

TNO-rapport
R10681

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

Metingen van roet en deeltjesgrootteverdeling op basisscholen in Aalsmeer en Badhoevedorp

Datum	5 juni 2019
Auteur(s)	D. van Dinther M.J. Blom W.C.M. van den Bulk G.P.A. Kos Met medewerking van GGD Amsterdam, Leefomgeving team Luchtkwaliteit
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	30 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	RIVM
Projectnaam	UFP black carbon meting Schiphol
Projectnummer	060.33868

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

Samenvatting

In een gezamenlijke studie met RIVM, TNO, GGD Amsterdam en IRAS is onderzoek gedaan naar de korte termijn effecten van ultrafijn stof en roet op de gezondheid (in dit geval op basis van longfunctie) van basisschoolleerlingen rondom Schiphol (in Badhoevedorp en Aalsmeer). Mogelijk hebben ultrafijne deeltjes ($<0,1\ \mu\text{m}$) alsmede roet een negatief effect op de longfunctie.

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de metingen van deeltjesgrootteverdeling en roetconcentraties, die verzameld zijn bij één basisschool in Badhoevedorp en twee basisscholen in Aalsmeer (achtereenvolgens bemeten). Bij het bepalen van een deeltjesgrootteverdeling wordt het aantal deeltjes gemeten voor verschillende deeltjesgroottes lopend van 10 tot 1094 nm. Om onderlinge vergelijking tussen de scholen te kunnen waarborgen is er op alle locaties gemeten met hetzelfde type apparatuur (Mobility Particle Size Spectrometers van GRIMM voor deeltjesgrootteverdeling en een Multiangle Absorption Photometer van Thermo Fisher voor roet). Hiernaast is er zowel voorafgaand als na de metingen op de basisscholen een vergelijkingscampagne geweest voor de gebruikte apparatuur op basis waarvan de metingen op de basisscholen worden gecorrigeerd.

Voor het vergelijken van de deeltjesgrootteverdeling is deze opgedeeld in 7 klassen; 10-20 nm, 20-30 nm, 30-50 nm, 50-70 nm, 70-100 nm, 100-200 nm en 200-1094 nm. In deze rapportage is voor deeltjesaantallen met name gekeken naar de kleinste klassen (10-20 nm), aangezien is aangetoond dat luchtverkeer een bron is van deze kleine UFP fractie.

Uit de vergelijkingscampagne bleek dat de resultaten van de apparatuur, die gebruikt wordt om roet te meten, onderling zeer goed met elkaar overeenkomen ($R^2=0,99$ en richtingscoëfficiënt van 0.95). Het verschil in correctiefactoren voor roet is in de tweede vergelijkingscampagne 10% toegenomen ten opzichte van de eerste campagne. De gemeten deeltjesaantallen voor de grotere deeltjes ($>70\ \text{nm}$) is onderling tussen apparatuur goed vergelijkbaar ($R^2>0,97$). Opvallend is dat hoe kleiner de deeltjes zijn hoe minder goed de onderlinge vergelijking is van de apparatuur.

De metingen van roet en deeltjesgrootteverdeling zijn bekeken aan de hand van tijdseries, dagelijkse gang (gemiddelde concentratie of deeltjesaantallen die voorkomt op een bepaald tijdstip) en windrozen om te achterhalen wat mogelijke bronnen uit de omgeving zijn. De dagelijkse gang van roet laat twee pieken zien: zowel in de ochtend- als avondspits, waarvan hoogstwaarschijnlijk de bron wegverkeer is. Uit zowel de tijdserie van roet als de windrozen blijkt dat roet als een deken over de omgeving ligt. Schiphol is uit de windroosanalyse niet te herkennen als bron van roet. Voor de kleinste deeltjesklassen (10-20 nm) blijkt uit de dagelijkse gang een verhoging van de deeltjesaantallen overdag. De windrozen laten een duidelijke verhoging zien van deeltjesaantallen van 10-20nm vanuit Schiphol.

Uit deze rapportage kunnen we de volgende conclusies trekken:

- De vergelijkingscampagne heeft aangetoond hoe lastig het is zeer kleine deeltjes ($<30\ \text{nm}$) te meten.
- De resultaten van de vergelijkingscampagnes tonen aan hoe belangrijk deze campagnes zijn wanneer metingen op verschillende locaties onderling vergelijkbaar moeten zijn.

- De belangrijkste bron in omgeving van Schiphol voor roet is hoogstwaarschijnlijk wegverkeer.
- Voor deeltjesaantallen van 10-20 nm is de grootste bron in de omgeving inderdaad luchthaven Schiphol..

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Methode	7
2.1	Meetopstelling.....	7
2.2	Meetperiode	9
2.3	Dataverwerking	9
3	Resultaten	11
3.1	Vergelijkingscampagnes.....	11
3.2	Metingen op de basisscholen	20
4	Conclusies.....	28
5	Referenties	29
6	Ondertekening	30

1 Inleiding

Ultrafijn stof (UFP) zijn deeltjes in de lucht, die kleiner zijn dan 0,1 μm . Het is bekend dat luchtverkeer zorgt voor een verhoogd aantal ultrafijne deeltjes in de lucht (onder andere Westerdahl *et al.*, 2008). Uit onderzoek is gebleken dat ook in Nederland de concentratie ultrafijne deeltjes rondom Schiphol verhoogd is (Bezemer *et al.*, 2015 en Weijers *et al.*, 2015). De betekenis hiervan voor de gezondheid van omwonenden is onduidelijk, omdat weinig bekend is over de gezondheidseffecten van ultrafijn stof, in het bijzonder van vliegverkeer. Daarom heeft het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gevraagd onderzoek te doen naar de gezondheidsrisico's van ultrafijn stof rondom luchthaven Schiphol (www.rivm.nl/ultrafijnstofschiphol). Een deel van dit onderzoek richt zich op de korte termijn effecten van ultrafijn stof op de longen van kinderen. Het onderzoek naar dit deel is uitgevoerd in samenwerking met RIVM (projectleider), Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS, Universiteit Utrecht), GGD Amsterdam en TNO (voorheen ECN). Doel van het deelonderzoek, beschreven in deze rapportage, was het verzamelen van data van UFP en roet op basisscholen rondom Schiphol. Deze data is in de studie van Janssen *et al.* (2019) gebruikt om te kijken naar de effecten van UFP en roet op longfunctie van kinderen. De reden dat ook roet is gemeten is dat ook hiervan bekend is dat dit longfuncties kan beïnvloeden (onder andere Janssen *et al.*, 2011). Om de mogelijke effecten van zowel UFP als roet te kunnen onderscheiden is het nodig beide te meten.

De data is door TNO en GGD Amsterdam verzameld gedurende één jaar op drie basisscholen in de omgeving van Schiphol (twee scholen in Aalsmeer, achtereenvolgens bemeten, en één school in Badhoevedorp). Naast deze metingen zijn er door IRAS één keer per week metingen aan de longfuncties van leerlingen gedaan (naast het bijhouden van een dagboek). De longfunctiemetingen en dagboekgegevens worden gecombineerd met de metingen van UFP en roet. Een beschrijving van deze resultaten worden gegeven in een andere rapportage (Janssen *et al.*, 2019).

Zoals aangegeven is de huidige rapportage gericht op de metingen van roet en UFP. Voor roet is gekeken naar concentraties. Voor UFP is gekeken naar de deeltjesgrootteverdeling. Hierbij wordt gekeken naar de deeltjesaantallen bij een bepaalde grootteverdeling (in dit geval variërend tussen de 10 en 1094 nm). Uit eerder onderzoek (Weijers *et al.*, 2015) blijkt dat de deeltjesaantallen in de kleinste klassen (10-20 nm) voor het overgrote deel afkomstig zijn van vliegtuigemissies.

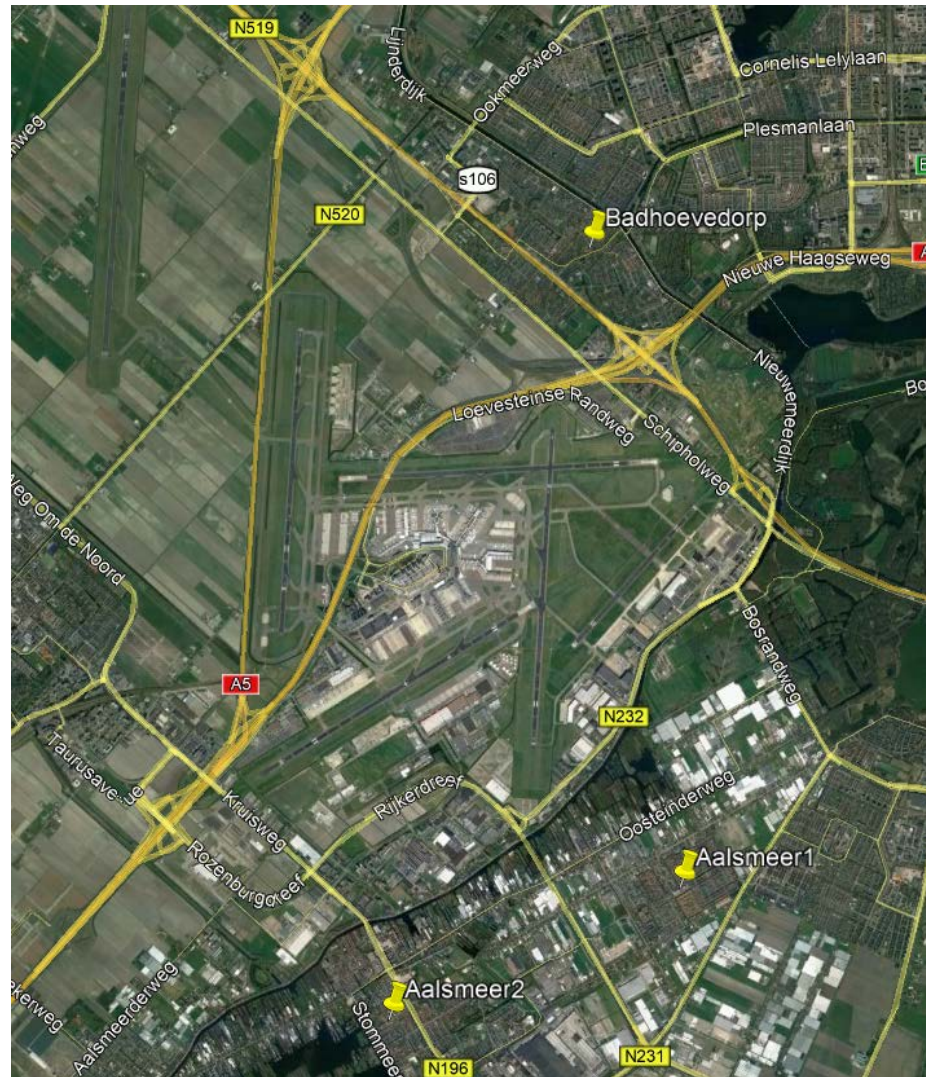
Voor het gezondheidsonderzoek van IRAS is het van belang dat de data, verzameld op de basisscholen, onderling vergelijkbaar is. Om dit te kunnen garanderen is er allereerst gebruik gemaakt van state-of-the-art apparatuur en is zowel de roet als de deeltjesgrootteverdeling gemeten met hetzelfde type apparatuur. Daarnaast is er een vergelijkingscampagne geweest voor de apparatuur zowel voor als na de metingen op de basisscholen. Op basis van deze vergelijkingscampagnes is de data gecorrigeerd en daarmee onderling vergelijkbaar.

In deze rapportage wordt in Hoofdstuk 2 de methode beschreven. In Hoofdstuk 3 worden de resultaten van de vergelijkingscampagnes getoond. Daarnaast worden de resultaten van de metingen op de basisscholen weergegeven. Door middel van dagelijkse gang en windroosanalyse wordt er gekeken naar eventuele bronnen van UFP en roet in de omgeving. Tenslotte worden in Hoofdstuk 4 de conclusies beschreven.

2 Methode

2.1 Meetopstelling

In totaal is de concentratie roet en de deeltjesgrootteverdeling op drie basisscholen bemeten (één school in Badhoevedorp en twee scholen in Aalsmeer, achtereenvolgens gemeten). De locaties van de scholen is aangegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Overzicht van de meetlocaties

De metingen van zowel deeltjesgrootteverdeling als roet zijn op twee locaties tegelijkertijd uitgevoerd door gebruik te maken van exact dezelfde type apparatuur voor beide locaties. Deze apparatuur is state-of-the-art apparatuur. Met name het bepalen van deeltjesaantallen van nanodeeltjes is een complexe aangelegenheid. De deeltjesgrootteverdeling is gemeten met een Mobility Particle Size Spectrometers (MPSS), in dit geval van het merk GRIMM. In dit systeem worden deeltjes met verschillende afmeting geselecteerd op basis van hun mobiliteit in een elektrisch (hoogspannings)veld. Deze selectie vindt plaats in een zogenaamde 'Differential Mobility Analyser', L-DMA (10 – 1094 nm). Het aantal deeltjes van de

selecteerde specifieke afmeting wordt vervolgens geteld met een zogenaamde 'Condensation Particle Counter', in dit geval GRIMM CPC typenummer 5.420. Door de hoogspanning in de tijd te veranderen worden deeltjes van verschillende afmetingen geteld zodat een deeltjesgrootteverdeling wordt verkregen. Omdat de elektrische mobiliteit van deeltjes wordt bepaald door de massa en het aantal elementaire ladingen op het deeltje, is het belangrijk dat het aerosol in ladingsevenwicht is gebracht met een zogenaamde 'neutraliser'. Het systeem dat in deze studie is gebruikt heeft daartoe een radioactieve bron voor de hoogspanningskolom geplaatst (type 5523-Ni [Ni-63 β bron], 5522-A [Am-241 α -bron] of zoals in deze studie gebruikt is Kr-85). De meegeleverde software rapporteert de deeltjesgrootte waarin reeds vele correcties zijn toepast. Van dit type GRIMM is aangetoond dat hij de kwaliteitsnormen gesteld door ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases, EU infrastructuur project) en GAW (Global Atmosphere Watch) haalt (Wolf-Benning *et al.*, 2017). In deze studie zijn de deeltjes aantallen bepaald binnen 45 kanalen met een grootteklasse variërend van 10 tot en met 1094 nm. Deze 45 kanalen zijn vervolgens teruggebracht naar 7 klassen. Deze 7 klassen zijn vergelijkbaar aan die gebruikt binnen het JOAQUIN EU-project (Staelens *et al.*, 2015) met uitzondering van de grootste klassen die binnen deze studie is toegevoegd. Hierdoor is de onderverdeling in groottes als volgt; 10-20 nm, 20-30 nm, 30-50 nm, 50-70 nm, 70-100 nm, 100-200 nm en 200-1094 nm.

De concentratie roet bij de scholen is gemeten met een Multi-Angle Absorption Photometer (MAAP) van ThermoFisher Scientific, modelnummer 5012. De MAAP verzamelt stof op een verzameld glasvezelfilter. Vervolgens meet de MAAP de absorptiecoëfficiënt door onder verschillende hoeken de verstrooiing te meten. Door interne kalibratie wordt vervolgens de roet equivalent bepaald (Equivalent Black Carbon). Binnen deze studie spreken we over roet, maar strikt genomen is alleen de licht absorptie eigenschap van roet gemeten.

De gebruikte apparatuur is ingebouwd in een opstelling, beheerd ofwel door TNO ofwel door de GGD Amsterdam. Beide opstellingen stonden in een klimaat gecontroleerde ruimte. In het geval van TNO stond de apparatuur in een trailer (Figuur 2). De apparatuur van de GGD Amsterdam stond in een container (zie Figuur 2). De opstelling, zoals gebruikt door TNO, wordt weergegeven in Figuur 3.



Figuur 2: TNO trailer (links) en GGD container (rechts) waarbinnen de metingen zijn uitgevoerd.



Figuur 3: Opstelling binnen de TNO trailer met links de GRIMM en recht de MAAP.

2.2 Meetperiode

TNO doet er alles aan om de meetgegevens onderling op de twee locaties vergelijkbaar te houden. Om dit te kunnen garanderen wordt de apparatuur gedurende twee vergelijkingscampagnes onderling vergeleken. De eerste vergelijkingscampagne vond plaats voorafgaand aan de daadwerkelijke metingen bij de basisscholen van 7-11-2017 tot en met 28-11-2017. Hierbij is alle apparatuur naast elkaar gezet bij een meetstation van de GGD Amsterdam nabij de Polderbaan.

De daadwerkelijke metingen op locatie vonden plaats van 1-12-2017 tot en met 10-12-2018. Gedurende de zomervakantie (20-7-2018 tot en met 3-9-2018) is op de locatie Aalsmeer niet doorgemeten, aangezien de longmetingen op de school gedurende deze periode ook niet uitgevoerd zijn. GGD Amsterdam heeft besloten de metingen in Badhoevedorp wel te continueren in deze periode ook al was dit niet noodzakelijk. TNO voerde de metingen uit op twee scholen in Aalsmeer. De metingen zijn gestart op de school Aalsmeer 1 en de opstelling is na de voorjaarsvakantie (op 28-2-2018) verplaatst naar Aalsmeer 2. Dit is gedaan omdat de metingen aan longfunctie door IRAS van de ene basisschool naar de andere werden verplaatst. De GGD Amsterdam voerde de metingen uit op een school in Badhoevedorp.

Na de metingen op de basisscholen is er opnieuw een vergelijkingscampagne geweest, dit keer van 10-12-2018 tot en met 3-1-2019. Op basis van deze vergelijkingscampagnes zijn correctiefactoren voor de apparatuur bepaald, deze zijn lineair geïnterpoleerd tussen de eerste en tweede vergelijkingscampagne. Deze correctiefactoren zijn vervolgens toegepast op de metingen van de basisscholen.

2.3 Dataverwerking

De data zijn opgeslagen in lokale wintertijd. Hierdoor zijn ook alle data, getoond in deze rapportage, in wintertijd. In deze rapportage worden van alle gemeten waarden uurgemiddeldes getoond. Voor de MAAP is de data verzameld op één minuut basis. De GRIMM heeft data verzameld op 10 minuten basis (de tijd die het kost om één scan te maken over de verschillende deeltjesgroottes). Bij het maken van de uurgemiddeldes moest voor beide minimaal 75% (oftewel 45 minuten voor de MAAP en 50 minuten voor de GRIMM) van de data aanwezig zijn.

Tijdens de vergelijkingscampagnes zijn de correctiefactoren bepaald door middel van een lineaire regressie getrokken door het nulpunt. Hierdoor wordt er alleen

gewerkt met een factor en niet met een offset. Voor de bepaling van de deeltjesgrootteverdeling bleek dat voor de klassen tussen 10-20nm en 20-30nm nabij de Polderbaan veel meer deeltjes werden geteld dan op locatie bij de basisscholen. Om te voorkomen dat de correctiefactoren werden gedomineerd door deze hoge aantallen werden voor de lagere twee klassen (deeltjes kleiner dan 30 nm) deeltjes aantallen boven een bepaalde waarden niet meegenomen. Voor de klassen tussen 10 en 20 nm werden deeltjesaantallen boven de $100.000 \text{ \# cm}^{-3}$ niet meegenomen. Voor de klassen tussen 20 en 30 nm zijn deeltjesaantallen boven de $50.000 \text{ \# cm}^{-3}$ niet meegenomen.

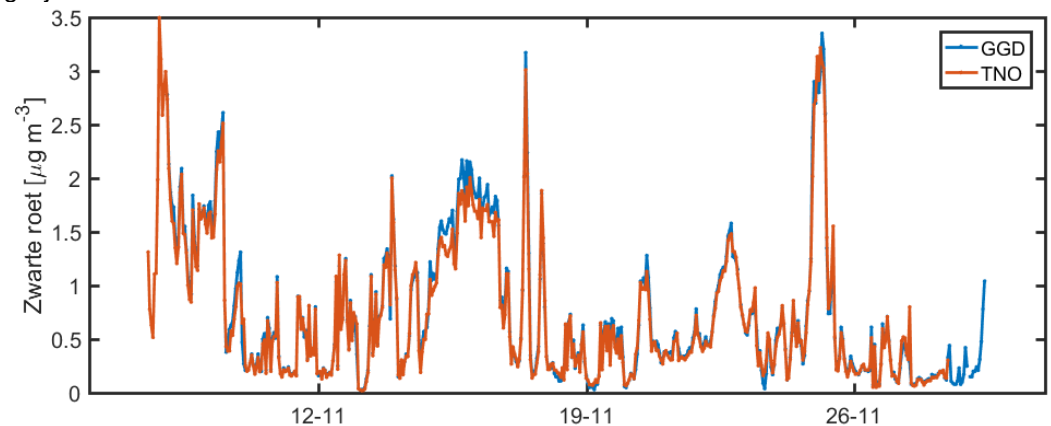
3 Resultaten

Allereerst worden de resultaten van de vergelijkingscampagnes getoond. Op basis van deze campagnes zijn de metingen op de basisscholen gecorrigeerd. In de resultaten van de metingen op de basisscholen (Paragraaf 3.2) worden dan ook alleen gecorrigeerde waardes getoond.

3.1 Vergelijkingscampagnes

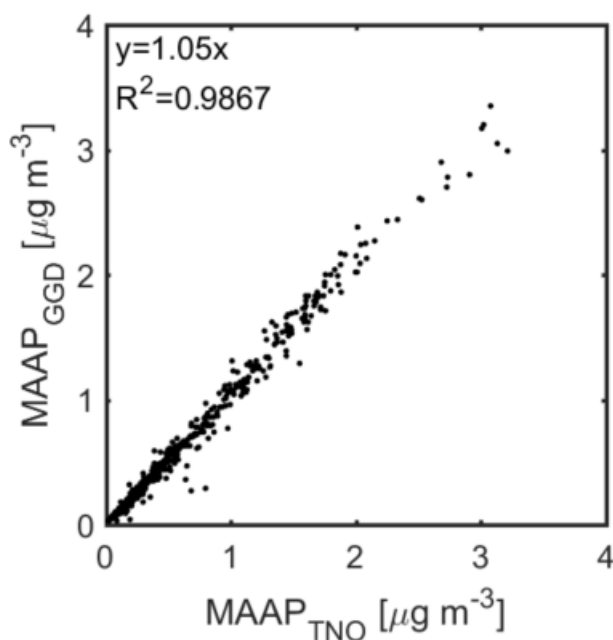
3.1.1 Campagne 1

In Figuur 4 staan de tijdseries van de gemeten roetconcentraties van de twee MAAP's. Te zien is dat de signalen van de twee MAAP's goed met elkaar overeen komen. De concentraties gemeten met de twee MAAP's zijn nagenoeg aan elkaar gelijk.



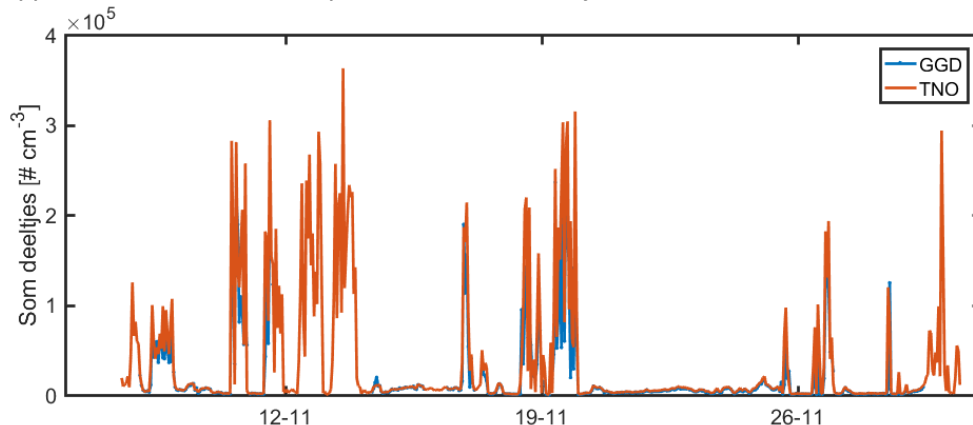
Figuur 4: Tijdseries van de gemeten roetconcentraties tijdens de eerste vergelijkingscampagne met de MAAP van de GGD Amsterdam en TNO.

In Figuur 5 is de één op één vergelijking zichtbaar van de twee MAAP's. Ook de lineaire fit door de oorsprong wordt getoond. Het is duidelijk dat de spreiding tussen de twee MAAP's nihil is ($R^2=0,99$). De roetconcentratie van de MAAP van TNO wordt onderschat ten opzichte van die van de MAAP van GGD Amsterdam. Doordat de twee MAAP's zo goed overeen komen maakt de daadwerkelijke keuze van de standaard weinig verschil. Er is er in dit geval voor gekozen de gemeten waarden van de TNO MAAP te corrigeren naar die van de GGD MAAP. De correctiefactor wordt bepaald uit de lineaire fit en is in dit geval 1,05.



Figuur 5: Eén op één vergelijking van de roetconcentratie gemeten met de MAAP van TNO (x-as) en die van de GGD Amsterdam (y-as) tijdens de eerste vergelijkingscampagne.

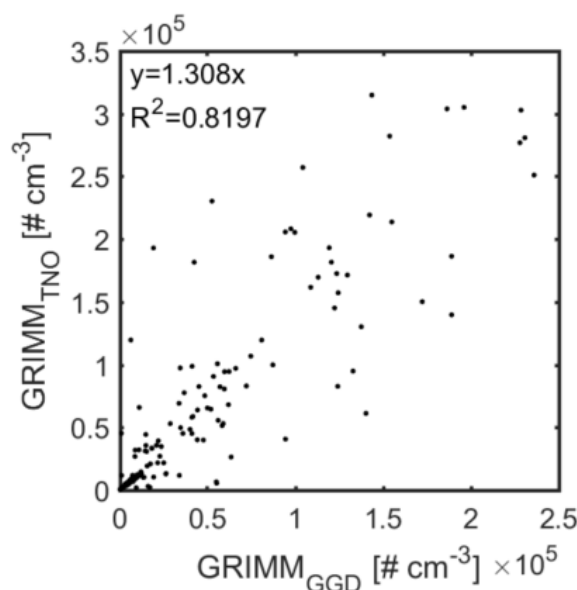
Voor de deeltjesgrootteverdeling is er allereerst gekeken naar de som van het aantal deeltjes (totaal aantal deeltjes tussen 10 en 1094nm) op uurgemiddelde basis. Figuur 6 toont de tijdserie van de som van het aantal deeltjes. De twee apparaten meten hetzelfde patroon in totale deeltjesaantallen.



Figuur 6: Tijdserie van de som van het aantal deeltjes gemeten met de GRIMM van GGD Amsterdam en TNO tijdens de eerste vergelijkingscampagne.

In Figuur 7 staat de één op één vergelijking van de som van het aantal deeltjes, gemeten met de GRIMM van TNO en van de GGD Amsterdam. De spreiding tussen de meting is, gezien het feit dat het dezelfde apparatuur is en dezelfde grootte, middelmatig ($R^2=0,81$). Het valt op dat vooral voor hogere deeltjesaantallen er veel spreiding is tussen de apparatuur onderling. Het is onduidelijk waardoor dit veroorzaakt wordt. Een mogelijke verklaring ligt in het feit dat de temporele variabiliteit zeer hoog is. Voor het meten van een gehele deeltjesgrootte verdeling is 10 minuten nodig, beide instrumenten meten daarom in de praktijk nooit gelijktijdig. Bij het creëren van uurgemiddelden (uit zes waarden), kan een enkele gebeurtenis met zeer hoge concentratie het gemiddelde behoorlijk

domineren. Door de data op te delen in de 7 deeltjesgrootteklassen wordt mogelijk beter duidelijk waardoor dit komt.

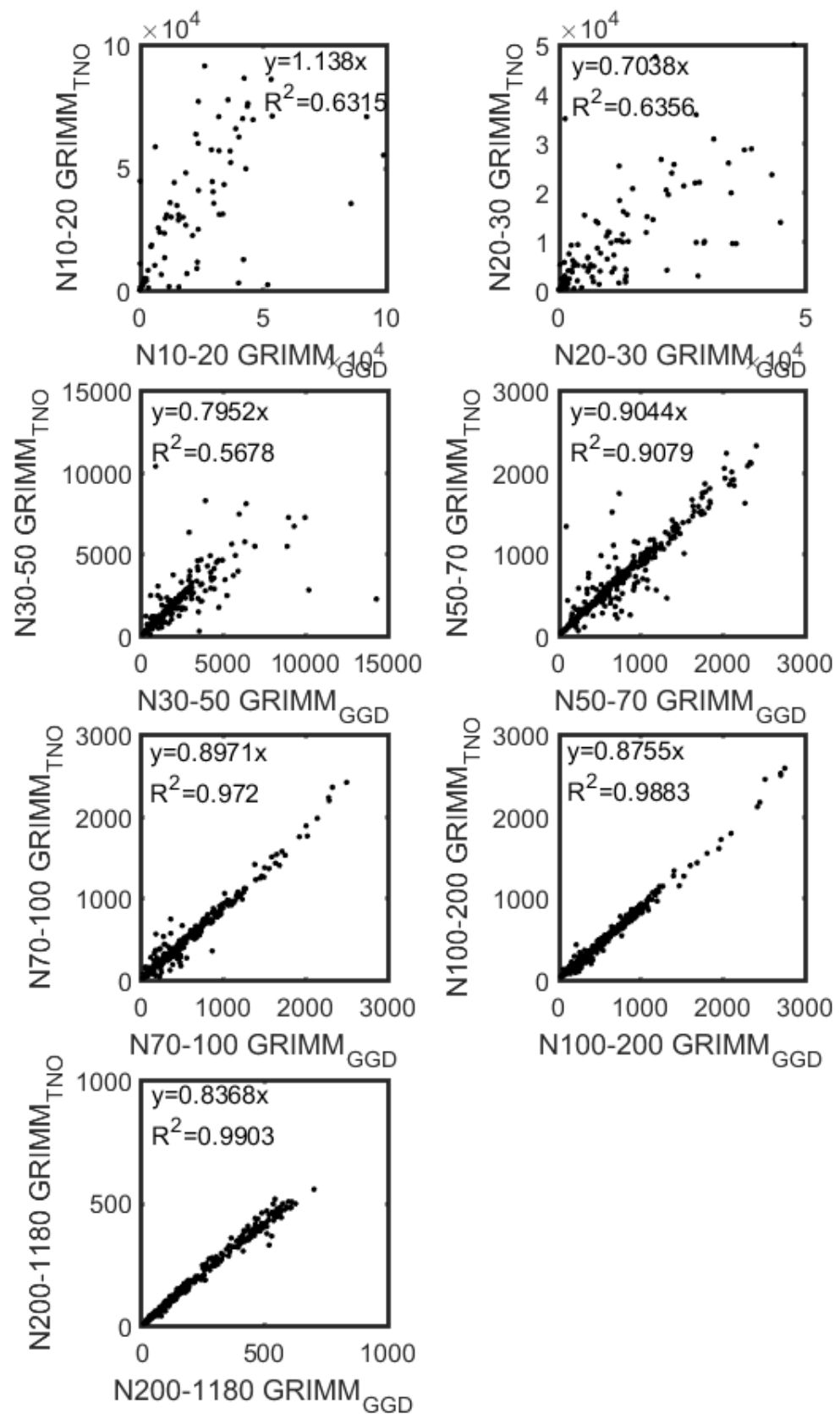


Figuur 7: Eén op één vergelijking van de totale deeltjesaantallen gemeten met de GRIMM van de GGD Amsterdam (x-as) en die van TNO (y-as) tijdens de eerste vergelijkingscampagne.

De correcties worden uitgevoerd op de JOAQUIN-klassen en niet op de gemeten totaal aantal deeltjes. Het resultaat voor de verschillende klassen is zichtbaar in Figuur 8. De spreiding tussen de twee GRIMM's is lager voor de hogere klassen (elke klasse met een deeltjesgrootte boven de 70 nm heeft een R^2 van 0,97 of hoger). Het is bekend dat hoe kleiner de deeltjes hoe lastiger het is de absolute waarden van het aantal deeltjes te meten. Verschillen kunnen echter nog steeds goed gemeten worden (persoonlijke communicatie J.S. Henzing 17-05-2019). Hiernaast wordt deze grotere spreiding voor kleinere deeltjes deels mogelijk veroorzaakt door het feit dat de vergelijkingsmetingen zeer dichtbij de Polderbaan plaatsvinden (afstand van circa 400 m). Deze luchtvaart stoot met name kleine deeltjes uit (Stacey, 2019), waardoor een pluim net wel of niet meenemen van invloed kan zijn op de metingen. Verder valt op dat voor de laagste klassen (grootte tussen 10 en 20 nm) de GRIMM van TNO meer deeltjes meet dan die van GGD Amsterdam. Voor de overige klassen is het andersom en meet de GRIMM van GGD Amsterdam meer deeltjes dan die van TNO. Wanneer de spectra van de deeltjesgrootteverdeling bekeken wordt (hier niet getoond) ziet de spectra van de GRIMM TNO er beter uit (minder grillig). Hierdoor is ervoor gekozen de data van de GRIMM van GGD Amsterdam te corrigeren naar die van TNO. De correctiefactor en de bijbehorende betrouwbaarheid (in de vorm van R^2) per klassen zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Correctiefactoren en bijbehorende betrouwbaarheid voor de GRIMM van GGD Amsterdam per grootteklassen verkregen tijdens de eerste en tweede vergelijkingscampagne

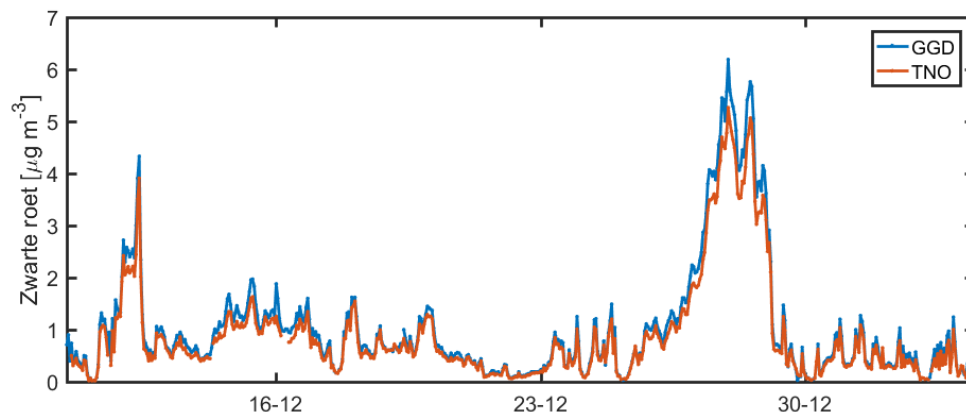
Grootteklassen [nm]	Correctiefactoren		Betrouwbaarheid (R ²)	
	Campagne 1	Campagne 2	Campagne 1	Campagne 2
10-20 nm	1,14	1,43	0,63	0,67
20-30 nm	0,70	1,06	0,64	0,72
30-50 nm	0,80	0,92	0,57	0,85
50-70 nm	0,90	0,98	0,91	0,93
70-100 nm	0,90	0,98	0,97	0,98
100-200 nm	0,88	0,96	0,99	1,00
200-1094 nm	0,84	0,96	0,99	0,98



Figuur 8: Eén op één vergelijking van de deeltjesaantallen gemeten met de GRIMM van de GGD Amsterdam (x-as) en die van TNO (y-as) tijdens de eerste vergelijkingscampagne voor de verschillende klassen (grootte aangegeven op de x en y-assen).

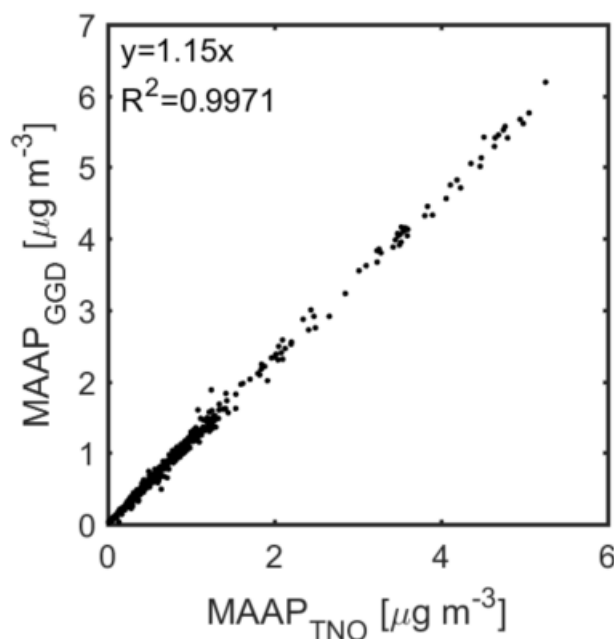
3.1.2 Campagne 2

De tijdseries van de gemeten roetconcentraties tijdens deze periode zijn zichtbaar in Figuur 9. Opnieuw is het patroon van gemeten roetconcentraties van de twee MAAP's hetzelfde. De MAAP van de GGD meet licht verhoogde waarden van roetconcentraties ten opzichte van die van TNO. Dit zagen we ook in vergelijkingscampagne 1.



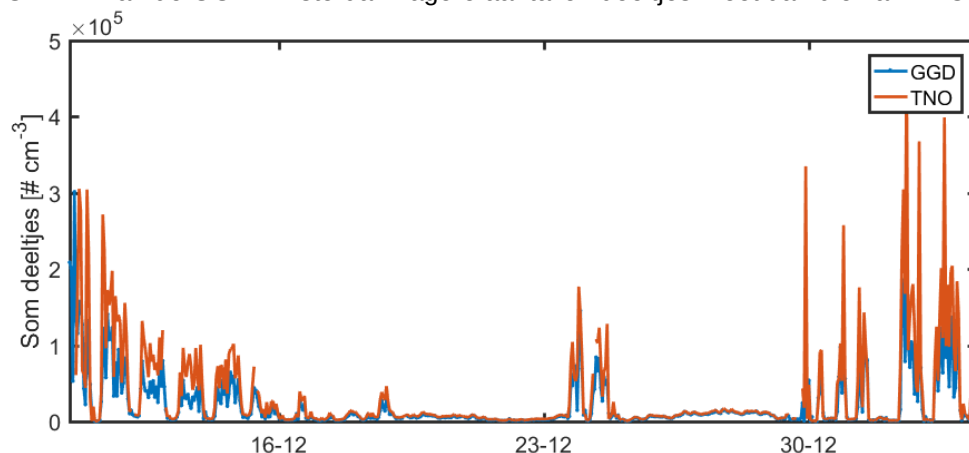
Figuur 9: Tijdseries van de gemeten roetconcentraties tijdens de tweede vergelijkingscampagne met de MAAP van de GGD Amsterdam en TNO.

Uit de één op één vergelijking (Figuur 10) blijkt dat de spreiding tussen de twee MAAP's opnieuw zeer laag is ($R^2 > 0,99$). De bijbehorende correctiefactor voor de MAAP van TNO volgt uit de regressievergelijking en is in dit geval 1,15. Dit is 10% hoger dan de correctiefactor gevonden tijdens de eerste vergelijkingscampagne. Dit is meer dan je van een MAAP mag verwachten, maar aangezien de spreiding tussen de apparaten laag is en het niveauverschil bekend kan hiervoor gecorrigeerd worden. Deze twee correctiefactoren worden dan ook lineair geïnterpoleerd over de tijd om de correctie op de data, verzameld op de basisschool, toe te passen.



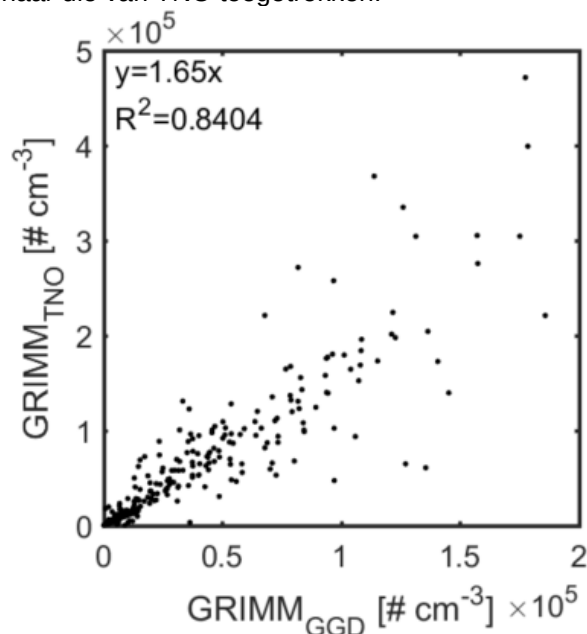
Figuur 10: Eén op één vergelijking van de roetconcentratie gemeten met de MAAP van TNO (x-as) en die van de GGD Amsterdam (y-as) tijdens de tweede vergelijkingscampagne.

De som van de deeltjesaantallen, gemeten met de twee GRIMM's, is zichtbaar in Figuur 11. Het patroon van het totaal aantal deeltjes gemeten met de twee GRIMM's komt met elkaar overeen. Er is echter wel duidelijk zichtbaar dat de GRIMM van de GGD Amsterdam lagere aantallen deeltjes meet dan die van TNO.



Figuur 11: Tijdserie van de som van het aantal deeltjes gemeten met de GRIMM van GGD Amsterdam en TNO tijdens de tweede vergelijkingscampagne.

Uit Figuur 12 blijkt dat de spreiding tussen de twee GRIMM's redelijk laag is (R^2 van 0,84). Deze spreiding is lager dan die in de eerste vergelijkingscampagne (toen was de R^2 0,81). Het is opvallend dat de som van het aantal deeltjes gemeten met de GRIMM van GGD nog minder deeltjes meet dan de GRIMM van TNO (regressiefactor is van 1,31 naar 1,65 gegaan). Door het bepalen en toepassen van de correctiefactoren wordt ook de som van het aantal deeltjes van de GRIMM GGD naar die van TNO toegetrokken.

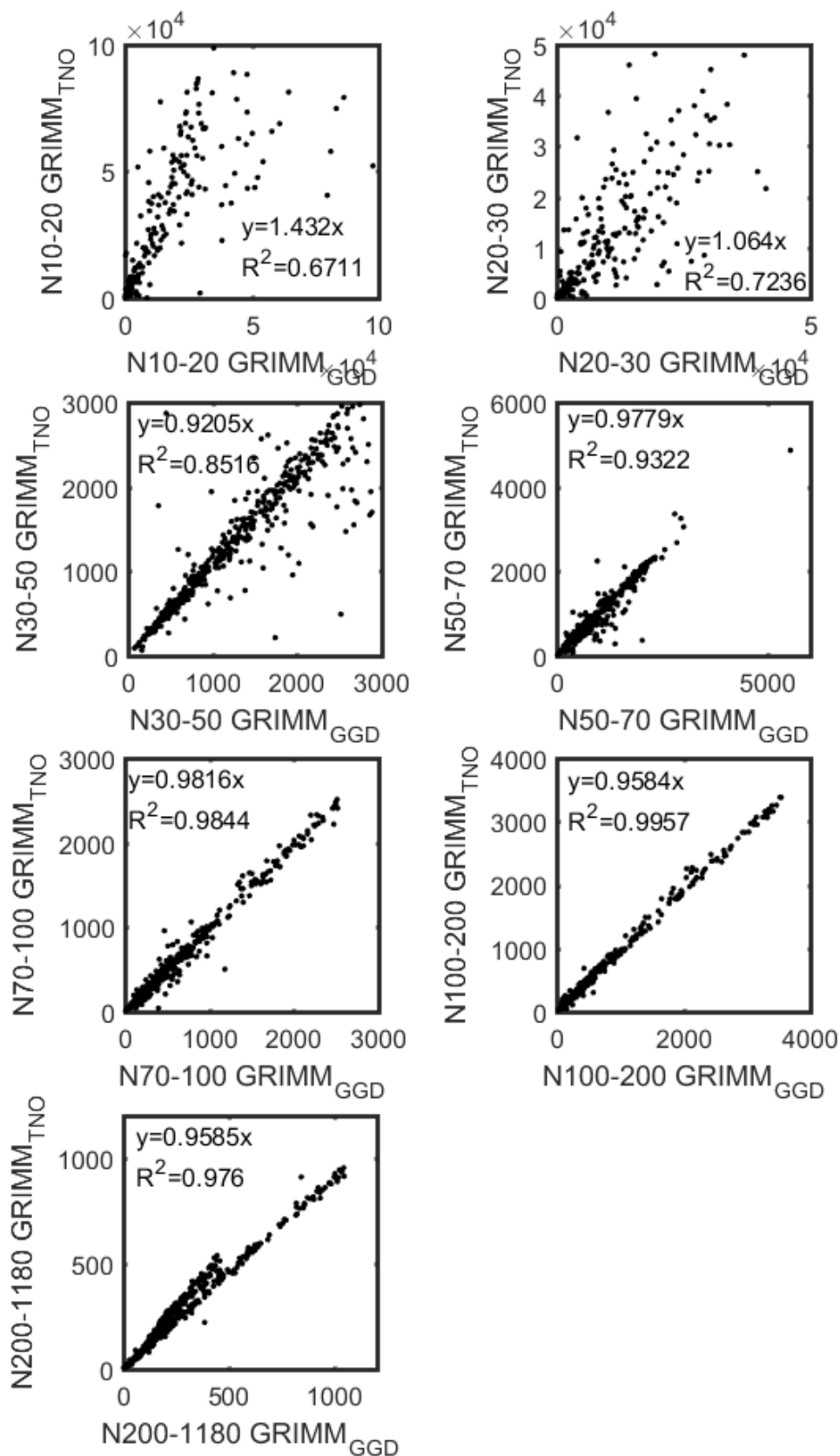


Figuur 12: Eén op één vergelijking van de totale deeltjesaantallen gemeten met de GRIMM van de GGD Amsterdam (x-as) en die van TNO (y-as) tijdens de tweede vergelijkingscampagne.

In Figuur 13 staat de uitsplitsing van deeltjesaantallen per JOAQUIN-klassen. De spreiding is, net als bij vergelijkingscampagne 1, lager voor de grotere

deeltjesklassen (R^2 van boven de 0,98 voor deeltjesklassen groter dan 70 nm). Opvallend is het resultaat van de kleinste klassen (van 10 tot 20 nm): hier meet de TNO GRIMM bijna anderhalf keer zoveel dan de GGD GRIMM (regressiefactor van 1,4). In vergelijkingscampagne 1 was er ook een onderschatting van GGD GRIMM ten opzicht van TNO GRIMM, maar niet zo extreem (met toen een regressiefactor van 1,1). Om te verifiëren dat dit niet aan de werking van de apparatuur ligt heeft er een onderhoudsbeurt op 19-12-2018 plaatsgevonden aan de GGD GRIMM. In de periode na dit onderhoud is er geen verbetering zichtbaar voor de laagste deeltjesklassen. Wel is er voor de hogere deeltjesklassen (200 tot 1094 nm) een verschil waarneembaar in de vergelijking tussen de twee GRIMM's voor en na het onderhoud. Aangezien regulier ook soortgelijk onderhoud plaatsvond gedurende de metingen is de correctiefactor bepaald gedurende de gehele vergelijkingscampagne.

Het verschil tussen de correctiefactor voor de kleinste klassen wordt waarschijnlijk deels veroorzaakt door de ruis (met R^2 van 0,63 en 0,67) waardoor de richtingscoëfficiënt minder goed gedefinieerd is voor deze kleinste deeltjes klassen. Dit toont opnieuw aan hoe lastig het is de absolute waarden van deeltjesaantallen van deze laagste klassen te meten. Naast de hogere spreiding heeft de apparatuur voor langere tijd in het veld gestaan, wat de betrouwbaarheid kan beïnvloeden. Dit is de reden dat de apparatuur na één jaar aan metingen voor een onderhoudsbeurt terug gaat naar de fabrikant waar ook opnieuw een kalibratie uitgevoerd wordt. Door het uitvoeren van de vergelijkingscampagnes is het alsnog mogelijk de metingen op locatie onderling te vergelijken. Deze campagnes tonen dan ook hoe belangrijk het is dat, wanneer gedurende langere tijd gemeten wordt met meerdere meetapparatuur, de apparatuur naast elkaar vergeleken wordt. De gevonden correctiefactoren per klassen voor vergelijkingscampagne 2 zijn zichtbaar in Tabel 1.

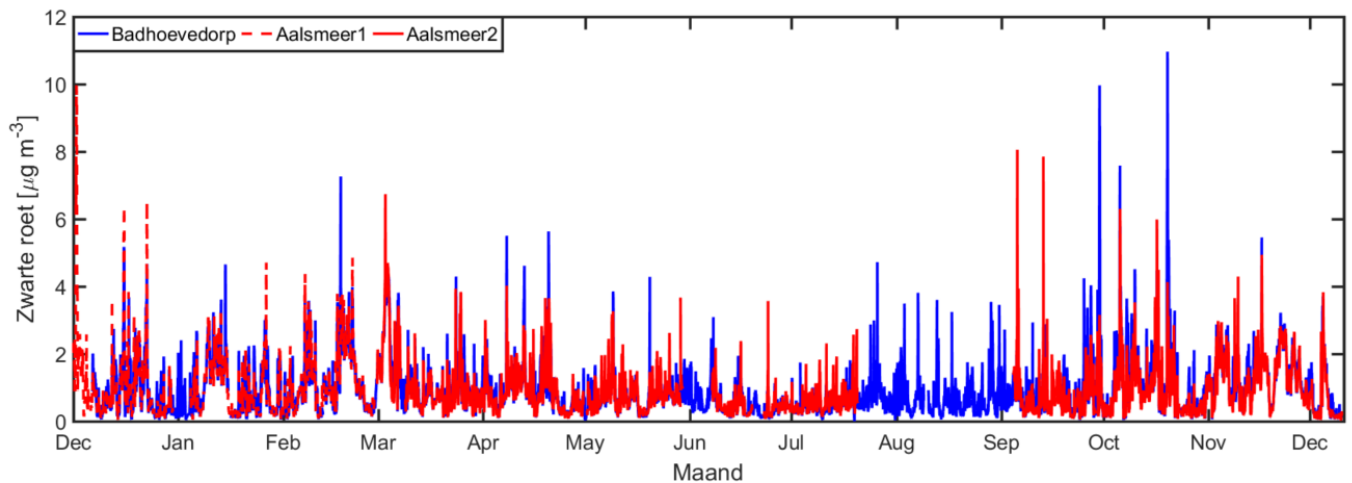


Figuur 13: Eén op één vergelijking van de deeltjesaantallen gemeten met de GRIMM van de GGD Amsterdam (x-as) en die van TNO (y-as) tijdens de tweede vergelijkingscampagne voor de verschillende klassen (grootte aangegeven op de x en y-assen).

3.2 Metingen op de basisscholen

3.2.1 Roetconcentraties

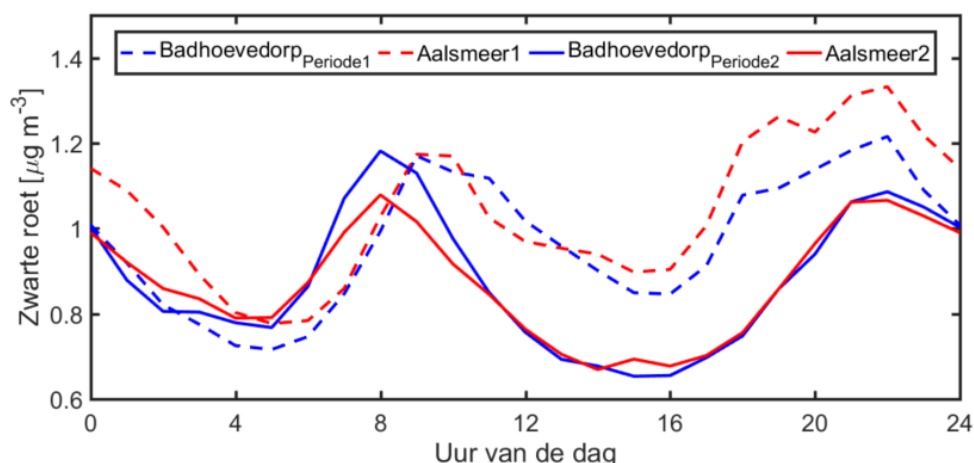
Figuur 14 toont de tijdserie van de gemeten roetconcentraties op de drie basisscholen. Wat opvalt is dat het patroon van de signalen van Badhoevedorp en Aalsmeer van roet met elkaar overeen komen. Om een duiding te krijgen welke bronnen mogelijk de roetconcentraties beïnvloeden kijken we naar de dagelijkse gang en windrozen.



Figuur 14: Tijdserie van de roetconcentratie gemeten op de basisscholen in Badhoevedorp en Aalsmeer.

In Figuur 15 is de dagelijkse gang van roet geplot. Hierbij is de data verzameld in Badhoevedorp opgesplitst in twee periodes, zodat deze te vergelijken is met de metingen in Aalsmeer op de twee basisscholen. Als eerste bekijken we de eerste periode. Hierbij daalt de concentratie gedurende de nacht en loopt deze weer op gedurende de ochtend na 7 uur om vervolgens na 12 uur weer af te nemen en na 16 uur weer te stijgen. Hiermee zien we tijdens beide verkeersspitsen ('s ochtends en 's avonds) een piek in de roetconcentraties.

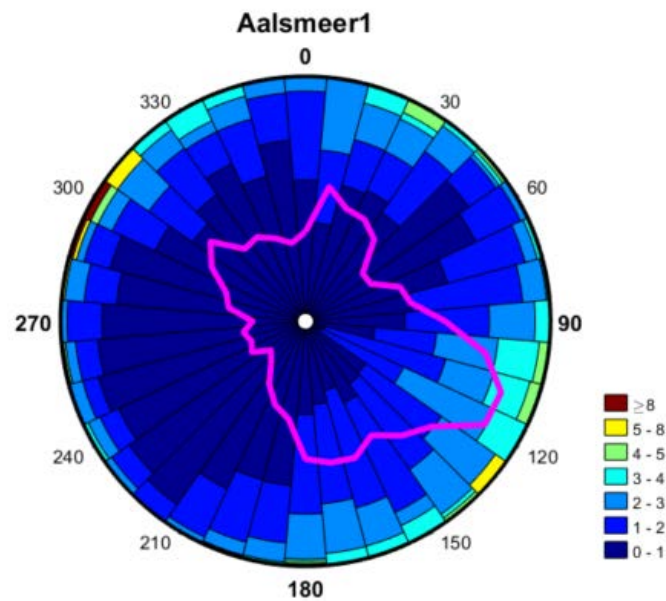
Ook voor de tweede school in Aalsmeer en de tweede periode in Badhoevedorp is een duidelijk patroon zichtbaar met twee pieken (één in de ochtend en één in de avond). Wegverkeer is hiermee dan ook waarschijnlijk een belangrijke bron van roet op deze locaties.



Figuur 15: Gemiddelde dagelijkse gang van roet waarbij Badhoevedorp voor periode 1 van 1-12-2017 tot en met 27-2-2018 en periode 2 van 28-2-2018 tot en met 10-12-2018.

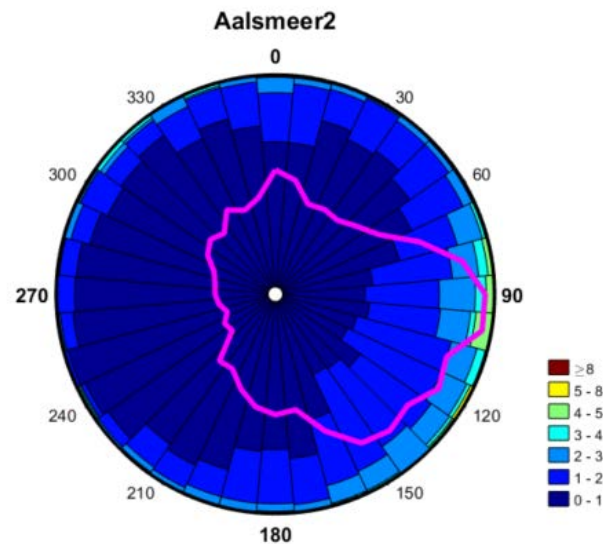
In Figuur 16 staat de windroos voor de roetconcentraties voor de eerste basisschool in Aalsmeer. Hierbij wordt gekeken naar welke roetconcentraties er gemeten worden bij een bepaalde windrichting. In dit geval is de windroos geplot in de vorm van een histogram. Hierbij stellen de kleuren een bepaalde roetconcentratie voor. Hoe vaker een bepaalde roetconcentratie voorkomt hoe langer het vakje is met deze kleur. De windrichting van het KNMI-station op Schiphol is gebruikt. Bij het analyseren van de windrozen is ook van belang te realiseren dat sommige windrichtingen minder vaak voorkomen dan andere, wat het resultaat kan beïnvloeden. Met name voor de metingen op de eerste school in Aalsmeer kan dit een rol spelen, aangezien er hier relatief kort is gemeten (3 maanden). In deze 3 maanden is de wind met name uit het westen gekomen en ook relatief vaak uit het zuiden en oosten. Het noorden en zuidoosten is relatief weinig bemeten.

De windroos voor Aalsmeer 1 laat met name een verhoging van roet zien vanuit oostzuidoost (120 en 130°). Roetconcentraties onder $1 \mu\text{g m}^{-3}$ komen hier nauwelijks voor. Deels kan dit worden veroorzaakt doordat deze windrichting niet vaak voorkomt. Hiernaast zien we ook uit het zuiden hogere roetconcentraties. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de N231, die ten zuidoosten van de basisschool loopt. Ook vanuit het noordwesten zijn verhoogde concentraties roet waargenomen. In deze richting bevindt zich zowel de luchthaven Schiphol als de snelweg A4.



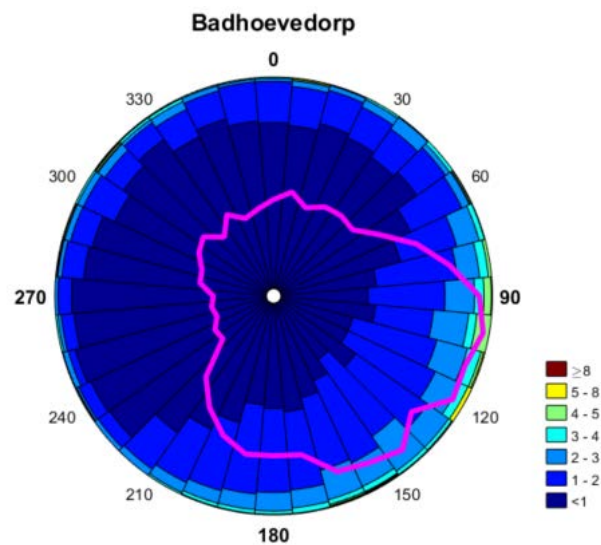
Figuur 16: Windroos in de vorm van een histogram voor roet voor de locatie Aalsmeer 1, met in magenta de gemiddelde roetconcentratie per windrichting.

Voor de tweede school in Aalsmeer worden er duidelijk verhoogde roetconcentraties gemeten wanneer de wind vanuit het oosten tot zuidoosten komt (zie Figuur 17). Meest waarschijnlijke bron uit deze windrichting is de N196. Uit de windrichting van Schiphol en de A4 (Noord/Noordwest voor deze locatie) komt tijdens de meetperiode geen verhoogde roetconcentraties.



Figuur 17: Windroos in de vorm van een histogram voor roet voor de locatie Aalsmeer 2, met in magenta de gemiddelde roetconcentratie per windrichting.

De windroos van roet voor Badhoevedorp is zichtbaar in Figuur 18. Ook hier worden er verhoogde roetconcentraties gemeten vanuit het oosten en zuidoosten. Mogelijke bron uit deze richting is de snelweg A4. Echter vanuit de snelweg A9 (ten zuidwesten van het meetpunt) worden geen verhoogde waarden gemeten. Ook vanuit luchthaven Schiphol dat ten zuidwesten van het meetpunt ligt is geen verhoogde roetconcentratie zichtbaar.

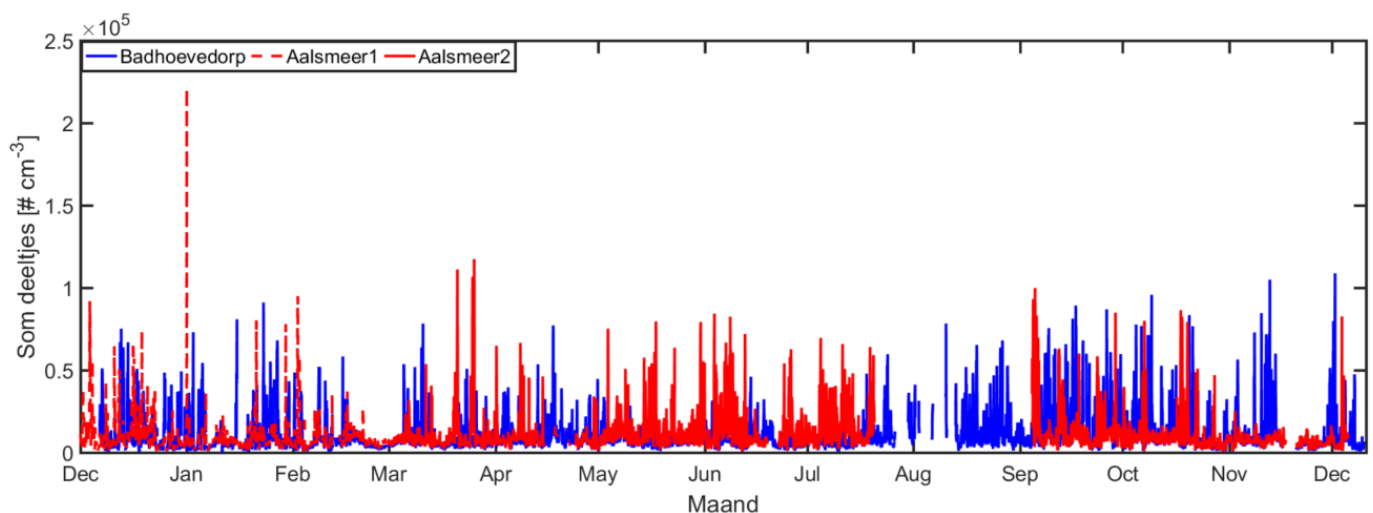


Figuur 18: Windroos in de vorm van een histogram voor roet voor de locatie in Badhoevedorp, met in magenta de gemiddelde roetconcentratie per windrichting.

Bij een lokale bron in de omgeving verwacht je dat de windroos voor twee verschillende locaties een ander patroon laat zien (in vorm ofwel in de gemeten concentraties). De sterke overeenkomst in de windroos tussen de locatie Aalsmeer 2 en Badhoevedorp doet daarom vermoeden dat roet als een deken om deze omgeving ligt. De locatie Aalsmeer 1 is vermoedelijk te kort bemeten om een representatieve windroosanalyse uit te kunnen voeren. Ook de overeenkomstige patronen in tijdserie (zichtbaar in Figuur 14) doet vermoeden dat het hier om een deken aan roetdeeltjes gaat.

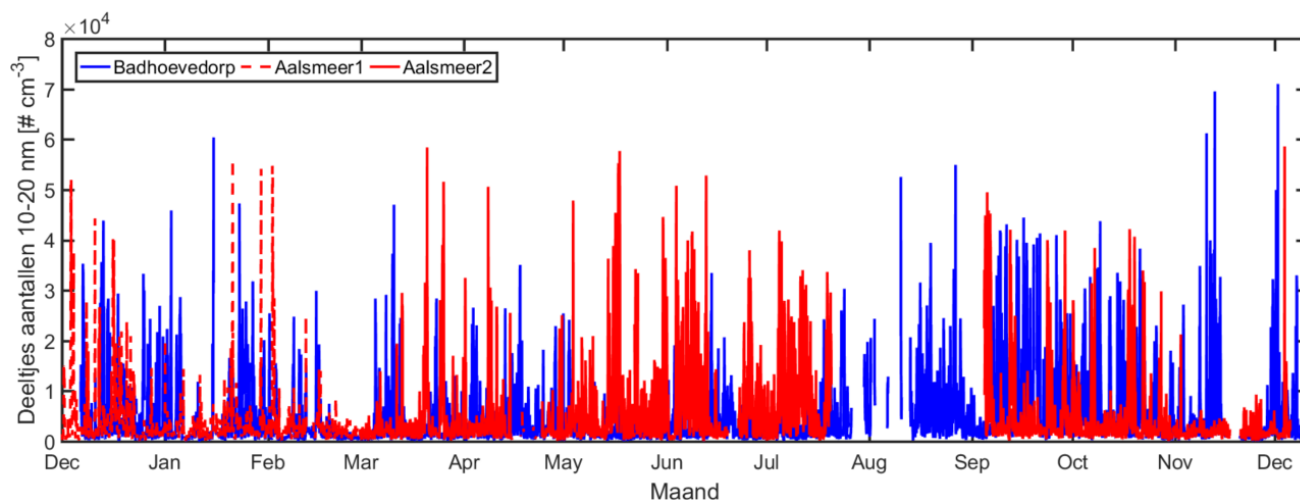
3.2.2 Deeltjesgrootteverdeling

De tijdserie van de som van het aantal gemeten deeltjes op de basisscholen is zichtbaar in Figuur 19. Er zijn duidelijke events zichtbaar waarbij de som van het aantal deeltjes piekt. Over het algemeen zijn deze events plaatsgebonden en vinden ze plaats ofwel in Badhoevedorp ofwel in Aalsmeer.



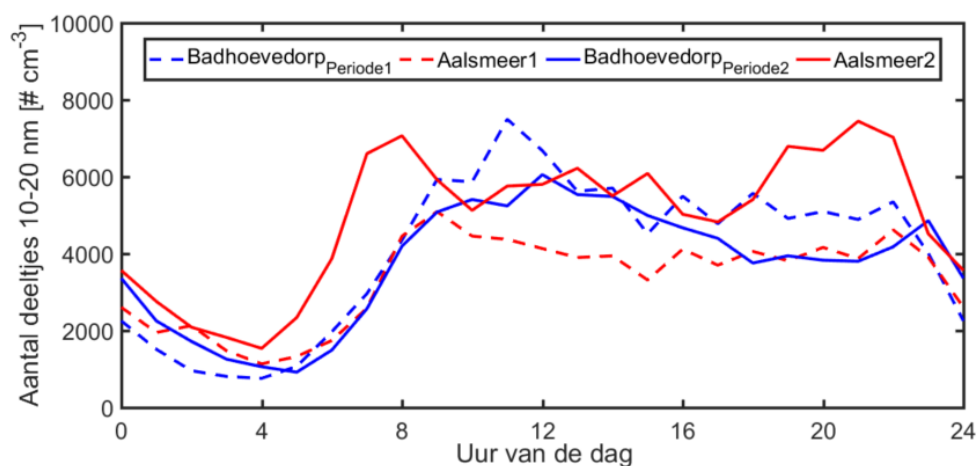
Figuur 19: Tijdserie van de som van het aantal deeltjes gemeten op de basisscholen in Badhoevedorp en Aalsmeer.

In Figuur 20 staan de tijdseries van de kleinste deeltjesklassen. Uit deze tijdseries blijkt dat voor deze kleinste klassen het aantal deeltjes zeer variabel is en er veel events zijn van enkele uren.



Figuur 20: Tijdserie van het aantal deeltjes tussen 10 en 20 nm gemeten op de basisscholen in Badhoevedorp en Aalsmeer.

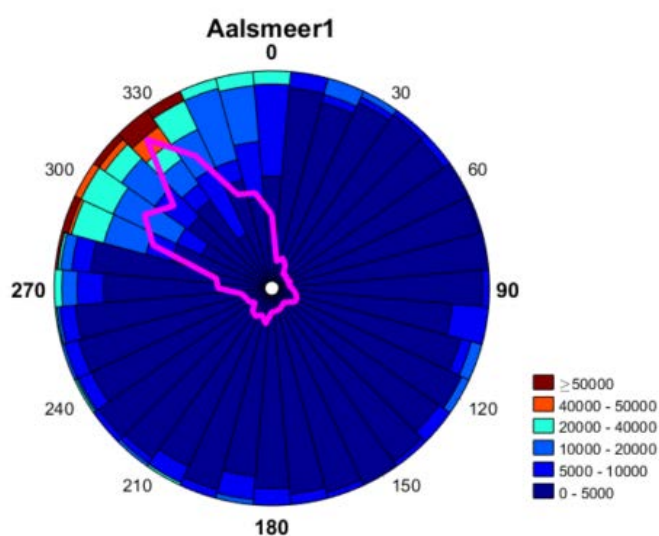
De locaties laten allemaal een duidelijke dagelijkse gang zien (zie Figuur 21). Hierbij zijn er duidelijk lagere deeltjes aantallen gedurende de nacht, met een minimum rond 4 uur (lokale wintertijd). Overdag zijn de deeltjes aantallen relatief stabiel van 8 uur 's ochtends tot 8 uur 's avonds. Dit duidt op een bron, die met name overdag actief is en niet 's nachts. De meest waarschijnlijke bron en de omgeving is in dit geval de luchthaven Schiphol, waar de vluchten met name overdag plaatsvinden.



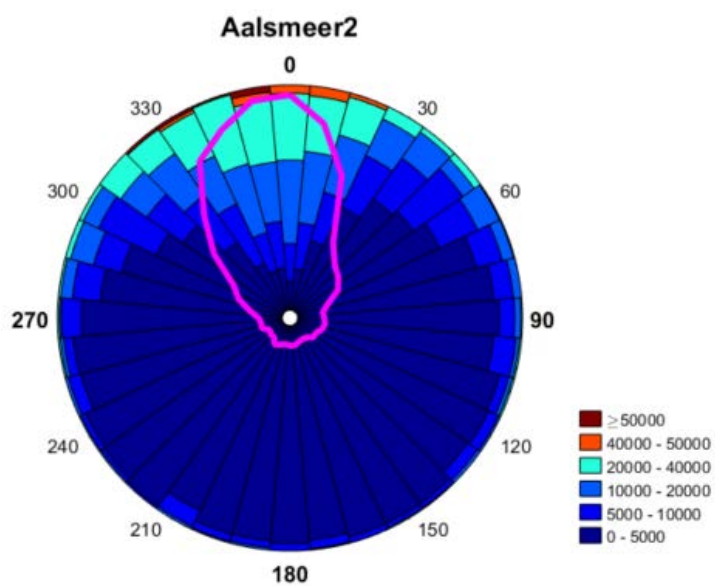
Figuur 21: Gemiddelde dagelijkse gang van aantal deeltjes in de klassen tussen 10 en 20 nm, waarbij Badhoevedorp voor periode 1 van 1-12-2017 tot en met 27-2-2018 en periode 2 van 28-2-2018 tot en met 10-12-2018.

Om dit nader te onderzoeken zijn in Figuur 22, Figuur 23 en Figuur 24 de windrozen geplot. Alle locaties laten een duidelijke piek in deeltjesaantallen zien vanuit een bepaalde richting. Ook voor de locatie Aalsmeer 1 is dit het geval. Dit betekent dat, ondanks het feit dat bepaalde windrichtingen niet vaak bemeten zijn,

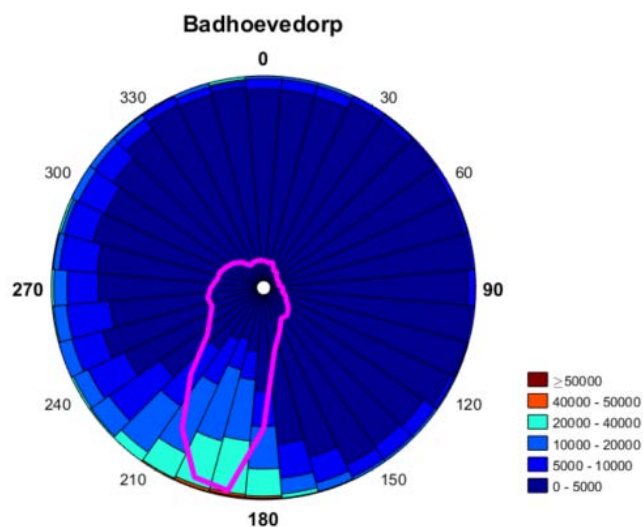
er toch een duidelijk beeld voor deze locatie is ontstaan waar verhoogde concentraties vandaan komen.



Figuur 22: Windroos in de vorm van een histogram voor aantal deeltjes in klassen van 10 tot 20 nm voor de locatie Aalsmeer 1, met in magenta het gemiddelde aantal deeltjes per windrichting.

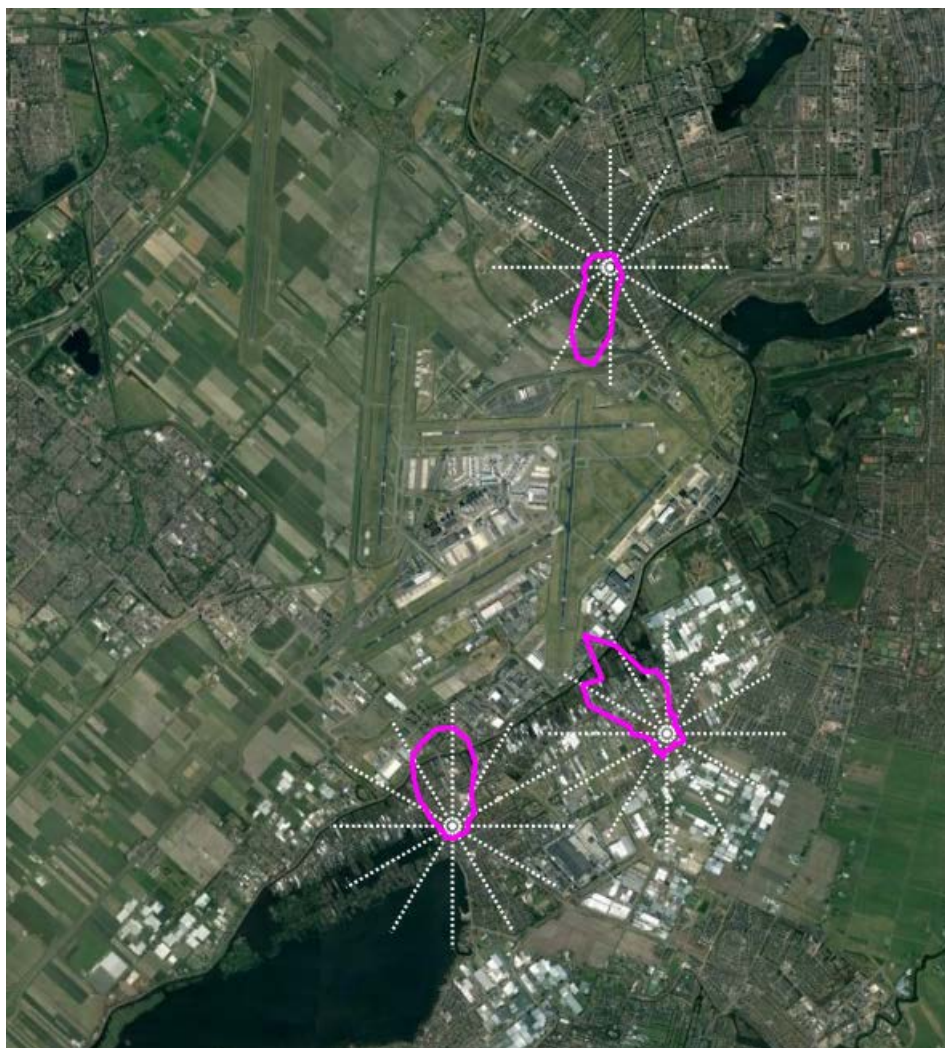


Figuur 23: Windroos in de vorm van een histogram voor aantal deeltjes in klassen van 10 tot 20 nm voor de locatie Aalsmeer 2, met in magenta het gemiddelde aantal deeltjes per windrichting.



Figuur 24: Windroos in de vorm van een histogram voor aantal deeltjes in klassen van 10 tot 20 nm voor de locatie in Badhoevedorp, met in magenta het gemiddelde aantal deeltjes per windrichting.

Wanneer de windrozen geplot worden op een kaart met de locaties (zie Figuur 25) is duidelijk zichtbaar dat de hoge deeltjesaantallen voor alle drie de locaties gemeten wordt bij wind vanuit Schiphol. De locatie in het achterhoofd houdend en kijkend naar de histogram windrozen is te zien dat voor windrichtingen vanuit Schiphol deeltjes aantallen van boven de 20.000 # cm^{-3} regelmatig gemeten worden (voor alle drie de locaties). Voor overige windrichtingen ligt de deeltjesaantallen over het algemeen onder de 5.000 # cm^{-3} .



Figuur 25: Gemiddelde windrozen voor deeltjesaantallen voor de klassen tussen 10 en 20 nm voor de drie locaties.

4 Conclusies

Roetconcentraties en deeltjesgrootteverdeling van ultrafijn stof zijn gedurende één jaar gemeten bij één basisschool in Badhoevedorp en twee basisscholen Aalsmeer (achtereenvolgens). Naast de metingen op de basisscholen zijn er twee vergelijkingscampagnes geweest voor de apparatuur (vóór en ná de metingen op de scholen). Uit deze campagnes zijn correctiefactoren bepaald, zodat de data op de twee locaties onderling vergelijkbaar zijn. Uit de vergelijkingscampagne blijkt dat twee MAAP's, die de roetconcentraties meten, een goede overeenstemming hebben. Voor de deeltjesgrootteverdeling zag de onderlinge vergelijking van de twee GRIMM's voor de grotere deeltjesklassen >70 nm er ook goed uit met weinig spreiding ($R^2 > 0,97$). Voor de lagere deeltjesklassen (10-20 nm) is er onderling meer spreiding ($R^2 > 0,63$). Dit toont aan hoe lastig het is deeltjesaantallen van deze zeer kleine deeltjes (<20 nm) te meten en hoe belangrijk het is de apparatuur onderling te vergelijken. Mogelijk wordt de spreiding tijdens de vergelijkingscampagne deels veroorzaakt door de nabijheid van de bron luchtverkeer (Polderbaan op ongeveer 400 m), die zeer kleine deeltjes uitstoot.

Uit de metingen op de basisscholen komt naar voren dat roet als een deken over de omgeving ligt. Dit blijkt uit het sterk overeenkomende patroon in zowel de tijdseries van roet als de windrozen van roet voor de locaties in Aalsmeer en Badhoevedorp. De windrozen tonen aan dat luchthaven Schiphol geen duidelijke bron is van roet. Gezien de dagelijkse gang is wegverkeer de meest waarschijnlijke en grootste bron van roet.

De resultaten van deeltjesgrootteverdeling is in deze rapportage met name gekeken naar deeltjesgrootte tussen de 10 en 20 nm. Eerder onderzoek (Weijers *et al.*, 2015) heeft laten zien dat deze voor het overgrote deel afkomstig zijn van vliegtuigemissies. Voor deze kleinste deeltjesklassen concluderen we dat luchthaven Schiphol inderdaad de grootste bron is in de omgeving. Dit blijkt zowel uit de windrozen als uit de dagelijkse gang.

Dit onderzoek heeft uiteindelijk geleid tot een dataset van de concentratie roet en deeltjesgrootteverdeling gedurende ruim één schooljaar. Dit is de onderliggende data, waarna IRAS deze data koppelt aan de door hun verzamelde data aan longfuncties en luchtwegklachten van basisschoolleerlingen om naar mogelijke effecten te kijken. De deeltjesgrootteverdeling kan hierbij gebruikt worden om de bijdrage van het vliegverkeer ten opzichte van de bijdrage van andere bronnen te onderscheiden.

5 Referenties

- Bezemer, A., Wesseling, J., Cassee, F., Fischer, P., Fokkens, P., Houthuijs, D., Jimmink, B., de Leeuw, F., Kos, G., Weijers, E., Keuken, M., Erbrink, H. (2015). *Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol*. Bilthoven: RIVM Rapport 2015-0110.
- Janssen, N. A., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., Van Bree, L., Ten Brink, H., Keuken, M., Atkinson, R.W., Anderson, H.R., Brunekreef, B. and Cassee, F.R. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with PM10 and PM2.5. *Environmental health perspectives*, 119(12), 1691-1699.
- Janssen, N., et al. (2019). *Onderzoek naar de gezondheidseffecten van kortdurende blootstelling aan ultrafijn stof rond Schiphol*. Bilthoven: RIVM Rapport 2019-0084.
- Stacey, B. (2019). Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmospheric Environment* 198, 463-477.
- Staelens, J., Hofman, J., Kos, G.P.A., Weijers, E.P., Hama, S., Helmink, H., Delaunay, T., Smallbone, K., Matheeuissen, C., Cordell, R., Bijkema, M., Monks, P.S., Roekens, E. (2015). *JOAQUIN – Work Package 1 Action 1 and 3 – Monitoring of ultrafine particles and black carbon*. Petten: ECN-rapportage, ECN-E—15-080.
- Weijers, E.P., Kos, G.P.A., Blom, M.J., van Laer, J., Berghmans, P., Moerman, M., Keuken, M.P., Fokkens, P.H., Wesseling, J.P., Bezemer, A. (2015). *Metingen aan ultrafijn stof rondom Schiphol*. Petten: ECN-rapportage, ECN-E—15-038.
- Westerdahl, D., Fruin, S. A., Fine, P. L., & Sioutas, C. (2008). The Los Angeles International Airport as a source of ultrafine particles and other pollutants to nearby communities. *Atmospheric Environment*, 42(13), 3143-3155.
- Wolf-Benning, U., Aust, S., Keck, L. (2017). *Intercomparison of Mobility Particle Size Spectrometers*. ECAC report MPSS-2017-4-1.

6 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Nicole Janssen
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Antonie van Leeuwenhoeklaan 9
3721 MA Bilthoven

Naam en functies van medewerkers:

D. van Dinther: Scientist
M.J. Blom: Technical Research Assistant
W.C.M. van den Bulk: Technical Research Assistant
G.P.A. Kos: Technical Research Assistant

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:
10-10-2017 tot en met 31-5-2019

Naam en paraaf tweede lezer:



Dr. C.V. de Boer

Ondertekening:



D. van Dinther
Auteur

Autorisatie vrijgave:



Dr.ir. E.I.V. van den Hengel
Director Operations/Research Manager a.i.