

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport

TNO R.10591

Metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes rond Schiphol gedurende ruim één jaar

Datum	17 mei 2019
Auteur(s)	D. van Dinther (TNO) M.J. Blom (TNO) W.C.M. van den Bulk (TNO) G.P.A. Kos (TNO) M. Voogt (RIVM) Met medewerking van GGD Amsterdam, Leefomgeving team Luchtkwaliteit
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	38 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	
Projectnaam	Schiphol UFP metingen
Projectnummer	060.34015

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

Doel van dit onderzoek is het toetsen en waar mogelijk verbeteren van het rekenmodel, waarmee de blootstelling van omwonende van Schiphol aan ultrafijne deeltjes (UFP, deeltjes kleiner dan $0,1 \mu\text{m}$) kan worden bepaald. Ten behoeve hiervan wordt in dit deel van het project data van aantallen UFP in de omgeving van Schiphol gegenereerd.

In totaal zijn op 10 locaties rondom Schiphol de UFP aantallen gedurende langere tijd gemeten. Op de locaties Oude Meer en Amsterdam Ookmeer zijn gedurende één jaar UFP aantallen gemeten. De overige locaties Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen, Polderbaan, Nieuwe Meer, Hoofddorp, Spaarnwoude en Badhoevedorp zijn alle één halfjaar bemeaten. Naast de metingen van aantallen UFP is op iedere locatie ook enige tijd (minimaal 3 weken) de deeltjesgrootteverdelingen gemeten (met uitzondering van de in 2015 al bemeaten locaties Oude meer, Nieuwe meer en Amstelveen).

Om te kunnen garanderen dat de metingen van deeltjesaantallen op de 10 locaties onderling vergelijkbaar zijn, zijn er vergelijkingscampagnes geweest. Deze vonden plaats op één vaste locatie, namelijk Polderbaan, waarbij de apparatuur onderling met elkaar werd vergeleken. De vergelijkingscampagne vonden plaats; 1) voorafgaande aan het eerste halfjaar aan metingen, 2) tussen het eerste en tweede halfjaar aan metingen in, en 3) na afloop van het meetprogramma. Uit de data verzameld tijdens de vergelijkingscampagnes zijn correctiefactoren bepaald.

Wanneer deze correctiefactoren voor opeenvolgende vergelijkingscampagnes van elkaar verschilde is een lineair verloop van de factoren tussen de vergelijkingscampagnes verondersteld. Deze factoren zijn vervolgens toegepast op de UFP aantallen gemeten op de 10 locaties, zodat de onderling vergelijkbaar zijn en eventuele drift hiermee gecorrigeerd is.

De resultaten van deze vergelijkingscampagnes lieten zien dat de correctiefactoren niet altijd gelijk aan elkaar zijn en verlopen in de tijd. Dit toont aan dat het belangrijk is regelmatig een vergelijkingscampagne te houden. De tijdseries van UFP-concentraties tonen op de verschillende locaties duidelijke events met concentraties boven de $50.000 \text{ aantallen cm}^{-3}$. Windrozen van de gemeten UFP-concentraties maken duidelijk zichtbaar dat op alle locaties verhoging van UFP wordt gemeten bij wind vanuit Schiphol. Tevens is zichtbaar dat hoe dichter een locatie bij Schiphol ligt hoe hoger de gemeten UFP-concentratie is.

De deeltjesgrootteverdeling op de verschillende locaties toont aan dat, in de lucht belast vanuit Schiphol met name meer kleine UFP aantallen voorkomen. Hierbij gaat het om deeltjes kleiner dan 20 nm .

Concluderend kunnen we stellen dat binnen deze studie een uitgebreide dataset is verkregen van UFP deeltjesaantallen in de omgeving van Schiphol. Aangezien het meten van UFP complex is en plaatsvindt met gevoelige apparatuur kan data uitval niet geheel voorkomen kan worden, de databeschikbaarheid is op alle locaties echter voldoende. De in deze studie verkregen data van aantallen UFP wordt vervolgens binnen andere delen van het onderzoek onderzocht ter toetsing en verbetering van het rekenmodel.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	4
2	Meetlocaties en opzet.....	5
2.1	Meetlocaties.....	5
2.2	Meetopzet	6
2.3	Dataverwerking.....	7
3	Resultaten van de vergelijkingscampagnes	9
3.1	Campagne 1	9
3.2	Campagne 2	10
3.3	Campagne 3	14
4	Resultaten van ultrafijnstofmetingen	17
4.1	Eerste halfjaar.....	17
4.2	Tweede halfjaar	21
5	Conclusies.....	27
6	Referenties	28
7	Ondertekening	29
	Bijlage(n)	
	A Beschrijving van de meetapparatuur	
	B Windrozen van UFP-concentraties op de meetlocaties	
	C Deeltjesgrootteverdeling op de meetlocaties	

1 Inleiding

Uit voorgaand verkennend onderzoek (Bezemer *et al.* 2015 en Weijers *et al.* 2015) is gebleken dat de concentraties ultrafijne deeltjes (UFP, deeltjes kleiner dan 0,1 μm) rond de luchthaven Schiphol verhoogd zijn. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft hier opvolgend aan het RIVM gevraagd om verder onderzoek te doen naar de UFP-concentratie rond de luchthaven Schiphol. Om de gezondheidseffecten van deze verhoogde UFP-concentraties in kaart te kunnen brengen, moet allereerst de concentratie, waaraan de mensen worden blootgesteld bepaald worden. Deze blootstelling kan bepaald worden met een rekenmodel. Dit model heeft Bezemer *et al.* (2015) in het verkennend onderzoek toegepast. Dit rekenmodel is daarin getoetst aan de hand van een dataset verzameld over één à twee maanden. Om het rekenmodel uitgebreider te toetsen en waar mogelijk te verbeteren is meer UFP data nodig. Het doel van dit deel van het onderzoek was dan ook het genereren van UFP data. De data is verzameld binnen een samenwerkingsverband met het RIVM, TNO (voormalig ECN) en de GGD Amsterdam. Het onderzoek werd geleid door het RIVM. De metingen zijn uitgevoerd door de GGD Amsterdam en TNO. TNO was tevens verantwoordelijk voor het verwerken van de data en ervoor te zorgen dat de data onderling vergelijkbaar was.

Naast het meten van het aantal UFP is het ook van belang de deeltjesgrootteverdeling te meten. Met deze deeltjesgrootteverdeling kan er bekeken worden wat de voornaamste bron is van UFP. Het is namelijk bekend dat de luchtvaart als bron lokaal een verhoging laat zien in deeltjes aantallen voor relatief kleine deeltjes tot 30-40 nm, terwijl verkeersbronnen lokaal een verhoging laten zien in deeltjes aantallen voor deeltjes met een grootte van rond de 50-70 nm (Stacey, 2019).

Naast de metingen op locaties rondom Schiphol heeft er binnen dit consortium voorafgaand aan deze metingen een zogenaamde taxi-campagne plaatsgevonden. Binnen deze campagne is bepaald of de bijdrage van UFP van taxiënde vliegtuigen moet worden meegenomen in het rekenmodel. Binnen deze rapportage wordt verder niet ingegaan op de resultaten van deze metingen. Deze resultaten zijn terug te vinden in de rapportage van Voogt *et al.* (2019).

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 een beschrijving gegeven van de meetlocaties en opzet. In hoofdstuk 3 wordt er vervolgens ingegaan op drie vergelijkingscampagnes die zijn uitgevoerd om onderlinge vergelijkbaarheid tussen de metingen te kunnen garanderen. De meetresultaten van UFP aantallen op de 10 locaties rondom Schiphol worden besproken in hoofdstuk 4. Hierbij is de UFP data geanalyseerd aan de hand van windrozen om eventuele bronnen van UFP in de omgeving te kunnen duiden. De conclusies die uit deze metingen worden getrokken staan in hoofdstuk 5. De daadwerkelijk toetsing en waar mogelijke verbetering van het rekenmodel staat beschreven in Voogt *et al.* (2019).

2 Meetlocaties en opzet

2.1 Meetlocaties

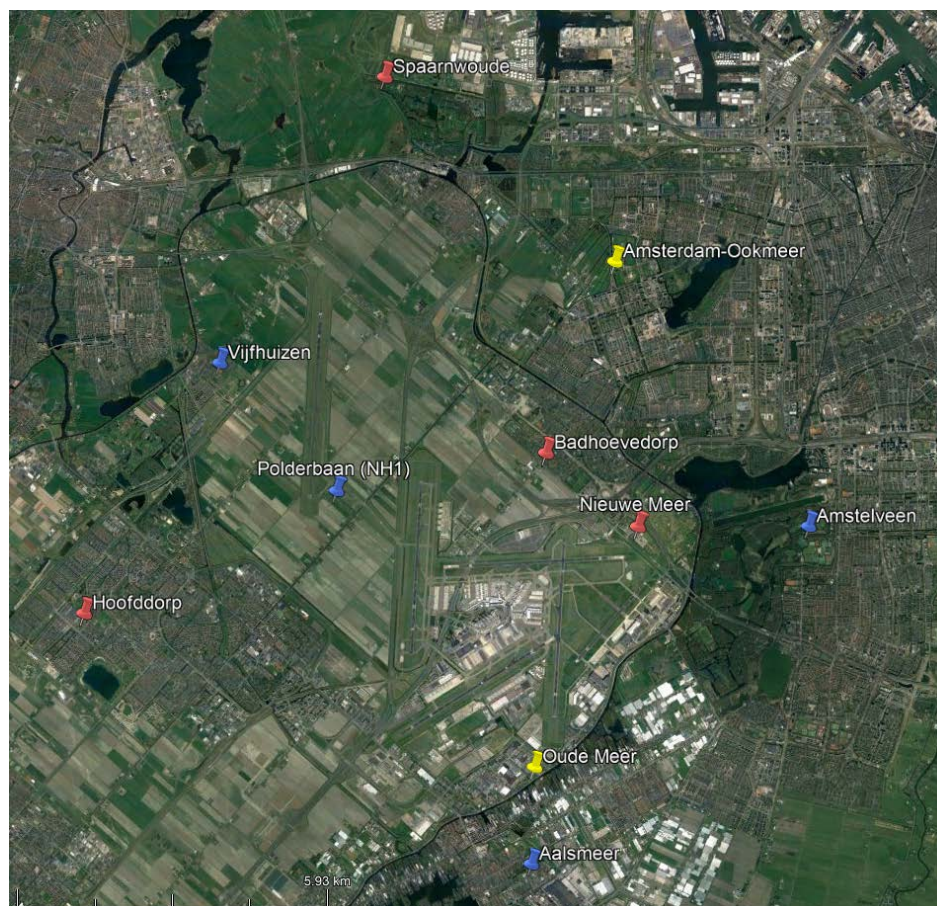
De voornaamste uitkomst van dit onderzoek zijn de metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes. Deze deeltjesaantallen zijn in totaal op 10 locaties bemeaten. Gedurende het eerste halfjaar (lopend van augustus 2017 tot en met januari 2018) vonden de metingen plaats in Oude Meer, Amsterdam Ookmeer, Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen en Polderbaan. Het tweede halfjaar (van 8 maart 2018 tot en met 4 september 2018) zijn de volgende zes locaties bemeaten; Oude Meer, Amsterdam Ookmeer, Nieuwe Meer, Hoofddorp, Spaarnwoude en Badhoevedorp. Dit betekent dat de locaties Oude Meer en Amsterdam Ookmeer gedurende de twee halfjaren bemeaten zijn. Een overzicht van wanneer welke locatie bemeaten is staat in Tabel 1, de daadwerkelijke locaties zijn zichtbaar in Figuur 1.

Het is van belang dat de metingen van deeltjesaantallen op de verschillende locaties onderling vergelijkbaar zijn om toetsing van het rekenmodel mogelijk te maken. Om dit te waarborgen zijn er in totaal 3 vergelijkingscampagnes uitgevoerd op één vaste locatie, namelijk Polderbaan: 1) voorafgaand aan het eerste halfjaar aan metingen, 2) tussen het eerste en het tweede halfjaar in, en 3) na het tweede halfjaar aan metingen.

Naast de metingen van deeltjesaantallen is ook de deeltjesgrootteverdeling bemeaten op de locaties Amsterdam Ookmeer, Aalsmeer, Vijfhuizen, Polderbaan, Hoofddorp, Spaarnwoude en Badhoevedorp. Deze deeltjesgrootteverdeling is gemeten met één apparaat, dat gedurende de twee halfjaren aan metingen is verplaatst. De locatie Polderbaan is bemeaten gedurende de verschillende vergelijkingscampagnes. Gezien de gelimiteerde tijd voor het meten op 10 locaties, zijn de drie locaties, waar in het verkennend onderzoek van Weijers *et al.* (2015) al deeltjesgrootteverdelingen metingen hebben plaatsgevonden (in Oude meer, Amstelveen en Nieuwe meer), niet opnieuw bemeaten tijdens deze campagne.

Tabel 1: Overzicht van de meetlocaties, waarin aangegeven is in welke periodes de locaties bemeaten zijn.

Locatie	Meetperiode	1 aug 2017 – 31 jan 2018	8 mrt 2018 – 4 sept 2018
Oude Meer		X	X
Amsterdam Ookmeer		X	X
Amstelveen		X	
Aalsmeer		X	
Vijfhuizen		X	
Polderbaan		X	
Nieuwe Meer			X
Hoofddorp			X
Spaarnwoude			X
Badhoevedorp			X



Figuur 1: Meetlocaties gedurende de meetcampagne, met in geel de locaties die het gehele jaar bemeten worden, en in blauw locatie die het eerste halfjaar bemeten wordt en in rood locaties die het tweede halfjaar bemeten worden.

2.2 Meetopzet

De metingen van het aantal ultrafijnstofdeeltjes zijn uitgevoerd met een zogenaamde Environmental Particle Counter (EPC) van TSI, model 3783. Deze EPC telt het aantal deeltjes tussen de 7 nm en 3 μm per cm^3 lucht. Voor een uitgebreidere beschrijving van de gebruikte apparatuur zie Bijlage A. Er zijn in totaal zes EPC's ingezet in de meetcampagne (twee van TNO, één van GGD Amsterdam en drie van RIVM).

Oude Meer, Ookmeer, Polderbaan, Spaarnwoude en Badhoevedorp zijn vaste meetstations die deel uitmaken van de meetnetten (het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, LML), die in dit geval worden beheerd door de GGD Amsterdam. Bij deze bestaande meetstations zijn de EPC's bijgeplaatst en onderhouden door de GGD Amsterdam. De overige locaties (Amstelveen, Aalsmeer, Vijhuizen, Nieuwe Meer en Hoofddorp) zijn bemeten door TNO. Hierbij is de EPC in een metalen behuizing geplaatst.

Tijdens de vergelijkingscampagnes zijn de EPC's op dezelfde manier geplaatst als gedurende de metingen op locatie, ofwel in een kist ofwel in een al bestaand station. Het overzicht in Tabel 2 geeft aan in welke periode de vergelijkingen hebben plaatsgevonden en welke opstelling is gebruikt. Aangezien de gedurende het eerste halfjaar en het tweede halfjaar niet hetzelfde was is

vergelijkingscampagne 2 op te delen in twee periodes (a en b). In periode 2a was de setup hetzelfde als het eerste halfjaar aan metingen en tijdens periode 2b aan het tweede halfjaar.

Tabel 2: Overzicht van de meetperiode van de verschillende vergelijkingscampagnes, waarbij aangegeven is welke EPC in de kist dan wel het al bestaande GGD meetstation (LML) stond.

Vergelijkings-campagne	Periode	GGD1	ECN1	ECN2	RIVM1	RIVM2	RIVM3
1	12-6-2017 – 19-6-2017	LML	LML	Kist	Kist	Kist	LML
2a	7-2-2018 – 19-2-2018	LML	LML	Kist	Kist	Kist	LML
2b	27-2-2018 – 8-3-2018	LML	Kist	Kist	LML	LML	LML
3	3-9-2018 - 17-9-2018	LML	Kist	Kist	LML	LML	LML

Naast de EPC's is er ook een zogenaamde Scanning Mobility Particle Size Spectrometer (SMPS) ingezet. Deze SMPS meet het aantal UFP en geeft daarnaast ook een klassenverdeling van de deeltjesgrootte. Het is bekend dat de bron van luchtverkeer met name een verhoging laat zien in een zeer kleine klasse van UFP, met de sterkste verhoging in de range van 10-20 nm (onder andere Westerdahl *et al.*, 2008 en Masiol *et al.*, 2014). Door de deeltjesgrootteverdeling te meten kan er onderscheid worden gemaakt tussen Schiphol als bron en eventuele andere bronnen (wegverkeer of stad). Om een goede indruk te krijgen van mogelijke bronnen is het noodzakelijk bij verschillende windrichtingen voldoende data te verzamelen. Elke bemeten locatie is minimaal gedurende 3 weken bemeten. De SMPS metingen zijn uitgevoerd met TSI model nummer 3080. Bij de metingen op de laatste locatie (Badhoevedorp) was er een technische mankement aan de 3080 SMPS. Hierdoor zijn de metingen op Badhoevedorp uitgevoerd met SMPS type nummer 3082 (ook van TSI).

Elke locatie is minimaal eens in de drie weken bezocht voor periodiek onderhoud. In geval van een storing heeft het onderhoud in sommige gevallen eerder plaatsgevonden. Tijdens het periodiek onderhoud zijn verschillende componenten gecontroleerd op juiste werking. De EPC wordt op de volgende punten gecontroleerd:

- de EPC doet het
- er zijn geen problemen met de sampling line
- de inlet flow en de sample flow zijn naar behoren
- er wordt een zero check uitgevoerd

Daarnaast wordt de zogenaamde wick wordt vervangen (deze dient ter bevochtiging van de deeltjes) en het filter van de pomp wordt vervangen.

2.3 Dataverwerking

Zowel de EPC als de SMPS data is verzameld op één minuut basis. Vervolgens is deze data geaggregeerd naar uurgemiddelde waarden. Hierbij moest minimaal 75% (oftewel 45 minuten) aan data beschikbaar zijn om een uurwaarde te berekenen. Wanneer er door de EPC een probleem wordt geconstateerd geeft deze een error code mee (een zogenaamde flag). Deze gevlagde data is bij de verdere analyse niet meegenomen.

De SMPS data is gecorrigeerd voor diffusie en voor zogenaamde multiple charge via het Aerosol Instrument Manager programma van TSI. De in deze rapportage getoonde deeltjesgrootteverdelingen zijn in deeltjes aantallen genormaliseerd om ervoor te zorgen dat de deeltjesgrootteverdeling, gemeten tijdens deze campagne,

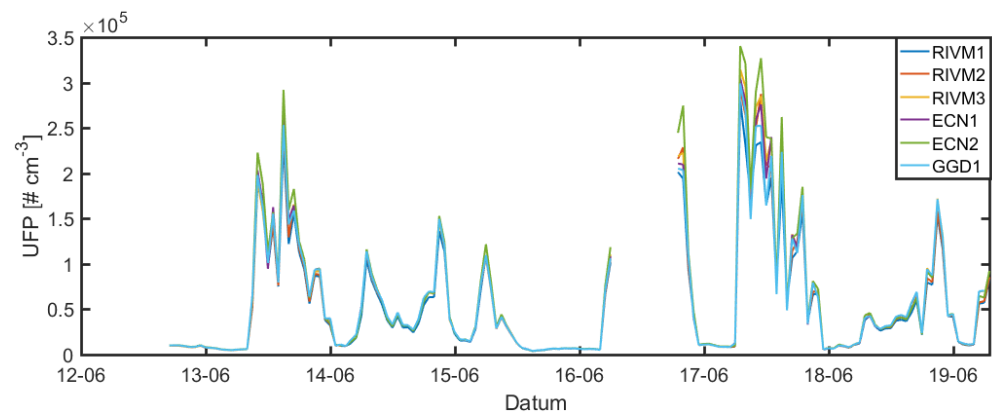
te vergelijken is met die gemeten door Weijers *et al.* (2015). Aangezien het vliegverkeer met name overdag plaatsvindt zijn van de SMPS alleen de datapunten overdag meegenomen (vanaf 7 uur 's ochtends tot en met 22 uur 's avonds). Ter validatie is de som van het aantal deeltjes, gemeten met de SMPS, vergeleken met de deeltjesaantallen gemeten met de EPC op uurbasis. Dit geeft een goede indicatie of de SMPS betrouwbare waarden gaf. De SMPS data zijn binnen deze studie alleen gebruikt om inzicht te krijgen in de deeltjesgrootteverdeling. De deeltjesaantallen zijn niet gebruikt. De data van de SMPS met type nummer 3082 (gebruikt in Badhoevedorp) zijn noodgedwongen verzameld met een nieuw software type van Aerosol Instrument Manager (v10 in plaats van v9).

3 Resultaten van de vergelijkingscampagnes

Tijdens de vergelijkingscampagnes zijn alle zes EPC's onderling met elkaar vergeleken op de locatie Polderbaan (zie Figuur 1). Als referentie is de EPC van de GGD genomen (ook wel GGD1 genoemd). De vergelijking is uitgevoerd met UFP-concentraties tot en met 200.000 aantal cm^{-3} . Concentraties boven deze waarde komen zeer zelden voor op de 10 meetlocaties, afgezien van de Polderbaan locatie.

3.1 Campagne 1

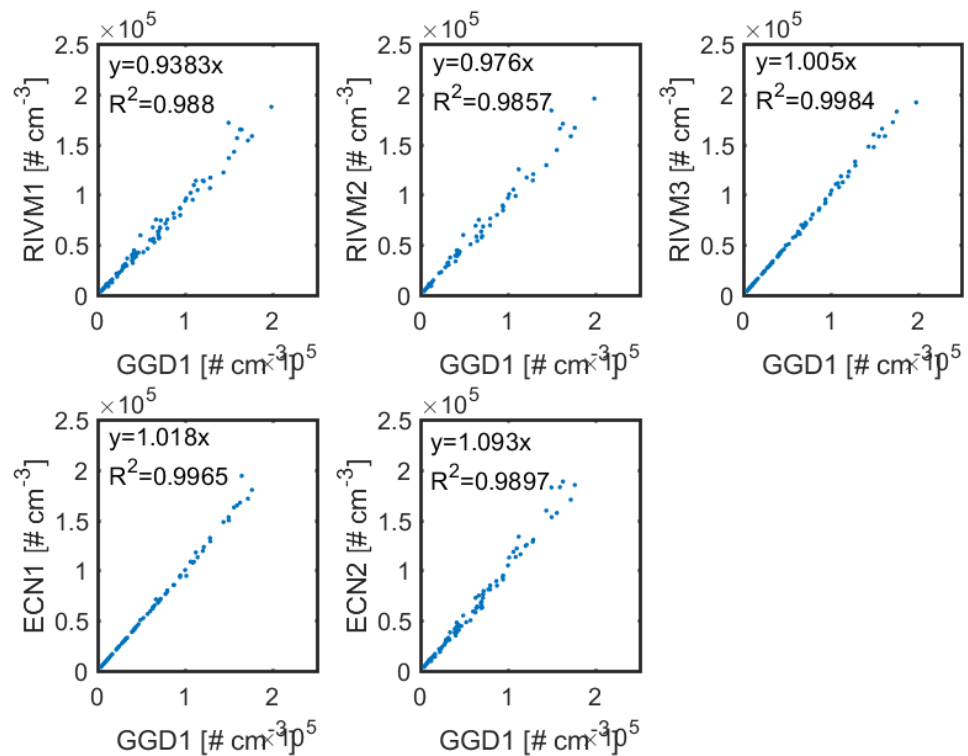
De tijdserie van de zes EPC's voor de eerste vergelijkingscampagne is getoond in Figuur 2. De deeltjesaantallen gemeten met de EPC's komen goed met elkaar overeen. Ook zijn er tijdens de vergelijking zowel lage als hoge UFP-concentraties gemeten. Om een betrouwbare correctiefactor te kunnen bepalen is een verscheidenheid aan UFP-concentraties gewenst, bij voorkeur vergelijkbaar met de range die op locatie wordt gemeten. De hier gemeten dataset is gezien de range geschikt voor het bepalen van de correctiefactoren.



Figuur 2: Tijdserie van de UFP-concentraties gemeten door de 6 EPC's op locatie Polderbaan voor de eerste vergelijkingscampagne.

In Figuur 3 staan de één op één vergelijkingen van de EPC's waarbij de GGD1 EPC als referentie is genomen. Met behulp van lineaire regressie zijn correctiefactoren voor de EPC meetapparatuur bepaald. De getoonde regressiestatistiek zijn lineaire fits, geforceerd door de oorsprong, waardoor alleen een richtingscoëfficiënt is gebruikt. De correctiefactoren bepaald in de drie vergelijkingscampagnes zijn vervolgens lineair geïnterpoleerd over de tijd. Deze correctiefactoren zijn toegepast op de daadwerkelijke metingen op locatie, dit om te voorkomen dat eventuele drift invloed heeft op de onderlinge verhoudingen van het gemeten aantal UFP deeltjes

Uit de regressiecoëfficiënten blijkt dat vergelijking van de EPC's onderling goed is, met R^2 -waardes van boven de 0,98. Verder blijkt dat met name RIVM3 zeer goed overeenkomt met GGD1 met een richtingscoëfficiënt van 1,005 en een R^2 -waarde van bijna 1.



Figuur 3: Eén op één vergelijking van de gemeten UFP-concentratie van de verschillende EPC's (RIVM1 linksboven, RIVM2 middenboven, RIVM3 rechtsboven, ECN1 linksonder en ECN2 rechtsonder) met EPC GGD1 als referentie, inclusief regressiestatistiek voor vergelijkingscampagne 1.

De bijbehorende correctiefactoren worden getoond in Tabel 3. Allereerst kijken we alleen naar de factoren voor vergelijkingscampagne 1. De grootste correctie is hierbij nodig voor ECN2, deze overschat de UFP-concentraties ten opzichte van GGD1 met 8%. Voor RIVM1 is ook een correctie nodig, hier worden de UFP-concentraties juist onderschat (met 6%).

Tabel 3: Correctiefactoren voor de EPC's gevonden in de verschillende vergelijkingscampagnes, waarbij GGD1 als referentie is genomen.

Vergelijkingscampagne	RIVM1	RIVM2	RIVM3	ECN1	ECN2
1	1,06	1,02	1,00	0,98	0,92
2a	1,03	1,12	1,09	1,06	0,97
2b	1,13	1,14	1,10	1,06	0,95
3	1,08	1,12 ¹	1,07	0,90	1,71 ² en 0,92 ³

3.2 Campagne 2

De tweede vergelijkingscampagne van de EPC's vond plaats na afloop van het eerste halfjaar aan metingen en voorafgaand aan het tweede halfjaar aan metingen. Deze campagne is opgedeeld in twee periodes (a en b), zodat de

¹ Deze correctiefactor is alleen bepaald voor UFP concentraties <50.000 # cm⁻³ (zie H.3.3 voor meer informatie)

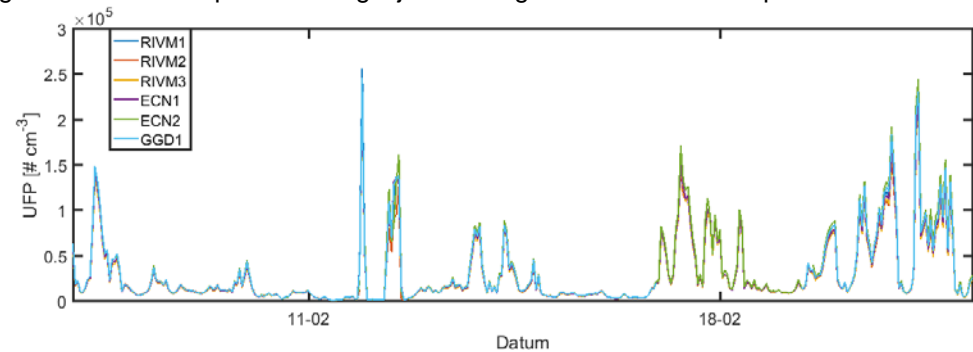
² Gebruikt voor lage nozzle pressure (≤65%), zie H3.3 voor meer informatie

³ Gebruikt voor normale nozzle pressure (>65%), zie H3.3 voor meer informatie

opstelling overeen kwam met het eerste halfjaar dan wel het tweede halfjaar aan metingen (zie Paragraaf 2.2).

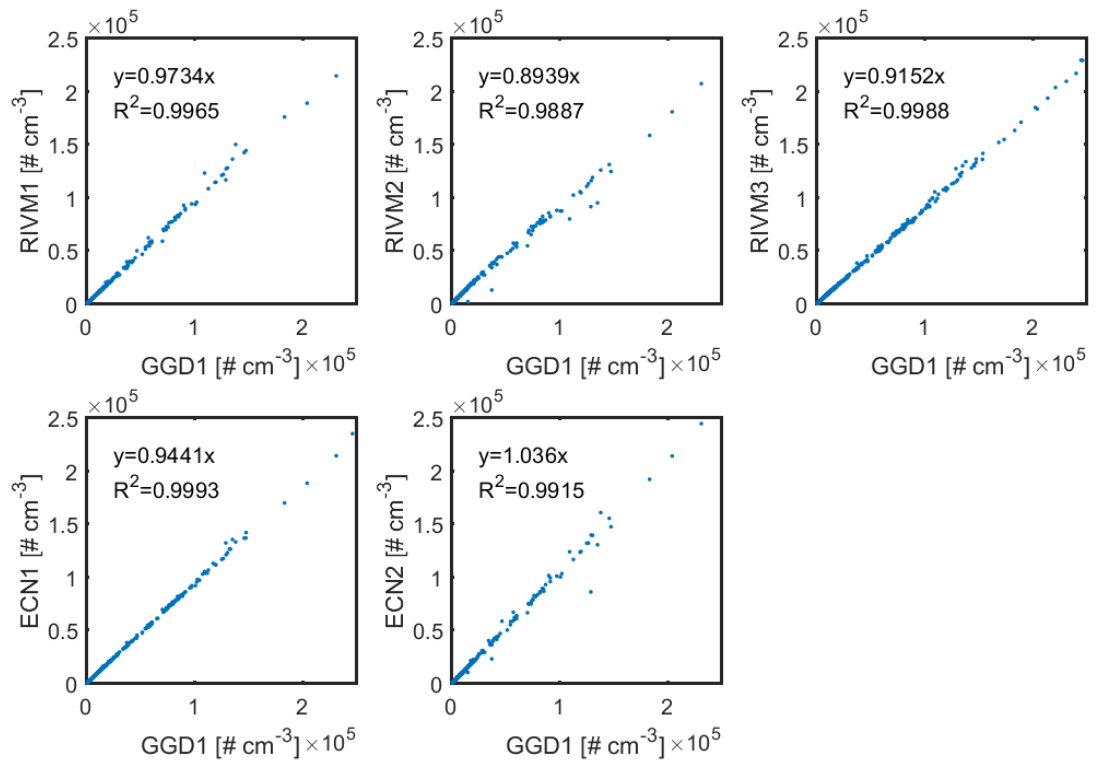
3.2.1 Periode a

In Figuur 4 zijn de verzamelde tijdseries van UFP voor de zes apparaten weergegeven over periode a. Hieruit komt duidelijk naar voren dat de UFP-concentraties goed met elkaar overeen komen. De EPC GGD1 is uitgevallen in een weekend, waardoor er twee dagen aan data missen. De UFP-concentraties variëren van rond de 3.000 tot 250.000 aantal cm^{-3} . Dit maakt de verkregen data geschikt om één op één te vergelijken en regressiefactoren te bepalen.



Figuur 4: Tijdserie van de UFP-concentraties gemeten door de 6 EPC's te Hoofddorp voor periode a van de vergelijkingscampagne 2.

De één op één vergelijkingen zijn geplot in Figuur 5. Hierbij valt op dat de spreiding van de verschillende apparatuur zeer laag is (R^2 voor alle meetapparatuur van 0,99). Dit geeft aan dat de bijbehorende regressievergelijking gebruikt kan worden voor correctie.

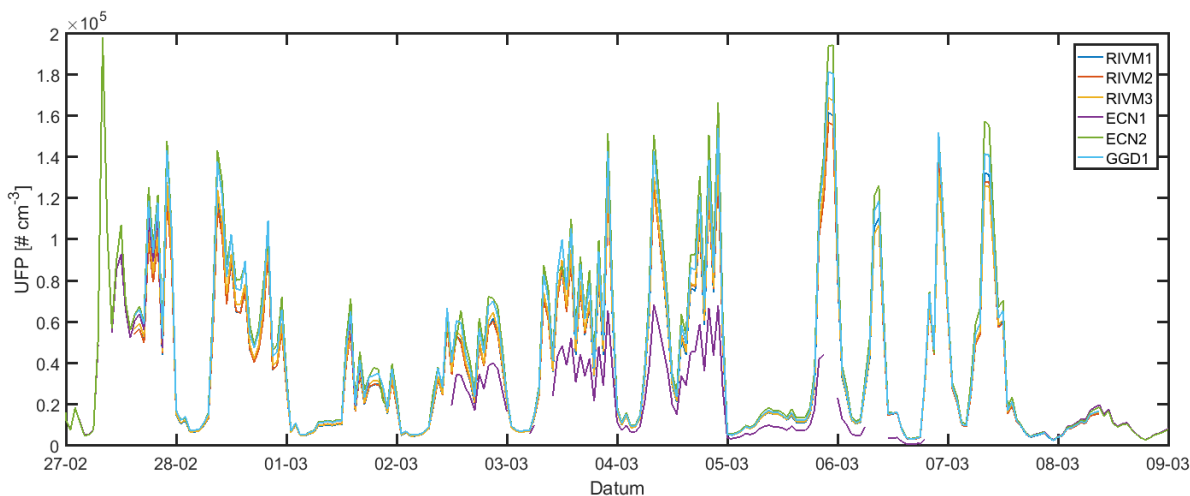


Figuur 5: Eén op één vergelijking van de gemeten UFP-concentratie van de verschillende EPC's (RIVM1 linksboven, RIVM2 midden boven, RIVM3 rechtsboven, ECN1 linksonder en ECN2 rechtsonder) met EPC GGD1 als referentie, inclusief regressiestatistiek voor vergelijkingscampagne 2 en periode a.

Wanneer de correctiefactoren vergeleken worden met die van de eerste vergelijkingscampagne (Paragraaf 3.1) komt naar voren dat deze enigszins veranderd zijn (zie Tabel 3). Voor alle EPC's (met uitzondering van RIVM1) zijn de factoren omhoog gegaan. De correctiecoëfficiënt van RIVM2 is het meeste veranderd (0,10 hoger dan voorheen).

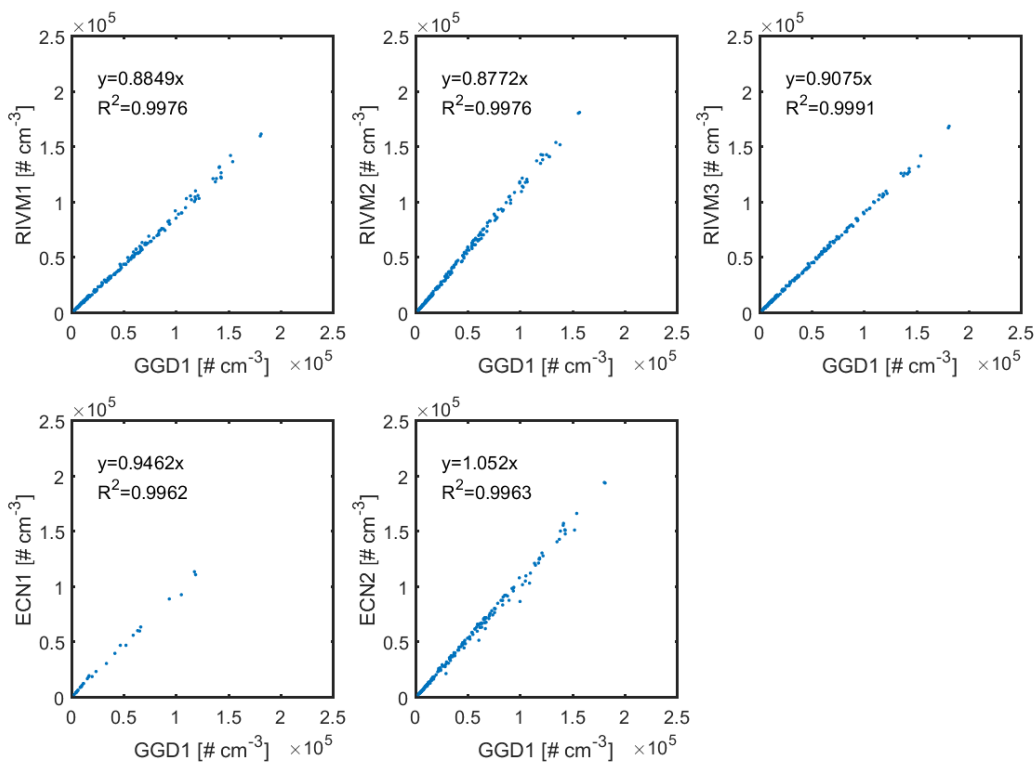
3.2.2 Periode b

De tijdserie van de verzamelde data gedurende periode b wordt getoond in Figuur 6. ECN1 valt meteen op met een periode van veel lagere waarden dan de overige EPC's. Deze EPC had ook verschillende foutmeldingen in deze periode (deze data was er reeds uitgefilterd). Uiteindelijk is het probleem verholpen door de zogenaamde wick (die dient ter bevochtiging van de deeltjes) nogmaals te verwisselen. Bij inspectie bleek de wick verkreukeld en verkleurd. De verkregen data van ECN1 is gezien de problemen niet meegenomen van 2-3-2018 tot en met 6-3-2018. De overgebleven data van ECN1 bleek voldoende om correctiefactoren te bepalen (met gemeten UFP-concentraties tot en met 120.000 aantal cm^{-3}).



Figuur 6: Tijdsree van de UFP-concentraties gemeten door de 6 EPC's te Polderbaan voor periode b van de tweede vergelijkingscampagne.

In Figuur 7 staan de één op één vergelijkingen. Er is weinig spreiding tussen alle EPC's en GGD1 met R^2 -waarden van boven de 0,99.



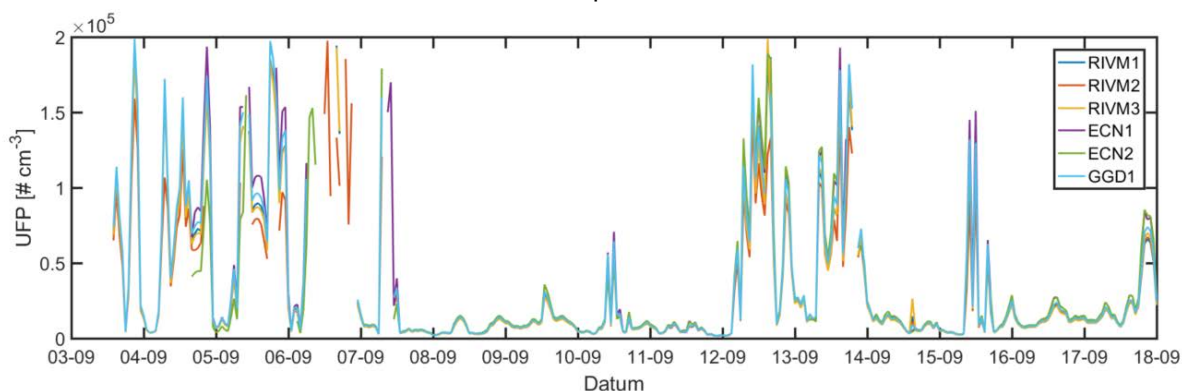
Figuur 7: Eén op één vergelijking van de UFP-concentratie van de verschillende EPC's (RIVM1 linksboven, RIVM2 middenboven, RIVM3 rechtsboven, ECN1 linksonder en ECN2 rechtsonder) met EPC GGD1 als referentie, inclusief regressiestatistiek voor vergelijkingscampagne 2 periode b.

De bijbehorende correctiefactoren staan in Tabel 3. Als we deze vergelijken met de factoren van de eerste periode van deze vergelijkingscampagne valt op dat deze voor de meeste apparatuur vergelijkbaar zijn (~2% verschil). Alleen voor RIVM1 is er een groot verschil te zien met een verhoging van 10%. Oorzaak voor deze verhoging is onduidelijk.

3.3 Campagne 3

ECN1 is tijdens de metingen op locatie tijdens het tweede halfjaar (Nieuwe Meer) na problemen voor onderhoud opgestuurd naar de fabrikant TSI. Hierbij is door TSI ook een kalibratie uitgevoerd. Voor deze locatie gebruiken we in de periode vóór dit onderhoud bij TSI de correctiefactoren zoals bepaald in campagne 2 periode b. Ná dit onderhoud gebruiken we de correctiefactoren die we in deze laatste vergelijkingscampagne hebben bepaald.

In Figuur 8 is de tijdserie van de UFP-concentratie van de verschillende EPC's geplot. Hieruit valt op te maken dat de concentraties in eerste instantie zeer hoog waren (>100.000 aantal cm^{-3}) door noordelijke wind. Hierna is er een periode (7-9-2018 tot en met 11-9-2018) met lagere concentraties veroorzaakt door wind overwegend vanuit het zuidoosten. Deze lagere concentraties zijn meer in lijn met wat er op de locaties gemeten is. Vervolgens neemt de UFP-concentratie weer toe doordat de windrichting draait naar het noorden. Dit zorgt ervoor dat er tijdens de vergelijkingscampagne een verscheidenheid aan UFP-concentraties gemeten zijn waardoor betrouwbare correctiefactoren bepaald kunnen worden.



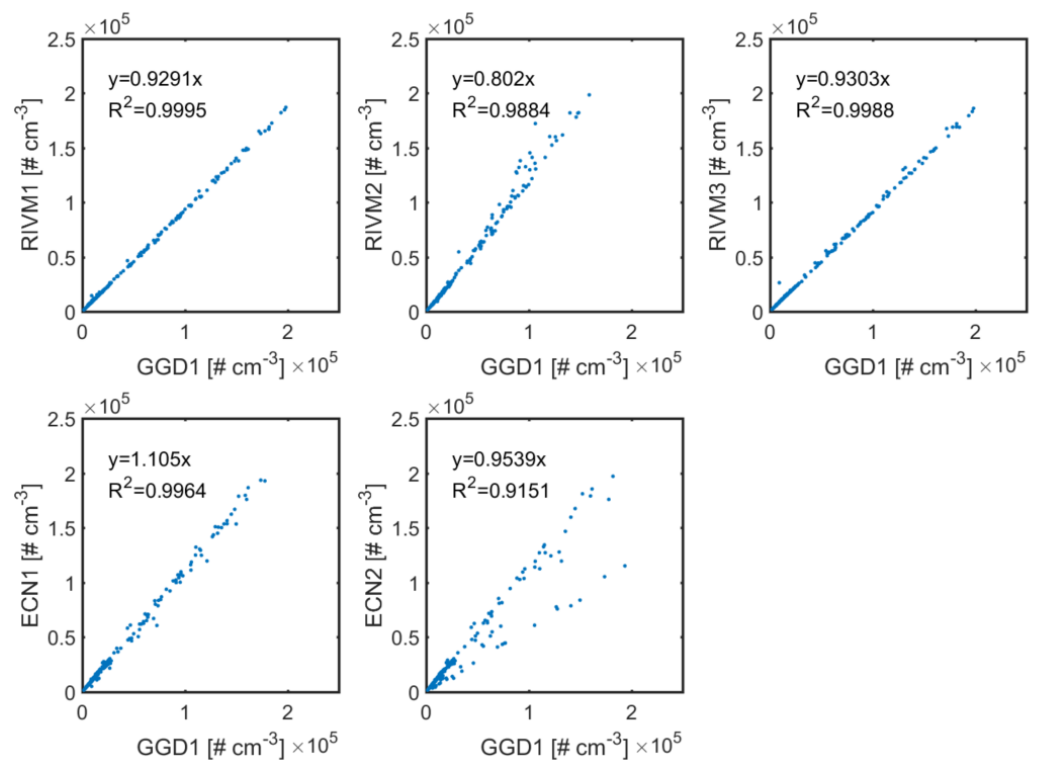
Figuur 8: Tijdserie van de UFP-concentratie gemeten tijdens de derde vergelijkingscampagne.

Tijdens de vergelijkingsperiode zijn er problemen geweest met de apparatuur. Dit geldt met name voor ECN2 en RIVM2. Voor ECN2 bleken er problemen te zijn met de zogenaamde nozzle pressure. Deze pressure is het drukverschil stroomopwaarts en stroomafwaarts van het optiekenmeetsysteem. Bij ECN2 was de nozzle pressure in eerste instantie zeer laag (~50%) en op een gegeven moment zelfs extreem laag (~40%). Er is daarom extra onderhoud gepleegd aan ECN2 op 6 september 2018, waarbij de kritisch capillairen en filters vervangen zijn. De nozzle pressure verbeterde hierna met waarden rond de 95%. De data van ECN2 voor dit onderhoud is wel deels meegenomen, aangezien een lage nozzle pressure deels ook tijdens de metingen op locatie is waargenomen. Ook al is de nozzle pressure na het onderhoud hoger, er worden nog wel variërende nozzle pressures waargenomen (+-10%).

RIVM2 heeft problemen gehad met de puls hoogte van de laser (oftewel de hoogte van het signaal). Deze was soms te laag wat heeft geleid tot foutmeldingen die optreden bij hoge UFP concentraties (>80.000 aantal cm^{-3}). Dit zorgt deels voor

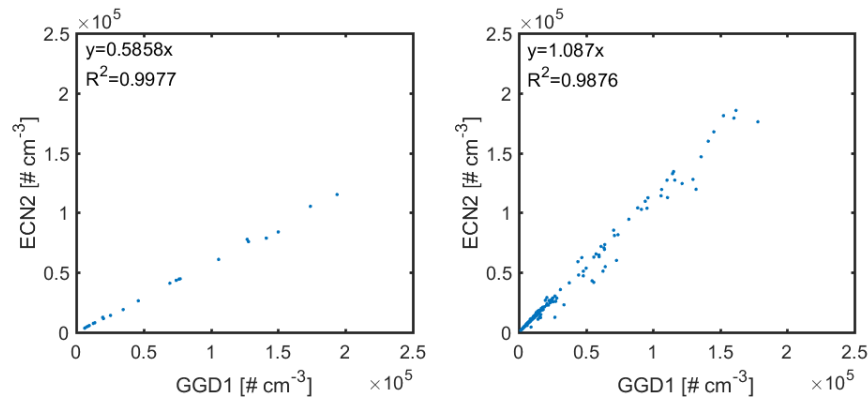
data-uitval (eis van minimaal 75% data wordt niet elk uur gehaald). Tevens zorgt dit voor onderschatting wanneer de uurgemiddelde waarden hoog zijn ($>60.000 \text{ \# cm}^{-3}$). Om dit geen effect te laten hebben op de te bepalen correctiefactoren zijn voor RIVM2 alleen UFP-concentratie tot de $50.000 \text{ \# cm}^{-3}$ meegenomen. Op de meetlocatie van RIVM2 tijdens het tweede halfjaar aan metingen (Ookmeer) zijn deze hoge uur concentraties niet waargenomen. Dit heeft daarmee geen gevolgen voor de metingen op locatie (zie Paragraaf 4.1.2).

In Figuur 9 zijn de één op één vergelijkingen zichtbaar. De twee EPC's, die problemen vertoonden tijdens deze vergelijkingscampagne (RIVM2 en ECN2), hebben de laagste R^2 . Bij ECN2 zijn er duidelijk twee verschillende regimes te ontdekken. Hieronder gaan we hier verder op in. RIVM1, RIVM3 en ECN1 laten een goede overeenkomst zien met R^2 van boven de 0,996.



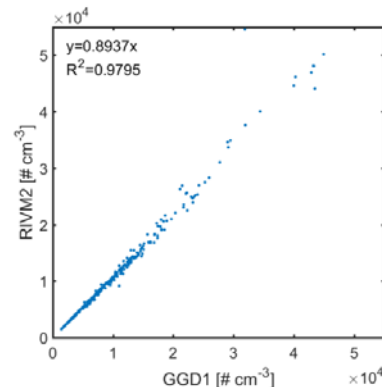
Figuur 9: Eén op één vergelijking van de UFP-concentratie van de verschillende EPC's (RIVM1 linksboven, RIVM2 middenboven, RIVM3 rechtsboven, ECN1 linksonder en ECN2 rechtsonder) met EPC GGD1 als referentie, inclusief regressiestatistiek voor vergelijkingscampagne 3.

In Figuur 10 wordt de vergelijking tussen ECN2 en GGD1 getoond met een lage nozzle pressure (voor 6-9-2018) en normale nozzle pressure (na 6-9-2018). De bijbehorende correctiefactoren zijn voor deze periodes duidelijk anders. Dit duidt erop dat er voor de periode waar de nozzle pressure laag was er een andere correctiefactor gebruikt dient te worden dan bij een normale nozzle pressure.



Figuur 10: Eén op één vergelijking van de UFP-concentratie van ECN2 met EPC GGD1 als referentie inclusief regressiestatistiek, met links data met lage nozzle pressure ($\leq 65\%$) en rechts data met normale nozzle pressure ($> 65\%$).

De vergelijking van RIVM2 met GGD1 wanneer er alleen gekeken wordt naar UFP-concentraties onder de 50.000 aantal cm^{-3} is geplot in Figuur 11. De correctiefactor gaat zoals verwacht omhoog wanneer alleen deze concentratierange wordt bekeken. Dit duidt er op dat de lage puls hoogte inderdaad zorgt voor een onderschatting bij hoge UFP-concentraties. De spreiding in de metingen van RIVM2 neemt wel licht toe met een R^2 van 0,988 naar 0,980.



Figuur 11: Eén op één vergelijking van de UFP-concentratie van RIVM2 met EPC GGD1 als referentie inclusief regressiestatistiek, voor UFP-concentraties tot en met 50.000 $\# \text{cm}^{-3}$.

In Tabel 3 staan de correctiefactoren voor de derde vergelijkingscampagne. Wanneer deze factoren vergeleken worden met de vorige campagne (2b) valt op dat met name die van ECN1 en ECN2 veranderd zijn. Voor ECN1 was dit te verwachten, aangezien deze voor onderhoud terug is geweest naar TSI en daar opnieuw gekalibreerd is. Voor ECN2 is er alleen een groot verschil wanneer de nozzle pressure laag was. Dit duidt erop dat het belangrijk is onderscheid te maken tussen een correctiefactor voor lage en normale nozzle pressure. Na analyse van de metingen van ECN2 (locatie Hoofddorp) is besloten de data met lage nozzle pressure (vanaf 1-8-2018 tot einde campagne) te corrigeren met de factor 1,71, gevonden tijdens deze vergelijking. Voor de metingen waar de nozzle pressure verloopt (vanaf 17-7 tot en met 31-7-2018) is besloten de data af te keuren. De data van vóór 17-7-2018 zijn gecorrigeerd op basis van het geïnterpoleerde verval tussen de waarde van vergelijkingscampagne 2 (correctiefactor van 0,95) en die van deze vergelijkingscampagne met een normale nozzle pressure (correctiefactor van 0,92).

4 Resultaten van ultrafijnstofmetingen

Dit hoofdstuk beschrijft de meetresultaten van de twee meetperiodes van een halfjaar voor de toetsing van het rekenmodel op hoofdlijnen. De toetsing van het rekenmodel en de meetresultaten van de taxi-campagne zijn beschreven in Voogt *et. al.* (2019).

4.1 Eerste halfjaar

Het eerste halfjaar aan metingen vond plaats op de volgende locaties: Oude Meer, Amsterdam Ookmeer, Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen en Polderbaan (zie Figuur 1). De UFP-aantallen zijn vervolgens gecorrigeerd volgens de correctiefactoren van vergelijkingscampagnes 1 en 2a (zie Paragrafen 3.1 en 3.2.1). Alleen gecorrigeerde UFP-concentraties worden getoond.

4.1.1 UFP-concentraties

Een overzicht van de gemeten UFP-concentraties is te vinden in Figuur 12. Voor alle locaties zijn pieken in UFP concentraties tot boven de 50.000 aantal cm^{-3} te zien.

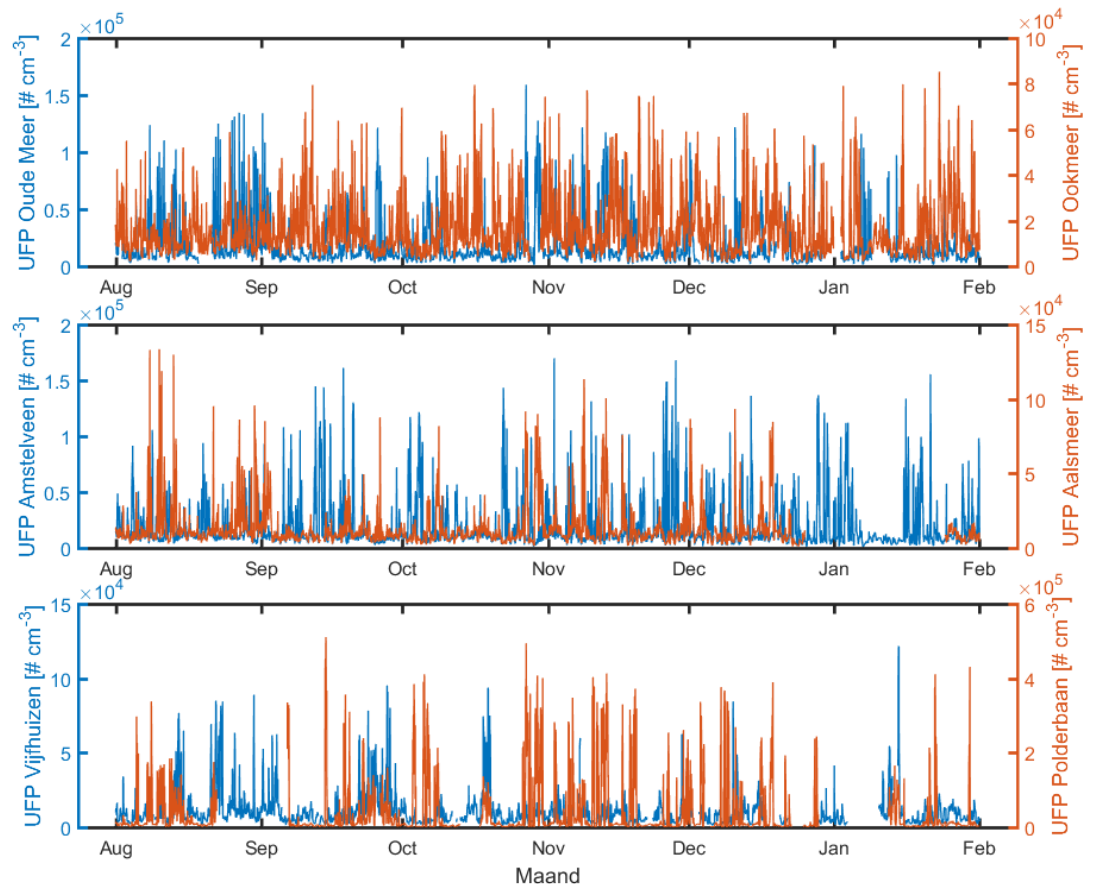
Met regelmatig onderhoud (minimaal 1 keer per 3 weken) is getracht de databeschikbaarheid zo hoog mogelijk te krijgen. Het is echter niet te voorkomen dat er soms uitval van apparatuur is en daarmee ook geen (geschikte) data. Een overzicht van de databeschikbaarheid per locatie voor het eerste halfjaar aan metingen is zichtbaar in Tabel 4. De databeschikbaarheid is voor de meeste locaties goed (>80%). De laagste databeschikbaarheid is gevonden op de locatie Polderbaan. Hieronder wordt uiteen gezet wat de data uitval op de verschillende locaties veroorzaakt heeft.

Voor de locatie Aalsmeer is data uitval met name in de maand januari 2018 te zien. Het probleem bleek veroorzaakt door een defecte koeling in de EPC zelf. Dit is verholpen door de EPC voor onderhoud mee te nemen naar Petten waar de koeling vervangen is.

Voor de locatie Polderbaan is er in de periode van eind augustus tot begin september 2017 uitval geweest veroorzaakt door water in het apparaat. Na onderhoud in Amsterdam door de GGD is het probleem verholpen en is het apparaat teruggeplaatst. Op deze locatie zijn er ook problemen geweest aan het einde van 2017 en begin 2018. Deze problemen werden veroorzaakt door een probleem met de nozzle pressure (fluctuaties). Na onderhoud bij de GGD Amsterdam werkte het apparaat weer naar behoren en is deze teruggeplaatst. Ook bij Vijfhuizen is er uitval geweest in januari 2018, veroorzaakt door een probleem met de computer die de EPC-data opslaat. Dit probleem is verholpen door een andere computer te plaatsen.

Tabel 4: Databeschikbaarheid van de UFP-concentraties op de zes locaties gedurende het eerste halfjaar.

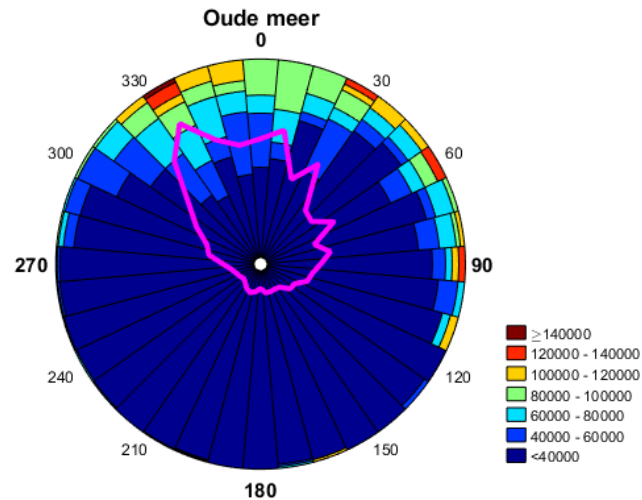
Locatie	Databeschikbaarheid [%]
Oude Meer	92
Ookmeer	98
Amstelveen	99
Aalsmeer	83
Vijfhuizen	86
Polderbaan	79



Figuur 12: UFP concentraties gemeten van augustus 2017 tot en met januari 2018 op de zes verschillende meetlocaties (Oude Meer, Ookmeer, Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen en Polderbaan). Let op de schalen van de y-as verschillen per locatie.

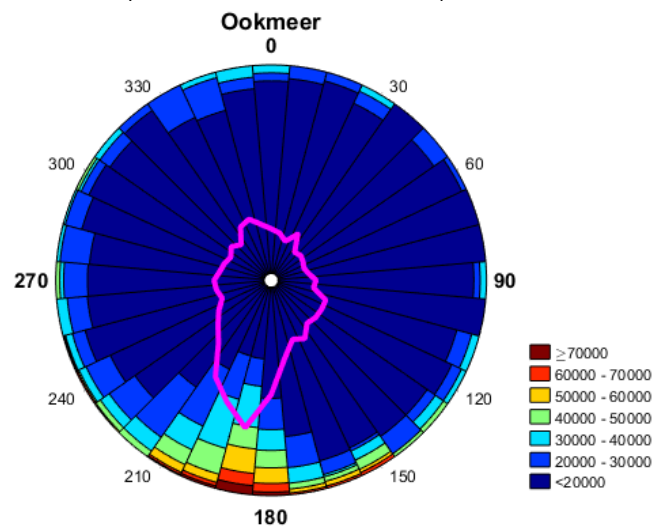
Om te onderzoeken welke bronnen mogelijk bijdrage aan de pieken in UFP-concentratie kan een windroos gemaakt worden. Hierbij wordt gekeken welke UFP-concentraties er gemeten worden wanneer de wind uit een bepaalde hoek komt. Hiervoor zijn de winddata van de KNMI-metingen op Schiphol gebruikt. Voor alle locaties is duidelijk zichtbaar dat de verhoogde UFP-concentraties gemeten worden wanneer de wind vanaf Schiphol komt. Als voorbeeld worden hier de windrozen van Oude Meer en Amsterdam-Ookmeer getoond. De windrozen van de overige locaties zijn zichtbaar in Bijlage B. De windrozen zijn geplot in de vorm van een histogram met hierover de gemiddelde UFP-concentratie per windrichting. Voor de locatie Oude Meer (Figuur 13) is duidelijk zichtbaar dat er verhoogde UFP-concentraties gemeten worden vanuit het

noorden. Schiphol bevindt zich ten opzichte van deze locatie in het noorden (zie Figuur 1).



Figuur 13: Histogram windroos voor locatie Oude Meer met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.

De windroos van de locatie Ookmeer is zichtbaar in Figuur 14. Hier zien we opnieuw dat de UFP-concentraties vanuit Schiphol verhoogd zijn (in dit geval uit het zuiden). Verder valt op dat, ten opzichte van Oude Meer, op Ookmeer de maximale UFP-concentraties een stuk lager zijn. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de afstand tot Schiphol. De locatie Oude Meer ligt dichterbij Schiphol (afstand van circa 1 km) dan de locatie Ookmeer (afstand van circa 5 km, zie ook Figuur 1).

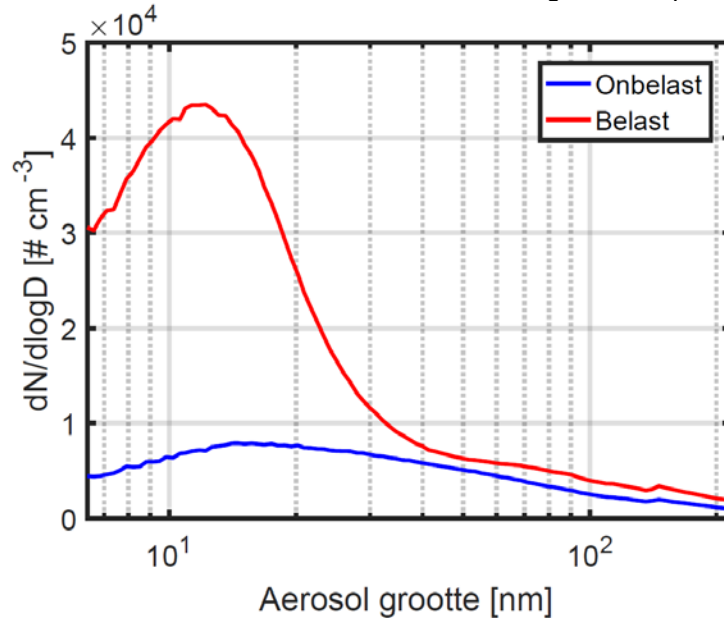


Figuur 14: Histogram windroos voor locatie Ookmeer met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.

4.1.2 Deeltjesgrootteverdeling

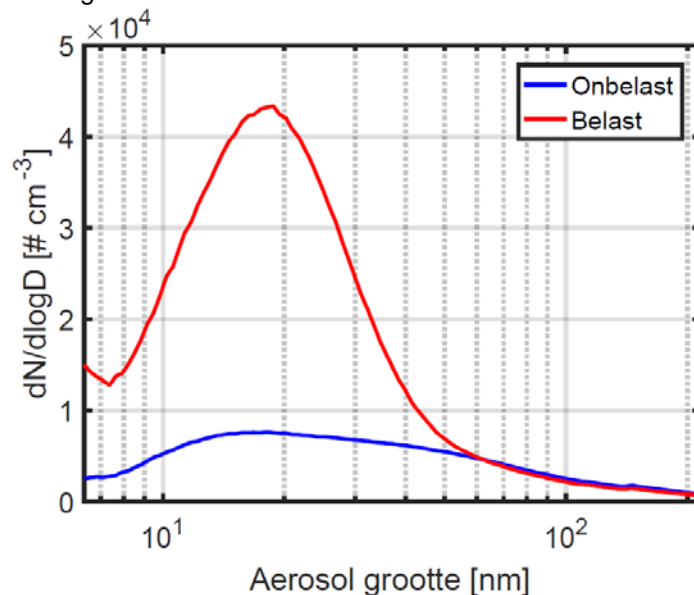
De deeltjesgrootteverdeling, gemeten in Vijfhuizen, is zichtbaar in Figuur 15. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen belast (wind vanuit Schiphol) en onbelast (wind *niet* vanuit Schiphol) met behulp van de door KNMI gemeten windrichting (WD). Let op: deze termen worden alleen gebruikt om de belasting uit Schiphol te duiden. Andere

bronnen als wegverkeer kunnen dus wel degelijk invloed hebben in de deeltjesgrootteverdeling onbelast klassen. De minimale waarde op de x-as in Figuur 15 is 6.4 nm. De deeltjesaantallen zijn voor alle deeltjesgroottes hoger uit belaste dan uit onbelaste richting. Met name de deeltjes kleiner dan 30 nm komen vaker voor uit belaste dan uit onbelaste richting met een piek rond de 12 nm.



Figuur 15: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Vijfhuizen met onbelast ($WD < 20^\circ$ en $> 160^\circ$) en belast (tussen $20^\circ < WD < 160^\circ$).

Een vergelijkbaar patroon in deeltjesgrootteverdeling is te zien in Aalsmeer (zie Figuur 16). Voor deze locatie liggen de aantallen deeltjes kleiner dan 55 nm voor belast boven die van onbelaste lucht. De piek in aantallen deeltjes voor belaste lucht ligt rond de 19 nm.



Figuur 16: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Aalsmeer met onbelast ($70^\circ < WD < 300^\circ$) en belast ($WD < 60^\circ$ en $WD > 300^\circ$).

Uit de metingen van de deeltjesgrootteverdeling blijkt dat het overgrote deel van de verhoging in de concentratie van ultrafijn stof veroorzaakt wordt door deeltjes 10 tot 30 á 40 nm grootte. Het is bekend dat deeltjes met deze afmeting in de nabijheid van luchthavens voor het overgrote deel afkomstig zijn van vliegtuigemissies (Stacey, 2019). Deeltjes uit wegverkeer zijn lokaal over het algemeen het talrijkst bij een grootte van 30-50 nm (Stacey, 2019). Ook deeltjes als gevolg van vliegtuigemissies dragen in de grootteklasse 30-50 nm bij. Er is in deze grootteklasse dus sprake van deeltjes van beide bronnen. Bij 10-30 nm is deze overlap minder: in deze grootteklasse is, in nabijheid van vliegtuigen, het grootste deel van de deeltjes afkomstig uit vliegtuigemissies.

4.2 Tweede halfjaar

Hieronder worden de UFP-concentraties, verzameld tijdens het tweede halfjaar aan metingen, getoond (gecorrigeerd aan de hand van de vergelijkingscampagnes). Tevens worden de deeltjesgrootteverdeling getoond.

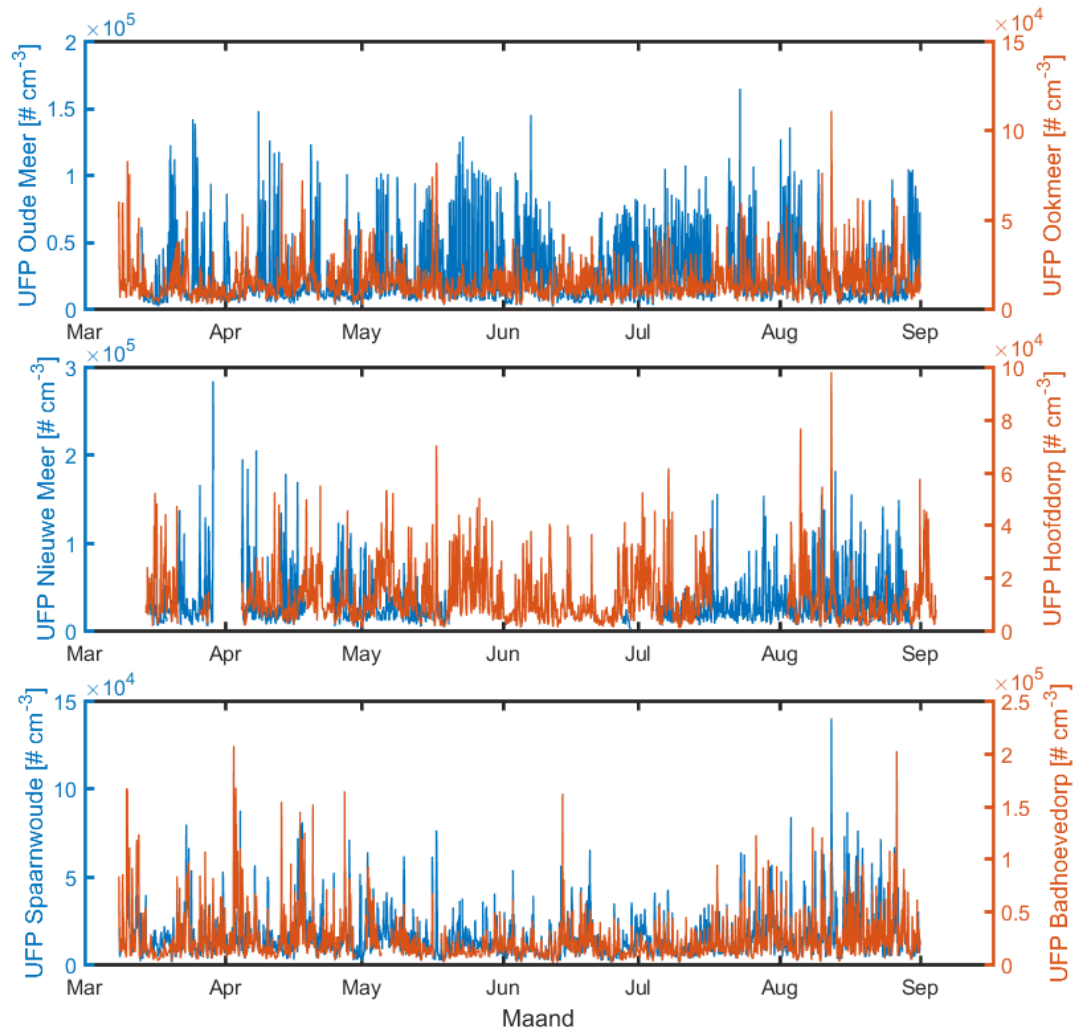
4.2.1 UFP-concentraties

De tijdseries van UFP-concentraties gemeten voor het tweede halfjaar zijn zichtbaar in Figuur 17. Wat opvalt is dat de patronen in UFP-deeltjes voor de locaties Spaarnwoude en Badhoevedorp duidelijk met elkaar overeen komen. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het feit dat beide locaties ten noorden van Schiphol liggen (zie Figuur 1). Ook zijn de UFP-concentraties voor de dichtstbijzijnde locatie (Badhoevedorp) hoger dan die van de locatie verder weg (Spaarnwoude).

De databeschikbaarheid per locatie voor het tweede halfjaar aan metingen is zichtbaar in Tabel 5. Hieruit komt duidelijk naar voren dat de databeschikbaarheid op de locatie Nieuwe Meer het laagst was (66%). Bij deze EPC waren er problemen met de laser. Deze problemen waren niet te verhelpen in het laboratorium van TNO. De EPC is daarom teruggestuurd naar de fabrikant. Bij de fabrikant is het probleem verholpen en is de EPC opnieuw gekalibreerd. Deze problemen hebben ervoor gezorgd dat er op de locatie Nieuwe Meer data uitval was van eind mei 2018 tot en met eind juni 2018.

Tabel 5: Databeschikbaarheid van de UFP-concentraties op de zes locaties gedurende het tweede halfjaar.

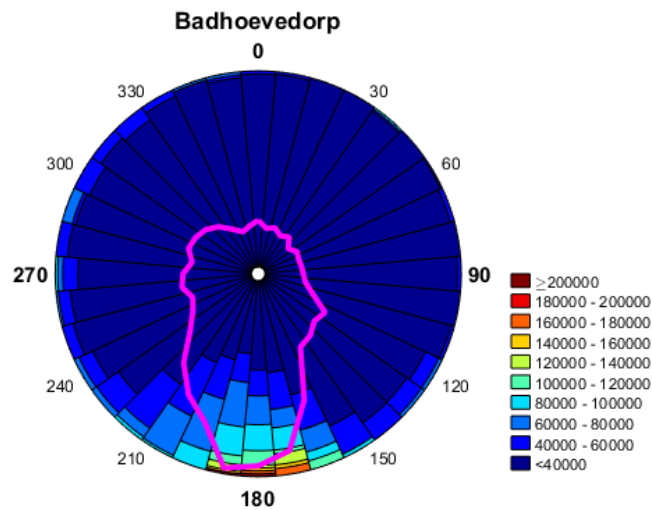
Locatie	Databeschikbaarheid [%]
Oude Meer	96
Ookmeer	99
Nieuwe Meer	66
Hoofddorp	82
Spaarnwoude	100
Badhoevedorp	96



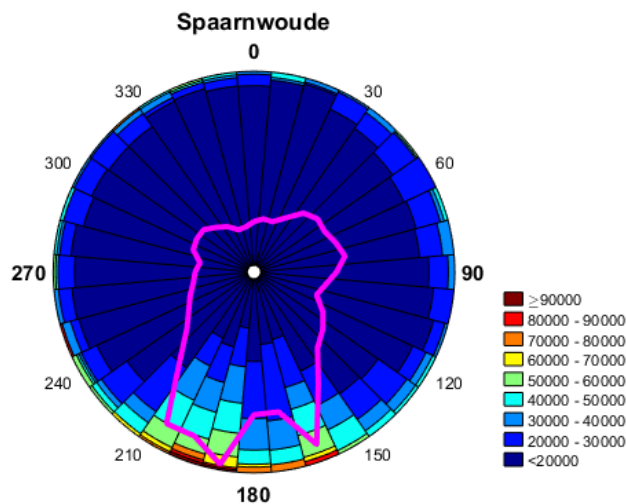
Figuur 17: UFP concentraties gemeten van maart 2017 tot en met augustus 2018 op de zes verschillende meetlocaties (Oude Meer, Ookmeer, Nieuwe Meer, Hoofddorp, Spaarnwoude en Badhoevedorp). Let op de schalen van de y-as verschillen per locatie.

Er zijn ook problemen geweest in Hoofddorp. De tweede helft van de data in juli is daarom niet beschikbaar. Deze problemen zijn veroorzaakt door een onjuiste flow. Na onderhoud is dit probleem verholpen.

De windrozen van Badhoevedorp en Spaarnwoude (Figuur 18 en Figuur 19) bevestigen de hypothese dat de deeltjesaantallen hoger zijn dichterbij Schiphol. Uit het zuiden zijn voor beide locaties duidelijk verhoogde UFP-concentraties zichtbaar. Voor de locatie Badhoevedorp lopen deze uursgemiddeld op tot 220.000 aantal cm^{-3} , terwijl deze voor de locatie Spaarnwoude een stuk lager liggen (tot 100.000 aantal cm^{-3}).



Figuur 18: Histogram windroos voor locatie Badhoevedorp met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.

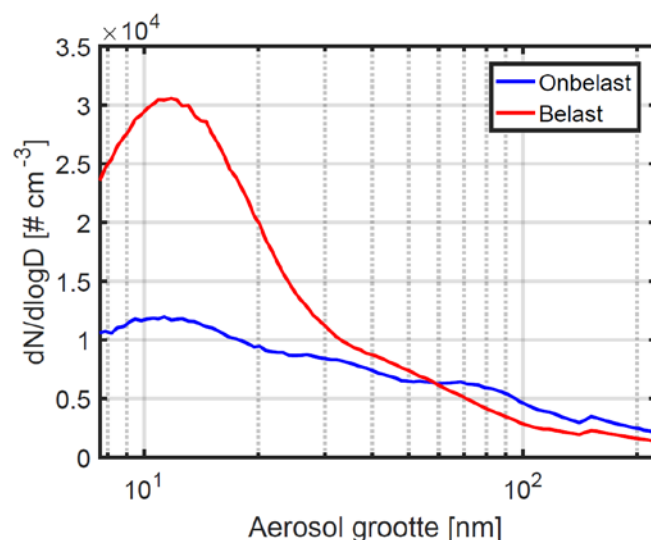


Figuur 19: Histogram windroos voor locatie Spaarnwoude met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.

De windrozen van de locatie Hoofddorp en Nieuwe meer zijn weergegeven in Bijlage B. Deze laten eenzelfde patroon zien met verhoogde UFP aantallen uit de richting van Schiphol.

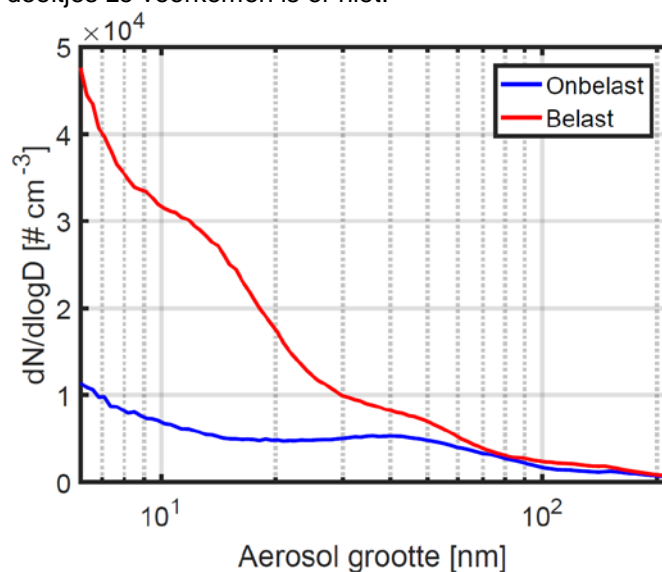
4.2.2 Deeltjesgrootteverdeling

Voor Ookmeer (Figuur 20) worden er hogere aantallen voor belaste lucht gezien wanneer de deeltjesgrootte onder de 60 nm ligt. De meeste deeltjes die worden gemeten voor belaste lucht hebben een diameter van 12 nm.



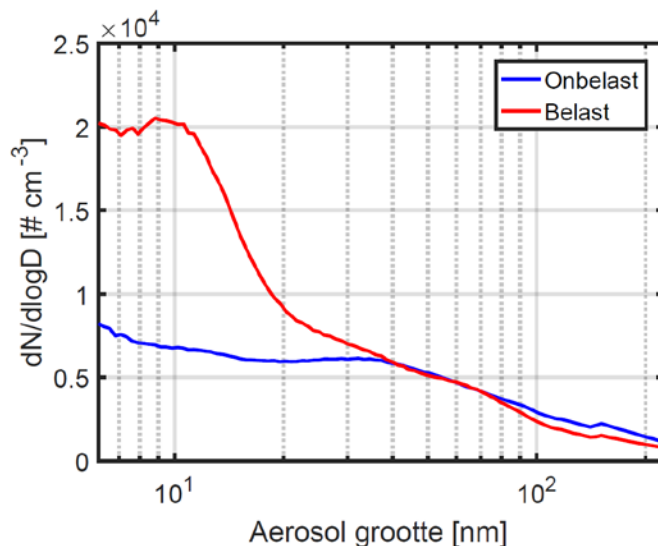
Figuur 20: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Ookmeer met onbelast ($WD < 170^\circ$ of $WD > 270^\circ$) en belast (tussen $160^\circ < WD < 270^\circ$).

De deeltjesgrootteverdeling, gemeten in Hoofddorp, is zichtbaar in Figuur 21. Hier zien we dat het maximaal aantal deeltjes gemeten wordt in de kleinste aerosol klasse (6 nm), zowel voor belaste als onbelaste lucht. Het aantal deeltjes van belaste lucht is tot en met een grootte van 70 nm hoger dan die van onbelaste lucht. Opvallend is dat de piek in deeltjesaantallen hier onder de 10 nm ligt, zowel voor de belaste als onbelaste windrichtingen. Een eenduidige verklaring waarom juist deze zeer kleine deeltjes zo vaak voorkomen hebben we niet. Ook in de studie van Weijers *et al.* (2015) zijn pieken in deeltjesaantallen onder de 10 nm aangetoond (zie ook Bijlage C). Een hypothese is de vorming van nieuwe deeltjes onder bepaalde weersomstandigheden (onder andere licht). Hierbij kunnen zeer kleine deeltjes uit gassen in de lucht ontstaan, wat nucleatie wordt genoemd (onder andere Manninen *et al.* 2010 en Mamali *et al.* 2018). Mogelijk vond er tijdens de betreffende meetperiodes (Hoofddorp juli 2018, andere locaties mei 2015) meer nucleatie plaats. Echter een eenduidige verklaring waarom juist deze zeer kleine deeltjes zo voorkomen is er niet.



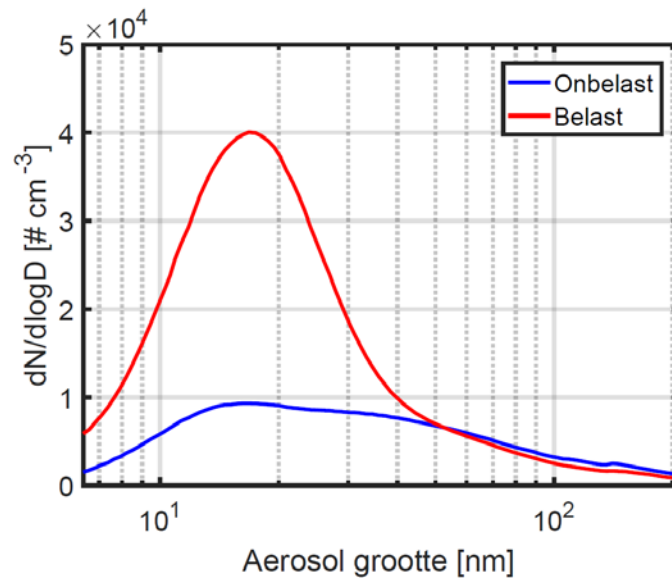
Figuur 21: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Hoofddorp met onbelast ($WD < 20^\circ$ of $> 170^\circ$) en belast ($10^\circ < WD < 160^\circ$).

Net als in Ookmeer kruisen in Spaarnwoude de deeltjesgrootteverdeling van onbelast en belaste lucht elkaar (Figuur 22). Belaste en onbelaste lucht zijn qua deeltjesaantallen aan elkaar gelijk bij een deeltjesgrootte tussen de 40 en 80 nm. Voor deeltjes groter dan 70 nm ligt het aantal van onbelaste lucht boven die van belaste lucht. Voor kleine deeltjes (<40 nm) zijn er juist veel meer deeltjes in belaste dan in onbelaste lucht.



Figuur 22: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Spaarnwoude met onbelast ($WD < 130^\circ$ of $WD > 250^\circ$) en belast ($120^\circ < WD < 260^\circ$).

In Figuur 23 wordt de deeltjesgrootteverdeling, gemeten in Badhoevedorp, getoond. Hier zien we opnieuw dat de deeltjesaantallen voor kleine deeltjes (<50 nm) hoger zijn voor belast dan onbelast. Er is een duidelijke piek zichtbaar in deeltjesaantallen met een grootte van 17 nm voor belaste lucht. De data van Badhoevedorp is noodgedwongen verzameld met Aerosol Instrument Manager v10 (in plaats van v9 zoals de overige SMPS data zichtbaar in Paragrafen 4.1.2 en 4.2.2). Achteraf bleek uit analyse van data dat met name voor kleine deeltjes (<20 nm) v10 lagere aantallen geeft dan v9 (hier niet getoond). Waarschijnlijk ligt dit aan een aanpassing van de diffusiecorrectie in de nieuwe Aerosol Instrument Manager (M. Havlicek, persoonlijke communicatie, 12-11-2018). Hierdoor kan het zijn dat de aantallen van deze kleine deeltjes voor de locatie Badhoevedorp lager zijn voor de andere locaties. Deze verlaging is echter in dat geval zowel voor lucht belast als onbelast vanuit Schiphol hetzelfde, waardoor dit geen invloed heeft op eventuele conclusies die aan deze deeltjesgrootteverdeling metingen verbonden worden.



Figuur 23: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Badhoevedorp met onbelast ($WD < 140^\circ$ of $WD > 310^\circ$) en belast ($130^\circ < WD < 320^\circ$).

Naast de locaties, gemeten in het eerste en tweede halfjaar, zijn er ook nog metingen verricht op de locatie Polderbaan (tijdens de vergelijkingscampagnes). Daarnaast zijn er in de voorgaande studie van Weijers *et al.* (2015) de locaties Oude Meer, Nieuwe Meer en Amstelveen gemeten. De deeltjesgrootteverdeling voor deze vier locaties zijn terug te vinden in Bijlage C.

5 Conclusies

Gedurende ruim één jaar zijn UFP deeltjesaantallen gemeten op 10 locaties rondom Schiphol (Oude Meer, Amsterdam Ookmeer, Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen, Polderbaan, Nieuwe Meer, Hoofddorp, Spaarnwoude en Badhoevedorp). Het doel van deze metingen was het rekenmodel, eerder verkend door Bezemer *et al.* (2015), te toetsen en waar mogelijk te verbeteren. Met dit rekenmodel kan de blootstelling van UFP-concentratie rondom Schiphol in kaart gebracht worden. Hiertoe werden tijdens een aantal meetcampagnes meetgegevens verzameld. Gezien dit doel, was het belangrijk dat de gemeten UFP deeltjesaantallen op de 10 locaties onderling vergelijkbaar zijn. Om dit te waarborgen zijn er drie vergelijkingscampagnes geweest, waarbij de apparatuur op één locatie met elkaar werd vergeleken. De resultaten van de vergelijkingscampagnes laten zien dat regelmatig onderling vergelijken van apparatuur voor het meten van deeltjesaantallen aan te raden is. Er is voor apparatuur tot 10% verschil binnen het halfjaar aan metingen aangetoond. Op basis van de drie vergelijkingscampagnes en de daaruit afgeleide correctiefactoren zijn de data van UFP deeltjesaantallen, gemeten op locatie gecorrigeerd. De gemeten UFP-concentraties zijn gekoppeld aan de windrichting en er zijn windrozen gemaakt. Daaruit komt duidelijk naar voren dat Schiphol de grootste UFP-bron in de omgeving is. Dit blijkt zowel uit de verhoogde UFP-concentraties uit de windrichting van de luchthaven als uit het feit dat op locaties dichterbij Schiphol de UFP-concentraties hoger zijn dan op locaties verder weg. Uit de metingen van deeltjesgrootteverdeling komt duidelijk naar voren dat de verhoogde UFP aantallen vanuit Schiphol veroorzaakt worden door zeer fijne deeltjes. De deeltjes kleiner dan 30 á 40 nm laten voor alle bemeaten locaties een aanzienlijke verhoging zien van belaste lucht uit de richting van Schiphol ten opzichte van onbelaste lucht. Het is bekend dat deeltjes met deze afmeting in de nabijheid van luchthavens voor het overgrote deel afkomstig zijn van vliegtuigemissies (onder andere Westerdahl *et al.*, 2008, Masiol *et al.*, 2014 en Stacey 2019). De bijdrage van andere bronnen (zoals wegverkeer) aan de concentratie van deeltjesaantallen bij wind uit de richting van Schiphol is vele malen lager dan die van de vliegtuigen. Concluderend kunnen we stellen dat de meetcampagne een goede reeks aan data heeft opgeleverd, die de UFP-concentratie rondom Schiphol gedurende alle seizoenen in kaart brengt. Het meten van UFP is specialistisch werk waardoor data-uitval niet geheel voorkomen kan worden, maar de databeschikbaarheid is op alle locaties voldoende. Conclusies aangaande het rekenmodel zijn terug te vinden in de rapportage Voogt *et al.* (2019).

6 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.
- Mamali, D., Mikkilä, J., Henzing, B., Spoor, R., Ehn, M., Petäjä, T., ... & Biskos, G. (2018). Long-term observations of the background aerosol at Cabauw, The Netherlands. *Science of the Total Environment*, *625*, 752-761.
- Manninen, H. E., Nieminen, T., Asmi, E., Gagné, S., Häkkinen, S., Lehtipalo, K., ... & Hörrak, U. (2010). EUCAARI ion spectrometer measurements at 12 European sites—analysis of new particle formation events. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *10*(16), 7907-7927.
- Masiol, M., & Harrison, R. M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*, *95*, 409-455.
- Stacey, B. (2019). Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmospheric Environment* *198*, 463-477.
- Voogt, M., Zandveld, P., Wesseling, J., Janssen, N. (2019). *Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol – Voor onderzoek naar gezondheid van omwonenden*. Bilthoven: RIVM rapport 2019-0074.
- 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.

7 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Nicole Linkels
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Rijnstraat 8
2515 XP Den Haag

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
M. Voogt (RIVM): Project coordinator

Datum waarop of tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:

8-5-2017 tot en met 16-5-2019

Naam en paraaf tweede lezer:



Dr. I. Velzeboer

Ondertekening:



Dr. D. van Dinther
Auteur

Autorisatie vrijgave:



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

A Beschrijving van de meetapparatuur

Het aantal ultrafijne deeltjes (UFP), dat gemeten wordt is sterk afhankelijk van een aantal specificaties van de apparatuur, zoals de ondergrens van detecteerbare deeltjes, de grens tot waar individuele deeltjes gedetecteerd kunnen worden en de bovengrens van het aantal deeltjes dat bepaald kan worden. Daarnaast spelen keuzes voor het wel of niet drogen en het soort condensatievloeistof een rol. Dat maakt het voor dit onderzoek, dat tot doel heeft toetsing en waar mogelijk verbetering van het rekenmodel, uiterst belangrijk dat op alle locaties met dezelfde apparatuur gemeten wordt. Alleen op die manier kan de gewenste vergelijkbaarheid tussen locaties bereikt worden. Voor de metingen in de omgeving van Schiphol is het nodig dat het apparaat met name hoge concentraties goed kan meten. De apparatuur die ingezet wordt is de EPC-3783 (Environmental Particle Counter). Dit instrument is een totaaldeeltjesteller die alle zwevende deeltjes boven een bepaalde diameter (7 nm^4) kunnen tellen doordat er in een hoog verzadigde atmosfeer eerst druppeltjes van gemaakt worden. De condensatievloeistof, die hier gebruikt wordt, is water. Deze druppeltjes worden apart geteld met een (kleine) laser, een optisch systeem en een lichtgevoelige cel die van iedere lichtflits een spanningspuls maakt. Het meetbereik waarin individuele deeltjes geteld worden is 106 cm^{-3} . Bij grotere aantallen kunnen de deeltjes niet allemaal meer individueel geteld worden. Voor verlies door deze zogenaamde coïncidentie wordt een hardware-matige correctie toegepast. Zowel TNO (voorheen ECN) als GGD Amsterdam beschikken over dit type apparaat. Aanvullend zijn enkele apparaten van dit type aangeschaft. In het vorige onderzoek (Weijers et al. 2015 en Bezemer et al. 2015) is dit type apparaat beschouwd als de standaard voor het project (de meetresultaten van de andere meetapparaten zijn naar dit type apparaat omgerekend).

Recent is door de Europese normalisatiecommissie (CEN) een technische specificatie voor het meten van aantallen ultrafijne deeltjes gepubliceerd. Er is niet gekozen voor een apparaat en werkwijze, die aan alle richtlijnen van de specificatie voldoet. De betrokken partijen hebben er nog geen praktische ervaring mee, wat een risico voor het verkrijgen van bruikbare meetdata met zich meebrengt. Daarnaast wordt met de keuze voor de EPC-3783 aangesloten bij het vorige onderzoek. Voor de doelstelling van het huidige onderzoek is het geen eis om aan alle specificaties te voldoen. Er wordt immers niet getoetst aan absolute grenswaarden. De metingen worden gebruikt voor de validatie van het rekenmodel waarmee de variatie tussen adreslocaties in de omgeving in kaart wordt gebracht. Waar mogelijk is de EPC in een bestaand meetstation van de GGD geplaatst. Op de overige stations is de EPC geplaatst in een kist met verwarming en ventilatie (zie Figuur 24). De ventilatie dienen ter koeling in de zomer. Bij een te hoge buitentemperatuur ($>25^\circ\text{C}$) kan storing van de apparatuur niet geheel worden voorkomen. Alle technische meetparameters van het instrument worden bijgehouden door software. De inlaatsystemen voor de verschillende instrumenten zijn identiek. Dit houdt in dat het debiet tot het instrument hetzelfde is. Het inlaatsysteem is als volgt (zie ook Figuur 24): een leiding loopt van de EPC horizontale naar buiten (vanuit de kist of het meetstation), waarna het met een geleidelijke bocht van 90° 1,5 meter omhoog gaat. Vervolgens gaat de leiding met een draai van 180° een aantal cm naar beneden zodat de inlaat naar beneden hangt. Het uiteinde van het inlaatsysteem ziet eruit als een kegel op een cilinder, met binnen de cilinder een vliegengaas. Op deze manier worden vliegen en regen buitengehouden en zullen deeltjes groter dan $10 \mu\text{m}$ nauwelijks binnen kunnen

⁴ Dit is de zogenaamde D50. Dit betekent dat 50% van de gesampelde deeltjes met een grootte van 7 nm daadwerkelijk gedetecteerd worden.

komen bij normale meteorologische omstandigheden. De lucht wordt niet gedroogd. Deze constructie is in eerdere studies toegepast en heeft naar behoren gefunctioneerd. Het leidingmateriaal bestaat uit koppelstukken van RVS en leiding van geleidende met koolstof gevulde flexibele slang.



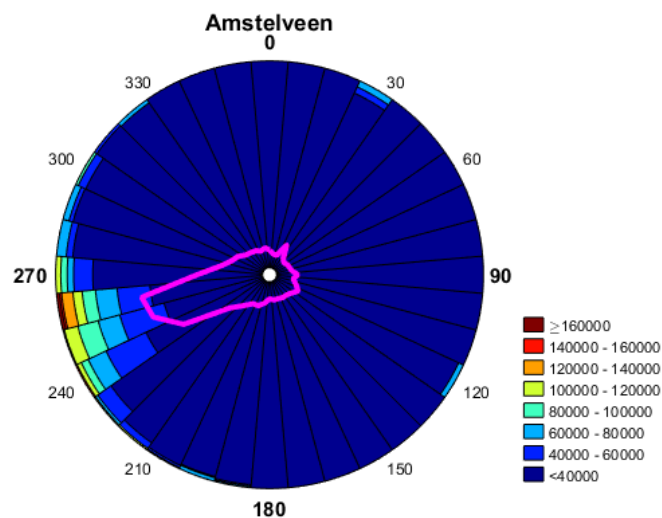
Figuur 24: Meetopstelling van de EPC in kist met inlaatsysteem duidelijk zichtbaar in dit geval op locatie Hoofddorp.

Naast de EPC's wordt gebruik gemaakt van de SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) van TSI met type nummer 3080 en 3082 (deze laatste is alleen gebruikt op locatie Badhoevedorp). De SMPS heeft gerouleerd tussen de verschillende locaties. De SMPS maakt gebruik van een aangelegde elektrische lading op aerosol en de grootteafhankelijke traagheid van het aerosol om de diverse grootteklassen te onderscheiden. In een cilinder, waar het aerosol doorheen stroomt, is een centrale staaf bevestigd waarop spanning wordt gevarieerd en deeltjes met verschillende grootte worden zo, afhankelijk van grootte en aangelegde spanning, gesorteerd. Het proces duurt afhankelijk van type SMPS 1 tot 10 minuten. De lading op de deeltjes wordt aangebracht met behulp van een radioactieve bron (ioniserende straling). De doorgelaten deeltjes worden met een absolute meetmethode geteld (een zogenaamde condensation particle counter, CPC). Met de SMPS 3080 is de CPC type 3776 gebruikt, terwijl met de SMPS 3082 de CPC type 3775 is gebruikt. Bij beide CPC's wordt voor het aangroeien van de deeltjes butanol gebruikt. Ieder deeltje wordt in een druppeltje omgezet en met behulp van een laserstraal gedetecteerd. Het deeltjesspectrum wordt vervolgens berekend, rekening houdend met het percentage van een deeltjesgrootte dat de juiste eenheidslading heeft. Die ladingstoestand is bij voldoende bronsterkte altijd dezelfde.

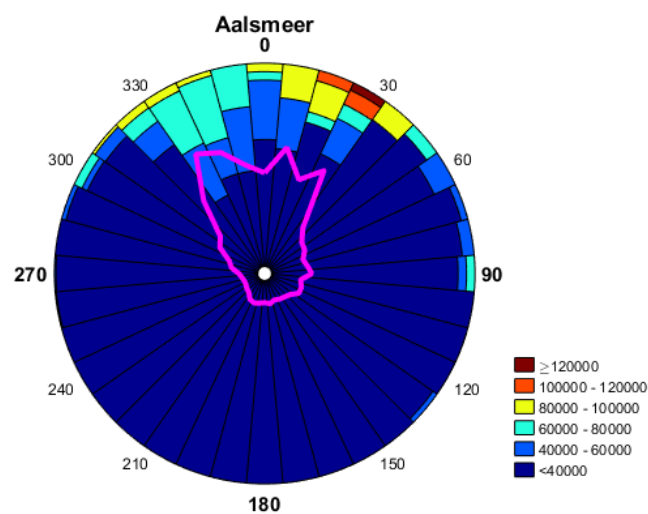
De roulerende SMPS wordt op locatie ingezet om de deeltjesgrootteverdeling vast te stellen met als doel inzicht te krijgen in hoeverre naast luchtvaart ook andere bronnen bijdragen bij dezelfde windrichting. De aantallen UFP gemeten met de SMPS worden niet direct gebruikt. Voor de aantallen deeltjes worden namelijk de EPC's ingezet. Verschillen tussen EPC en SMPS als gevolg van activatie door water ofwel butanol en het wel of niet corrigeren voor diffusieverliezen vormen daarom voor deze studie geen risico. Wel worden de deeltjesaantallen gemeten met EPC gebruikt ter validatie van de SMPS data op locatie.

B Windrozen van UFP-concentraties op de meetlocaties

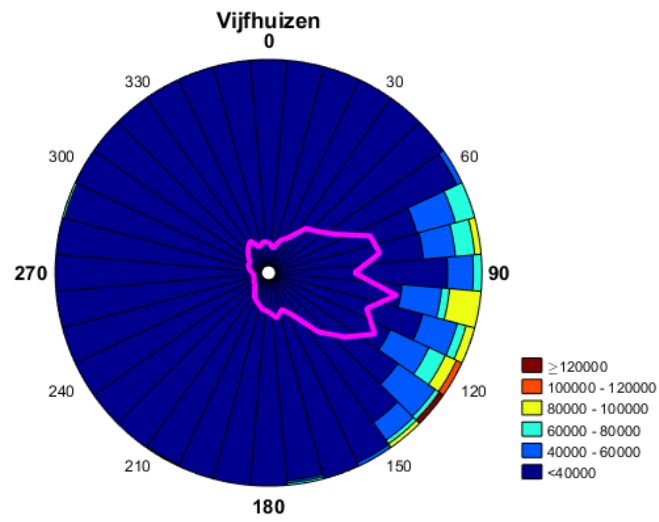
Hieronder worden de verschillende windrozen van UFP-concentraties getoond. Als eerste worden de windrozen getoond voor het eerste halfjaar aan metingen voor de locaties Amstelveen, Aalsmeer, Vijfhuizen en Polderbaan (Figuur 25 tot en met Figuur 28). Vervolgens worden de windrozen voor het tweede halfjaar aan metingen getoond voor de locaties Oude Meer, Ookmeer, Nieuwe Meer en Hoofddorp (Figuur 29 tot en met Figuur 32).



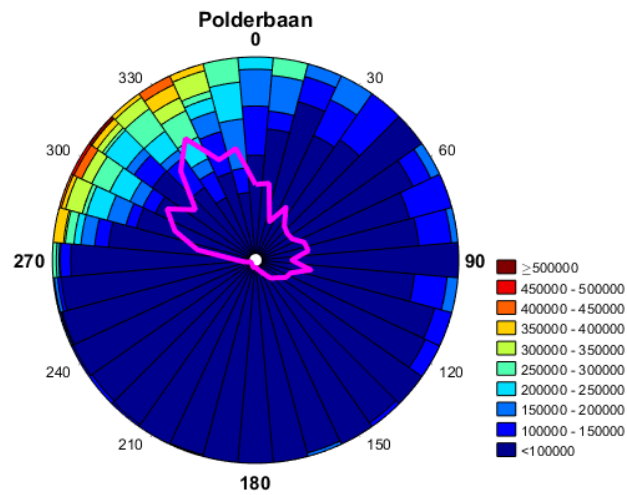
Figuur 25: Histogram windroos voor locatie Amstelveen met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



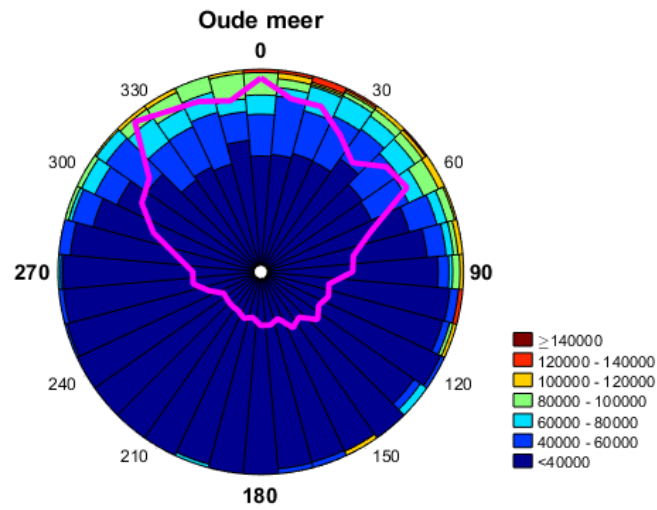
Figuur 26: Histogram windroos voor locatie Aalsmeer met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



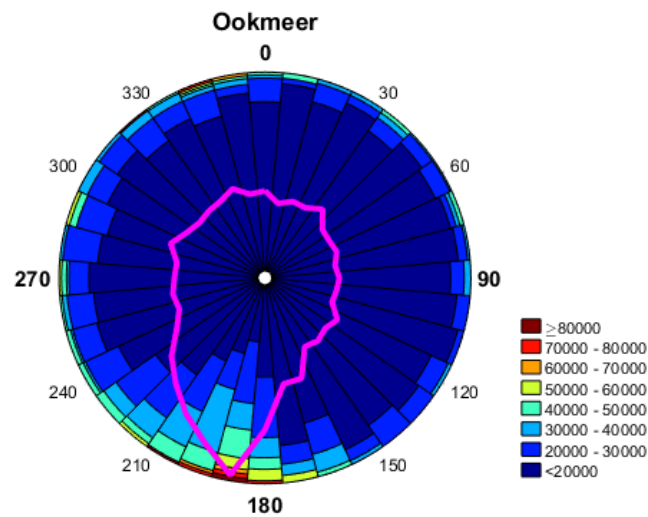
Figuur 27: Histogram windroos voor locatie Vijfhuizen met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



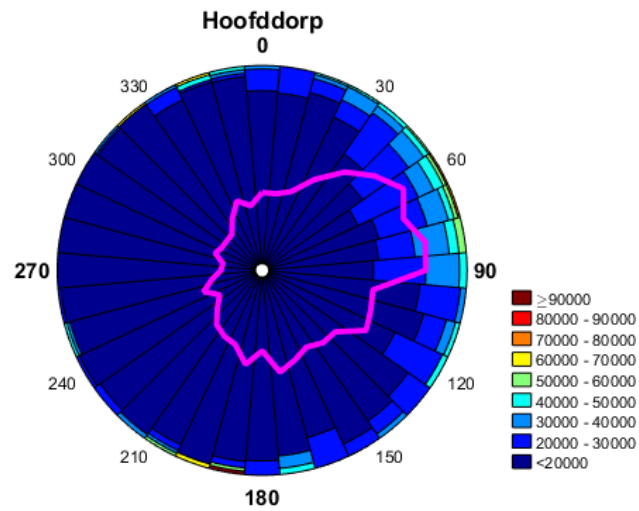
Figuur 28: Histogram windroos voor locatie Polderbaan met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



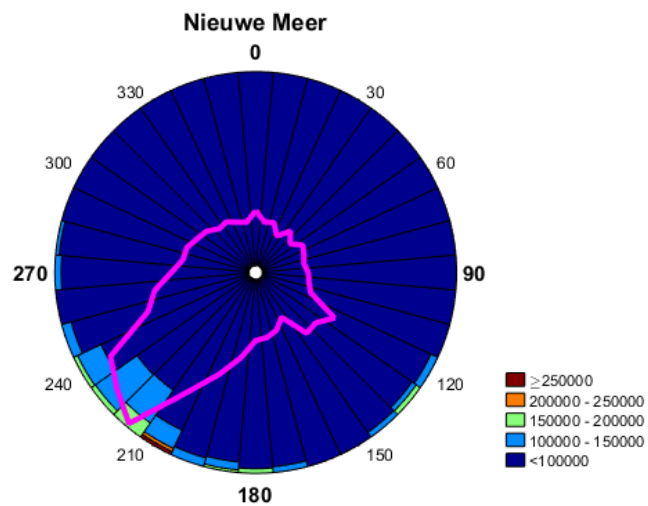
Figuur 29: Histogram windroos voor locatie Oude Meer voor het tweede halfjaar aan metingen, met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



Figuur 30: Histogram windroos voor locatie Ookmeer voor het tweede halfjaar aan metingen, met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



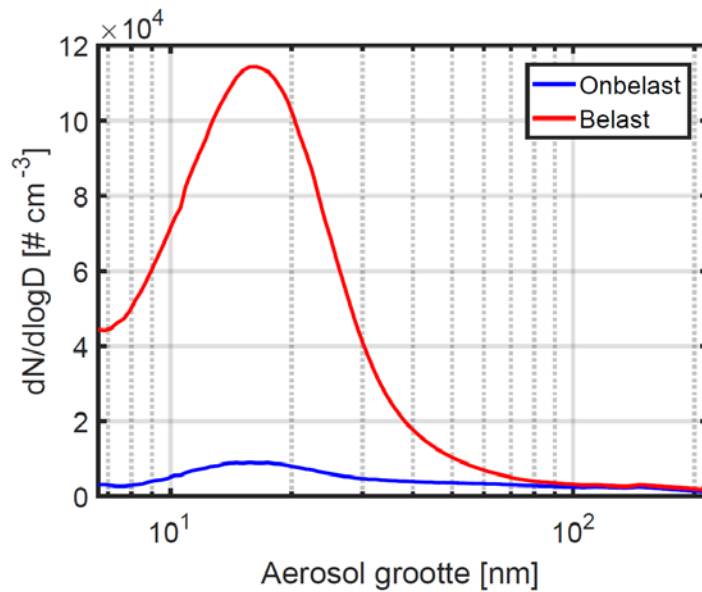
Figuur 31: Histogram windroos voor locatie Hoofddorp met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.



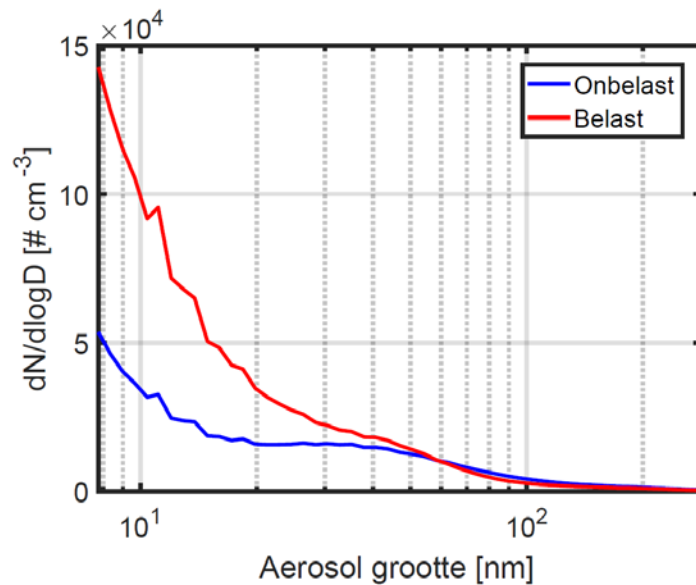
Figuur 32: Histogram windroos voor locatie Nieuwe Meer met in kleur verschillende UFP-concentraties. In magenta is de gemiddelde UFP-concentratie getoond per windrichting.

C Deeltjesgrootteverdeling op de meetlocaties

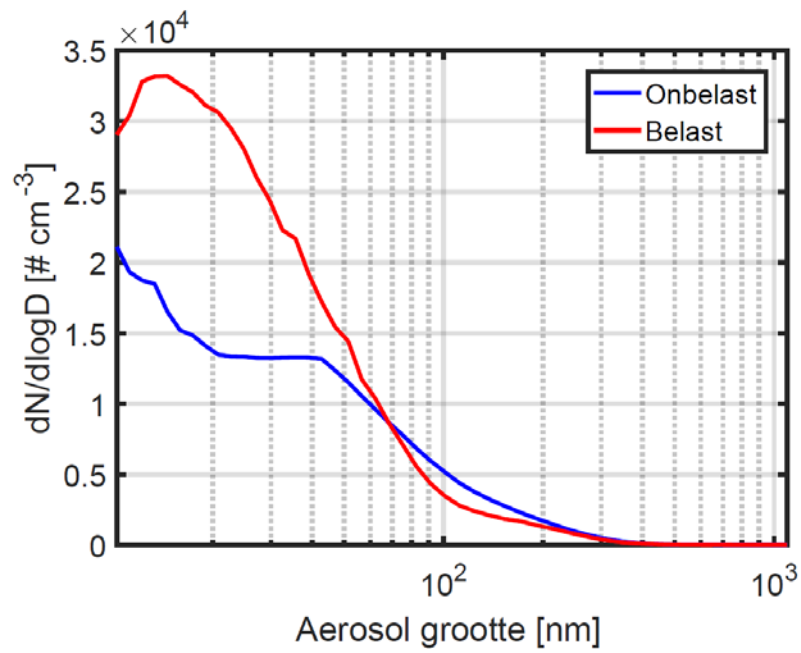
In deze bijlage wordt de deeltjesgrootteverdeling getoond van de locaties die niet tijdens het eerste of tweede halfjaar gemeten zijn. Allereerst worden de metingen getoond verzameld op de locatie Polderbaan tijdens vergelijkingscampagnes 1 en 2 (zie Figuur 33). De overige figuren (Figuur 34 tot en met Figuur 36) zijn verzameld binnen de studie van Weijers et al. (2015) op locaties Oude Meer, Nieuwe Meer en Amstelveen.



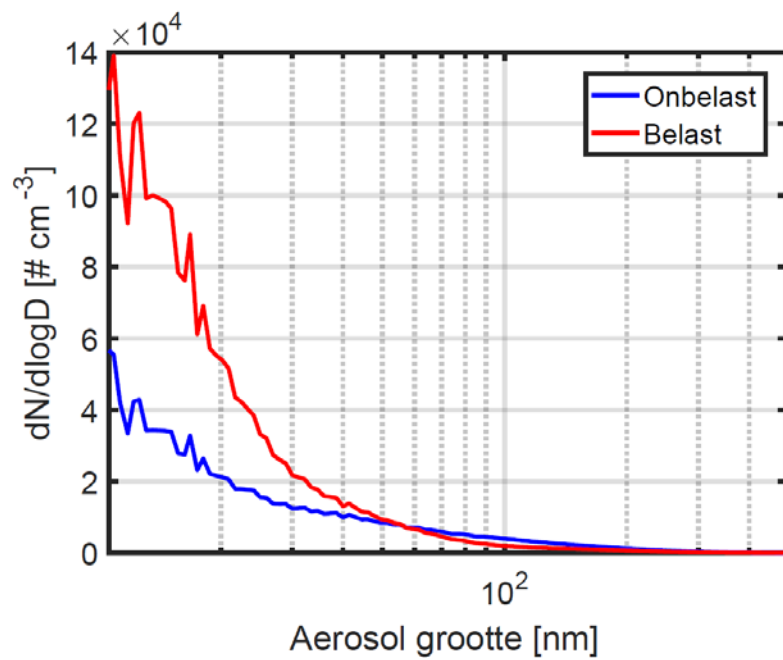
Figuur 33: Deeltjesgrootteverdeling gemeten op locatie Polderbaan met onbelast ($150^\circ < \text{WD} < 270^\circ$) en belast ($\text{WD} < 150^\circ$ of $\text{WD} > 290^\circ$).



Figuur 34: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Oude Meer met onbelast ($150^\circ < \text{WD} < 280^\circ$) en belast ($\text{WD} < 60^\circ$ of $\text{WD} > 270^\circ$).



Figuur 35: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Nieuwe Meer met onbelast ($WD < 160^\circ$ of $WD < 320^\circ$) en belast ($270^\circ < WD < 310^\circ$).



Figuur 36: Deeltjesgrootteverdeling gemeten in Amstelveen met onbelast ($WD < 220^\circ$ of $WD < 310^\circ$) en belast ($220^\circ < WD < 310^\circ$).