellen met een dergelijk meetnet (meten op meer en verschillende locaties). Tevens wordt het mogelijk om effecten van maatregelen op specifieke locaties (bijvoorbeeld 'hot-spots') en op specifieke momenten (voor en na invoering van de maatregel) in te schatten. Uiteindelijk komt het er op neer dat de nieuwe technologie en de meer gedetailleerde data zouden moeten leiden tot een betere onderbouwing van voorgenomen beleid. Het doel van deze studie is om deze potentie voor het beleid concreter te maken. Dit gebeurt aan de hand van een toelichting op enkele meetresultaten van het Innovatie Lucht Meetnet (ILM) in Eindhoven. Hier wordt op een groot aantal locaties de luchtkwaliteit gemeten met sensorsystemen ontwikkeld door ECN ('AirBox'). Het meetnet is gestart in 2014 en in de loop der tijd zijn het aantal stations en componenten uitgebreid. Op dit moment wordt gemeten aan fijnstof, ultrafijnstof, stikstofdioxide, ozon, temperatuur en relatieve vochtigheid.

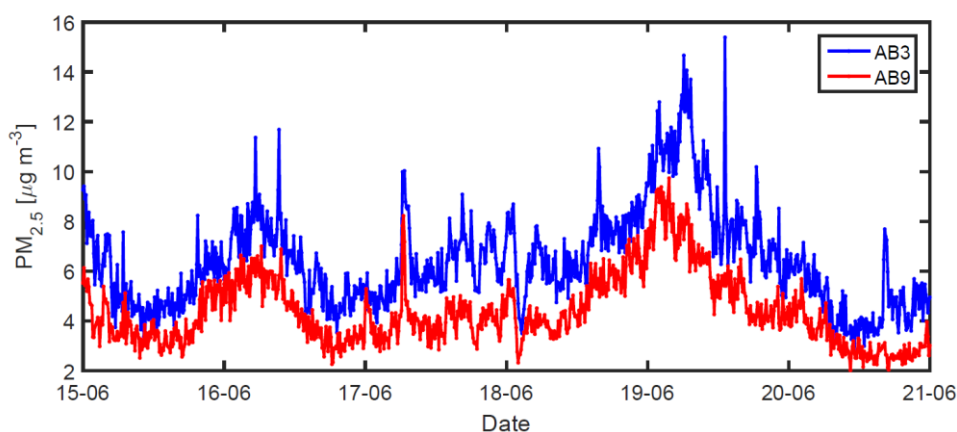
Deze rapportage beschrijft resultaten en illustreert de mogelijkheden van een sensormetnet voor een gemeente. De focus ligt dus niet bij de techniek of sensoren zelf. De relatie tussen prijs en kwaliteit van sensoren verdient overigens wel een nuancering. In de praktijk worden namelijk verschillende soorten sensoren ingezet. Sommige steden zullen referentiemetingen hebben maar ook goedkopere, maar in absolute zin nog steeds dure, metingen die de kwaliteit van referentiemetingen volgens de EU benaderen. Daar bovenop kan een stad of burgers van de stad een breed net van echte low-cost sensoren bezitten. Er zijn zo meerdere lagen van sensoren die met

verschillende nauwkeurigheden en prijzen hun eigen rol spelen in het gedetailleerd in kaart brengen van de stedelijke luchtkwaliteit. De aanduiding 'low-cost' is dus nogal relatief.

2

Variatie in de tijd

Een voorbeeld van tijdreeksen geregistreerd met de AirBox sensorsystemen is hieronder afgebeeld voor $PM_{2,5}$ (**Figuur 1**) voor de ILM-stations Keizersgracht en Maaseikstraat. De afstand tussen de stations is circa 5 km (**Figuur 2**).



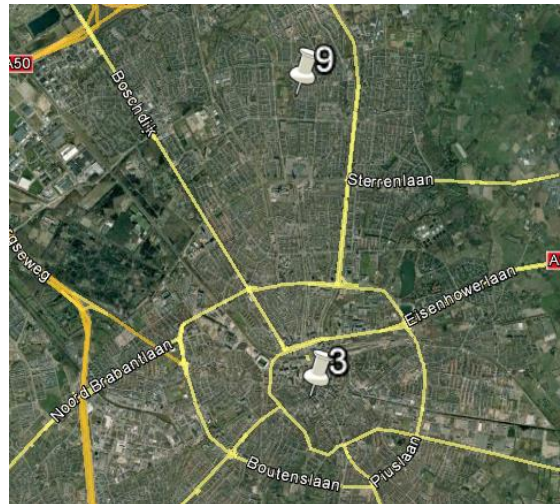
Figuur 1: Tijdreeksen van de $PM_{2,5}$ concentratie gemeten met AirBox 3 (Keizersgracht) en AirBox 9 (Maaseikstraat) in juni 2015.

Het blijkt dat de Keizersgracht een station is met een hogere fijnstofbelasting dan het station in de Maaseikstraat. Het niveau op station Keizersgracht (gelegen in het centrum) is gemiddeld circa $2 \mu g m^{-3}$ hoger dan in de Maaseikstraat (een buitenwijk in het noorden van Eindhoven). Omdat sensoren voorafgaande aan gebruik genormaliseerd worden (moeten dezelfde waarde geven als ze naast elkaar staan) kan dit verschil (in 'stadsachtergrond') alleen komen door bronnen in de omgeving van de Keizersgracht (doorgaans is dit verkeer). Het stadsachtergrondniveau neemt geleidelijk af, gerekend vanuit het centrum naar de buitenwijk in het geval van $PM_{2,5}$.

Uit de vergelijking met andere ILM-stations (Hoofdstuk 3) blijkt dat in de Maaseikstraat gemiddeld de laagste concentratie wordt gemeten. Opvallend in de $PM_{2,5}$ -registratie is de overeenkomst tussen de meetreeksen. Beide reeksen laten een langzamevariatie zien: periodes met lage waardes (bijvoorbeeld gedurende 17-06 en deels 18-06) worden

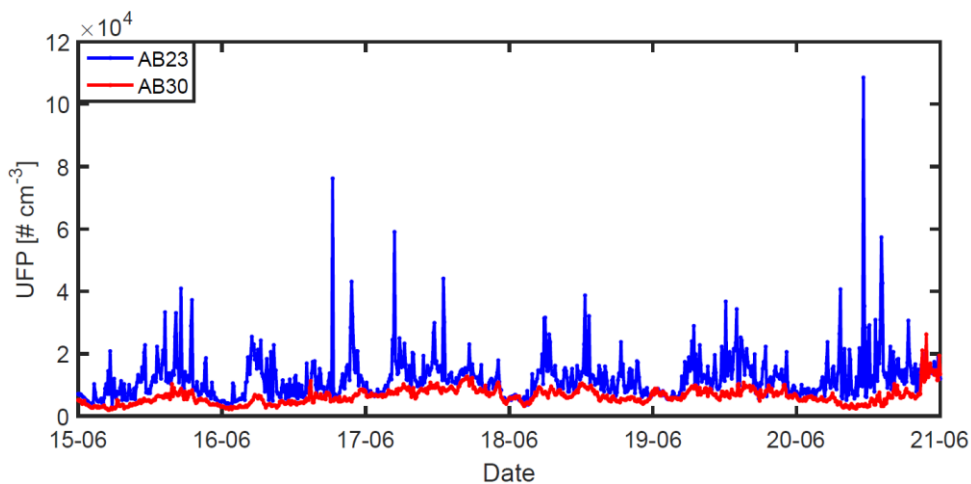
afgewisseld door periodes met hoge niveaus (zoals in de ochtend van 19-06). Dit klopt met het 'gegeven' dat fijnstof (uitgedrukt als $PM_{2,5}$) als een 'deken' over ons land ligt waarvan de hoogte vooral bepaald wordt door veranderingen in de 'regionale achtergrondbijdrage'.

Ook de (snelle) variaties in de meetreeks op de Keizersgracht zijn groter (standaard deviatie Keizersgracht is $2,4 \mu g m^{-3}$; voor Maaseikstraat is dit $1,6 \mu g m^{-3}$); verder zijn snelle veranderingen in de ene reeks niet altijd terug te vinden in de andere. Dit duidt op een verschil in de aanwezigheid van bronnen in de directe omgeving van het station. Ook Daarnaast kunnen lokale meteorologie en bebouwing invloed hebben: hogere windsnelheden leiden tot verdunning (en minder luchtverontreiniging).

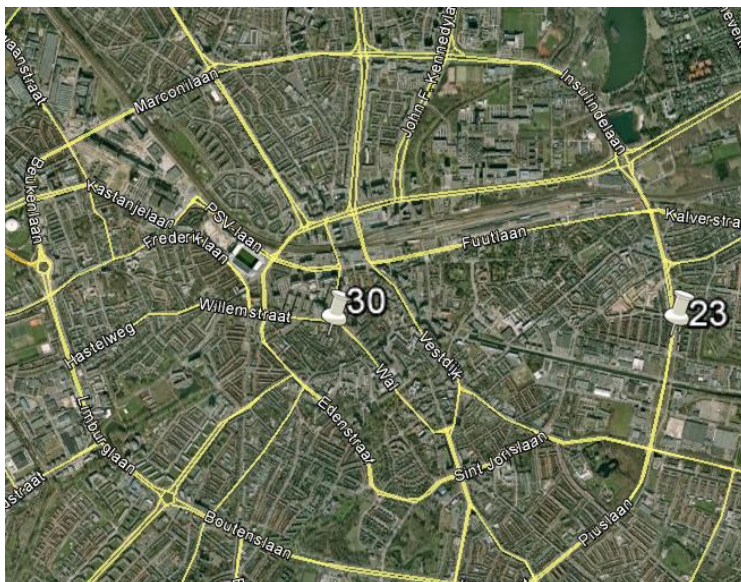


Figuur 2: Meetlocaties AirBox 3 (Keizersgracht) en 9 (Maaseikstraat).

Meer variatie is zichtbaar in de tijdreeksen (voor dezelfde periode) voor ultrafijne deeltjes (**Figuur 3**) op de meetlocaties Jeroen Boschlaan (AB23) en Spijndhof (AB30). Spijndhof ligt niet ver van de Keizersgracht, maar wordt minder beïnvloed door verkeersemisies omdat het een doodlopende straat is (**Figuur 4**). AirBox 23 (Jeroen Boschlaan) ligt daarentegen aan de Ring van Eindhoven, één van de drukste wegen in de stad.



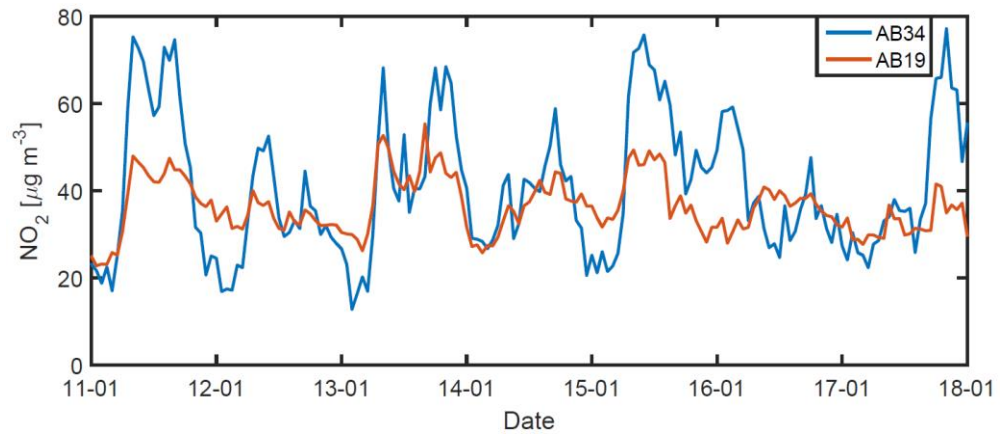
Figuur 3: Tijdseries van UFP (aantal per cm^{-3}) voor AirBox 23 (Jeroen Boschlaan) en 30 (Spijndhof) in juni 2015.



Figuur 4: Meetlocaties AirBox 23 (Jeroen Boschlaan) en AirBox 30 (Spijndhof).

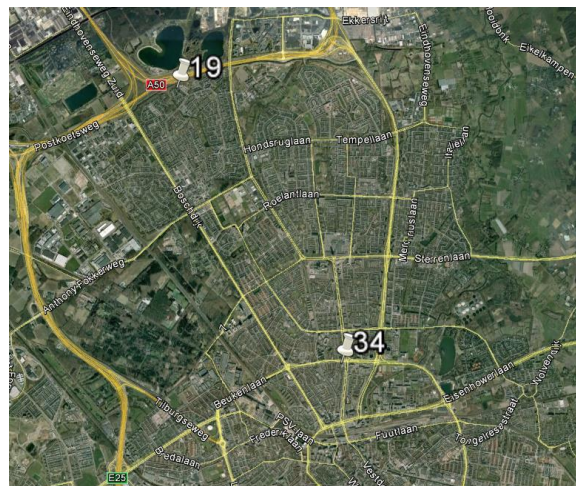
Opvallend is het verschil met $\text{PM}_{2,5}$. De tijdreeksen voor UFP vertonen veel minder overeenkomst: langs de ring is sprake van aanzienlijk hogere aantallen ultrafijne deeltjes en snellere variaties vergeleken met Spijndhof; de metingen in Spijndhof geven een achtergrondniveau aan. De oorzaak is natuurlijk het verkeer dat met hoge snelheid langs AirBox 23 rijdt. Het verschil tussen deze figuren illustreert dat de aanwezigheid van verkeer veel beter 'zichtbaar' wordt in metingen van aantallen deeltjes dan in die van PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$.

Een voorbeeld van een tijdreeks van de NO_2 -concentratie is gegeven in **Figuur 5**. Dit is één week aan data, waarbij 11 januari 2016 een maandag is. Hieruit valt op te maken dat zowel de ochtendspits als de avondspits op werkdagen duidelijk terug te vinden is in de NO_2 -concentratie, met name in die van AirBox 34 aan de Pastorielaan. Verkeer is zoals bekend een belangrijke bron is van NO_2 .



Figuur 5: Tijdsreeks van de NO_2 -concentratie gemeten met AirBox 34 (Pastoriestraat) en AirBox 19 (Finisterrelaan) in juni 2015.

Opvallend is dat AirBox 34 een veel variabeler patroon heeft dan AirBox 19. De NO_2 -concentraties van AirBox 19 lijken ‘gedempt’. AirBox 34 ligt langs de ring van Eindhoven (**Figuur 6**) en een variabel patroon voor NO_2 valt te verwachten. AirBox 19 ligt in een rustige woonwijk; hier zijn geen hoge NO_2 -concentraties en ochtend- en avondpieken te verwachten zijn. Echter, de A50 ligt dichtbij dit station (op circa 140 m afstand). Dit verklaart mogelijk waarom de NO_2 -concentraties ‘s nachts relatief hoog blijven.



Figuur 6: Meetlocaties AirBox 19 (Finisterrelaan) en 34 (Pastorielaan).

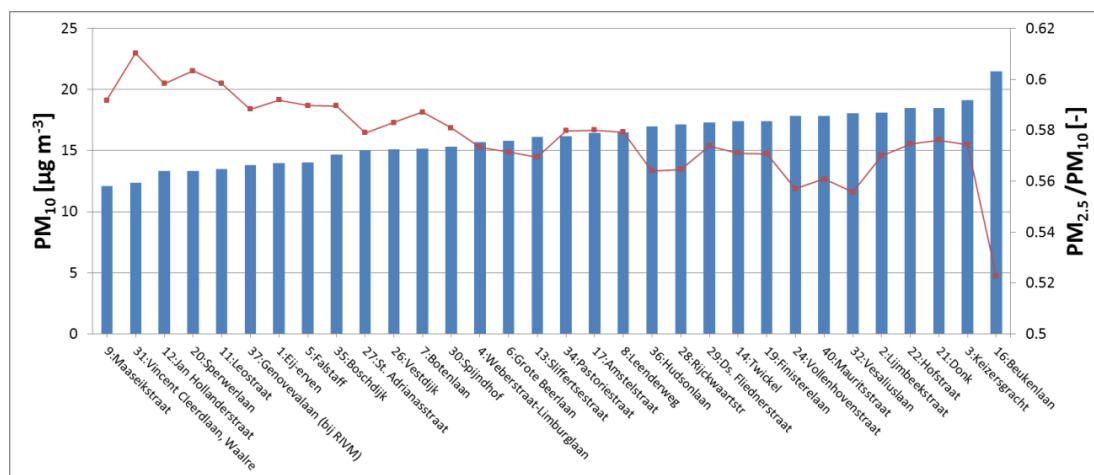
Concluderend, de hier gepresenteerde tijdreeksen laten zien dat de locatie in een stad hoogte en gedrag in de tijd bepaalt. Dit geldt het sterkst voor de ultrafijne stofdeeltjes die vrijwel uitsluitend afkomstig zijn van verkeer. In het geval van $\text{PM}_{2,5}$ (en PM_{10}) domineert de bijdrage vanuit de regionale achtergrond. De variatie die dit met zich mee brengt, is vooral beïnvloed door de meteorologie (bijvoorbeeld windrichting). De aanwezigheid van verkeer is vooral zichtbaar in een hogere achtergrondwaarde in de omgeving van het meetpunt. Om de invloed van verkeer op plaatsen in een stad vast te stellen, zou dan ook vooral de aantallen deeltjes (en NO_2) gemeten moeten worden.

3

Variatie met de plaats

Dankzij het grote aantal meetstations in het ILM ontstaat een beter beeld van de verschillen in concentraties die optreden binnen de stad. Over een korte periode zijn al verschillen zichtbaar (zoals beschreven in het vorige hoofdstuk 2). Als verschillen over een langere periode bestaan, kent de duiding meer (statistische) onderbouwing.

In **Figuur 7** zijn de ILM-stations gerangschikt naar gemiddelde PM_{10} -concentratie waarbij de middeling plaatsvond over één jaar (oktober 2014 - september 2015).



Figuur 7: Staafdiagram: jaargemiddelde PM_{10} -concentratie voor alle stations in het ILM in blauw (oktober 2014-september 2015); lijn: verhouding tussen $PM_{2.5}$ en PM_{10} .

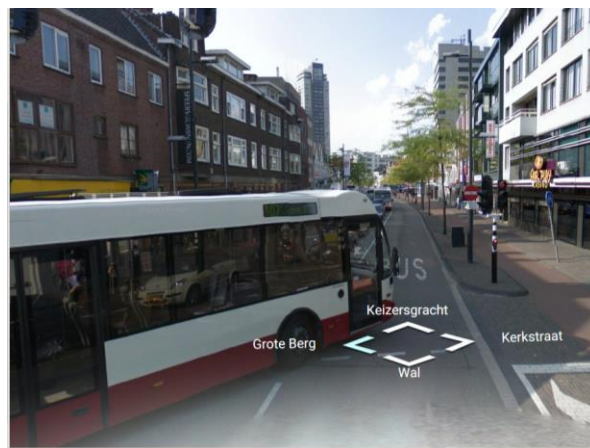
Tussen de hoogste en laagste concentratie is het verschil $6-8 \mu g m^{-3}$. Oorzaken van deze verschillen zijn vervuilde emissies in de (nabije) omgeving en de mogelijkheid tot verdunning van (vervuilde) lucht ter plaatse. Zo is de Beukenlaan een drukke 4-baans weg met een hoge verkeersintensiteit.

AirBox 9 in de Maaseikstraat heeft het laagste PM_{10} -niveau. In de directe omgeving (**Figuur 8**) is veel laagbouw en een groot park (Henri Dunantpark). Dit zorgt ervoor dat er weinig verkeer in de omgeving van het meetpunt is. Vlakbij AirBox 3 (Keizersgracht) bevindt zich een kruispunt met veel optrekkend en stilstaand verkeer (waaronder

busvervoer) en is rondom aaneengesloten en relatief hoge bebouwing aanwezig die ventilatie van de lucht belemmert (zie **Figuur 9**). Dit verklaart waarom op deze locatie een hoge PM_{10} -concentratie (één na hoogste) wordt gemeten. Voor andere stations is de ligging in de reeks minder eenvoudig te verklaren. Zo is bijvoorbeeld het niveau op de Leostraat (Ring) weinig hoger dan Falstaff (woonwijk). Allerlei (soms onbekende) factoren kunnen hierbij een rol spelen, zoals de afstand tot verkeersemisaties, ligging van het meetpunt ten opzichte van bebouwing, ventilatie, vegetatie, meteorologie, eventuele andere bronnen, et cetera. Voor deze gevallen is nadere studie nodig.



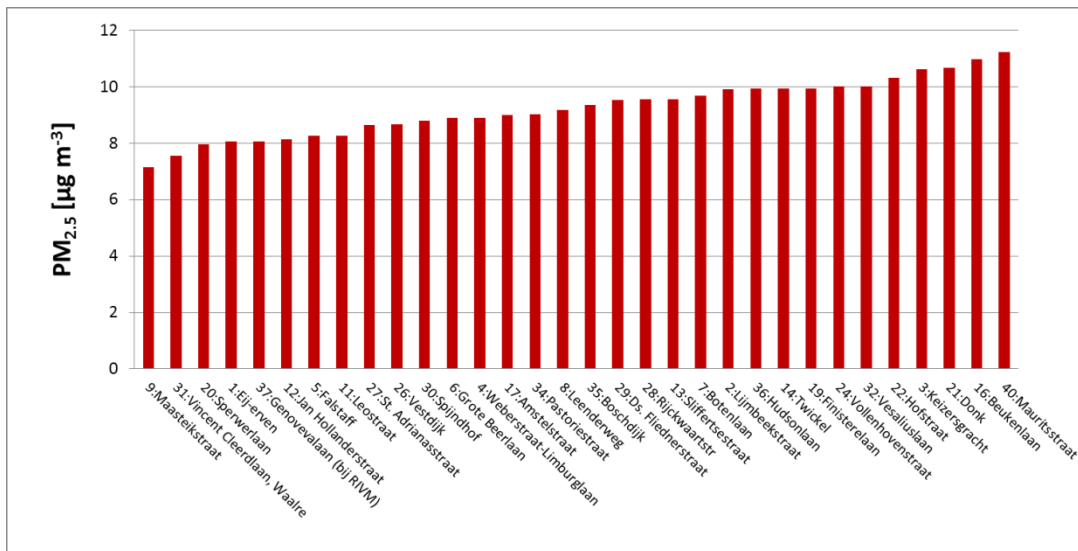
Figuur 8: Overzicht van de meetlocatie van AirBox 9 (Maaseikstraat).



Figuur 9: Overzicht van de meetlocatie van AirBox 3 (Keizersgracht).

In **Figuur 7** is ook de verhouding tussen $PM_{2,5}$ en PM_{10} afgebeeld. Deze geeft aan hoeveel massa van het PM_{10} tot de fijne fractie (diameter kleiner dan $2,5\ \mu m$) behoort. Te zien is dat de verhouding afneemt bij een toenemende concentratie voor PM_{10} . Kennelijk is het aandeel 'grofstof' groter (diameter groter dan $2,5\ \mu m$ en kleiner dan $10\ \mu m$) bij hogere PM_{10} concentraties. Aangezien grove (en zwaardere) stofdeeltjes over een betrekkelijk geringe afstand verplaatst worden (vergeleken met de deeltjes uit de fijne fractie), zijn het juist deze deeltjes die de verschillen in de stad veroorzaken. Deeltjes in de fijne fractie (met minder massa) worden over een (veel) grotere afstand verplaatst en vormen zo een meer gelijkmatige 'deken' over de stad (en land).

In **Figuur 10** is hetzelfde overzicht te zien maar nu voor $PM_{2,5}$. Hieruit valt op te maken, dat de locaties die verhoogde PM_{10} concentraties laten zien ook verhoogde $PM_{2,5}$ concentraties hebben. Ook de locaties met lagere PM_{10} komen in principe overeen met lagere $PM_{2,5}$ concentraties.



Figuur 10: Jaargemiddelde PM_{2.5}-concentratie voor alle stations in het ILM in blauw (oktober 2014–september 2015).

De voornaamste conclusie na bestudering van de gemiddelde concentraties in het ILM is dat de luchtdoorstroming, door aan- of afwezigheid van bebouwing en nabije verkeersbronnen, hogere of lagere concentratieniveaus kan verklaren. Op zich is dit niet verrassend. Deze bevinding geldt overigens vooral voor de maximale en minimale waarden. Voor de tussengelegen waarden is een verklaring soms minder eenvoudig en is verder onderzoek noodzakelijk.

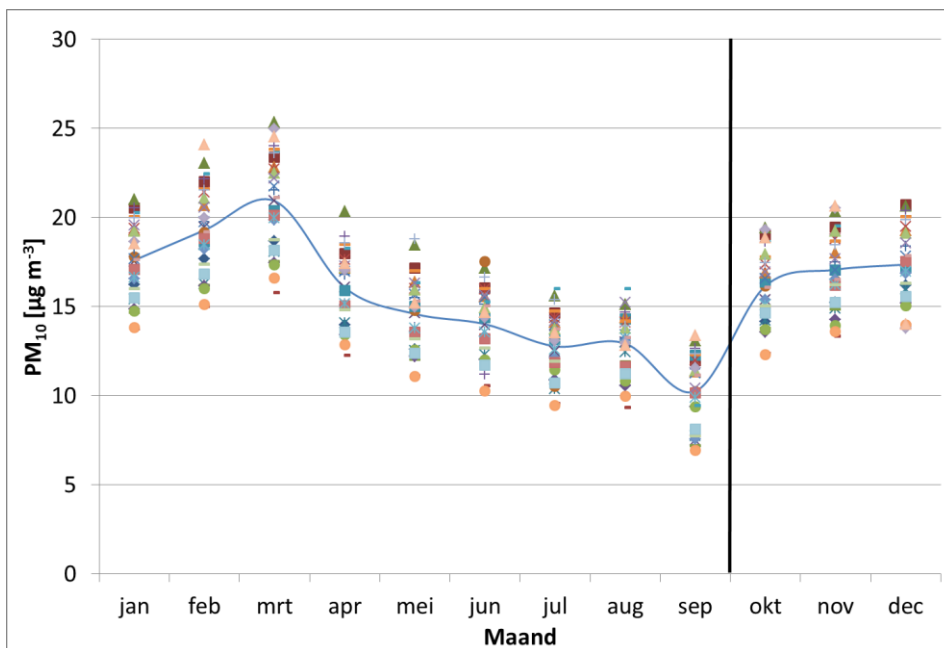
4

Jaarlijkse gang fijnstof

De jaarlijkse gang van fijnstof is onderzocht door het maandelijks gemiddelde voor de maanden oktober 2014 tot en met september 2015 te berekenen voor alle stations in het ILM. Deze zijn voor PM_{10} te zien in **Figuur 11**. Hierin valt op dat alle AirBoxen hetzelfde patroon laten zien, met hogere PM_{10} waardes in de wintermaanden (oktober tot en met maart) dan in de zomermaanden. De hogere concentraties in de wintermaanden worden veroorzaakt door een gemiddeld lagere grenslaaghoogte. In de zomer is er meer zonnestraling waardoor er meer energie beschikbaar is voor de grenslaag om te groeien en dat leidt tot lagere concentraties.

Grenslaaghoogte

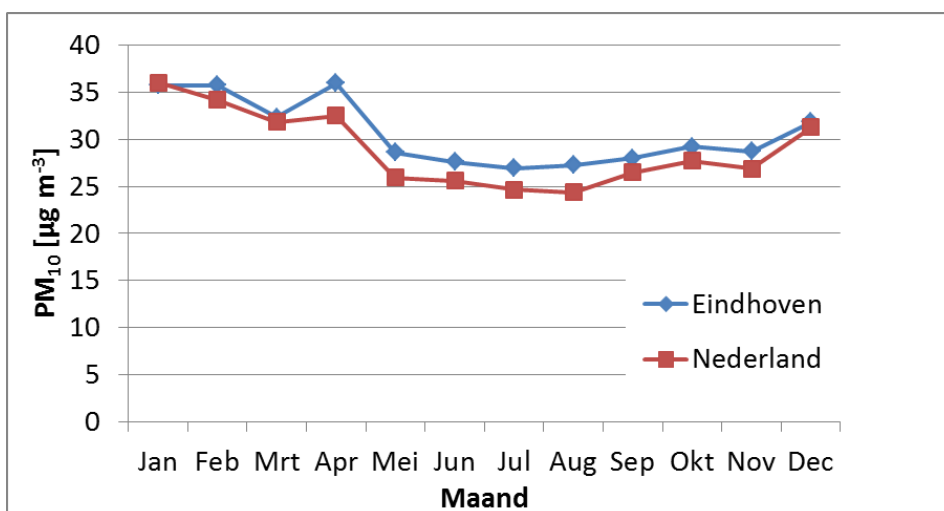
De grenslaag is het onderste gedeelte van de atmosfeer dat direct in contact staat met het aardoppervlak. De hoogte van deze laag wordt bepaald door tot hoe ver de lucht mengt met de onderliggende lucht. De menging wordt veroorzaakt door het opwarmen van het aardoppervlak door de zon en door wind. De grenslaaghoogte is ook de hoogte tot waar verontreinigingen zich kunnen verspreiden in de atmosfeer. Hoe hoger de grenslaaghoogte, hoe meer oppervlakte er beschikbaar is voor de verspreiding van verontreinigingen en dus hoe lager de concentratie van de verontreiniging.



Figuur 11: Maandelijks gemiddelde PM₁₀-concentratie gemeten met de AirBoxen van oktober 2014 tot en met september 2015, met als blauwe lijn de gemiddelde concentratie van alle AirBoxen.

In **Figuur 12** is de jaarlijkse gang afgebeeld voor alle LML-RIVM stations in Nederland en die in de omgeving van Eindhoven. Een uitgebreide vergelijking tussen twee LML-RIVM stations en de AirBoxen is toegevoegd in **Bijlage A**. Ook hier zien we hetzelfde patroon, met hogere concentraties in de wintermaanden dan in de zomermaanden.

Wat verder opvalt, is dat de PM₁₀-concentraties in **Figuur 12** aanzienlijk hoger zijn dan die in 2015 door de AirBoxen in Eindhoven gemeten worden. Dit wordt veroorzaakt doordat de PM₁₀-concentraties in Nederland sinds begin jaren '90 gestaag aan het dalen zijn. Waar de LML-RIVM stations destijds gemiddeld over Nederland een waarde van rond de 40 µg m⁻³ aangaven, ligt dit in 2013 rond de 20 µg m⁻³.



Figuur 12: Gemiddelde PM₁₀-concentratie per maand van de LML-RIVM stations over de periode 1992 tot en met 2010; blauw gemiddelde in Eindhoven en omgeving; rood: landelijk gemiddelde.

De piek in PM₁₀-concentraties die de LML-RIVM stations in april laten zien, zijn in het ILM-netwerk in Eindhoven niet zichtbaar. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de richting vanwaar de luchtmassa's werden aangevoerd in april in het jaar 2015. Uit **Tabel 1** blijkt dat de wind in deze maand met name uit het noorden kwam. Luchtmassa's uit het noorden komen van de Noordzee, de Atlantische Oceaan of Scandinavië. Dit zijn gebieden waar vrijwel geen fijnstofbronnen zijn (wateroppervlak) of veel minder sterke fijnstofbronnen (Scandinavië) dan in de gebieden die ten zuiden en ten oosten van Eindhoven liggen. Hierdoor wordt vanuit het noorden relatief veel schonere lucht aangevoerd. Ook in september kwam de wind met name uit het noorden wat het minimum in **Figuur 11** voor deze maand verklaart.

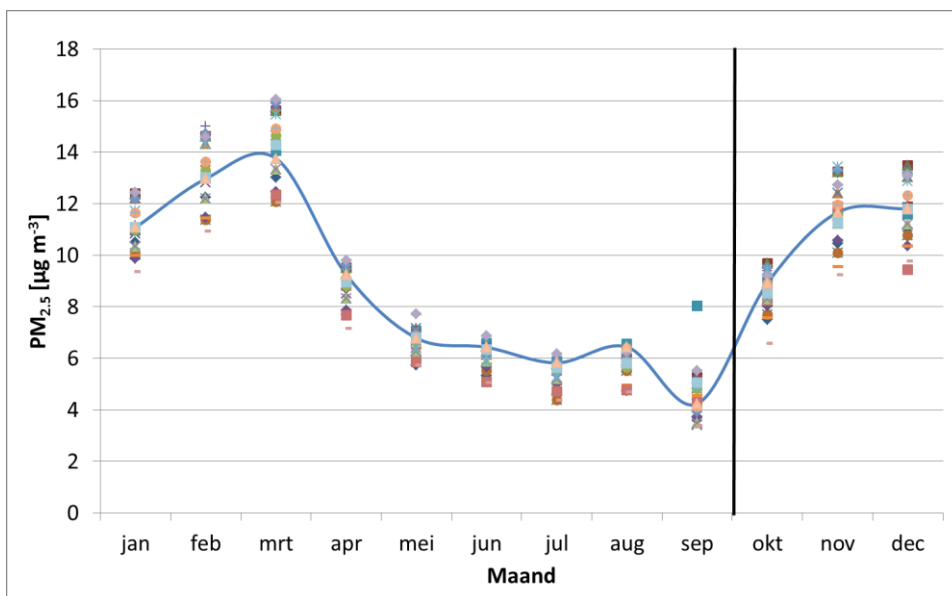
Tabel 1: De overheersende windrichting per maand voor oktober 2014 tot en met september 2015.

Maand	Windrichting
Januari	ZW WZW
Februari	Zuidelijk
Maart	ZW en NO
April	Noord en ZW
Mei	WZW
Juni	WZW en N
Juli	ZW
Augustus	Var en Zuid
September	Noordelijk
Oktober	ZZW
November	Oost
December	ZW

De reden waarom april in het langjarig gemiddelde (**Figuur 12**) een lichte piek geeft in PM₁₀ zijn vermoedelijk de paasvuren. Over het algemeen vinden deze plaats in april. Deze vuren kunnen, afhankelijk van de meteorologie, een aantal dagen een verhoging geven van PM₁₀. Deze vinden met name in het oosten van Nederland plaats en ook in Duitsland: in april 2015 met een noorden- en zuidwestelijke wind worden deze niet aangevoerd richting Eindhoven.

Figuur 13 geeft de jaarlijkse gang in PM_{2,5} weer van de AirBoxen. Het patroon komt sterk overeen met dat van PM₁₀ (**Figuur 11**) met opnieuw hogere waarden in de wintermaanden. Ook hier is een minimum zichtbaar in september (veroorzaakt door de noordelijke aanstroomrichting). Verder valt op dat de variatie tussen de verschillende AirBoxen hoger is bij PM₁₀ dan bij PM_{2,5}. Dit wordt veroorzaakt doordat PM₁₀ meer beïnvloedt wordt door lokale bronnen, omdat de grotere deeltjes niet over grotere afstand worden getransporteerd (dit is al eerder geconstateerd in hoofdstuk 2).

Verder valt op dat in de zomermaanden de AirBoxen op verschillende locaties minder variatie onderling laten zien dan in de wintermaanden (circa 2 µg m⁻³ in vergelijking met circa 4 µg m⁻³). Dit wordt, opnieuw, veroorzaakt door de grenslaaghoogte. Door de ondiepere grenslaag in de winter is de invloed van lokale bronnen groter. Zomers zal een regionale aanvoer (van buiten de stad) meer invloed hebben.



Figuur 13: Maandelijks gemiddelde $PM_{2.5}$ -concentratie gemeten met de AirBoxen van oktober 2014 tot en met september 2015, met als blauwe lijn de gemiddelde concentratie van alle AirBoxen.

De hoogte van de atmosferische grenslaag is bepalend voor de concentratieniveaus van PM_{10} en $PM_{2.5}$, ook in stedelijk gebied. Hogere fijnstofwaardes treden op in de wintermaanden en dit wordt veroorzaakt door een, gemiddeld genomen, lagere grenslaaghoogte. In de zomer is er meer zonnestraling waardoor er meer energie beschikbaar is voor de grenslaag om te groeien en dat leidt dan tot lagere concentraties.

5

Analyse NO₂-data

5.1 Inleiding

NO₂ in stedelijk gebied is vooral afkomstig van verbrandingsmotoren (doorgaans verkeer en in minder mate industrie en verwarming gebouwen). Tijdens de verbranding van brandstof wordt stikstofmonoxide (NO) gevormd. Dit NO wordt door een reactie met ozon (O₃) snel geoxideerd naar NO₂. Wanneer de zon schijnt, vindt er een fotochemische reactie plaats waardoor NO₂ weer terug reageert tot NO en O₃. Overdag ontstaat er een balans tussen deze twee reacties. In de nacht zal alle beschikbare NO reageren met de beschikbare O₃ om NO₂ te vormen.

Binnen het AiREAS netwerk in Eindhoven zijn eind 2015 NO₂-sensoren geplaatst. In totaal zijn er 24 sensoren die de concentratie NO₂ binnen het netwerk meten. In dit hoofdstuk wordt de beschikbare NO₂-data geanalyseerd. Als kwaliteitscontrole zijn alle punten waar de AirBoxen een NO₂-concentratie beneden nul of hoger dan 200 µg m⁻³ niet meegenomen in de analyse (10-min waardes; 2,4% van de data). Concentraties onder 0 µg m⁻³ kunnen in werkelijkheid niet voorkomen en worden dan ook veroorzaakt door een meetfout. De waardes boven de 200 µg m⁻³ zullen in werkelijkheid nauwelijks voorkomen en worden waarschijnlijk ook veroorzaakt door een meetfout.

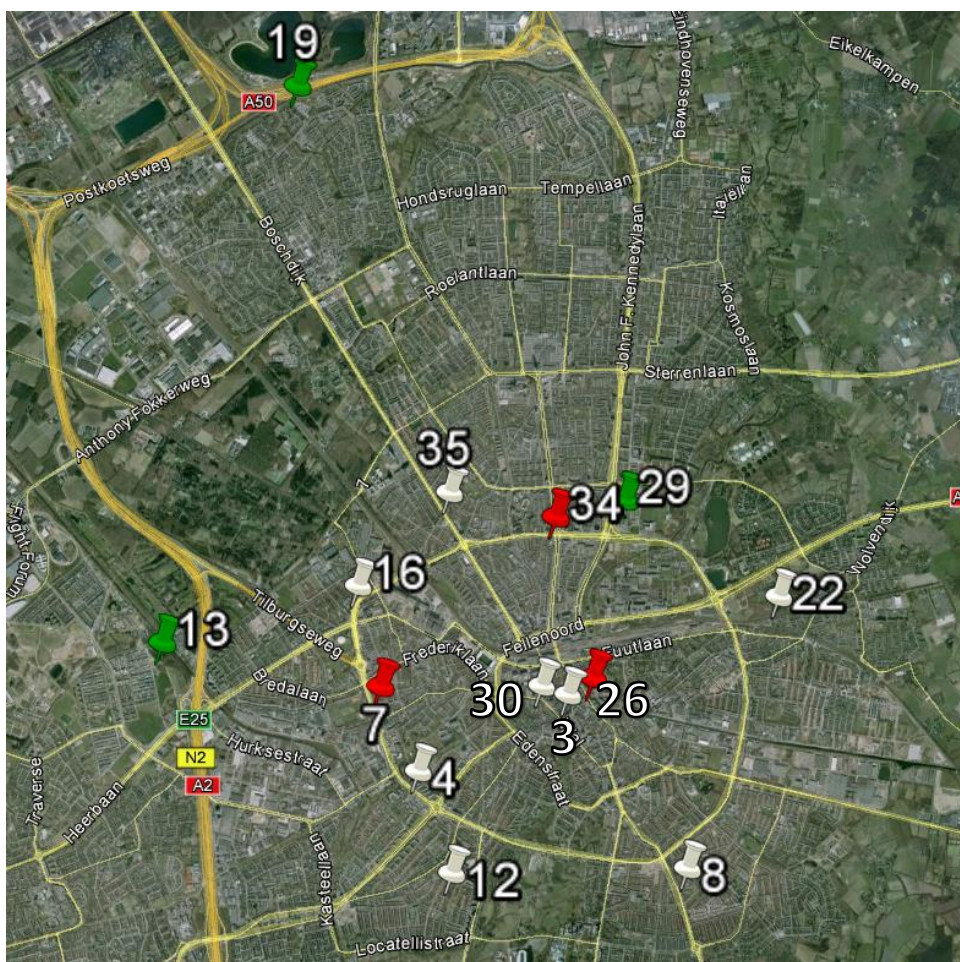
Voor de analyse zijn de AirBoxen meegenomen die een databeschikbaarheid van NO₂ hadden van 90% of hoger voor de periode van 1 januari 2016 tot en met 8 juli 2016. Deze beschikbaarheid werd gehaald door de volgende AirBoxen:

- AB3 aan de Keizersgracht 28
- AB4 aan de Von Weberstraat – Limburglaan 161
- AB7 aan de Botenlaan 135
- AB8 aan de Leenderweg 259
- AB12 aan de Jan Hollanderstraat 70
- AB13 aan de Sliffertsestraat 12
- AB16 aan de Beukenlaan 62
- AB19 aan de Finisterelaan 45
- AB22 aan de Hofstraat 161

- AB26 aan de Vestdijk 47
- AB29 aan de Dominee Theodor Fliednerstraat 1
- AB30 aan de Spijndhof
- AB34 aan de Pastoriestraat 57
- AB35 aan de Boschdijk 393

5.2 Meetnetwerk overzicht

Figuur 14 geeft een overzicht van de locaties die meegenomen zijn in de NO₂ data-analyse. Tevens zijn hier de drie AirBoxen met de hoogste (in rood) en laagste (in groen) gemiddelde NO₂-concentraties aangegeven. Het is duidelijk dat langs de ringweg om het centrum van Eindhoven heen, hogere NO₂-concentraties worden gemeten (AirBox 7 en AirBox 34). Ook centraal in de stad worden hogere NO₂-concentraties gemeten (AirBox 26). De lagere NO₂-concentraties worden juist gemeten in relatief rustige buitenwijken in het noorden van de stad Eindhoven (AirBox 13, 19 en 29).

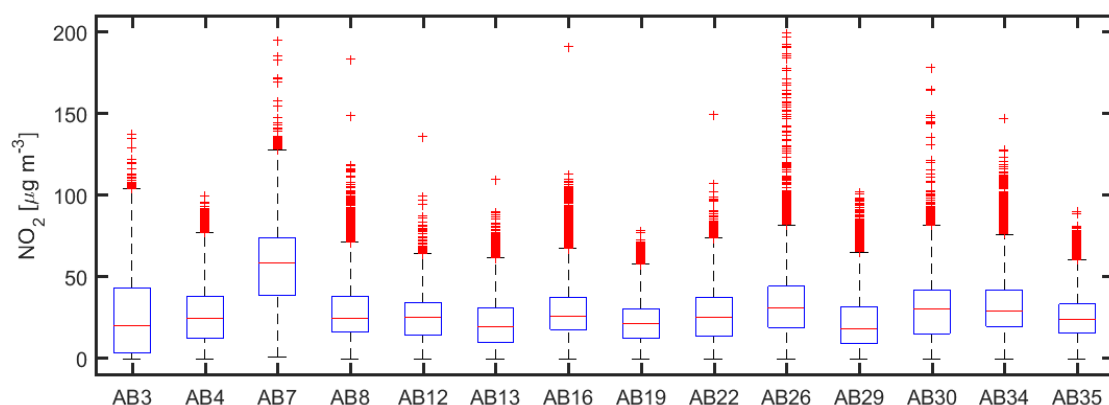


Figuur 14: Locaties van de AirBoxen met een databeschikbaarheid voor NO₂ van 90% of hoger. In rood de 3 AirBoxen met de gemiddeld hoogste NO₂-waarde, in groen de 3 AirBoxen met de gemiddeld laagste NO₂-waarde en in wit de overige AirBoxen.

5.3 Boxplot

Een boxplot is een grafische weergave van de verdeling van data. Hierdoor is het mogelijk snel inzicht te krijgen in hoe de verdeling van verschillende meetpunten van elkaar verschillen. De rode lijn in de boxplot geeft de mediaan aan van de data (in andere woorden het midden van de data). De blauwe box eromheen geeft het punt aan waar 50% van de data in valt (oftewel de 25% kwartielen). De stippellijn (ook wel whiskers genoemd) geven 99,3% dekking van de data aan. Ten slotte geven de rode kruisjes de uitschieters aan.

De boxplot in **Figuur 15** geeft weer hoe de verdeling van de NO₂-data voor de verschillende boxen eruit ziet. Hieruit valt meteen op te maken dat qua verdeling vooral AirBox 7 in het oog springt, met duidelijk hogere NO₂-concentraties (ook voor de mediaan en kwartielen). Ook AirBox 26 heeft redelijk veel uitschieters van NO₂ die boven een concentratie van 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ vallen. Verder valt op dat AirBox 19, 29, 13 en 35 geen grote uitschieters hebben en de NO₂-concentraties relatief laag zijn.



Figuur 15: Boxplots van de NO₂-concentraties van de AirBoxen in Eindhoven.

5.4 Meetlocaties hoge en lage NO₂-concentraties

Als we naar de gemiddelde NO₂-concentraties kijken, gemeten met de AirBoxen, is de top 3 van hoogste concentraties als volgt:

1. AB7 aan de Botenlaan 135
2. AB26 aan de Vestdijk 47
3. AB34 aan de Pastoriestraat 57

De top 3 van laagste NO₂-concentraties is:

1. AB13 aan de Sliffertsestraat 12
2. AB29 aan de Dominee Theodor Flidnerstraat 1
3. AB19 aan de Finisterelaan 45

Figuur 16 geeft een overzicht van de situatie op de verschillende meetlocaties.



Figuur 16: Overzicht van de verschillende meetlocaties met de hoogste (omlijst in rood) en de laagste (omlijst in groen) gemiddelde NO_2 -concentraties voor AirBox 7 (a), 26 (b), 34 (c), 13 (d), 29 (e) en 19 (f).

- AirBox 7 is gesitueerd langs een drukke tweebaansweg, met aan weerszijde ook nog een ventweg. Deze weg komt vanaf de A2 en loopt om Eindhoven heen. De verkeersdrukke is op dit punt waarschijnlijk hoog, wat de hoge NO_2 -concentraties verklaart.
- AirBox 26 staat in het centrum van Eindhoven nabij een druk kruispunt. Nabij de AirBox kruist een weg met drie banen (waarvan één busbaan) een éénbaansweg. Tevens wordt de AirBox omgeven door relatief hoge gebouwen met drie of meer verdiepingen. Zowel de rijbanen als de hoogbouw verklaren de hoge NO_2 -concentraties die hier gemeten worden.

- De AirBox aan de Pastoriestraat (AB 34) ligt aan de ringweg om het centrum van Eindhoven. In totaal zijn er zeven verkeersbanen in de straat (inclusief twee ventwegen aan beide zijden). Daarnaast is het kruispunt met de Veldmaarschalk Montgomerylaan dichtbij (op circa 60 m), wat ook een drukke verkeersstraat is. De grote verkeersdruk nabij dit meetpunt verklaart de hoge NO₂-concentraties die op dit station gemeten worden.
- De gemiddeld laagste NO₂-concentratie is gemeten door AirBox 13. Deze box is gesitueerd in een buitenwijk van Eindhoven omringd door redelijk veel groen. Wat verder opvalt is dat de snelweg A2 relatief dichtbij ligt (op een afstand van hemelsbreed ongeveer 400 m). De invloed van de A2 is waarschijnlijk beperkt doordat deze ten noordoosten van de metingen ligt en de wind relatief weinig vanuit deze richting komt (13% voor deze dataset).
- AirBox 29 is gelegen nabij het ziekenhuis op het parkeerterrein. Hierdoor zal er niet veel verkeer dichtbij langskomen. De drukke John F Kennedylaan is wel dichtbij gelegen, maar deze wordt afgeschermd door dichte bosjes en struiken. Hierdoor meet AirBox 29 relatief lage NO₂-concentraties.
- De Airbox aan de Finisterelaan (AB 19) is gelegen in een relatief rustige woonwijk in het Noorden van Eindhoven. De straat is relatief smal, twee auto's kunnen elkaar niet makkelijk passeren. De verwachting is dan ook dat auto's hier relatief langzaam rijden (< 30 km/uur). De straat is geen doorgaande route: alleen mensen die in de wijk wonen of op bezoek komen zullen de straat inrijden. Gezien de locatie is het dan ook te verwachten dat de NO₂-concentraties op dit punt redelijk laag zijn.

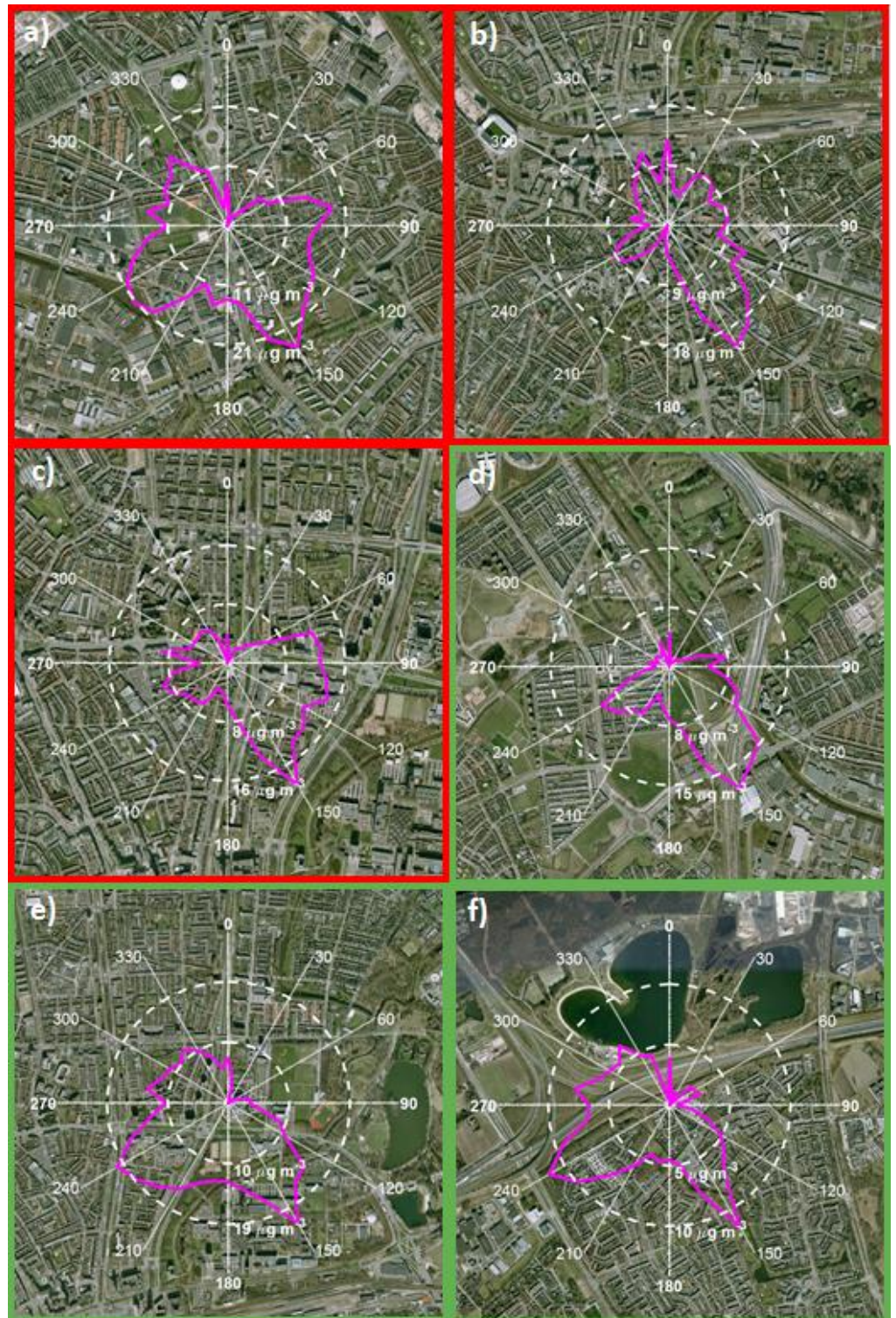
5.5 Windrozen

Met behulp van een windroos kan er vastgesteld worden welke NO₂-concentraties er uit de verschillende windrichtingen gemeten worden. De windrozen van de verschillende locaties zijn geplot in **Figuur 17**. Hier zijn de relatieve concentraties geplot (concentratie min de laagste concentratie van één van de sectoren), zodat de verschillen tussen de windsectoren beter zichtbaar zijn.

In **Figuur 17** valt op dat voor alle meetlocaties de concentratie uit de 145 tot 155 graden sector relatief hoog is. Het feit dat alle locaties dit patroon laat zien, duidt erop dat dit geen lokaal effect is, maar dat de achtergrondconcentratie uit deze windhoek hoger is. Dit blijkt ook uit het feit dat lage NO₂-concentraties (10 tot 20 µg m⁻³) relatief weinig voorkomen in deze sector (hier niet getoond). Ook uit het westzuidwesten komen voor alle AirBoxen (met uitzondering van AirBox 26) relatief hoge NO₂-concentraties voor.

- Voor Airbox 7 ziet de windroos er redelijk gelijkmatig uit, met alleen een duidelijke dip in NO₂-concentraties uit het noordnoordoosten. Deze dip is mogelijk een lokaal effect van de rijtjeshuizen die zeer dichtbij dit meetpunt staan (op minder dan 2 m afstand).
- Bij Airbox 26 valt op dat de piek uit het zuidzuidoosten zeer hoog is. Zoals eerder gezegd, wordt dit waarschijnlijk deels veroorzaakt door een verhoogde achtergrondconcentratie uit deze windstreek. Dat deze piek extra sterk is voor dit punt komt mogelijk door de Vestedijk die voor veel verkeer zorgt vanuit deze hoek.

- De windroos van de data van AirBox 34 laat met name uit het oosten tot zuidoosten verhoogde NO₂-waardes zien. Dit is de richting waar het kruispunt ligt tussen de Pastoriestraat en de Veldmaarschalk Montgomerylaan. Op dit kruispunt staan stoplichten. Met regelmatig optrekkende auto's is het dan logisch dat de NO₂-concentraties vanuit deze hoek verhoogd zijn ten opzichte van de windrichtingen.
- Voor AirBox 13 is naast het ZZO ook het OZO relatief hoog. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de A2 snelweg die uit deze hoek zeer dichtbij het meetpunt ligt. De NO₂-concentraties uit het noordoosten zijn juist relatief laag. De A2 ligt ook wel in deze richting, maar verder weg (meer dan 800 m) en hiertussen ligt groen (golfbaan) en water.
- AirBox 29 meet relatief lage NO₂-concentraties in het noordwesten. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de sportvelden en het groen wat zich in deze richting bevindt. De concentraties vanuit het centrum uit het OZO zijn juist hoger.
- Als laatste de windroos van AirBox 19. Deze AirBox vertoont, naast de piek uit ZZO die voor alle AirBoxen wordt gezien, verhoogde concentraties tussen WZW en NNW. Dit is ook de richting waar de A50 en A2 elkaar kruisen. Wat verder opvalt, is dat de verschillen tussen de verschillende windstreken voor deze AirBoxen relatief klein zijn. De hoogste en laagste NO₂-waarde verschilt slechts 10 µg m⁻³, terwijl dit voor de andere AirBoxen tussen de 15 en 21 µg m⁻³ ligt.

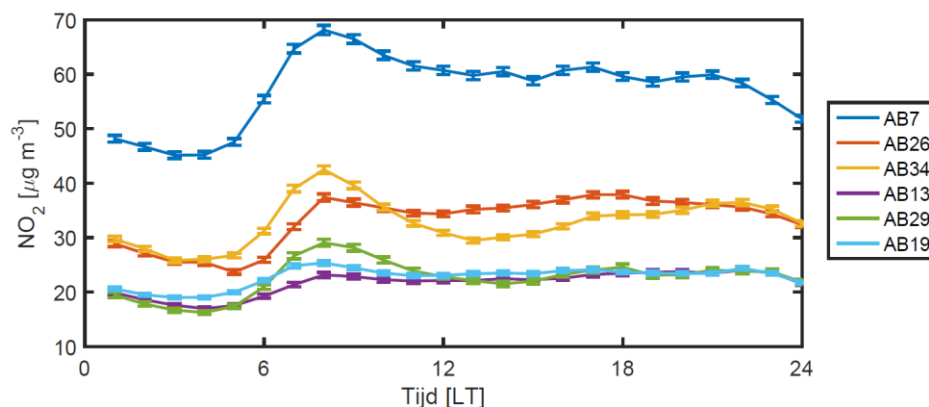


Figuur 17: Windroos van de relatief gemiddelde NO₂-concentraties (concentratie min de laagste NO₂-concentratie van één van de windsectoren) van AirBox 7 (a), 26 (b), 34 (c), 13 (d), 29 (e) en 19 (f).

5.6 Dagelijkse gang

Figuur 18 toont de dagelijkse gang in NO_2 -concentraties voor de AirBoxen met de 3 hoogste NO_2 -concentraties en de 3 laagste NO_2 -concentraties. Hieruit valt op te maken dat alle zes AirBoxen in de ochtend rond 8 uur allemaal een piek in NO_2 -concentratie meten. Deze piek wordt veroorzaakt door de ochtendspits van het verkeer.

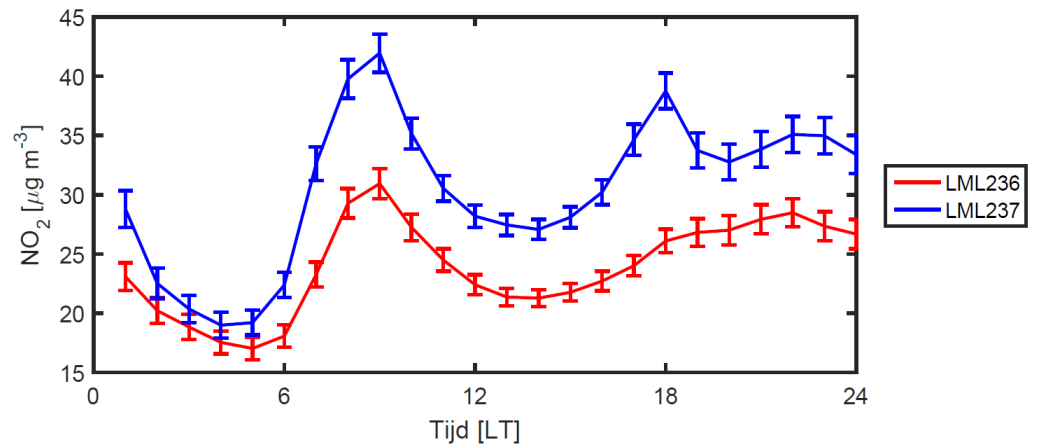
Een piek voor de spits in de avond is minder goed zichtbaar. Voor de AirBoxen 26 en 29 is er om 17 en 18 uur wel een lichte verhoging in NO_2 zichtbaar. Mogelijke verklaring voor een lagere piek in de avondspits is de grenslaaghoogte (voor toelichting zie kader in hoofdstuk 4). Door de lage grenslaaghoogte in de ochtend kan de geëmitteerde NO_2 uit het verkeer zich maar over een relatief klein volume verspreiden en is de piek in NO_2 -concentratie goed zichtbaar. In de avond met een hogere grenslaaghoogte kan de NO_2 zich verspreiden over een groter volume waardoor de piek in NO_2 -concentratie wordt afgezwakt.



Figuur 18: Dagelijkse gang van gemiddelde NO_2 -concentraties voor AirBox 7, 26, 34, 13, 29 en 19 met op de x-as de lokale tijd.

Wat verder opvalt in **Figuur 18** is dat de NO_2 -concentraties van AirBox 7 de gehele dag een stuk hoger liggen dan de andere AirBoxen (bijna $20 \mu\text{g m}^{-3}$ hoger dan die van AirBox 26 en 34). Deze hogere waarden kunnen deels verklaard worden door opstuwning van lucht door de bebouwing, aangezien dit punt zeer dicht bij huizen staat (op ongeveer 1.5 m afstand). Dit kan echter niet de totale ophoging van bijna $20 \mu\text{g m}^{-3}$ verklaren.

Figuur 19 toont de dagelijkse gang van NO_2 van twee landelijke meetnet luchtkwaliteit (LML) stations in Eindhoven over de periode van 1 januari 2016 tot en met 8 juli 2016. Station 236 is gelegen aan de Genovevalaan (in het noorden van de stad Eindhoven) en station 237 aan de Noord Brabantlaan (langs de ringweg om het centrum van Eindhoven heen). Wanneer **Figuur 20** en **Figuur 21** met elkaar vergeleken worden valt op dat de NO_2 -concentraties qua orde van grootte met elkaar overeen komen. Ook de LML-stations laten een piek zien aan NO_2 in de ochtend (zo rond 8 uur). Deze piek is voor de LML-stations wel prominenter aanwezig dan voor de AirBoxen. Voor LML-station 237 is er ook in de avond een duidelijk piek zichtbaar rond 18 uur. Deze piek wordt veroorzaakt door de avondspits die blijkbaar goed detecteerbaar is op dit punt langs de ringweg.



Figuur 19: Dagelijkse gang van gemiddelde NO₂-concentraties voor LML-station 236 en 237

Afrondend, op basis van de NO₂-analyse is duidelijk dat de databeschikbaarheid van de NO₂-sensoren verder verhoogd worden. De NO₂-sensoren werken naar behoren om gemiddelde concentraties, windrozen en dagelijkse gang te bestuderen. De data laten een logisch patroon zien met hogere NO₂-concentraties langs drukke verkeerswegen.

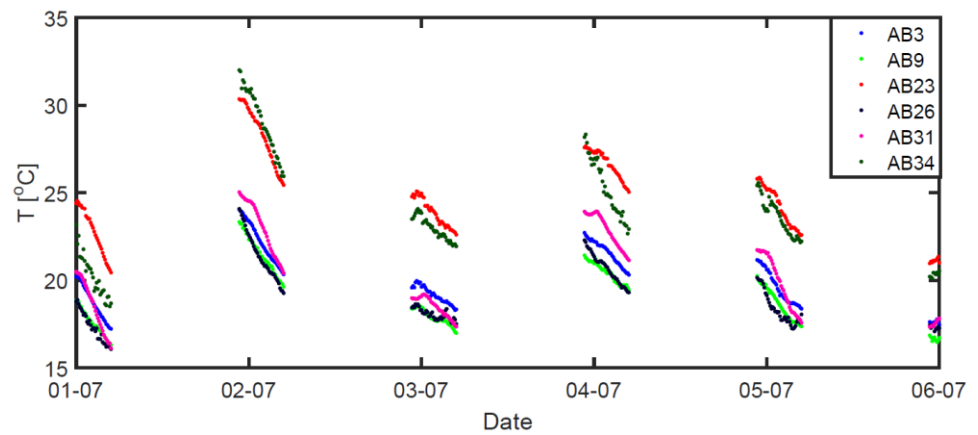
De concentratie windrozen geven een duidelijk beeld met verhoogde waarden vanaf verkeerswegen. Ook laten deze zien dat er een regionale bijdrage van NO₂ is uit het zuidzuidwesten. De ochtendpiek van het verkeer is duidelijk waarneembaar voor de zes AirBoxen waarvan de dagelijkse gang geplot is. De avondspits is niet waarneembaar wat zich moeilijk laat verklaren.

6

Temperatuursverloop en verdeling over de stad

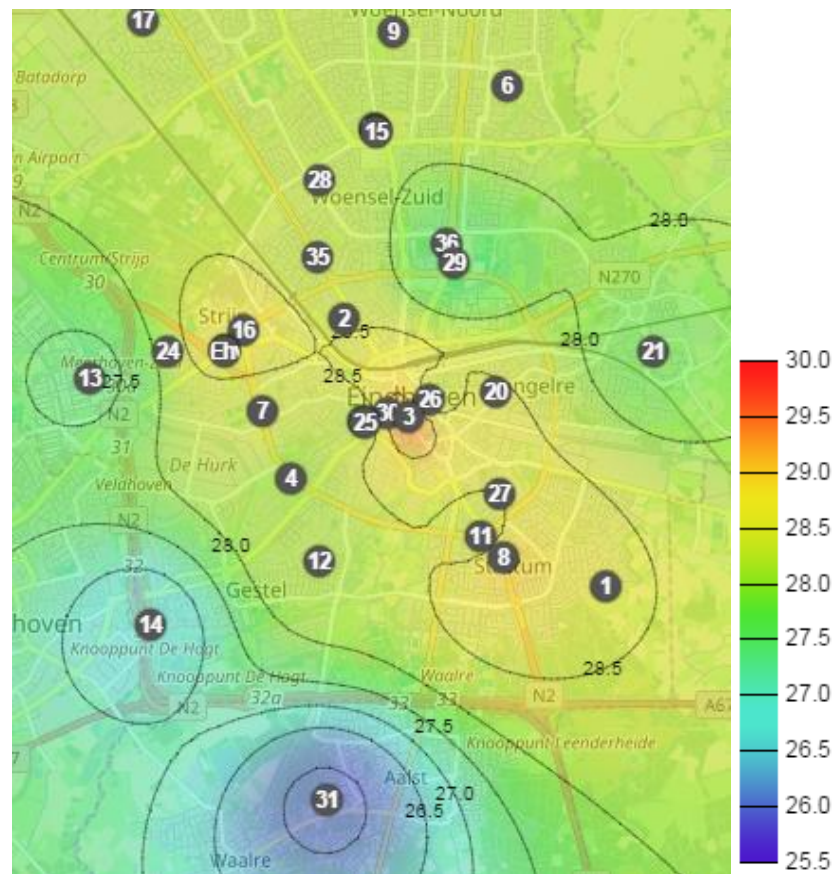
Doordat de thermometer in de kast van de AirBox zit, was het tot voor kort alleen mogelijk naar de nachttemperatuur te kijken. Overdag zorgt de zoninstraling namelijk voor opwarming van de box. Kortgeleden zijn er ook temperatuursensoren buiten de AirBox toegevoegd aan het meetnet, waardoor het temperatuursverloop over de gehele dag gemonitord wordt.

Een vergelijking van de nachttemperaturen van de AirBoxen gedurende de hittegolf begin juli 2015 demonstreert waarneembare verschillen (**Figuur 20**). Hierbij is ervan uitgegaan dat de kasten na zonsondergang afkoelen naar de omgevingstemperatuur. Afhankelijk van de plek lopen de verschillen in nachttemperatuur op tot maar liefst 5°C. Bepalend voor deze verschillen zijn vooral de mate van versterking van de omgeving en de aanwezigheid van schaduw. De meest warme locaties bevinden zich bijvoorbeeld aan de Jeroen Boschlaan (AirBox 23) en Pastorielaan (AirBox 34): beiden gelegen aan de ring rond Eindhoven. De koelere plekken in het meetnet zijn Maaseikstraat (AirBox 9, nabij een park) en het meetpunt in het groene, buitengebied ten zuidwesten van Eindhoven (AirBox 31). Opvallend genoeg is de temperatuur op een paar plekken in het centrum (de Vestdijk (AirBox 26) en Keizersgracht (AirBox 6)), ondanks de versteende omgeving, toch nog relatief laag; De reden daarvan kan worden gezocht in de aanwezigheid van meer schaduw door de hoge, omliggende bebouwing.



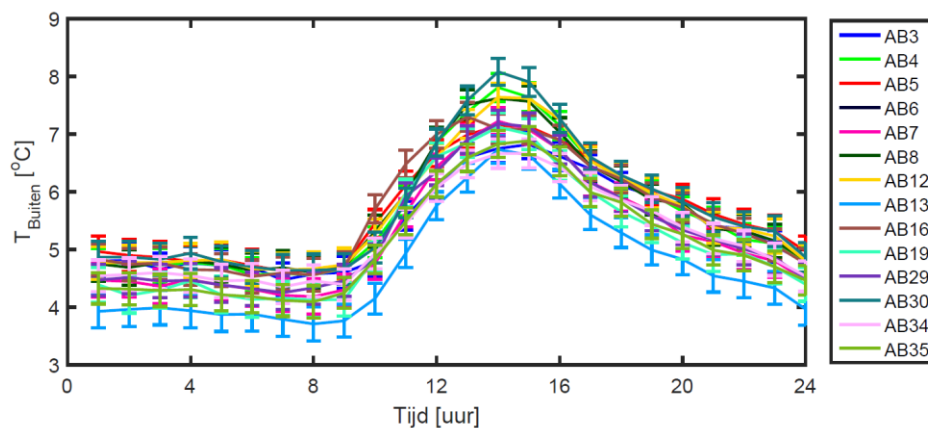
Figuur 20: Temperatuur gemeten in de nachturen begin juli 2015 voor AirBox 3, 9, 23, 26, 31 en 34.

Om een indruk te krijgen van de verdeling van de warmte over de stad is de buitenluchttemperatuur gemiddeld voor elk station over één dag op 25 augustus 2016 (warmste dag in 2016) geplot in **Figuur 21**. Door middel van lineaire regressie is geïnterpoleerd hoe de temperatuur varieert tussen de stations. Hierbij is echter geen rekening gehouden met de aanwezigheid van bebouwing. Duidelijk zichtbaar is, dat het centrum over het geheel genomen warmer is.



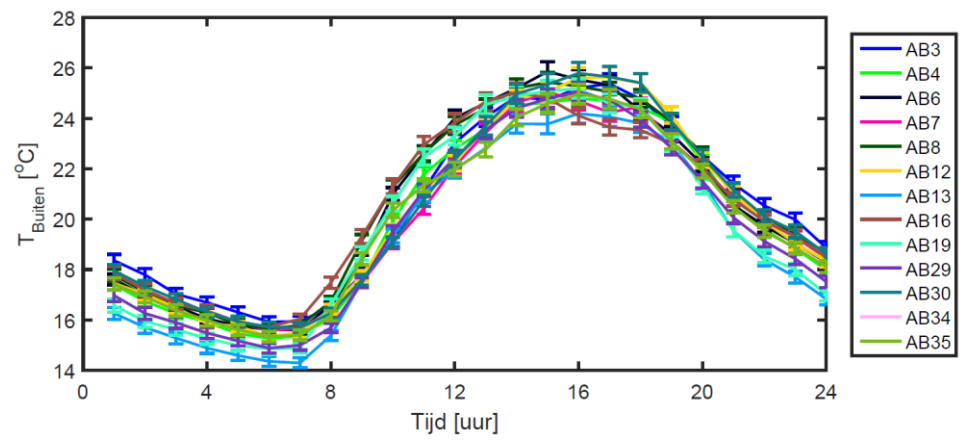
Figuur 21: Verdeling van de buitenluchttemperatuur (in °C) over Eindhoven gemiddeld over 25 augustus 2016.

Figuur 22 toont de gemiddelde dagelijkse gang van de buitentemperatuur gemeten met de AirBoxen in de maand augustus. De dagelijkse gang is zoals verwacht met een maximumtemperatuur in de middag (zo rond 14 uur lokale tijd) en de minimumtemperatuur in de ochtend. Verder valt op dat de AirBoxen hetzelfde patroon vertonen: zo meet AirBox 13 de gehele dag de laagste temperaturen. Deze AirBox ligt aan de Sliffertsestraat in het Noordoosten van de stad. Gezien de ligging aan de rand van de stad met relatief weinig bebouwing eromheen, is het te verwachten dat er op deze locatie lagere temperaturen zijn. De Airboxen in het centrum van de stad laten juist hogere temperaturen zien (bijvoorbeeld AirBox 30). De spreiding tussen de verschillende airboxen is rond de 1,5°C.



Figuur 22: Gemiddelde dagelijkse gang van de buitenluchttemperatuur gemeten met de AirBoxen in de maand januari 2016.

Figuur 23 laat dezelfde dagelijkse gang zien, maar voor de maand augustus 2016. De temperatuur en ook de variatie op één dag is een stuk hoger in de maand augustus dan in januari. Ook is er meer spreiding in de temperatuur tussen de verschillende AirBoxen met gemiddeld genomen zo rond de 2,5°C verschil. Het gaat hier om het verschil in het maandelijks gemiddelde; voor extreem warme dagen zal de temperatuur (veel) sterker verschillen (zie ook **Figuur 21**). Net als voor de maand januari, worden gemiddeld de laagste temperaturen gemeten door AirBox 13 door de ligging buiten het stadscentrum en de geringe bebouwing ter plaatse.



Figuur 23: Gemiddelde dagelijkse gang van de buitenluchttemperatuur gemeten met de AirBoxen in de maand augustus 2016.

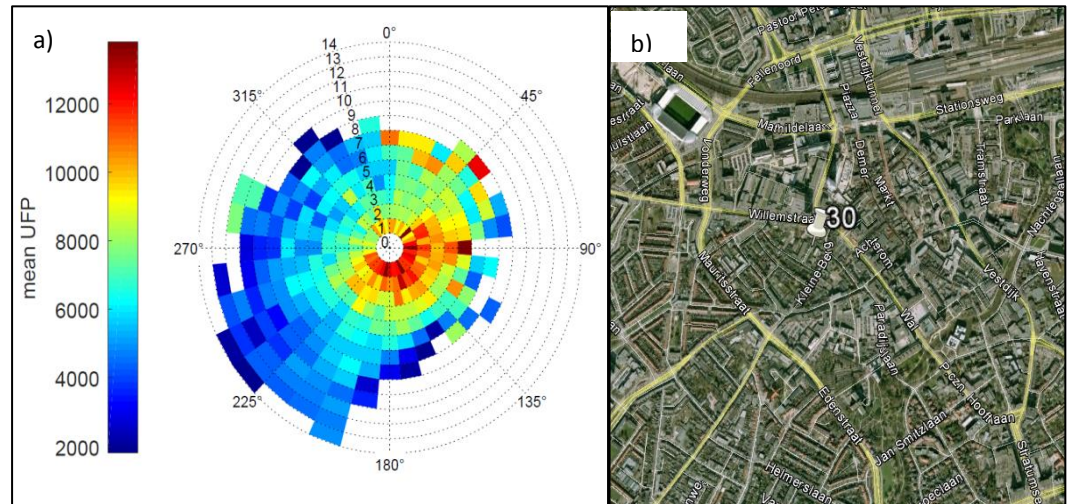
7

Ultrafijne deeltjes in Eindhoven

Binnen het ILM-netwerk worden sinds eind 2013 op 6 locaties de ultrafijne deeltjes (UFP) concentratie gemeten met de NanoMonitor, ontwikkeld door Philips. Ultrafijne deeltjes zijn fijnstofdeeltjes met een grootte tussen de 10 en 100 nm. Deze deeltjes worden gezien als één van de belangrijkste veroorzakers van gezondheidsschade door luchtverontreiniging. De concentratie wordt, in tegenstelling tot fijnstof, uitgedrukt in aantallen deeltjes per volume eenheid (in dit geval cm^{-3}). Belangrijkste bronnen van UFP zijn verkeer en grootschalige atmosferische chemische processen, waarvan de eerste het meest schadelijk is.

De UFP-concentraties worden gemeten met een afzonderlijke meetbox, die op iedere AirBox aangesloten kan worden. Regelmatig hadden de UFP meters last van uitval. Hierdoor is de databeschikbaarheid voor de meeste boxen niet meer dan 70%. Deze databeschikbaarheid is hoog genoeg om het gedrag van UFP op de verschillende locaties te kunnen interpreteren. Voor de data-analyse zijn de periodes rond Oudjaar niet meegenomen. Tijdens Oudjaar werden concentraties tot 180 000 deeltjes per cm^{-3} gemeten, dit is 10 keer zo hoog als de concentraties op drukke verkeerspunten.

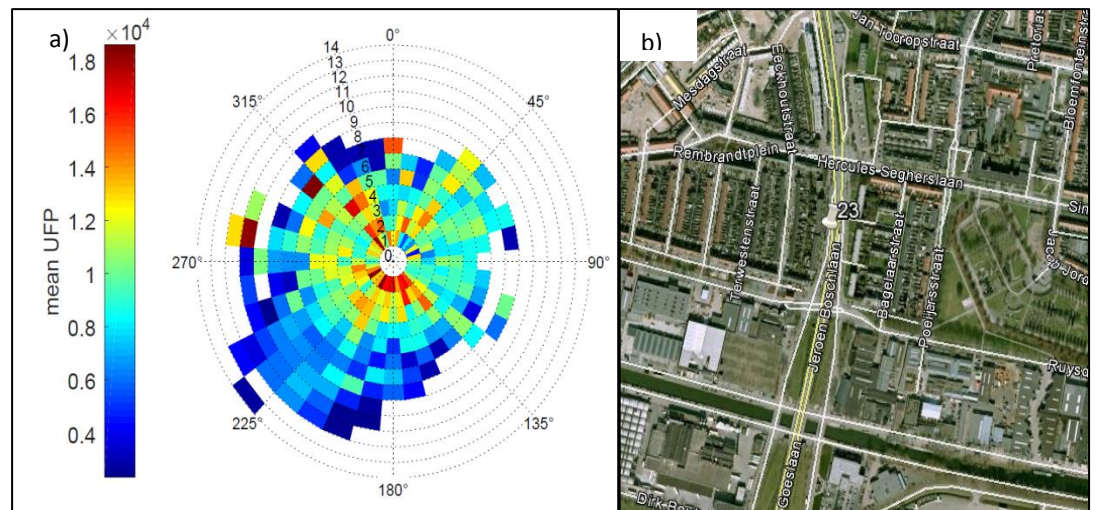
De AirBoxen die UFP-concentraties meten bevinden zich op locaties met en zonder hoge verkeersbelasting (zonder verkeersbelasting wordt ook wel stadsachtergrond genoemd). De concentraties UFP worden gevisualiseerd voor de verschillende locaties door middel van een polarplot. Deze manier van plotten laat zien uit welke windrichting en met welke windsnelheid bepaalde concentraties gemeten worden. De windsnelheid staat in verhouding tot hoever de bron zich van de meetlocatie bevindt: hoe hoger de windsnelheid hoe verder weg een bron van invloed kan zijn op de metingen. Voor het maken van de polarplots zijn de windgegevens van het KNMI station bij luchthaven Eindhoven gebruikt.



Figuur 24: Polarplot van UFP-concentraties (a) en locatie (b) van AirBox 30 aan het Spijndhof.

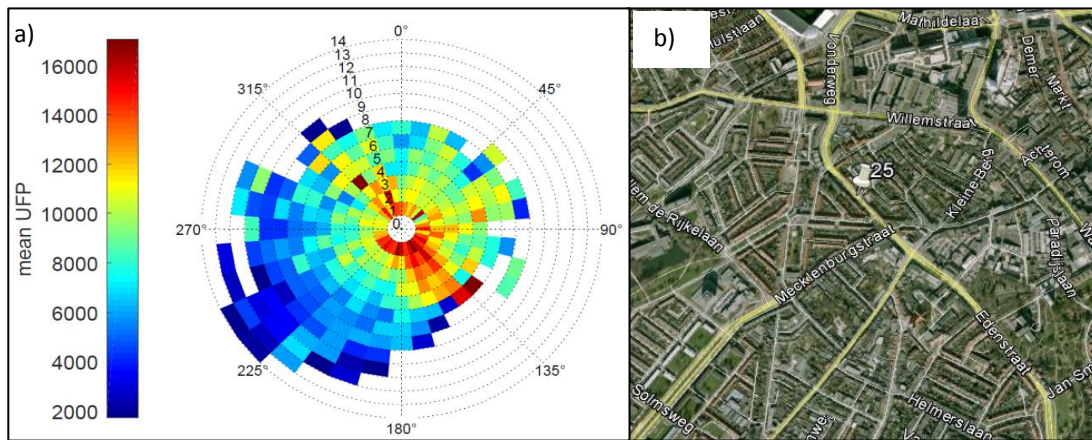
De laagste UFP-concentraties (tot 12 000 deeltjes cm^{-3}) worden gemeten aan het Spijndhof (zie **Figuur 24**). Ook al is deze locatie gelegen in het centrum van de stad, de meetlocatie zelf ligt aan een relatief rustige, doodlopende straat. De hoogste concentraties zijn afkomstig uit het zuidoosten (bronnen zijn een combinatie van verkeer en grootschalige atmosferische chemie).

De hoogste UFP-concentraties (180 000 deeltjes cm^{-3}) worden gemeten aan de Jeroen Boschlaan (zie **Figuur 25**). Deze meetlocatie is gelegen aan de ring rond Eindhoven en dan ook sterk verkeersbelast. Dit verklaart dan ook de hoge concentratie UFP die hier gemeten wordt. Uit de polarplot blijkt dat, bij wind uit het westen, lagere UFP-concentraties worden gemeten. Dit is te verwachten omdat in deze richting een park ligt.



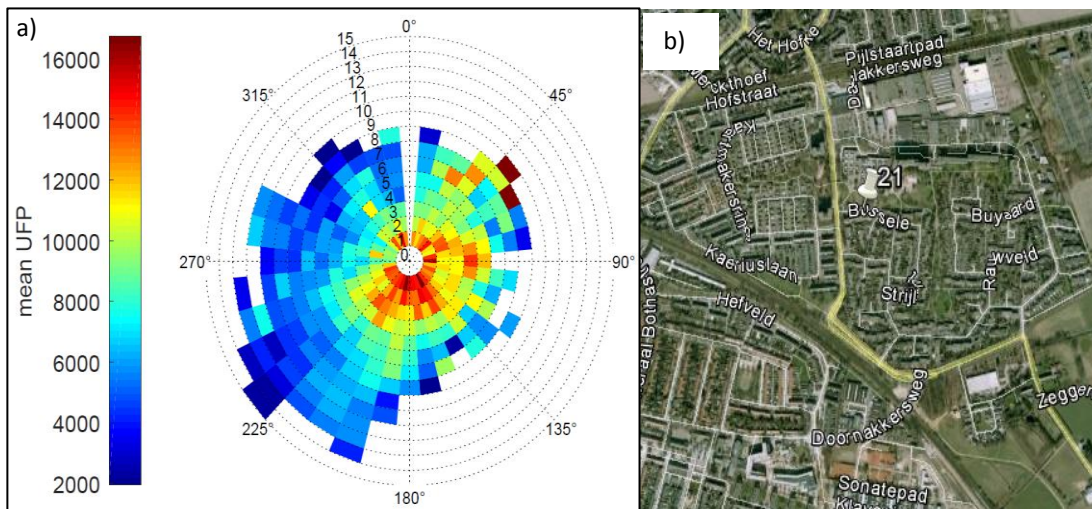
Figuur 25: Polarplot van UFP-concentraties (a) en locatie (b) van AirBox 23 aan de Jeroen Boschlaan.

Bij de polarplot van de Mauritsstraat is de invloed van het verkeer op de UFP-concentraties duidelijk zichtbaar (zie **Figuur 26**). Hier worden de hoogste UFP-concentraties gemeten, wanneer de wind parallel aan de straat staat (zuidoost en noordnoordwest). Naast de verkeersweg zelf, valt op dat vanuit het oosten (centrumkant) hogere UFP-concentraties worden gemeten dan vanuit het westen.



Figuur 26: Polarplot van UFP-concentraties (a) en locatie (b) van AirBox 25 aan de Mauritsstraat.

De meetlocatie aan de Donk (AirBox 21) is gelegen in het oosten van de stad tussen 2 spoorwegen in (op ongeveer 300 m afstand, zie **Figuur 27**). De invloed van de spoorwegen zijn niet direct zichtbaar, mogelijk ook door de afstand. Bij wind vanuit het zuiden worden er hogere UFP-concentraties gemeten. Als bron zou dit de spoorwegen kunnen zijn, maar ook de relatief drukke Broekakkerseweg.

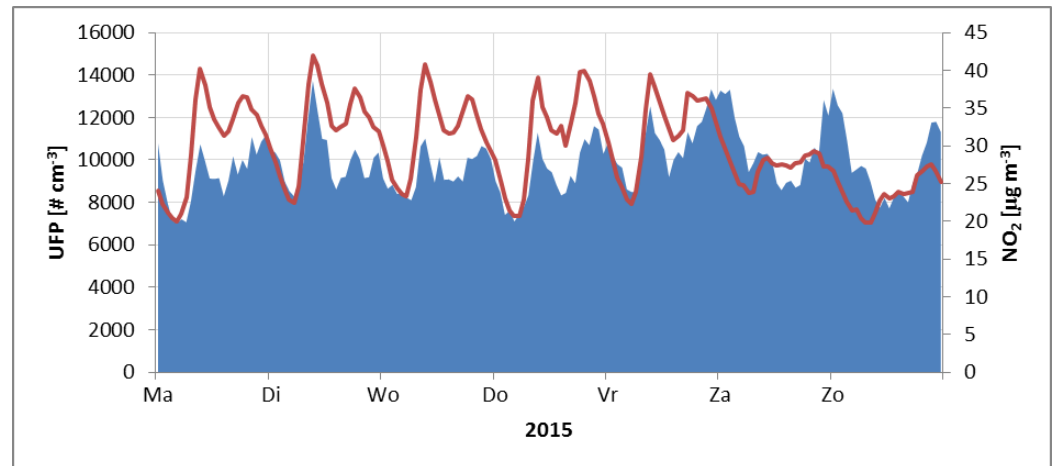


Figuur 27: Polarplot van UFP concentraties (a) en locatie (b) van Airbox nummer 21 aan de Donk.

Op basis van de polarplots kan geconcludeerd worden dat er geen directe invloed zichtbaar is van de luchthaven (Eindhoven Airport) op de UFP-concentratie in de binnenstad. De onderzochte AirBoxen liggen relatief ver weg van de luchthaven. Het meetpunt op de Mauritsstraat (AirBox 25) ligt het dichtstbij, op een afstand van bijna 7 km. In 2017 is het de bedoeling de UFP-meetboxen te rouleren langs alle AirBox-meetpunten in Eindhoven om een beter inzicht te verkrijgen in de geografische

verspreiding van UFP in de gehele stad. Wellicht is op andere locaties de invloed van de luchthaven wel zichtbaar.

Er kan ook naar de dagelijkse gang van de UFP-concentratie per dag van de week worden gekeken (zie **Figuur 28**). In de figuur is ook de concentratie stikstofdioxide (NO_2) geplot, aangezien dit een goede indicator voor verkeersemissies is. Uit de figuur wordt duidelijk, dat de concentraties UFP en NO_2 ruwweg hetzelfde patroon vertonen. Dit toont aan dat het verkeer een belangrijke bron is van UFP. Verder zijn er tijdens de werkdagen duidelijke pieken in UFP en NO_2 zichtbaar in de ochtend- en avondspits. Op vrijdag- en zaterdagavond zijn de UFP-concentraties hoog in de avond en begin van de nacht, waarschijnlijk veroorzaakt door het uitgaansleven.



Figuur 28: Gemiddelde UFP-concentratie (blauw, linker y-as) en NO_2 -concentratie (rood, rechter y-as) per dag van de week in 2015.

8

Samenvattende conclusies

Het Innovatie Lucht Meetnet (ILM) geeft een overzicht van de luchtkwaliteit over de stad Eindhoven. Er zijn verschillende manieren waarop naar de data gekeken kan worden. Een manier om in één oogopslag te zien wat de verschillen zijn binnen de stad, is door op een kaart met kleur aan te geven welke concentraties er gemeten worden en tussen de meetpunten de concentratie te interpoleren. Hiernaast kan er in detail naar een bepaald event worden gekeken door tijdseries van bepaalde meetpunten te plotten. Weer een andere manier om de data te interpreteren, is door van een bepaald meetpunt de windroos dan wel 'polarplot' te maken. Hieruit valt op te maken hoe de windrichting concentraties kan bepalen. Verder kan er ook naar dagelijkse, wekelijkse en maandelijkse gang gekeken worden om meer informatie uit de data te halen. In dit rapport hebben we op al deze manieren naar de data gekeken en kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Wanneer we de figuren van de dagelijkse of wekelijkse gang plotten, valt op dat NO₂ en ultrafijne deeltjes (UFP) beide over het algemeen hogere concentraties geven tijdens de ochtend- en avondspits. Dit geeft aan dat deze twee grootheden sterk gecorreleerd zijn met de verkeersintensiteit. Hieruit blijkt, dat verkeer een sterke bron is van NO₂ en UFP in de stad. Voor fijnstof (PM) wordt dit verband met verkeer niet sterk waargenomen.

Ook in de windrozen en de polarplots kwam de link tussen verkeer met NO₂ en UFP sterk naar boven. Juist uit windrichtingen waar grote wegen of kruisingen waren, werden hoge concentraties NO₂ en UFP gemeten voor de verschillende meetpunten. De ligging van de verschillende AirBoxen speelde ook een rol: hoe meer in het centrum van de stad of hoe dicht bij een drukke verkeersweg, hoe hoger de NO₂- en UFP-concentraties. Voor PM werden meer in het centrum van Eindhoven ook hogere concentraties gevonden, wat te maken heeft met de mogelijkheid tot verdunning in het centrum met meer hoogbouw.

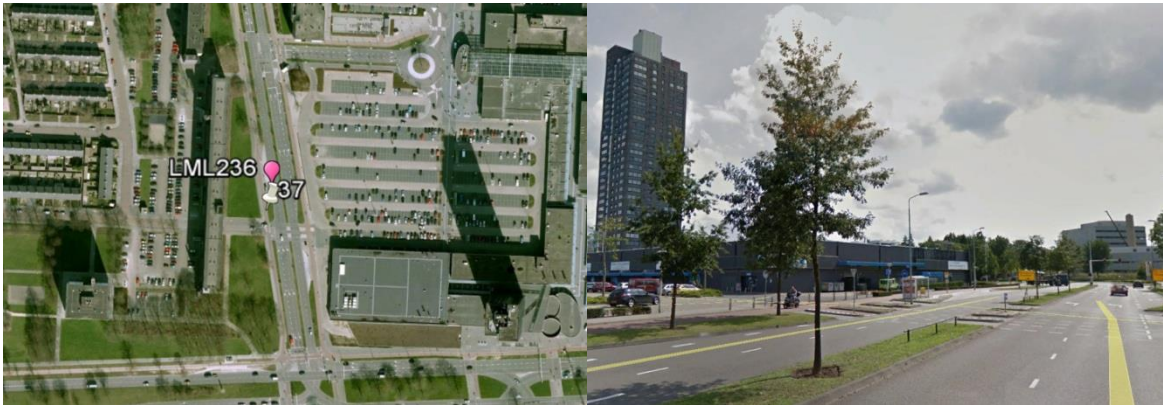
- De link tussen de concentraties van NO₂ en UFP met verkeersintensiteit maakt deze twee grootheden uiterst geschikt voor dynamisch verkeersmanagement. Hierbij wordt, met behulp van de luchtkwaliteitsdata, bekeken hoe bepaalde verkeersstromen het beste door de stad kunnen worden geleidt. In Leicester in het Verenigd Koninkrijk is een test geweest naar de haalbaarheid van dynamisch

verkeersmanagement. Voor een dergelijk managementtool is niet alleen luchtkwaliteitsinformatie nodig, maar ook verkeersdata, meteorologische parameter, een verspreidingsmodel aangevuld met een weermodel op grotere schaal en een verkeersstromingsmodel. Uit de test kwam naar voren dat het mogelijk is een dynamisch verkeersmanagementtool aan te leggen. Ook bleek dat door het gebruik van de tool, de verkeersdoorstroming beter was en er minder vertraging op de route was. De invloed op luchtkwaliteit is in dit onderzoek niet onderzocht.

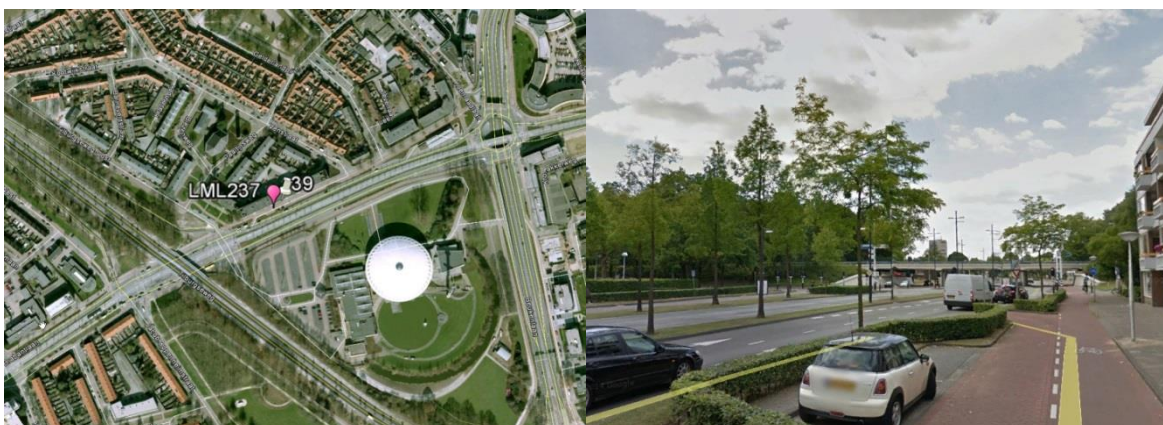
- De data van NO₂ verzameld door het ILM netwerk moet nog met zorg worden gebruikt, omdat de sensoren nog doorontwikkeld worden. Op dit moment is het al duidelijk dat de NO₂-sensoren die een lagere databeschikbaarheid hebben, ook een lagere kwaliteit aan data hebben. Daarom zijn voor de data-analyse in hoofdstuk 5 alleen de AirBoxen meegenomen waar de databeschikbaarheid voor NO₂ boven de 90% lag. Uit de analyse kan, zoals hierboven geconcludeerd is, worden opgemaakt dat de concentratie NO₂ sterk beïnvloedt wordt door het verkeer.
- In 2016 zijn aan het ILM-netwerk ook sensoren toegevoegd die de buitenluchttemperatuur meten. Voorheen was er alleen een temperatuursensor binnenin de AirBoxen. Vanwege de opwarming van de boxen in de zon waren deze niet representatief voor de buitenlucht. Uit de data-analyse blijkt dat, zoals verwacht, de luchttemperatuur in het centrum van de stad hoger ligt dan daarbuiten. Dit is met name het geval in de zomer bij heet weer. Hieruit blijkt dat verharding leidt tot hogere temperatuur. Ontharden en vergroening van de stad kan dan ook ingezet worden als klimaatadaptatie, met name in het stadscentrum.
- De gemeente Eindhoven heeft aangegeven dat de resultaten van het ILM vooral bruikbaar zijn voor communicatie naar de Eindhovense burgers en de lokale politiek en (op langere termijn) monitoring. Men wil het meetnet graag uitbreiden met een goede monitoring van de luchthaven zodat vastgesteld kan worden wat de invloed van vliegtuigemissies op de stedelijke luchtkwaliteit. Verder zou ze graag zien dat het real-time karakter van de metingen in de praktijk een meerwaarde kan krijgen in de vorm van verkeersmanagement.

Bijlage A. Vergelijking fijnstof LML- stations en AirBoxen

AirBox 37 en 39 (Genovevalaan en Noord Brabantlaan) staan beide naast een LML-meetstation. De exacte locaties van de AirBoxen en LML-stations zijn weergegeven in **Figuur 29** en **Figuur 30**. Zowel op de Noord Brabantlaan als de Genovevalaan zijn de meetstations gelegen nabij verkeerswegen. De Noord Brabantlaan is gelegen nabij de weg die afsplitst van de snelweg A2, waardoor de meetstations langs een redelijk drukke verkeersweg liggen. De meetstations op de Genovevalaan zijn gelegen nabij een winkelcentrum in het noorden van Eindhoven.



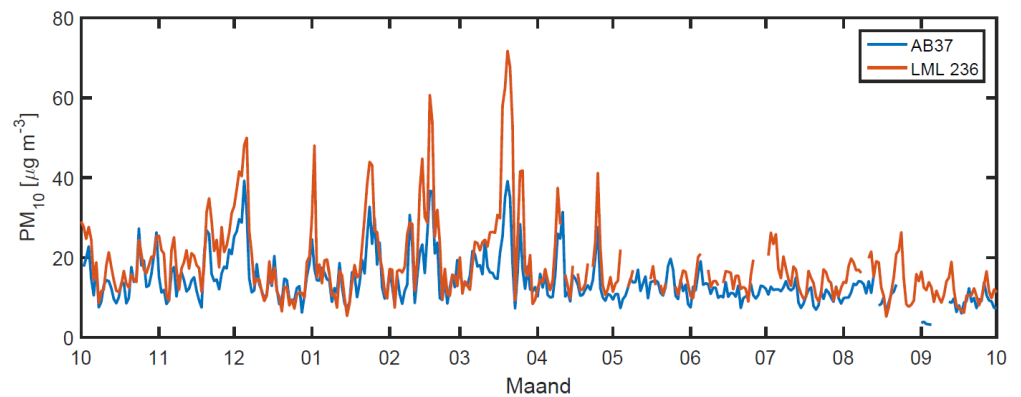
Figuur 29: Overzicht van de locatie van het LML station 236 en AirBox 37 op de Genovevalaan.



Figuur 30: Overzicht van de locatie van het LML station 237 en AirBox 39 op de Noord Brabantlaan.

De LML stations meten daggemiddelde PM_{10} -waarden. Om de vergelijking te maken, zijn ook de daggemiddelde PM_{10} -waarden van de AirBoxen berekend voor een periode van oktober 2014 tot en met september 2015.

Figuur 31 toont de tijdserie van PM_{10} voor AirBox 37 en LML-station 236: beide op de Genovevalaan. Hieruit blijkt dat de patronen in PM_{10} van de AirBox en het LML-station hetzelfde zijn. De pieken in PM_{10} worden door de AirBox minder hoog inschat dan het LML-station. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat het signaal van de AirBoxen verzadigd raakt.



Figuur 31: Tijdserie van de daggemiddelde PM_{10} -waarden voor AirBox 37 en LML-station 236 (Genovevalaan).

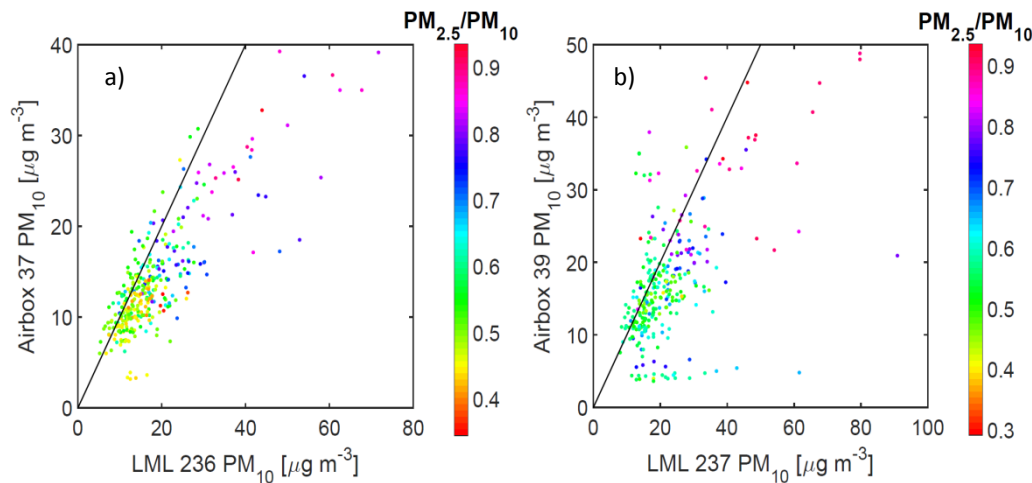
Tabel 2 toont de statistieken voor de daggemiddelde PM_{10} waarden. Hieruit komt hetzelfde beeld naar voren als uit de tijdserie met hogere gemiddelden: mediaan en standaarddeviatie voor de LML-stations. Ook het maximum van de LML-stations is hoger dan die van de AirBoxen (meer dan $30 \mu g m^{-3}$). Het minimum van de AirBoxen is juist lager dan die van de LML-stations.

Tabel 2: Statistiek voor de daggemiddelde PM_{10} -waarden voor de periode oktober 2014 tot en met september 2015.

Station	AirBox 37	LML 236	AirBox 39	LML 237
Statistiek				
Gemiddelde	14.05	18.48	17.28	22.40
Mediaan	12.56	15.96	15.84	18.63
Standaard deviatie	6.11	10.19	8.40	11.64
Minimum	3.16	5.21	3.64	8.04
Maximum	39.26	71.75	48.78	90.92

Figuur 32 laat de scatterplots zien van de LML stations en de AirBox. De waarden zijn gekleurd met de verhouding tussen de $PM_{2,5}$ en PM_{10} gemeten met de AirBoxen. Hieruit valt op te maken dat, met name wanneer de verhouding hoog is (>0.6 , in andere woorden $PM_{2,5}$ draagt relatief veel bij aan PM_{10}), de AirBox de PM_{10} -waarden onderschat. Dit gedrag is met name op de Genovevalaan duidelijk zichtbaar. Op de Noord Brabantlaan is er meer spreiding tussen de PM_{10} -waarden gemeten met de AirBox en LML-station en is de invloed van de verhouding minder duidelijk zichtbaar. Mogelijk kan een aanpassing in het algoritme in de PM_{10} -berekening, wanneer de

verhouding hoog is, ervoor zorgen dat de AirBoxen ook de hogere PM_{10} -waardes beter inschat.



Figuur 32: Scatterplots van daggemiddelde PM_{10} -waardes, gekleurd met de verhouding tussen $PM_{2.5}$ en PM_{10} , gemeten met de AirBoxen: op de x-assen de LML-stations en op de y-assen de AirBoxen voor de Genovevalaan (a) en Noord Brabantlaan (b). De 1 op 1 lijn is in het zwart aangegeven.

Uit de vergelijking tussen AirBoxen en LML-station kan worden opgemaakt, dat met name de hogere PM_{10} concentraties ($>20 \mu g m^{-3}$) door de AirBoxen onderschat worden. Deze onderschatting komt met name voor, wanneer de verhouding $PM_{2.5} / PM_{10}$ hoog is; met andere woorden, wanneer een groot gedeelte van de PM_{10} -concentratie veroorzaakt wordt door het fijnere stof. Mogelijk kan deze informatie gebruikt worden om de manier waarop PM_{10} bepaald wordt uit de AirBoxmetingen, te verbeteren. Voor nu kan geconcludeerd worden, dat de absolute PM_{10} -waardes van de AirBoxmetingen op dit moment nog niet gebruikt kunnen worden. Door de normalisatie die wordt uitgevoerd voor de verschillende AirBoxen, zijn de onderlinge PM_{10} -metingen wel bruikbaar. Hierdoor kan de AirBox wel worden ingezet om de verschillen binnen een stad te meten.

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

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

