

**Circulair Economy &
Environment**

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport**TNO 2021 R11745****Verkennd onderzoek ultrafijnstof op het
Schiphol terrein met behulp van mobiele
metingen**

Datum	29 september 2021
Auteur(s)	P.C. Tromp, D. van Dinther, S.E. de Bie, J. Duyzer, J.P. Lollinga, M.M. Moerman, S.J. Henke
Aantal pagina's	66 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	4
Opdrachtgever	Schiphol Group
Projectnaam	TNO mobiele UFP metingen Schiphol
Projectnummer	060.42646

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.

© 2021 TNO

Samenvatting

Inleiding

De laatste jaren is er toenemende aandacht voor zeer kleine deeltjes stof in lucht. Dit ultrafijn stof (UFP) bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 100 nm. Deze deeltjesfractie zou nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid (Janssen et al, 2016; Lammers et al., 2020). Recentelijk uitgevoerde metingen van TNO, in samenwerking met RIVM, rondom de luchthaven Schiphol hebben verhoogde concentraties van UFP laten zien bij wind uit de richting van de luchthaven (Bezemer et al., 2015; Voogt et al., 2019). Naar aanleiding van deze ontwikkelingen heeft Schiphol aan TNO gevraagd onderzoek te doen naar de concentratie van UFP op het eigen terrein.

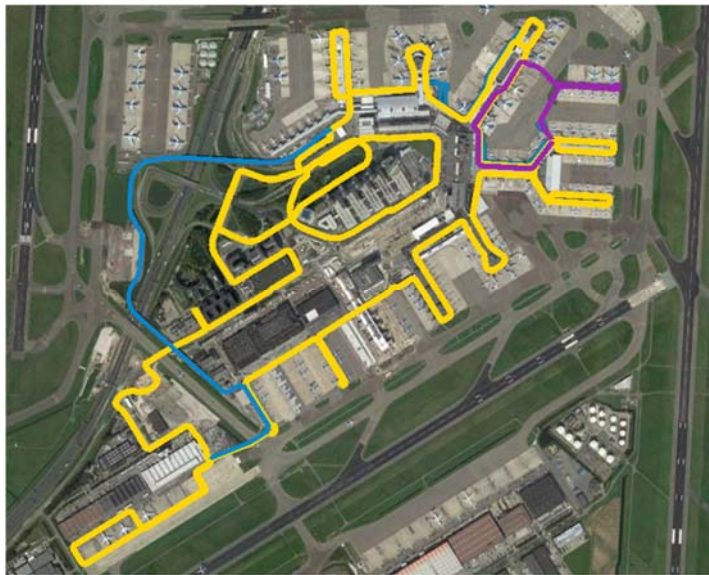
De belangrijkste doelstelling van het onderzoek is **het verkrijgen van inzicht in de concentratieniveaus aan UFP op het terrein van Schiphol Airport en zodoende een indicatie te krijgen van de concentraties van UFP waaraan medewerkers mogelijk blootgesteld (kunnen) worden**. Daarnaast dient het onderzoek inzicht te geven in de belangrijkste bronbijdragen aan de concentraties van UFP op het terrein van Schiphol. Daarbij gaat het vooral om het onderscheid tussen UFP afkomstig van vliegtuigmotoren en dieselmotoren (voornamelijk wegvoertuigen) op de luchthaven. Het RIVM is, in opdracht van het ministerie van I&W, als kennispartner bij het onderzoek betrokken. Het RIVM heeft in deze rol vooraf geadviseerd over de opzet en uitvoering van het meetprogramma en feedback gegeven op de eindrapportage.

Plan van aanpak

Het in kaart brengen van de concentratie van UFP op de luchthaven met (1) inzicht in belangrijkste bronbijdragen en (2) indicatie voor blootstelling van medewerkers is complex. Een passende meetstrategie is daarom belangrijk. Op basis van besprekingen met Schiphol, RIVM en TNO is een onderzoeksplan overeengekomen die uitgaat van “mobiele UFP metingen” waarbij meetapparatuur wordt rondgereden op de luchthaven. Hierbij zijn twee voertuigen, voorzien van meetapparatuur, gedurende een periode van 8 weken door medewerkers van de Schiphol-groep rondgereden op de ‘airside’, ‘landside’ en ‘randwegen’ van het terrein van Schiphol Airport. Tegelijkertijd met deze mobiele metingen is op de meetstations Oude Meer en Ookmeer continu de zogenaamde achtergrond concentratie van UFP gemeten. Deze metingen zijn bedoeld om vast te stellen wat de concentratie van UFP is, zonder de bijdrage van emissies van de luchthaven.

Met de ene auto is een vaste route afgelegd rondom de pieren en platforms van Schiphol Airport; met de andere auto is vooral het buitengebied bediend rondom de start- en landingsbanen. Ook hebben medewerkers de vrije hand gehad om naar eigen inzicht routes te bepalen of om stil te staan op relevante plaatsen op het terrein van Schiphol Airport, met inachtneming van veiligheid- en technische aspecten. De te rijden standaard route is in samenspraak met Schiphol bepaald en vastgelegd in een standaard meetprotocol, welke is voorgelegd aan medewerkers van Schiphol, het RIVM, vertegenwoordigers van enkele vakbonden en het grondpersoneel. Naar aanleiding hiervan zijn enkele aandachtspunten toegevoegd aan het meetprotocol. Belangrijk hierbij is dat de route rond de pieren is uitgebreid

en dat op een aantal vaste locaties een korte periode wordt stilgestaan om UFP fluctuaties (waaronder 'jet blast events') vast te kunnen stellen (Figuur S1).



Figuur S1. De af te leggen route. De gele route is de standaard route, de blauwe route is een alternatieve kortere route om snel terug te komen naar de 'airside', de paarse route is toegevoegd voor meer inzicht in de fluctuaties in de UFP concentraties rondom de pieren. Bron kaartmateriaal: Google Maps.

Meetcampagne

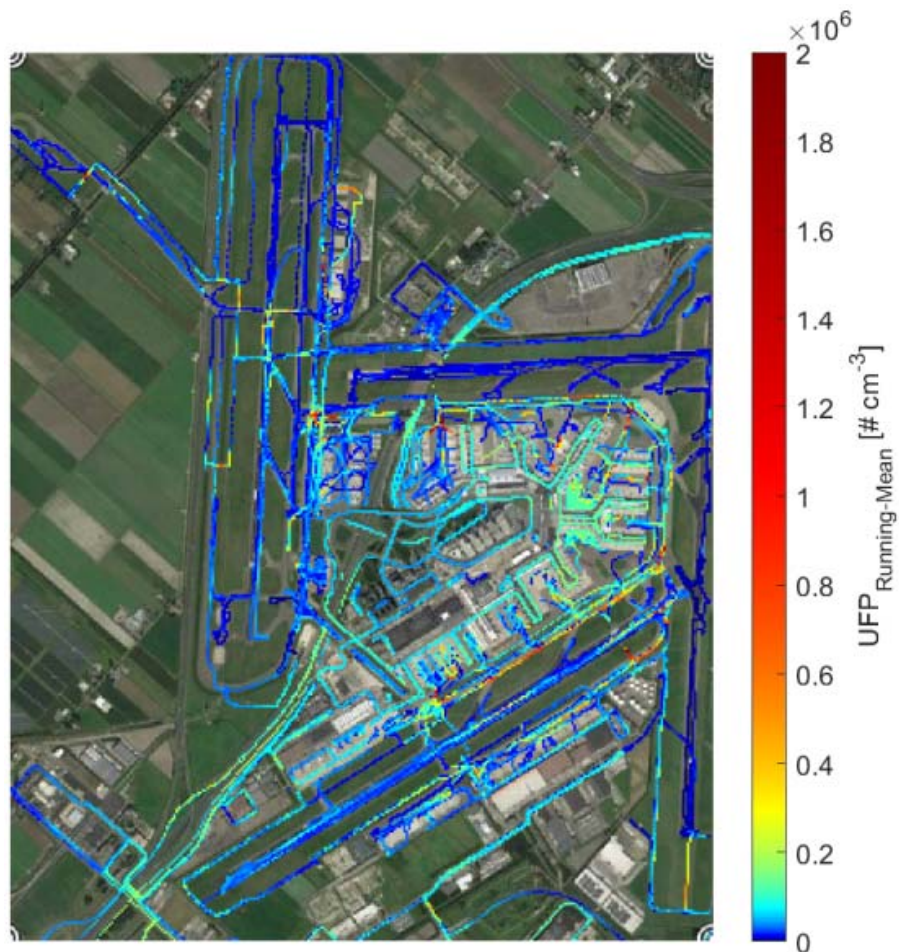
De twee voertuigen en de twee achtergrondstations Oude Meer en Ookmeer zijn ingericht met 'high-end' UFP monitors (Environmental Particle Counters: EPCs). De EPCs zijn ook in eerdere onderzoeken nabij luchthavens ingezet en meten deeltjes vanaf 7 nm. Dit is noodzakelijk aangezien vliegtuigmotoren vooral hele kleine deeltjes uitstoten tussen de 10 en 20 nm. Naast de EPCs zijn draagbare UFP sensoren ingezet om te kunnen beoordelen in hoeverre ze toepasbaar zijn voor een eventueel later uit te voeren blootstellingsonderzoek. Een van de auto's is ook uitgerust met een 'black carbon' (roet) monitor (Aethalometer AE33). Black carbon wordt als indicator gebruikt om onderscheid te maken tussen UFP afkomstig van wegverkeer en vliegverkeer. Uit de literatuur blijkt dat vliegtuigmotoren veel minder black carbon emitteren dan dieselmotoren. Daarnaast zijn de metingen gebruikt om een indicatie te krijgen van mogelijke plekken met verhoogde roet concentraties op het Schiphol terrein ('hot spots').

Ter voorbereiding van de meetcampagne op de luchthaven is in de periode van 23 maart tot 10 april 2021 een vergelijkingsstudie uitgevoerd met de vier UFP monitors (Environmental Particle Counters: EPC's). Hierbij hebben de EPCs op station Ookmeer naast elkaar gemeten en zodoende dezelfde lucht aangezogen. De resultaten van deze vergelijking zijn gebruikt om alle monitoren op elkaar te calibreren. De meetcampagne was oorspronkelijk gepland rondom de meivakantie van 2020, gezien de verwachte topdrukke in deze periode. Doordat het vliegverkeer op de luchthaven Schiphol in die periode, als gevolg van de COVID-19 pandemie, grotendeels werd stilgelegd is in samenspraak met Schiphol besloten de meetcampagne uit te stellen. Door de voortdurende onzekerheid over het vliegverkeer, ook op de langere termijn, is door Schiphol en TNO besloten niet

langer te wachten en zijn ondanks de steeds verminderde intensiteit van vliegverkeer de metingen gestart op 6 mei 2021. De metingen hebben doorgelopen tot 1 juli 2021. De ruwe data afkomstig van alle meetinstrumenten is gedurende de meetcampagne dagelijks gemonitord en beoordeeld op goed functioneren.

Belangrijkste resultaten

Alle verkregen meetdata is eerst gekoppeld aan de GPS-coördinaten van de locatie van het voertuig op het moment van de meting. Over het Schiphol terrein is vervolgens een raster gelegd van 15 x 15 meter, waarna de gemeten UFP concentraties op basis van de GPS-coördinaten zijn verdeeld over dit raster. De resultaten van alle mobiele metingen samen zijn vervolgens weergegeven in de vorm van concentratieprofiel kaarten. In de presentatie van deze meetgegevens is het voortschrijdend rekenkundig gemiddelde weergegeven (Figuur S2). Hiermee worden incidenteel voorkomende spikes (hoge uitbijters van 1 seconde) uitgemiddeld terwijl hoge piekconcentraties met een langere duur zichtbaar blijven, waardoor een robuuster beeld ontstaat van de situatie op Schiphol. Het gaat hierbij o.a. om 'jet blast events': de sterke luchtstroom uit de straalmotor van opstartende vliegtuigmotoren.

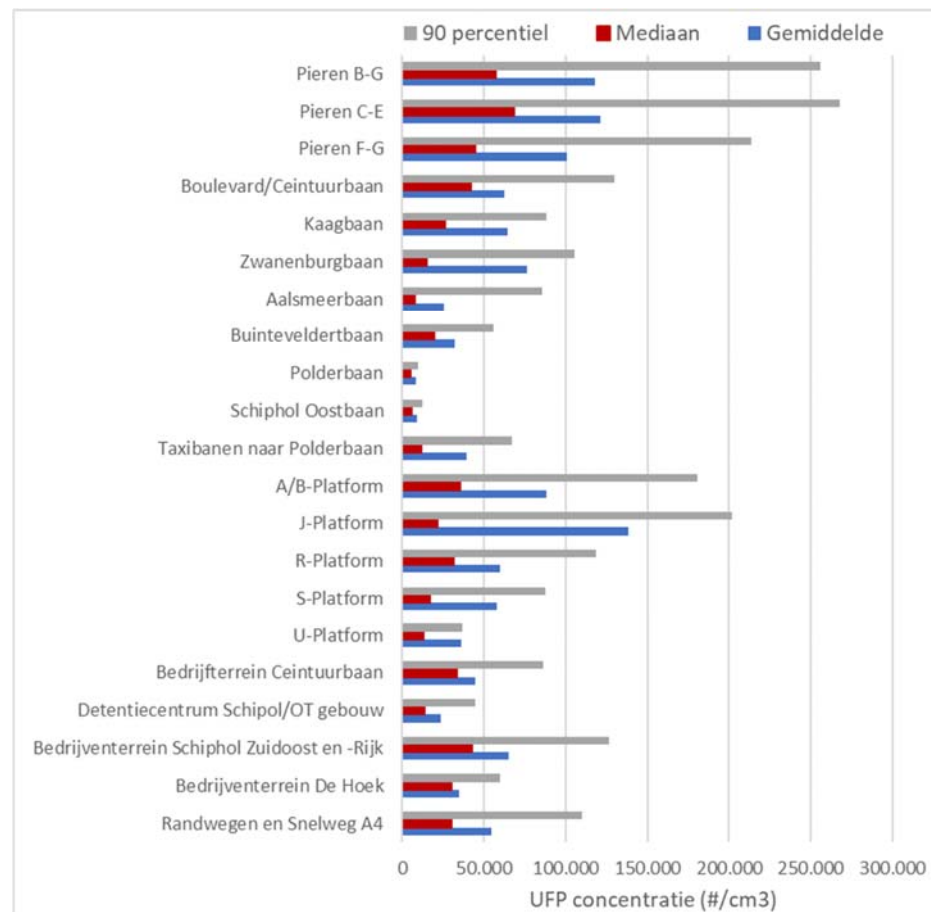


Figuur S2. Overzichtsfiguur van de gemiddelde UFP concentraties over het Schiphol terrein.
 Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000 \text{ #/cm}^3$.

Naast de concentratieprofiel kaarten, die inzicht geven in de lokale concentratieniveaus op het Schiphol terrein, zijn voor relevante locaties en terreinen op Schiphol Airport rekenkundig gemiddelde, mediane en 90 percentiel concentraties berekend (Figuur S3). In Tabel S1 is een samenvatting gegeven van de resultaten.

Tabel S1. Gemiddelde, mediane en 90 percentiel UFP concentraties over de gehele meetperiode, in # / cm³, voor verschillende gebieden op Schiphol Airport op basis van mobiele metingen.

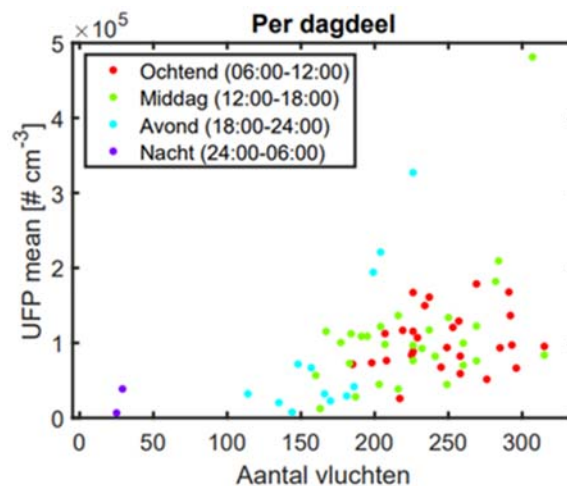
Gebieden	UFP concentratie (# / cm ³)		
	Gemiddelde	Mediaan	90 percentiel
Terminals en pieren	100.000 – 120.000	44.000 – 68.000	210.000 – 270.000
Boulevard/Ceintuurbaan	62.000	42.000	130.000
Taxi-, start- & landingsbanen	26.000 – 76.000	7.600 – 26.000	56.000 – 110.000
Platforms	36.000 – 140.000	13.000 – 36.000	37.000 – 200.000
Bedrijventerreinen	22.000 – 52.000	16.000 – 47.000	43.000 – 98.000
Randwegen snelweg A4	54.000	30.000	110.000



Figuur S3. Gemiddelde, mediane en 90 percentiel UFP concentraties over de gehele meetperiode, in # / cm³, voor verschillende locaties en terreinen op Schiphol Airport op basis van mobiele metingen.

De hierboven gepresenteerde getallen horen bij de gekozen meetopzet op basis van mobiele metingen en kunnen niet zomaar vergeleken worden met waarden van andere meetcampagnes op basis van vaste meetstations. De mediaan waarde, de middelste waarde van een serie metingen, wordt minder snel beïnvloed door hoge piekconcentraties en is vooral van toegevoegde waarde bij een beperkt aantal meetpunten (o.a. in het buitengebied). De 90 percentiel waarde geeft goed inzicht in voorkomende hoge (piek) concentraties. Deze waarde geeft aan dat 10% van het aantal meetpunten, binnen een cel, boven deze waarde uitkomt.

Behalve een variatie in gemeten UFP concentraties tussen de verschillende locaties, is er een grote variatie van de UFP concentraties in de tijd. Gemiddelde concentraties per dagdeel (6 uur) nabij de terminals en pieren variëren van 10.000 tot meer dan 200.000 deeltjes per cm^3 . De hoogste UFP concentraties worden daarbij in de ochtend en middag gemeten; dit hangt samen met het hoge aantal vliegbewegingen in die periodes. UFP concentraties kunnen enorm fluctueren; kortstondig (seconden tot minuten) kunnen hoge piekconcentraties optreden van meer dan 500.000 deeltjes per cm^3 . Deze pieken worden in verband gebracht met zogenaamde 'jet blast events' van vliegtuigen¹ en zijn het gevolg van het opstarten van vliegtuigmotoren nabij de pieren en terminals en van taxiënde en opstijgende vliegtuigen op en langs start- en landingsbanen



Figuur S4. Scatterplot van de gemiddelde UFP concentraties (#/cm^3) rondom de terminals en pieren per dagdeel tegen het aantal vluchten in het betreffende dagdeel (6-uur periode). In rood de ochtendvluchten, in groen de middagvluchten, in blauw de avondvluchten en in paars de nachtvluchten vs. gemeten concentraties.

Conclusies en aanbevelingen

UFP metingen

De mobiele metingen op het Schiphol terrein hebben geresulteerd in een uitgebreide en unieke hoeveelheid meetgegevens. Door de gekozen meetstrategie is een goed en representatief beeld ontstaan van de concentratieniveaus aan UFP rond de pieren, terminals en platforms op de luchthaven Schiphol in de periode mei – juni 2021.

¹ De sterke luchtstroom uit de straalmotor van vliegtuigen

Onderscheid tussen de bijdrage van het vlieg- en wegverkeer

Het is van belang vast te stellen welke bronnen hoge concentraties van UFP veroorzaken. Belangrijke bronnen kunnen zijn: het wegverkeer op de wegen rondom Schiphol, het vliegtuigverkeer en het wegverkeer op de luchthaven en bijvoorbeeld dieselaggregaten op de luchthaven. Om dit te onderzoeken is ook de concentratie van Black Carbon (BC; roet) gemeten. BC wordt vooral geëmitteerd door dieselmotoren. De concentratie van BC geeft dus informatie over de bijdrage van dieselmotoren aan de UFP concentratie. Door het tegelijkertijd uitvoeren van mobiele UFP en BC metingen kon onderzocht worden wat de bijdrage van dieselmotoren is. Het blijkt dat het grootste deel van de verhoogde concentraties aan UFP niet gepaard gaat met een simultane substantiële verhoging van de concentratie aan BC. Dit betekent in algemene zin dat emissies door het wegverkeer of andere dieselmotoren op de luchthaven een relatief kleine bijdrage hebben aan de UFP concentraties op de luchthaven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, grootschalig gezien, vliegtuigemissies de grootste bijdrage leveren aan de concentratie van UFP op Schiphol. Onder de terminals en langs de pieren C en D zijn zowel de concentraties van BC als die van UFP verhoogd. Dit betekent dat op die plaatsen “niet-vliegtuig emissies”, zoals die van wegvoertuigen en aggregaten, wel een bijdrage leveren aan de verhoogde UFP concentraties. Het is op dit moment moeilijk aan te geven hoe groot deze bijdrage is.

Het aantal vliegtuigbewegingen tijdens de meetperiode en daarbuiten

Het aantal vliegtuigbewegingen tijdens de meetperiode is gemiddeld 60% lager dan tijdens dezelfde periode in 2019; in de ochtend is het verschil het kleinst met 50%. Er zijn echter andere, grote, verschillen in de bezetting van de verschillende start- en landingsbanen en pieren. Het aantal vliegtuigbewegingen in de ochtend bij de E, F en G pier is het minst gedaald (25 - 30% lager dan in 2019). Op de Kaagbaan zijn er zelfs meer vluchten dan in 2019; dit heeft waarschijnlijk ook te maken met de heersende windcondities. Deze verschillen in de bezetting van de pieren geven aan dat nodige voorzichtigheid is geboden wanneer de nu gemeten concentraties aan UFP zouden worden vertaald naar een 100% capaciteit van Schiphol. Een verhoging van de capaciteit betekent niet zonder meer dat de concentratieniveaus aan UFP in dezelfde mate toenemen. Dit is onder andere afhankelijk van de spreiding van het aantal vluchten gedurende de dag en de bezetting van de start- en landingsbanen en de pieren. Wel blijkt dat de geschatte bijdrage van Schiphol op de gemeten concentraties aan UFP op de meetstations Ookmeer en Oude Meer gemiddeld 20 – 30% lager ligt dan in de periode 2017-2018.

De concentratie van black carbon

De hoogste concentraties aan black carbon worden gemeten rondom de terminals en pieren met een gemiddelde concentratie over de gehele meetperiode van 2,5 – 5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Onder de terminals worden de hoogste concentraties gemeten, die kortstondig kunnen oplopen tot boven de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (90 percentiel 12,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Het is waarschijnlijk dat wegvoertuigen en aggregaten hieraan een grote bijdrage leveren. Op de overige locaties op de luchthaven zijn de gemeten black carbon concentraties vergelijkbaar met niveaus die in een stedelijke omgeving voorkomen (1 – 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De black carbon metingen geven een eerste indruk van de concentratieniveaus op de luchthaven Schiphol, maar kunnen door de gekozen meetopzet en -techniek, niet worden doorvertaald naar persoonlijke blootstellingsniveaus.

De toepasbaarheid van de onderzochte UFP sensoren

Een aantal UFP sensoren werd meegenomen in het onderzoek en voortdurend blootgesteld aan dezelfde concentratie als de 'high-end' monitoren van TNO. Uit een eerste data-screening blijkt dat de gebruikte UFP sensoren geschikt lijken om fluctuaties in concentraties te registreren. Wel zijn de gemeten concentratieniveaus aanzienlijk lager dan de concentraties gemeten met de 'high end' monitoren. Een nadere analyse is nodig om te kunnen beoordelen of de sensoren geschikt zijn om persoonlijke blootstellingniveaus te registreren.

Indicatie voor blootstelling

Het luchtkwaliteitsonderzoek op de luchthaven Schiphol geeft een eerste indruk van de concentraties aan UFP, waaraan medewerkers van Schiphol blootstaan. De gemeten concentraties kunnen niet worden vertaald naar persoonlijke blootstellingconcentraties voor (groepen van) medewerkers. Aanbevolen wordt dan ook om een vervolgonderzoek (conform de NEN-EN 689) uit te voeren naar de persoonlijke blootstelling van medewerkers die waarschijnlijk het meest belast zijn (o.a. platform medewerkers, bagagemedewerkers). Dit houdt in dat eerst op basis van de activiteiten van medewerkers en de locaties waar zij zich bevinden gedurende de dag medewerkers worden ingedeeld in groepen met een overeenkomend blootstellingspatroon. Voor deze groepen wordt bij een selectie van werknemers persoonsgebonden metingen uitgevoerd, waarvan de resultaten worden vertaald naar de gehele functiegroep.

Mogelijkheden voor mitigatie (quick wins)

Het bepalen van de persoonlijke blootstelling van medewerkers maakte geen deel uit van dit onderzoek. Wel is duidelijk dat rond de terminals en pieren de UFP concentratie het meest is verhoogd. Dit zijn ook de plaatsen waar platform medewerkers, bagagemedewerkers en overig grondpersoneel zich bevinden. Onderzoek naar de mogelijkheden om blootstelling te verminderen valt ook buiten de scope van het huidige onderzoek. Teneinde de UFP concentraties in de genoemde gebieden te verlagen is het zoveel mogelijk wegnemen van emissiebronnen altijd zinvol. Effectieve oplossingsrichtingen zijn o.a. het elektrificeren van wegvoertuigen en het wegslepen van vliegtuigen uit de zone waar grondpersoneel zich bevindt, alvorens de vliegtuigmotoren te starten.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	2
1 Inleiding.....	10
1.1 Doelstelling onderzoek	10
1.2 Rol RIVM in het onderzoek.....	11
2 Achtergrond ultrafijn stof	12
2.1 Definities en grenswaarden	12
2.2 UFP concentraties in steden en rondom vliegvelden	13
3 Plan van aanpak.....	16
3.1 Mobiele metingen	16
3.2 Achtergrondmetingen	17
3.3 Onderscheid vliegverkeer en wegverkeer	18
3.4 Toepasbaarheid UFP sensoren.....	19
4 Methoden.....	20
4.1 Meetapparatuur	20
4.2 Meetopstelling.....	21
4.3 Data-interpretatie	22
5 Uitvoering onderzoek.....	23
5.1 Vergelijking meetapparatuur.....	23
5.2 Meetcampagne	23
5.3 Kwaliteitscontrole data.....	24
6 Resultaten	25
6.1 Overzicht meetdata mobiele metingen.....	25
6.2 Mobiele UFP metingen	26
6.3 Mobiele roet metingen	32
6.4 UFP achtergrondmetingen	34
6.5 Correlatie vliegbewegingen en UFP concentraties	38
6.6 Onderscheid vlieg- en wegverkeer	40
6.7 Gemeten concentraties en indicatie voor blootstelling	43
6.8 UFP concentraties in relatie tot 'jet blast events'	46
7 Conclusies en aanbevelingen	48
8 Referenties	52
9 Ondertekening	54
Bijlage(n)	
A Bijlage – Resultaten vergelijkingsmetingen	
B Bijlage – Routebeschrijving UFP metingen	
C Bijlage – Concentratieprofiel kaarten: mediaan en 90 percentiel	
D Bijlage – Overlap in UFP en BC pieken	

1 Inleiding

De laatste jaren is er toenemende aandacht voor zeer kleine deeltjes stof in lucht. Dit ultrafijn stof (naar het Engels Ultrafine Particles: UFP) bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 100 nm. Deze deeltjesfractie zou nadelige effecten kunnen hebben op de gezondheid (Janssen et al, 2016; Lammers et al., 2020). UFP is voornamelijk afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen zoals benzine, diesel en kerosine (Duyzer et al., 2018). Recente metingen van TNO in samenwerking met RIVM rondom de luchthaven Schiphol hebben verhoogde concentraties van UFP laten zien bij wind uit de richting van de luchthaven (Bezemer et al., 2015; Voogt et al., 2019).

Op dit moment wordt door het RIVM onderzoek uitgevoerd naar de gezondheidseffecten van langdurige blootstelling aan UFP van vliegverkeer voor omwonenden; de resultaten hiervan worden in het eerste kwartaal van 2022 verwacht. Naast de omwonenden wordt het grondpersoneel ook blootgesteld aan UFP van vliegverkeer. Het grondpersoneel is geen onderdeel van het lopende onderzoek van het RIVM. Mogelijk wordt grondpersoneel in een vervolgonderzoek betrokken ^{2,3,4}.

Naar aanleiding van de hiervoor beschreven onderzoeken en ontwikkelingen heeft Schiphol aan TNO gevraagd onderzoek te doen naar de concentratie van UFP op het eigen terrein en zodoende een indicatie te krijgen van de mogelijke UFP concentraties waaraan grondpersoneel wordt blootgesteld. Op 21 november 2019 en 8 januari 2020 hebben er besprekingen tussen Schiphol, TNO en RIVM plaatsgevonden waarbij de onderzoeksvraag van Schiphol is toegelicht en aanvullende doelstellingen en veiligheids- en technische aspecten zijn besproken. Naar aanleiding van deze besprekingen is een onderzoeksaanpak overeengekomen en heeft Schiphol aan TNO de opdracht gegeven het onderzoek uit te voeren.

1.1 Doelstelling onderzoek

Het hoofddoel van het onderzoek is:

Het verkrijgen van inzicht in de concentratieniveaus aan UFP op het terrein van Schiphol Airport en zodoende een indicatie te krijgen van de concentraties van UFP waaraan medewerkers mogelijk blootgesteld (kunnen) worden.

² De Volkskrant, Grondpersoneel Schiphol kampt met long- en hartproblemen 'door ultrafijnstof op platform, 19 december 2019

³ Motie van het lid Laçin c.s. over werknemers betrekken bij het onderzoek naar de effecten van fijnstof op Schiphol, 31 936 Luchtvaartbeleid, Nr. 665, 26 september 2019

⁴ Motie van de leden Laçin en Kröger over maatregelen van Schiphol voor minder blootstelling van werknemers aan ultrafijnstof, 35 266 Initiatiefnota van het lid Kröger: Luchtvaart op de rails, nr. 10, 16 december 2019

Aanvullende doelstellingen zijn:

- Inzicht krijgen in de belangrijkste bronbijdragen aan de concentraties van UFP op het terrein van Schiphol; het gaat hierbij vooral om het onderscheid tussen UFP afkomstig van vliegtuigen en dieselmotoren op de luchthaven (voornamelijk wegvoertuigen).
- Een eerste indruk van de toepasbaarheid van draagbare UFP sensoren voor het in kaart brengen van de persoonlijke blootstelling van medewerkers van Schiphol⁵. Dezelfde sensoren zijn ook toegepast op de luchthaven van Kopenhagen (Møller et al., 2014).

Het beoogde eindresultaat is een kaart met de concentratieniveaus van UFP op het terrein van Schiphol Airport. Met dit onderzoek wordt dus **niet** de persoonlijke blootstelling van individuele medewerkers van Schiphol in kaart gebracht. Deze blootstelling wordt sterk beïnvloed door de arbeidsduur en de precieze arbeidslocatie op Schiphol voor individuele werknemers. In dit onderzoek wordt aan deze aspecten geen aandacht besteed. De persoonlijke blootstelling zou in een eventueel vervolgonderzoek in kaart kunnen worden gebracht, waarbij de resultaten van het huidige onderzoek richting kunnen geven voor wat betreft de, te bemeten, locaties en werknemers (bijvoorbeeld de verschillende functiegroepen). In aanvulling op de meetresultaten wordt tevens een overzicht gegeven van UFP concentratiewaarden in steden, rondom snelwegen en op en rondom luchthavens op basis van de meest recente literatuur.

1.2 Rol RIVM in het onderzoek

Het RIVM is, in opdracht van het ministerie van I&W, als kennispartner bij het onderzoek betrokken. Het RIVM heeft parallel aan dit onderzoek de haalbaarheid van een additioneel onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten van beroepsmatige blootstelling aan UFP bij werknemers op Schiphol verkend. De oorspronkelijke opzet was om de inzichten van het TNO meetprogramma mee te nemen in deze haalbaarheidsstudie maar dit was niet mogelijk vanwege de vertraging door de coronacrisis.

Het RIVM heeft vooraf geadviseerd over de opzet en uitvoering van het meetprogramma en feedback gegeven op de eindrapportage.

⁵ In dit onderzoek wordt alleen een eerste indruk verkregen; alle meetdata zal worden vastgelegd voor eventuele latere analyse teneinde meer inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van deze sensoren.

2 Achtergrond ultrafijn stof

Om de op Schiphol gemeten concentraties te kunnen duiden wordt hierna kort ingegaan op de definities van fijn stof, ultrafijn stof en roet, beschikbare grenswaarden en concentraties die in eerder onderzoek zijn aangetroffen in steden en rondom vliegvelden.

2.1 Definities en grenswaarden

Fijn stof komt in de buitenlucht door verschillende bronnen van natuurlijke oorsprong (denk aan zeezout) maar ook door bronnen die samenhangen met menselijk activiteiten (antropogene bronnen, zoals industrie en verkeer). Teneinde gezondheidsschade als gevolg van fijn stof te beperken zijn er, vanuit milieu- en ARBO-perspectief grenzen (normen) gesteld aan de maximale concentratie fijn stof in lucht. Vanuit milieuoogpunt wordt meestal gesproken van jaargemiddelde en daggemiddelde (grens)waarden, vanuit ARBO oogpunt zijn grenswaarden vaak geformuleerd als 8-uurs gemiddelde waarden. In sommige gevallen zijn ook 15-minuten gemiddelde grenswaarden ontwikkeld voor de beoordeling van kortdurende blootstelling. Echter, voor zeer kortdurende blootstellingen aan fijnstof van enkele seconden of minuten, zijn er geen normen of grenswaarden. Voor de meeste stoffen, inclusief fijn stof, is het overigens onbekend wat precies de gezondheidseffecten zijn in relatie tot blootstellingsduur en -concentratie.

Met ultrafijne stof deeltjes (UFP) worden in lucht zwevende deeltjes met een diameter kleiner dan $0,1\ \mu\text{m}$ ($100\ \text{nm}$) bedoeld. UFP hebben een veel kleinere massa per deeltje dan fijn stof (PM_{10} of $\text{PM}_{2,5}$). UFP worden in belangrijke mate geëmitteerd door het wegverkeer en het vliegverkeer. Door hun kleine massa per deeltje hebben zij, ondanks de soms grote aantallen waarin ze voorkomen, doorgaans een minimale bijdrage (van slechts enkele procenten) aan de massa van fijn stof concentraties. Deze deeltjes dragen dan ook nauwelijks bij aan de PM_{10} of $\text{PM}_{2,5}$ concentraties waarvoor grenswaarden⁶ gelden. De concentratie van UFP wordt vaak uitgedrukt in aantal deeltjes per cm^3 (ook wel $\#/\text{cm}^3$). Voor UFP zijn, zowel voor milieu gerelateerde als voor beroepsmatige blootstelling, nog geen (wettelijke) grenswaarden geformuleerd.

UFP concentraties kunnen sterk fluctueren, met name in de nabijheid van emissiebronnen. De tijdsresolutie van UFP metingen is vaak op basis van één of enkele seconden, maar deze gemeten concentraties worden daarna vaak gemiddeld tot uur- en/of jaargemiddelde waarden. Bij vergelijking van de in dit onderzoek verkregen UFP concentraties met literatuurwaarden dient hier rekening mee gehouden te worden. Uurgemiddelde UFP concentraties kunnen namelijk, als gevolg van kortdurende pieken, veel hoger liggen dan jaargemiddelden. Ditzelfde geldt nog meer voor minuutgemiddelde waarden. Ook speelt het meetbereik van het instrument een grote rol. De, in dit onderzoek gebruikte, EPC heeft een meetbereik van $7\ \text{nm} - 3\ \mu\text{m}$.

⁶ Uitgedrukt in massa-eenheden per m^3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Vliegtuigemissies worden gedomineerd door deeltjes met een diameter tussen de 10 en 20 nm, maar ook deeltjes kleiner dan 10 nm (vanaf ca. 7 nm) kunnen substantieel bijdragen aan de UFP concentratie. Meetinstrumenten met een ondergrens van het meetbereik van 10 nm, zoals de meeste UFP sensoren, kunnen dus een deel van de aanwezige UFP missen. Deze geven dus vaak een onderschatting van het aantal deeltjes als het gaat om door vliegtuigemissies beïnvloede buitenlucht.

Roet afkomstig van dieselmotor emissies wordt officieel uitgedrukt als elementair koolstof (EC). De concentratie wordt bepaald met behulp van koolstof analyse in het laboratorium. Roet kan ook direct worden bepaald met 'real-time' meetinstrumenten zoals de Aethalometer. Deze instrumenten bepalen de zwartingsgraad van fijnstof deeltjes afgezet op filterpapier en het resultaat wordt uitgedrukt als 'black carbon' (BC). Alhoewel elementair koolstof en black carbon niet hetzelfde zijn, zijn hun concentraties meestal sterk aan elkaar gecorreleerd. In Nederland is voor roet (EC) nog geen wettelijke grenswaarde opgesteld ⁷. In Duitsland is voor beroepsmatige blootstelling wel een wettelijke grenswaarde afgeleid van 50 µg EC/m³ als 8-uurs tijdgewogen gemiddelde waarde (8-uur TGG: gemiddelde waarde over een tijdsperiode van 8 uur (standaard werkdag)). Als acceptabel risiconiveau wordt in Duitsland door de 'federal Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS)' een waarde van 20 µg EC/m³ (8-uurs TGG) aanbevolen.

2.2 UFP concentraties in steden en rondom vliegvelden

Hieronder is een kort literatuuroverzicht gegeven van gemeten UFP concentraties in steden, op luchthavens (vooral naast start- en landingsbanen) en in woonkernen rondom luchthavens. Over het algemeen zijn er weinig openbare studies die zich richten op de UFP blootstelling van medewerkers op luchthavens, slechts in enkele studies, waaronder het onderzoek in Kopenhagen (Moller et al., 2014) zijn blootstellingmetingen uitgevoerd bij medewerkers op de luchthaven.

De hieronder genoemde UFP concentraties kunnen niet zondermeer met elkaar worden vergeleken. Soms zijn verschillende meettechnieken gebruikt en varieert de afstand van het meetinstrument tot bronnen. Daarnaast worden UFP concentraties gepresenteerd als gemiddelde waarden over een bepaalde tijdsperiode, zoals jaar-, dag-, uur- en minuutgemiddelden. Hoe korter de tijdsperiode van middeling hoe meer fluctuatie in de UFP concentratie aanwezig is; minuutgemiddelde waarden kunnen dus gedurende een korte tijd veel hoger zijn dan jaargemiddelde waarden en beide waarden kunnen dan ook niet met elkaar worden vergeleken.

UFP concentraties in steden

In Europese steden worden concentraties aan jaargemiddelde aantallen deeltjes gevonden die liggen tussen 10.000 en 80.000 #/cm³. Europees wordt een gemiddelde waarde gerapporteerd van zo'n 31.500 #/cm³. In de grootste steden in Nederland worden waarden tot 40.000 #/cm³ gerapporteerd. Achtergrondwaarden

⁷ In 2019 is door de Gezondheidsraad een meta-analyse uitgevoerd van drie epidemiologische onderzoeken in de mijnbouw en de transportsector waar nog niet gebruik werd gemaakt van emissiereductiesystemen (zoals roetfilters). Op basis hiervan is voor arbeidsgerelateerde blootstelling aan dieselmotoremissies (DME) een maximaal toelaatbaar risiconiveau (MTR) van 1,03 µg EC/m³ vastgesteld (Diesel Engine Exhaust Health-based recommended occupational exposure limit No. 2019/02, The Hague, March 13).

in Nederland lijken te variëren tussen 8.000 en 22.000 #/cm^3 (Bezemer et al., 2015). Dichtbij belangrijke bronnen zijn de concentraties van UFP sterk verhoogd. Bijvoorbeeld, in de Maastunnel is een maandgemiddelde waarden van 130.000 #/cm^3 gemeten met 15-minuutgemiddelde piekconcentraties tot maximaal 450.000 #/cm^3 . Aan een drukke weg in het centrum van Rotterdam (Bentinkplein) zijn 15-minuutgemiddelde piekconcentraties tot maximaal 100.000 #/cm^3 gemeten.

UFP concentraties op vliegvelden

RIVM en TNO hebben in 2019 een gemiddelde bijdrage aan de concentratie van UFP berekend van taxiënde vliegtuigen op Schiphol Airport als functie van de afstand tot de taxibaan (Voogt et al., 2019). Op uurgemiddelde basis neemt de gemiddelde bijdrage af van 70.000 #/cm^3 op 200 meter afstand tot 20.000 #/cm^3 op 1200 meter afstand. Wel kunnen incidenteel hogere uurgemiddelde piekconcentraties voorkomen tot boven de 100.000 #/cm^3 op 200 meter afstand van de taxibaan. Bijvoorbeeld aan de polderbaan zijn uurgemiddelde concentraties tot wel 500.000 #/cm^3 gemeten (Dinther et al., 2019). TNO heeft voor luchthaven Rotterdam The Hague Airport (RTHA), aan weerszijden van de startbaan, een jaargemiddelde concentratiebijdrage van ca. 13.000 #/cm^3 berekend (Duyzer et al., 2018). Het aantal vliegbewegingen op luchthaven RTHA ligt echter wel een stuk lager dan op luchthaven Schiphol. Maar ook daar worden tijdens het opstijgen en landen van vliegtuigen kortstondig (minuutgemiddeld) concentraties tot boven de 100.000 #/cm^3 gemeten. Op ca. 2 km van de startbaan was de invloed van opstijgende en landende vliegtuigen nog zichtbaar, met minuutgemiddelde piekconcentraties tot 20.000 #/cm^3 .

Bij de 6 dagen durende meetcampagne op de luchthaven van Los Angeles (LAX) in 2016 is op 150 meter van de Zuidelijke start- en landingsbanen een gemiddelde concentratie van 150.000 #/cm^3 gemeten, met piekconcentraties tot 2.000.000 #/cm^3 (Shirmohammadi et al., 2017). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat alleen overdag is gemeten en alleen op dagen dat de wind vanaf de start- en landingsbanen richting het meetstation waaide. Op 380 meter van de start- en landingsbaan van de luchthaven Ciampino dichtbij Rome zijn gedurende twee meetcampagnes van enkele dagen (Januari en Juni 2012) gemiddelde concentraties gemeten van 23.400 – 55.300 #/cm^3 . Ook hierbij is alleen overdag gemeten. Tijdens het opstijgen en landen van vliegtuigen werden 5 minuten gemiddelde waarden gemeten van 25.700 – 100.800 #/cm^3 , waarbij enkele keren minuutgemiddelde piekconcentraties tot boven de 2.000.000 #/cm^3 zijn gemeten (Stafoggia et al., 2016). Op London Heathrow Airport zijn in het najaar van 2016 op 170 en 600 meter afstand van start- en landingsbanen maandgemiddelde waarden van respectievelijk 9.000 en 8.000 #/cm^3 gemeten, maar 15 minuten gemiddelde waarden konden ook hier oplopen tot respectievelijk 150.000 en 90.000 #/cm^3 (Stacey et al., 2020). In een eerdere meetstudie op London Heathrow Airport in 2014 zijn op 1200 meter afstand maandgemiddelde concentraties van rond de 20.000 #/cm^3 aangetroffen (Masiol et al., 2017). Op 4 – 5 km afstand van Frankfurt Airport zijn in 2018 jaargemiddelde concentraties gemeten van rond de 8.000 – 9.000 #/cm^3 , daggemiddelde waarden varieerde hierbij van ca. 3.000 – 25.000 #/cm^3 (Fraport, 2018). Op de luchthaven Frankfurt is op basis van berekeningen met modellen een jaargemiddelde concentratie van 60.000 – 75.000 #/cm^3 geschat (Lorentz et al., 2019).

UFP concentraties rondom vliegvelden

Op toenemende afstand van vliegvelden neemt de concentratie steeds verder af. (Peters et al, 2016). Dit heeft niet alleen te maken met verdunning (met de 'schonere' omgevingslucht), maar ook spelen coagulatie processen van ultrafijne deeltjes (het 'samenklonteren' van deeltjes) een rol. Vooral bij hoge concentraties is coagulatie een relevante factor om rekening mee te houden. Dit betekent dat vooral op korte afstand van emissiebronnen, coagulatie processen relevant zijn en ervoor zorgen dat UFP deeltjesconcentraties versneld afnemen.

Op basis van berekeningen met modellen schatte het RIVM de jaargemiddelde bijdrage van de luchthaven Schiphol op een afstand tot 15 km tot wel 3.000 #/cm³ (Bezemer et al, 2015). Bij woonlocaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen is toen berekend dat de jaargemiddelde bijdrage kan oplopen tot circa 15.000 #/cm³. Dit is vergelijkbaar met de bijdrage van wegverkeer in sterk belaste straten in binnenstedelijk gebied. Op deze locaties is over een geheel jaar genomen in 5% van de tijd (95^e percentiel) een bijdrage van meer dan 50.000 #/cm³ mogelijk. De meetcampagne in 2018 rondom Schiphol Airport, uitgevoerd door RIVM en TNO, bevestigden deze schattingen (Voogt et.al, 2019). Daar is de bijdrage van vliegverkeer op diverse meetstations rondom Schiphol berekend, op basis van 2 meetcampagnes van een half jaar. Afhankelijk van de afstand tot Schiphol (1,3 – 5,1 km) varieerde de jaarlijkse bijdrage hierbij van 2.900 – 12.200 #/cm³. Ook is op 400 meter van de Polderbaan een jaarlijkse bijdrage aan de UFP concentratie berekend van 30.000 #/cm³.

UFP blootstelling op vliegvelden

In 2014 is op de luchthaven Kopenhagen een persoonlijk blootstellingsonderzoek op kleine schaal uitgevoerd met UFP sensoren (Moller et al., 2014). Vijf functiegroepen zijn onderzocht, waaronder bagagemedewerkers, catering chauffeurs, schoonmaak personeel en beveiliging medewerkers van de 'airside' en 'landside'. Daggemiddelde (8-uurs) blootstellingsconcentraties voor bagagemedewerkers waren het hoogst (37.000 #/cm³). Voor catering chauffeurs, schoonmaak personeel en 'airside' beveiligers waren de blootstellingsniveaus iets lager (12.000 – 20.000 #/cm³) en voor 'landside' beveiligers het laagst (2.000 – 11.000 #/cm³). In 2018 is op de luchthaven in Sardinië ook een persoonlijk blootstellingsonderzoek op kleine schaal uitgevoerd onder vliegtuigpersoneel dat werkzaam was op en nabij de taxibaan, waaronder grondpersoneel, brandweer en beveiliging (Marcias et al., 2019). Ook hierbij is gebruik gemaakt van UFP sensoren. Gemiddelde blootstellingsniveaus gedurende een werkdag varieerden van 15.800 – 104.000 #/cm³, met een gemiddelde voor de gehele onderzochte populatie van 61.000 #/cm³. Mediaanwaarden lagen een stuk lager (2.400 – 13.000 #/cm³). De variatie in blootstellingsconcentraties gedurende de dag was extreem groot, met soms piekconcentraties (1 seconde) tot 10⁶ – 10⁷ #/cm³.

3 Plan van aanpak

De concentratie van UFP op de luchthaven Schiphol wordt beïnvloed door emissies vanaf het Schiphol terrein en door de bijdrage van de zogenaamde achtergrond. De achtergrond is de concentratie in de lucht die vanuit de omgeving het terrein opwaait. In deze lucht zitten emissies van UFP door bijvoorbeeld het wegverkeer en industrie. De concentratie gemeten op het Schiphol terrein is dus de som van deze achtergrond en de lokale bijdrage van het vliegverkeer, wegverkeer en de andere emissies op het Schiphol terrein zelf. Hoe hoog de concentratie op een bepaalde plaats op het terrein is, hangt af van de grootte van die emissies en optredende atmosferische omstandigheden. Het in kaart brengen van de concentratie van UFP op de luchthaven in relatie tot de blootstelling van medewerkers is daardoor complex. Een passende meetstrategie is belangrijk voor de uitkomst van de studie. Het opstellen van de meetstrategie was zo ook het eerste onderdeel van het onderzoek. In deze fase werd de beschikbare literatuur en rapportage bestudeerd, werden bezoeken aan de luchthaven gebracht en werd overlegd met medewerkers van Schiphol en RIVM. De hieronder beschreven aanpak is het resultaat hiervan.

3.1 Mobiele metingen

De meetstrategie is gebaseerd op zogenaamde “mobiele metingen”; dit zijn metingen met apparatuur geplaatst op voertuigen. Deze keuze is gemaakt om op een zo efficiënt mogelijke manier een zo compleet mogelijk overzicht te krijgen van de UFP concentraties op het terrein van Schiphol Airport. Gedurende een periode van circa 8 weken zijn metingen van de concentratie van UFP uitgevoerd. De ‘high-end’ UFP monitors zijn geplaatst op twee voertuigen op de luchthaven Schiphol. Deze voertuigen zijn door medewerkers van de Schiphol-groep rondgereden op de ‘airside’, ‘landside’ en ‘randwegen’ van het terrein van Schiphol Airport. De medewerkers van Schiphol hebben dagelijks een bepaalde van tevoren afgesproken route met deze voertuigen gereden. Er is gereden met auto’s door medewerkers van de Schiphol groep omdat zo het beste voorkomen kan worden dat het vliegverkeer en de daarmee gerelateerde werkzaamheden worden gehinderd en tegelijkertijd de veiligheid gegarandeerd kan worden.

De te rijden route is in samenspraak met Schiphol bepaald en vastgelegd in een standaard meetprotocol. Het meetprotocol is daarna voorgelegd aan medewerkers van Schiphol, het RIVM, vertegenwoordigers van enkele vakbonden en grondpersoneel. Naar aanleiding hiervan zijn een aantal aandachtspunten toegevoegd aan het meetprotocol (Bijlage B). Tijdens de uitvoering van het project zijn de vaste routes meerdere malen per dag gereden. Daardoor wordt inzicht verkregen in de variatie van de UFP concentraties gedurende de dag. In de 8 weken durende meetcampagne zit een periode met relatief veel vliegtuigbewegingen (de meivakantie). Er is voor minimaal 4 weken meetgegevens verzameld; dit is voldoende om een representatief beeld te geven van de concentraties op de verschillende dagen in een week, inclusief weekend dagen. Als gevolg van de Corona pandemie is het vliegverkeer op Schiphol minder intensief dan in andere jaren. Bij de interpretatie van de gemeten concentraties aan UFP is aan dit aspect aandacht besteed.

Binnen de route is op een aantal vaste locaties stilgestaan om op die locatie de kortdurende UFP fluctuaties vast te stellen. Op deze manier ontstaat een meer compleet beeld van de UFP concentratieniveaus op het terrein van Schiphol Airport. Naast de vastgestelde routes hebben medewerkers ook de vrije hand gehad om naar eigen inzicht routes te bepalen of om stil te staan op relevante plaatsen op het terrein van Schiphol Airport, met inachtneming van veiligheids- en technische aspecten.

3.2 Achtergrondmetingen

Parallel aan de mobiele metingen zijn op twee locaties rondom Schiphol, continue, UFP concentraties gemeten, die dienen als achtergrondmetingen. De metingen zijn uitgevoerd op de meetstations Oude Meer en Ookmeer. Deze meetstations zijn onderdeel van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). De meetstations zijn aan weerskanten van het terrein gepositioneerd zodat bij verschillende windrichtingen een achtergrondwaarde van UFP te bepalen is (Figuur 1). Op het station Ookmeer is de data verzameld door de GGD Amsterdam en op station Oude Meer door TNO.



Figuur 1. Stationaire metingen locatie Oude Meer en Ookmeer (gele prikkers) en vaste route mobiele metingen (geel) inclusief eventuele shortcut (blauw) Bron kaartmateriaal: Google Maps. Inlay: situatieschets Schiphol (bron: wikipedia.org/wiki/Luchthaven_Schiphol#/media/Bestand:Schiphol-overview.png)

3.3 Onderscheid vliegverkeer en wegverkeer

Op één van de voertuigen is naast de UFP monitor ook een black carbon (BC) monitor geplaatst. Op het Schiphol terrein, en vooral rondom de terminals en pieren, zijn naast vliegtuigemissies ook emissies te verwachten van wegvoertuigen (en aggregaten). Dit zijn vaak emissies van dieselmotoren. Door de concentraties van BC te interpreteren in samenhang met de concentratieniveaus van UFP kan mogelijk onderscheid worden gemaakt in vliegverkeer en wegverkeer. De BC metingen geven ook een indicatie van de roet (elementair koolstof) concentratieniveaus op het Schipholterrein en kunnen locaties met hoge concentraties van BC worden aangegeven (hot spots).

Vliegtuigmotoren emitteren ook roet (o.a. Dodson et. al, 2009). De emissie is echter aanzienlijk lager dan die van dieselmotoren zoals wegvoertuigen (en aggregaten). In diverse studies op vliegvelden wordt dan ook geen correlatie gezien tussen de concentratie aan UFP en roet (BC) (Stacey et.al, 2020). Op meetstations in de nabijheid vliegvelden worden ook geen verhoogde concentraties van BC gemeten (Keuken et.al, 2015, Peters et.al, 2016). Voor UFP worden op die stations wel verhoogde concentraties aangetroffen. Ook uit recentelijk uitgevoerde metingen van TNO en GGD Amsterdam op basisscholen in Amsterdam blijkt dat Schiphol duidelijk als bron voor UFP aanwijsbaar is. Uit datzelfde onderzoek bleek dat voor roet de luchthaven Schiphol geen duidelijk aanwijsbare bron is (Dinther, 2019).

Uit emissiedata, verzameld in het Europese project RAPTOR, waar TNO een onderzoekspartner in is, blijkt dat er door vliegtuigen ongeveer 1 – 70 mg black carbon (BC) en $3 - 200 \times 10^{16}$ deeltjes per kg brandstof (kerosine) wordt uitgestoten. Deze verdeling hangt af van het motorvermogen. Bij omrekening naar concentraties in de lucht betekent dit dat op korte afstand van het vliegtuig (dichtbij de jet blast)⁸ bij een concentratie van ca. $10^7 \text{ \#/cm}^3$, ca. $1 \text{ \mu g/m}^3$ BC zou worden gemeten. Op basis van metingen op een vliegveld in Los Angeles wordt de emissie van UFP iets lager ingeschat: 5×10^{16} deeltjes per kg brandstof (Shirmohammadi et al., 2017). Dit is nog altijd 16 – 100 x hoger dan de emissie van auto's ($0,5 - 3 \times 10^{15}$ deeltjes/kg brandstof) en 5 – 8 x hoger dan vrachtwagens ($6 - 10 \times 10^{15}$ deeltjes/kg brandstof) (Hu et al., 2009). Tegelijkertijd bleek dat in tegenstelling tot UFP de black carbon concentraties op het vliegveld niet sterk waren verhoogd. Echter, bij metingen tijdens take-off van vliegtuigen werden wel incidenteel piekconcentraties (60-sec tijdsinterval) aan BC tot maximaal $30 \text{ \mu g/m}^3$ gemeten (Hu et al., 2009). Uit metingen in de Maastunnel (wegverkeer), uitgevoerd door TNO in het kader van het project NanoNextNL werden maandgemiddelde concentraties aan UFP en BC van $1,3 (0,9 - 1,8)^9 \times 10^5$ deeltjes/cm³ en $15 (12 - 19) \text{ \mu g/m}^3$ gemeten.

De genoemde waarden hierboven kunnen niet direct met elkaar worden vergeleken, aangezien meetcondities, meetduur en apparatuur niet vergelijkbaar zijn. Er zijn echter wel duidelijke aanwijzingen dat vliegtuigmotoren veel minder black carbon uitstoten dan dieselmotoren (uit het wegverkeer). Geconcludeerd wordt dat roet, in de vorm van black carbon, als indicator gebruikt kan worden om onderscheid te maken tussen UFP afkomstig van weg- en vliegverkeer. Enige

⁸ De sterke luchtstroom uit de straalmotor van vliegtuigen

⁹ Respectievelijk nachtgemiddelde (19:00 – 07:00) en daggemiddelde (07:00 – 19:00) waarden

voorzichtigheid bij de interpretatie van meetgegevens blijft belangrijk; tijdens het opstijgen van vliegtuigen kunnen zij ook relatief grote hoeveelheden BC uit stoten.

3.4 Toepasbaarheid UFP sensoren

UFP sensoren zijn toegepast op enkele andere luchthavens om de blootstelling aan UFP in kaart te brengen (Møller et al., 2014). Volgens de specificaties van de leverancier kunnen de sensoren deeltjes tussen de 10 en 300 nm detecteren. Het is echter niet beschreven in hoeverre de sensoren in de praktijk werkelijk geschikt zijn om de zeer kleine deeltjesfractie (< 30 nm) afkomstig van vliegtuigen op een betrouwbare manier te meten. In dit project zijn de UFPsensoren daarom naast de high-end meetapparatuur (EPCs) geplaatst. De verkregen meetdata wordt onderling vergeleken teneinde te beoordelen of de UFPsensoren gelijkwaardig zijn aan de EPCs en hun geschiktheid om de concentratie van UFP afkomstig uit vliegtuigen goed te bepalen. Zo kan, in een later stadium (dit is niet onderdeel van dit project), beoordeeld worden of deze sensoren in de toekomst kunnen worden ingezet ten behoeve van metingen van de blootstelling of een lokaal monitoringsnetwerk.

4 Methoden

4.1 Meetapparatuur

4.1.1 UFP

De twee voertuigen en de twee stationaire meetstations Oude Meer en Ookmeer zijn ingericht met een Environmental Particle Counter (EPC), model 3783 van TSI. Deze EPCs meten deeltjesaantallen UFP (in deeltjes per cm³ lucht) tussen de 7 nm en 3 µm. In eerdere onderzoeken nabij luchthavens, en ook in het RIVM-onderzoek rondom Schiphol, is deze meetapparatuur ingezet (Voogt et al., 2019). De aanzuigsnelheid van het instrument bedroeg 3 L/min. Met de EPC wordt iedere seconde een UFP concentratie meting uitgevoerd en geregistreerd. Uitzondering is het station op Ookmeer, waar data verzameld wordt door de GGD Amsterdam. De meetgegevens van deze locatie worden op 1 minuut basis aangeleverd. Aangezien we de Ookmeer data alleen gebruiken voor het berekenen van uurgemiddelde achtergrondconcentraties is deze tijdsresolutie voldoende.

4.1.2 Roet (black carbon)

Om een indruk te krijgen van de emissiebronnen die bijdragen aan de concentratie zijn metingen van de concentratie van roet (black carbon: BC) verricht. Hiertoe is de Caddy projectauto uitgerust met een Aethalometer, model AE33 van Magee Scientific. De Aethalometer meet simultaan de optische absorptie van deeltjes bij zeven verschillende golflengten van UV (370 nm) tot IR (950 nm). Voor dit onderzoek is de golflengte van 880 nm (kanaal 6) gebruikt. De metingen zijn uitgevoerd bij een aanzuigsnelheid van 3 L/min met een tijdsresolutie van 1 seconde. Om de signaal/ruis verhouding te verbeteren zijn de meetresultaten steeds over een periode van 10 seconden gemiddeld.

4.1.3 UFP sensoren

De voertuigen en de locatie Oude Meer zijn tevens uitgerust met een UFPsensor (type NanoMonitor van Philips/Oxility). De sensor meet continu UFP (meetbereik 10 tot 300 nm diameter), op basis van geïnduceerde lading op deeltjes in lucht en ladingoverdracht op elektrodes. De elektrodes hebben een voltage, dat geschikt is voor het meten van UFP. De kalibratie van de UFP sensoren is uitgevoerd door Oxility B.V. De sensoren zijn gekalibreerd met behulp van een FMPS spectrometer voor absolute deeltjesaantallen. Daarnaast zijn de ingezette sensoren ook onderling vergeleken in buitenlucht en gelijkgesteld.

De NanoMonitor zuigt lucht aan met behulp van een kleine ventilator die zorgt voor een flow van 0,2 – 0,3 L/min. De NanoMonitor is gebruikt op de kleinste tijdsresolutie: 3 seconde. De NanoMonitor is gevoelig voor fluctuaties in windsnelheid langs de aanzuigopening; deze fluctuaties kunnen de flow veranderen en daardoor de meetresultaten beïnvloeden. Om de meting minder windgevoelig en beter vergelijkbaar te maken met de EPC is de NanoMonitor in een aluminium box geplaatst, waar lucht doorheen wordt gezogen via een externe pomp (1 L/min). Dit zorgt ervoor dat de responstijd langer wordt waardoor tijdsresolutie verminderd wordt. In de praktijk betekent dit dat, door menging van deeltjes in de aangezogen lucht in de box, kortdurende UFP pieken wat afvlakken.

4.2 Meetopstelling

Voor de mobiele metingen zijn twee verschillende voertuigen gebruikt: een Caddy (projectauto, voor de vaste routes) en een Crafter (Marshall & onderhoud auto). De Caddy rijdt op aardgas en de Crafter rijdt op diesel. Beide auto's zijn uitgerust met een EPC en een UFP sensor. De Caddy projectauto is als enige uitgerust met een aethalometer voor de meting van black carbon. Foto's van de opstellingen van de Caddy en Crafter zijn weergegeven in Figuur 2 en 3.



Figuur 2. Meetopstelling in de Caddy (links): met op bovenste plateau de PC en NanoMonitor, in het midden de EPC en onderin de AE33. De aanzuigopeningen van de meetopstellingen zijn gemonteerd op het dak van de Caddy (rechts).



Figuur 3. Meetopstelling in een kist in de Crafter met aanzuigopeningen aan de bovenkant van de cabine (links). In de kist is de apparatuur ingebouwd: EPC (foto rechtsonder) en NanoMonitor (grijze box in de foto rechtsboven).

4.3 Data-interpretatie

Voorafgaand aan de metingen op het Schiphol terrein is een vergelijkingsstudie uitgevoerd op het meetstation Ookmeer. Op basis van deze vergelijkingsstudie zijn correctiefactoren bepaald, zodat de met de verschillende apparatuur, gemeten concentraties onderling vergelijkbaar zijn. Deze correctiefactoren zijn toegepast op alle meetgegevens verzameld met de mobiele meetapparatuur en verzameld op de achtergrondstations. Met de data afkomstig van de achtergrondstations is de bijdrage vanuit de omgeving aan de gemeten UFP concentraties op het Schiphol terrein bepaald. Hiertoe zijn de gemeten UFP concentraties op de achtergrondstations gekoppeld aan de windrichting gemeten op het KNMI-station op Schiphol. De windroos-grafieken geven een indicatie van de bron van het op het station gemeten UFP. Voor elk uur wordt een realistische schatting van de concentratie van UFP in de achtergrond (de UFP die naar Schiphol toe waait) bepaald. Deze achtergrond wordt bepaald met behulp van de metingen op het bovenwindse meetstation van dat moment. De bijdrage van de achtergrond is relatief beperkt voor Schiphol Airport (zie ook paragraaf 6.4). De gemeten concentraties op Schiphol Airport zijn daarom niet gecorrigeerd voor deze achtergrondbijdrage.

Voor de mobiele metingen zijn de locatiegegevens van de voertuigen gekoppeld aan de vanuit dit voertuig gemeten concentratie aan UFP en BC. Hiervoor zijn de door TNO verzamelde GPS gegevens gebruikt. Op basis van deze gegevens worden kaarten gemaakt van de ruimtelijke verdeling van de gemeten concentraties. In deze concentratieprofiel kaarten worden de mediaanwaarden, het gemiddelde en de 90 percentielwaarden over de gehele meetperiode gepresenteerd (zie paragraaf 5.2 voor een nadere uitleg van gepresenteerde concentraties). Ook worden analyses uitgevoerd van het verloop van de concentratie, zoals die op de verschillende dagen is aangetroffen op de gereden routes.

Met behulp van de kaarten wordt inzicht verkregen in de, locatie specifieke, UFP (en BC) concentratieniveaus op het terrein van Schiphol Airport. Op basis hiervan kunnen bepaalde 'hotspots' worden geïdentificeerd en kunnen in bepaalde gevallen (bij stilstaan van de meetvoertuigen) ook karakteristieken van de 'hotspot' bepaald worden, zoals fluctuaties in de concentratie. Door de koppeling van UFP en BC wordt het ook mogelijk om te beoordelen in hoeverre UFP en BC concentraties samenhangen. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in de diverse emissiebronnen en kan een indicatie van de bron en activiteit (vliegverkeer versus een andere bron) worden verkregen.

5 Uitvoering onderzoek

5.1 Vergelijking meetapparatuur

Voorafgaand aan de meetcampagne is een vergelijkingsstudie uitgevoerd met de vier EPC's. Deze studie is uitgevoerd in de periode van 23 maart tot 10 april 2021, waarbij de EPC's op station Ookmeer naast elkaar hebben gemeten. Uit deze vergelijkingsstudie bleek dat de EPC's zeer vergelijkbaar zijn (met gemiddeld minder dan 8% afwijking onderling en een correlatie R^2 van boven de 0,99 met het luchtmeetstation Ookmeer). Op basis van deze resultaten zijn voor alle EPC's correctiefactoren bepaald. De meetresultaten zijn allemaal met deze factoren gecorrigeerd. De vergelijkingsmetingen worden in detail besproken in Bijlage A.

5.2 Meetcampagne

De meetcampagne was oorspronkelijk gepland rondom de meivakantie van 2020 (april – mei 2020), gezien de verwachte topdrukke in deze periode. Doordat het vliegverkeer op de luchthaven Schiphol in die periode, als gevolg van de COVID-19 pandemie, grotendeels werd stilgelegd is in samenspraak met Schiphol besloten de meetcampagne uit te stellen. Door de voortdurende onzekerheid over het vliegverkeer, ook op de langere termijn, is in april 2021 door Schiphol en TNO besloten niet langer te wachten op een ideale meetsituatie (topdrukke). De meetperiode is daarom, ondanks het nog steeds verminderde vliegverkeer, gepland rondom de meivakantie in 2021. De metingen zijn gestart op 6 mei 2021. Op deze dag is de Caddy in gebruik genomen door Schiphol medewerkers. De metingen met de Crafter zijn later gestart, namelijk op 2 juni 2021. Alle metingen liepen door tot 1 juli 2021.

Dagelijks hebben personeelsleden van Schiphol, zowel in de ochtend als in de middag, rondgereden met de projectauto (Caddy). Het Schipholpersoneel kon zich hiervoor vrijwillig aanmelden. Alle vrijwilligers hebben hiervoor een routebeschrijving gekregen met duidelijke instructies (Bijlage B). De vrijwilligers is gevraagd om een gemiddelde snelheid van ca. 30 km/uur aan te houden, om voldoende detail in de meetdata te kunnen realiseren. Een snelheid van 30 km/uur en een tijdsresolutie van 1 seconde van de meetapparatuur betekent dat er elke 8 meter één datapunt beschikbaar komt; bij een tijdsresolutie van 10 seconden is dit 80 meter. Ook is gevraagd om vooral metingen uit te voeren op de route langs de pieren (zie Figuur 4) en nabij pier D en E, en waar mogelijk, enige tijd stil te staan. Dit is gedaan op aangeven van platform medewerkers, die op deze locaties verhoogde UFP concentraties verwachten ten gevolge van aankomende en vertrekkende vliegtuigen.

Ook de Crafter is bestuurd door personeelsleden van Schiphol, voornamelijk Marshallers¹⁰, tijdens hun dagelijkse werkzaamheden op het Schipholterrein. De mobiele metingen met de Crafter zijn over een veel groter gebied uitgevoerd dan de metingen met de Caddy. Dit hangt vooral samen met de werkzaamheden die met de Crafters worden uitgevoerd. Ook is vaker langs start- en landingsbanen

¹⁰ Marshallers zijn verantwoordelijk voor het binnenhalen van vliegtuigen op een luchthaven na de landing.

gereden. Ondanks dat deze auto pas later in gebruik is genomen, heeft deze auto veel mobiele data verzameld: circa 16 uur per dag. De overige 8 uur van de dag werden de accu's opgeladen.



Figuur 4. De af te leggen route door de Caddy. De gele route is de standaard route, de blauwe route is een alternatieve kortere route om snel terug te komen naar airside, de paarse route kan extra worden gereden door vrijwilligers die hier autorisatie voor hebben.

5.3 Kwaliteitscontrole data

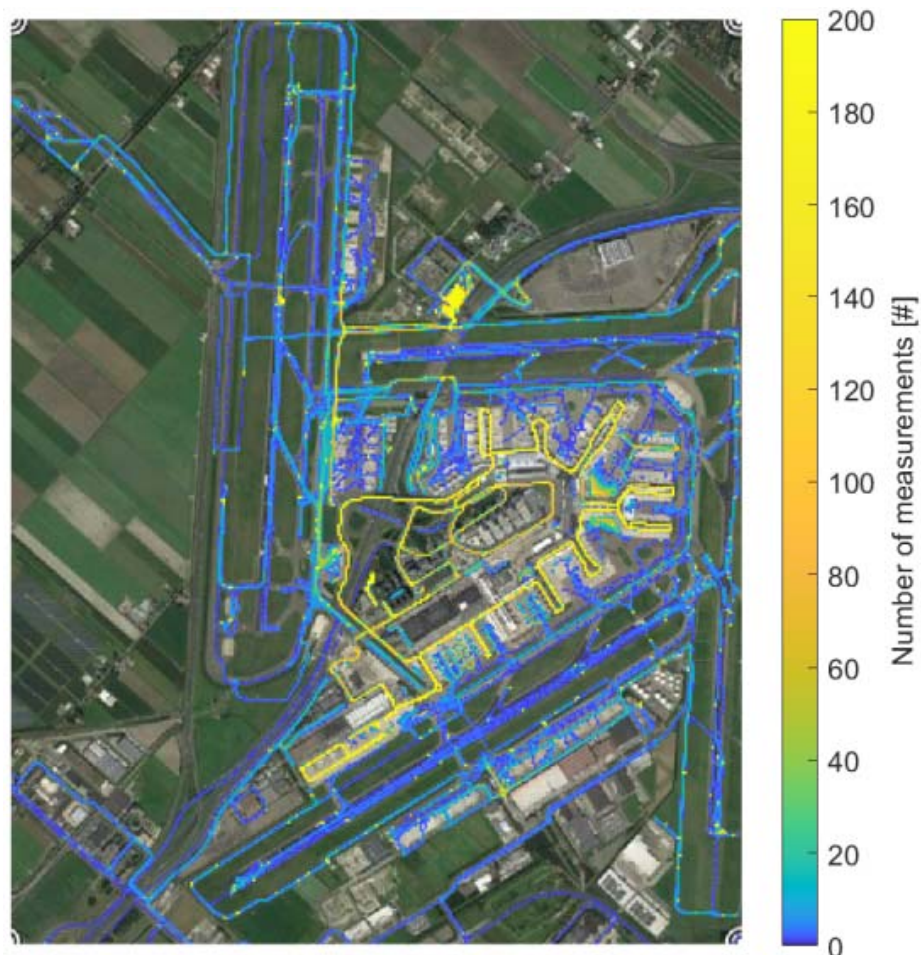
De ruwe data afkomstig van alle meetinstrumenten is gedurende de meetcampagne dagelijks gemonitord en beoordeeld op goed functioneren. In het geval van de EPC, daalt de UFP concentratie tot ver onder het normale achtergrondniveau, wanneer deze niet naar behoren werkt. Tijdens de meetcampagne is dit enkele keren voorgekomen. Dergelijke technische problemen zijn iedere keer op korte termijn verholpen door de technici van TNO. Data die is beïnvloed door technische problemen, is niet meegenomen in de verdere data-analyse.

Eveneens bleek tijdens de datacontrole dat de ruwe black carbon data afkomstig van de AE33 op een aantal dagen veel meer ruis vertoonde dan op andere dagen, zonder aanwijsbare oorzaak. Besloten is om deze minder betrouwbare data bij de verdere verwerking niet te gebruiken. Dit heeft weinig consequenties omdat de black carbon metingen indicatief worden gebruikt. Enerzijds om bij bepaalde 'events' (UFP piekconcentraties) een indicatie te krijgen van de emissiebron: vliegtuigen of wegvoertuigen. Bij een simultane verhoging van de UFP en BC concentraties bij de terminals en pieren is het waarschijnlijk dat wegverkeer een aandeel heeft. Anderzijds worden de black carbon metingen gebruikt om een indicatie te krijgen van mogelijke 'hot spots' met verhoogde roet concentraties op het Schiphol terrein.

6 Resultaten

6.1 Overzicht meetdata mobiele metingen

Alle meetdata zijn eerst gekoppeld met de GPS coördinaten van de locatie van het voertuig op het moment van de meting. Daarna zijn op enkele trajecten, met name nabij de terminals 1 - 3 de GPS coördinaten gecorrigeerd. Onder de terminals is geen goede verbinding met satellieten mogelijk en zijn de gegeven GPS coördinaten niet meer correct. Deze afwijkende GPS coördinaten, tot 50 meter vanaf de standaard route (Figuur 4), zijn hierbij naar de route 'getrokken'. Afwijkende GPS coördinaten op grotere afstand van de route zijn niet gecorrigeerd. Over het Schiphol terrein is vervolgens een raster gelegd van 15 x 15 meter, waarna de gemeten UFP concentraties op basis van de GPS coördinaten zijn verdeeld over dit raster. In Figuur 6 is het aantal metingen per cel in het raster van 15 x 15 meter weergegeven.



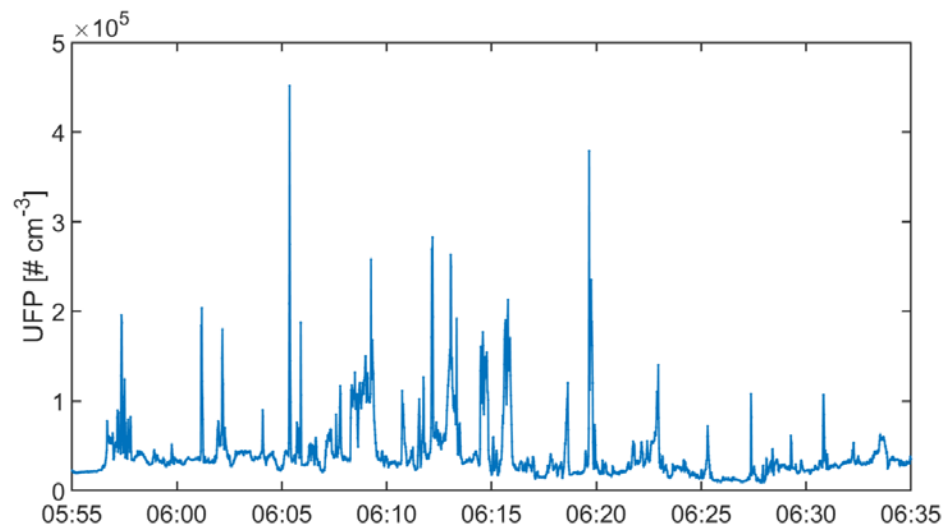
Figuur 6. Overzichtsfiguur van het aantal UFP metingen per cel van 15 x 15 meter op het Schiphol terrein door de Caddy en de Crafter. Kleurschaal: (donker)blauw: < 10 datapunten, lichtblauw: 10-20 datapunten, groen: 20-50 datapunten, oranje: 50-150 datapunten en geel: >150 datapunten. Bron luchtfoto: Google Maps.

Wanneer binnen een rastercel geen meetgegevens beschikbaar zijn (Caddy en Crafter hebben hier niet gereden), is deze rastercel niet ingekleurd en is de achtergrond-luchtfoto (bron: Google Maps) zichtbaar. Op enkele trajecten met name in het buitengebied, aan de randen van de start- en landingsbanen en op het bedrijventerrein aan de Zuidkant van Schiphol, is slechts een enkele keer met de Crafter gereden, met als gevolg dat daar slechts enkele datapunten per cel beschikbaar zijn. Deze trajecten zijn in Figuur 6 (donker)blauw gekleurd. De route rondom de terminals en pieren is veel vaker gereden, zowel door de Caddy als de Crafter, met als resultaat dat honderden datapunten per cel beschikbaar zijn (aangegeven met een gele kleur).

Veel metingen binnen een bepaalde cel kan het gevolg zijn van het veelvuldig rijden van een bepaalde route (waarbij er vaak door dezelfde cellen is gereden). De reden kan ook zijn dat de auto op een bepaald locatie (cel) heeft stilgestaan. De metingen zijn continu uitgevoerd, de apparatuur is nooit uitgeschakeld. De metingen liepen dus ook door wanneer geen routes werden gereden en de accu's in de Crafter en Caddy werden opgeladen. De locatie waar de accu in de Crafter werd opgeladen is de garage van Airport Partners aan de Sloteweg. De Crafter is iedere dag gedurende 1 shift (ca. 8 uur) opgeladen. De Caddy is iedere nacht buiten opgeladen op de parkeerstrook van Schiphol building langs de A4. Op beide locaties is dit zichtbaar aan de gele kleur.

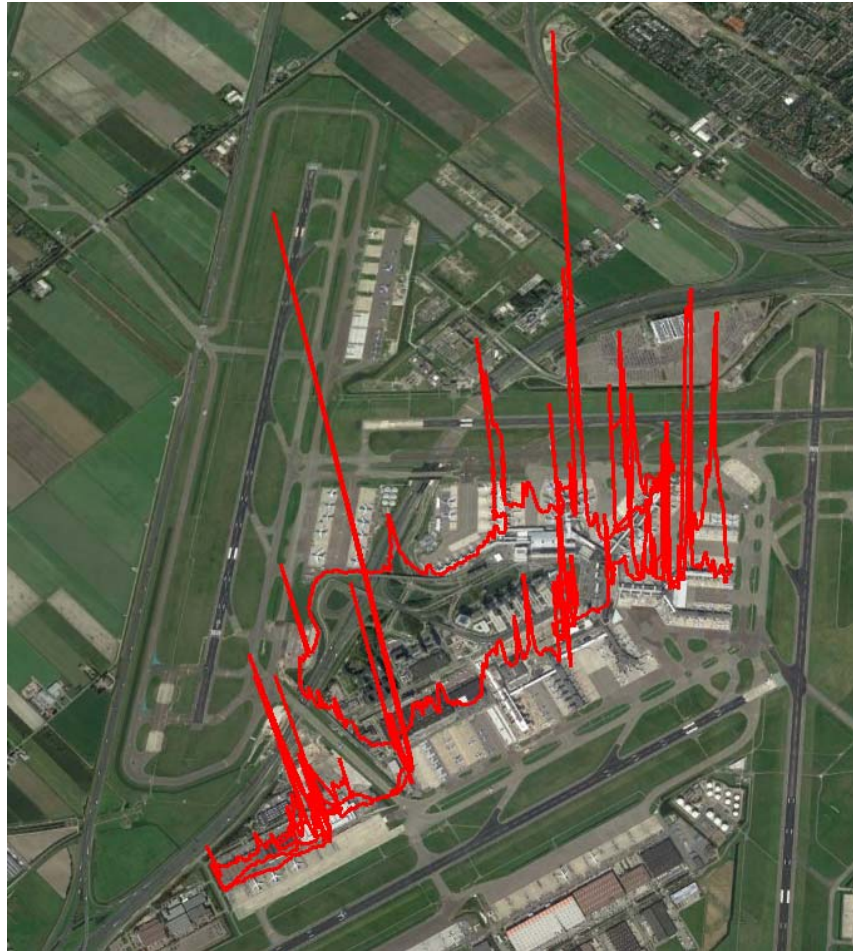
6.2 Mobiele UFP metingen

Metingen met geautoriseerde voertuigen van Schiphol ('mobiele metingen') maken het mogelijk om bijna overal op de luchthaven metingen te verrichten, ook op plaatsen waar dat normaal moeilijk of onmogelijk zou zijn, bijvoorbeeld relatief dicht in de buurt van vliegtuigen tijdens taxiën, start of landing. Een voorbeeld van een meetresultaat van een mobiele meting gedurende een standaardroute is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7. Voorbeeld van meetdata gemeten met de EPC op de Caddy tijdens het rijden van de standaard route. Op de y-as de concentratie van UFP in 100.000 deeltjes/cm³ (10⁵/cm³).

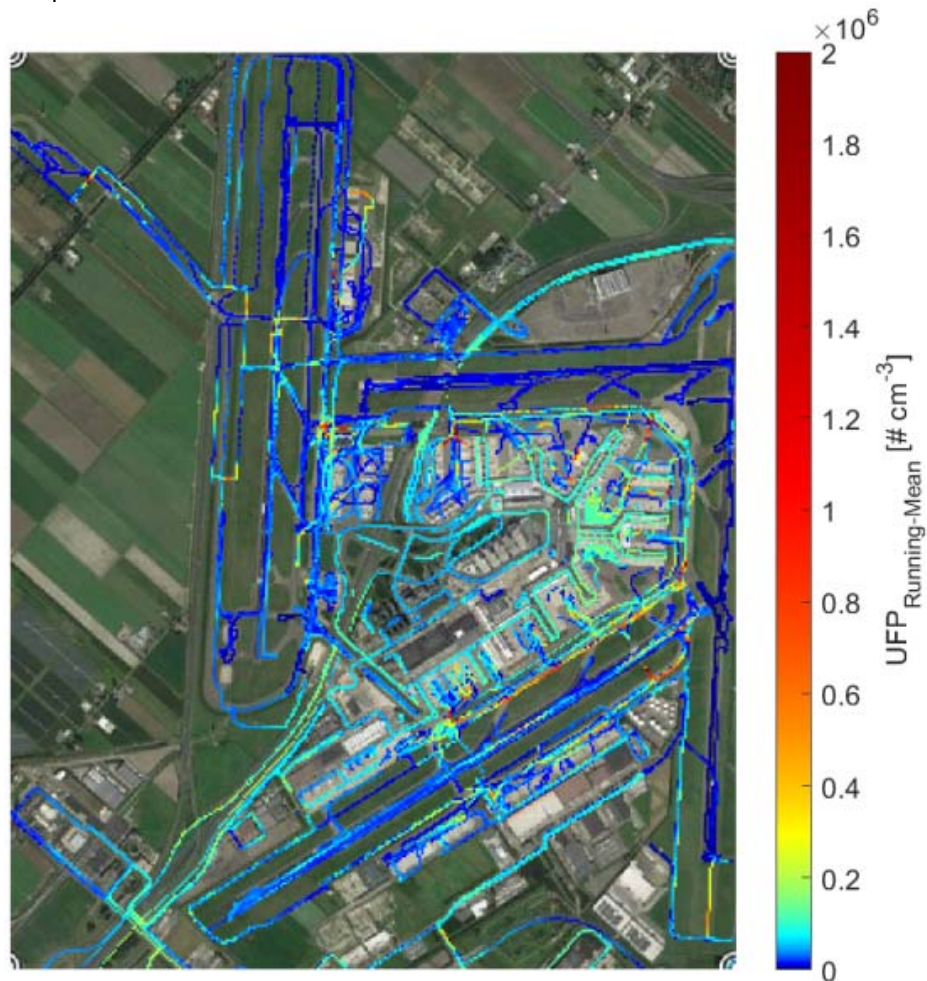
De meetresultaten, zoals weergegeven in Figuur 7, kunnen door koppeling met de GPS coördinaten van het voertuig worden doorvertaald naar concentratieprofiel kaart van de gereden routes. In Figuur 8 is voor dezelfde meetdata een voorbeeld gegeven van een kaart op basis van een gereden standaardroute met de Caddy.



Figuur 8. Voorbeeld van een UFP concentratieprofielkaart van de standaardroute, gemeten met de EPC op de Caddy.

De resultaten van alle mobiele metingen samen zijn weergegeven in de vorm van drie typen concentratieprofiel kaarten. In Figuur 9 t/m 11 zijn de voortschrijdend gemiddelde waarden over 10 seconde gepresenteerd. Het voortschrijdend gemiddelde heeft als voordeel dat incidenteel voorkomende spikes (hoge uitbijters van 1 seconde; de betrouwbaarheid van dit soort observaties is niet groot) worden uitgemiddeld terwijl hoge piekconcentraties met een langere duur zichtbaar blijven, zodat de betrouwbaarheid van de finale meetdata toeneemt. De concentratieprofiel kaarten geven daardoor een robuuster beeld van de situatie op Schiphol. In dit geval is een voortschrijdend gemiddelde over 10 seconden genomen, aangezien de kortste 'events' (hoge piekconcentraties mogelijk veroorzaakt door 'jet blast') een minimale duur hebben van ca. 20 seconden; de 'jet blast events' blijven dan zichtbaar.

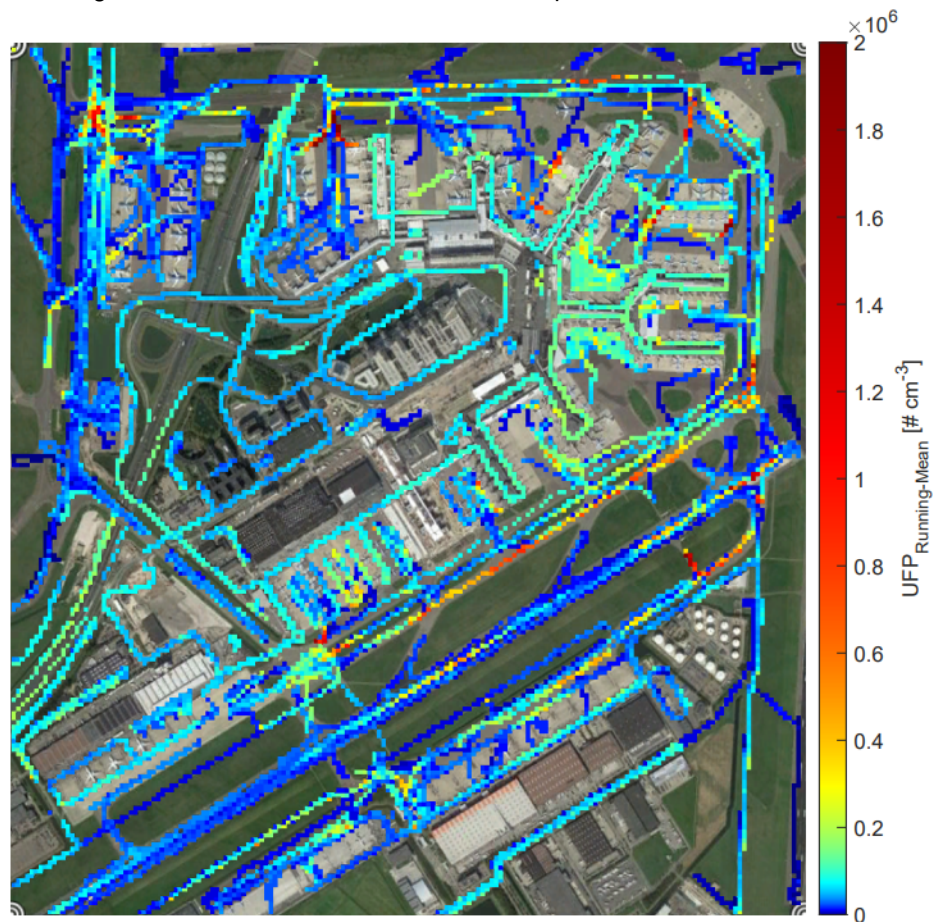
In aanvulling hierop is in Bijlage D de mediaan en 90 percentiel waarden gepresenteerd. De mediaan is de middelste waarde van de concentraties die gerangschikt zijn naar grootte binnen een gegeven cel (vierkant van het raster). Dat wil zeggen dat in deze cel 50% van de gemeten UFP concentraties *onder* de mediaan ligt en 50% *erboven*. De mediane waarde wordt minder snel beïnvloed door hoge piekconcentraties dan het rekenkundig gemiddelde; dit is vooral het geval bij een beperkt aantal datapunten. De 90 percentiel waarde geeft goed inzicht in voorkomende hoge (piek) concentraties; hierbij komt 10% van het aantal datapunten binnen een cel boven deze waarde uit.



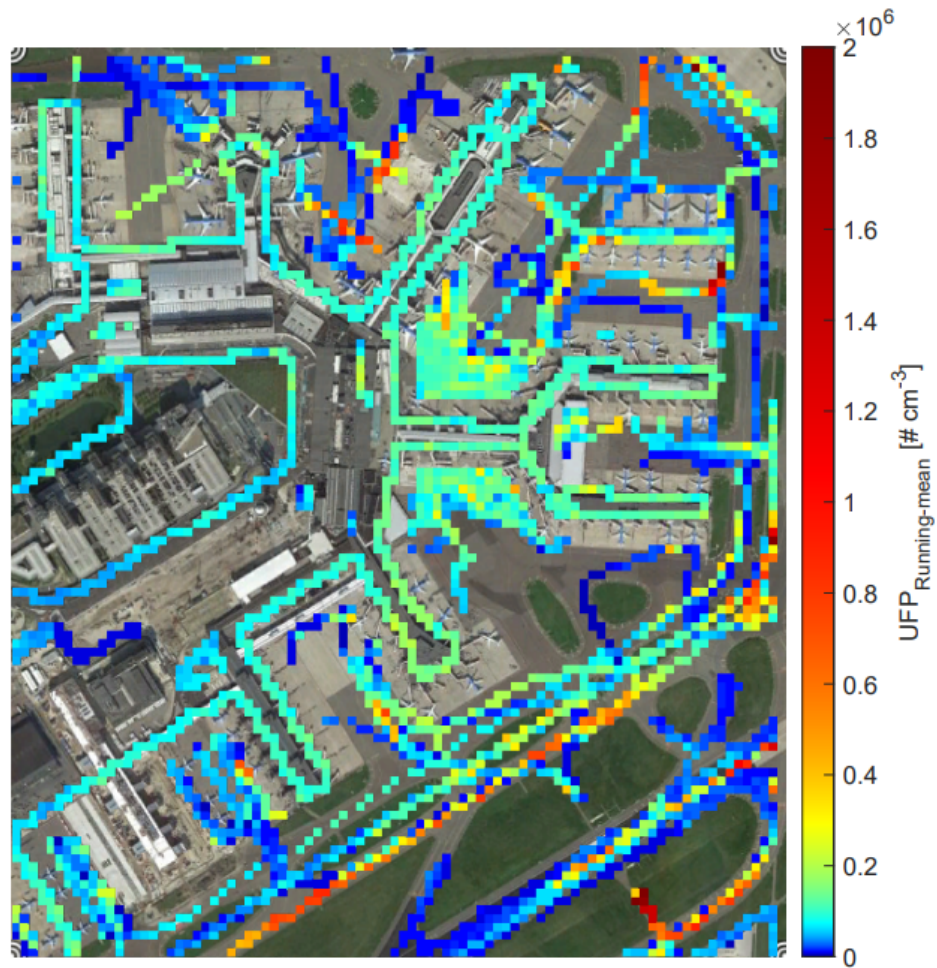
Figuur 9. Overzichtsfiguur van de gemiddelde UFP concentraties over het Schiphol terrein door de Caddy en de Crafter. Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ #cm^3 .

Voor de visualisatie zijn binnen elke cel van 15 x 15 meter van alle verzamelde meetdata over de gehele meetperiode, het gemiddelde, de mediaan en 90 percentiel waarden berekend. Het aantal datapunten per cel is niet overal hetzelfde maar varieert naar gelang er vaker binnen deze cel is gereden of is stilgestaan. De UFP concentraties in de concentratieprofiel kaarten zijn het resultaat van enkele tientallen (buitengebied) tot enkele honderden datapunten (rondom de terminals en pieren).

De gemeten UFP concentraties zijn weergegeven in kleuren waarbij gebruik is gemaakt van een kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ $\text{\#}/\text{cm}^3$. Figuur 9 geeft het totale overzicht van het Schiphol-terrein inclusief start- en landingsbanen en randwegen. Figuur 10 geeft de gereden route rondom de terminals en pieren van Schiphol Airport weer, inclusief een deel van de Kaagbaan en Figuur 11 is een uitvergroting van de gereden route rondom terminals 1 – 3 en pieren B – G.



Figuur 10. De gemiddelde UFP concentraties door de Caddy en de Crafter rondom de terminals en pieren van Schiphol Airport (ingezoomd). Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ $\text{\#}/\text{cm}^3$.



Figuur 11. De gemiddeld gemeten UFP concentraties door de Caddy en de Crafter rondom terminals 1 – 3 en pieren B - G (verder ingezoomd) van Schiphol Airport. Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ #/cm^3 .

Naast de concentratieprofiel kaarten, die inzicht geven in de lokale concentratieniveaus op het Schiphol terrein, zijn in Tabel 1, voor verschillende locaties en terreinen op Schiphol Airport, de gemiddelde, mediane en 90-percentiel concentraties weergegeven. Aangezien het aantal meetpunten op de aangegeven locaties en terreinen niet overal hetzelfde is geweest, is tevens het aantal metingen (aantal meetpunten van 1 seconde) weergegeven. Meer metingen geeft een betrouwbaarder en representatiever beeld van de UFP concentraties op de weergegeven locaties. Om meer inzicht te krijgen in de variatie in de UFP metingen op een locatie is van de gemiddelde waarde ook de standaarddeviatie gegeven. De gepresenteerde getallen horen bij de gekozen meetopzet op basis van mobiele metingen en kunnen niet zomaar vergeleken worden met waarden van andere meetcampagnes op basis van vaste meetstations.

Tabel 1. Gemiddelde inclusief standaarddeviatie (SD), mediane en 90-percentiel UFP concentraties over de gehele meetperiode, in # / cm³, voor verschillende locaties en terreinen op Schiphol Airport op basis van mobiele metingen.

Locaties	Aantal metingen	UFP concentratie (# / cm³)		
		Gemiddelde ± SD	mediaan	90 percentiel
Rondom terminals en pieren				
Terminals 1-3, pieren B-G	175.152	120.000 ±250.000	57.000	260.000
Terminals 1-2, pieren C-E	92.003	120.000 ±200.000	68.000	270.000
Terminal 3, pieren F en G	75.217	100.000 ±260.000	44.000	210.000
Boulevard/ Ceintuurbaan	39.539	62.000 ±79.000	42.000	130.000
Start en landingsbanen (inclusief taxibanen)				
Kaagbaan	36.310	65.000 ±250.000	26.000	88.000
Zwanenburgbaan	74.245	76.000 ±390.000	15.000	110.000
Aalsmeerbaan	27.748	26.000 ±62.000	7.600	86.000
Buitenveldertbaan	44.219	32.000 ±100.000	19.000	56.000
Polderbaan	10.603	8.300 ±21.000	5.100	9.400
Taxibaan naar Polderbaan	18.713	40.000 ±150.000	11.000	67.000
Schiphol Oostbaan	5.268	9.300 ±17.000	5.800	12.000
Rondom Platforms				
A/B-platform	19.311	88.000 ±210.000	36.000	180.000
J-Platform	12.793	140.000 ±610.000	21.000	200.000
R-Platform	86.728	60.000 ±120.000	31.000	120.000
S-Platform	13.596	58.000 ±270.000	17.000	87.000
U-platform	9.455	36.000 ±210.000	13.000	37.000
Overige locaties en terreinen				
Bedrijventerrein tussen A4 en Ceintuurbaan	16.463	45.000 ±42.000	33.000	87.000
Detentiecentrum Schiphol / OT gebouw	832	24.000 ±27.000	13.000	44.000
Bedrijventerrein Schiphol Zuidoost / Schiphol Rijk	1707	65.000 ±68.000	42.000	130.000
Bedrijventerrein De Hoek	453	35.000 ±20.000	30.000	60.000
Randwegen snelweg A4	40.916	54.000 ±110.000	30.000	110.000

Aan de hand van de concentratieprofiel kaarten is een aantal in het oog springende 'hot spots' geïdentificeerd waar gedurende korte momenten (enkele minuten) sterk verhoogde UFP concentraties (> 500.000 deeltjes/cm³ (oranje cellen) en > 1.000.000 deeltjes/cm³ (rode cellen)) zijn gemeten:

- Rondom de pieren C, D, E en F; deze verhoogde concentraties worden zeer waarschijnlijk veroorzaakt door binnenkomende en vertrekkende vliegtuigen. Ook zullen hier een aantal 'jet blast events' tussen zitten (zie paragraaf 5.8). Daarnaast is het mogelijk dat in dit gebied rondrijdende of stilstaande (weg)voertuigen of generatoren ook een bijdrage leveren aan de verhoogde UFP concentraties. Vooral de verhogingen nabij de terminals kunnen ieder geval deels worden toegeschreven aan wegvoertuigen (zie ook paragraaf 5.3). De bijdrage van aggregaten is moeilijk in te schatten, aangezien onduidelijk is waar deze staan en wanneer deze aanstaan.
- Op de Kaagbaan en Zwanenburgbaan; deze verhoogde concentraties worden toegeschreven aan startende, landende vliegtuigen. De Kaagbaan en de Zwanenburgbaan zijn de twee meeste gebruikte start- en landingsbanen gedurende de meetperiode (zie paragraaf 5.5).

- Op taxibanen langs diverse start en landingsbanen (vooral aan de Noord- en Zuidoost kant van de Kaagbaan; deze verhoogde concentraties worden toegeschreven aan taxiënde vliegtuigen. Wat hierbij opvalt is dat verhoogde UFP concentraties vooral voorkomen in bochten en op kruispunten van taxibanen. Dit kan te maken hebben met het feit dat vliegtuigen na het kruispunt of de bocht weer extra gas geven om te versnellen of juist ervoor snelheid minderen of zelfs stoppen zodat ze langer op deze locaties aanwezig zijn. In het eerste geval zullen de UFP emissies rond kruispunten en bochten hoger worden en in het laatste geval is er een grotere kans dat de meetwagen (meestal Crafter) in buurt is om de emissie te meten.
- Op en rondom enkele platforms: S-platform, H-platform en A/B-platform; deze verhoogde concentraties worden waarschijnlijk veroorzaakt door taxiënde vliegtuigen, met mogelijk ook een 'jet blast event'.
- Op de randwegen langs de A4 en vooral in de buurt van het knooppunt met de A5 en de oprit vanaf Schiphol (Loevensteinse Randweg); deze verhoogde concentraties worden toegeschreven aan het wegverkeer op de A4.
- Op enkele binnenwegen op het Schipholterrein (o.a. Toekanweg en de Cargo Entrance inclusief Folkstoneweg); deze verhoogde concentraties hebben waarschijnlijk te maken met vrachtverkeer.

6.3 Mobiele roet metingen

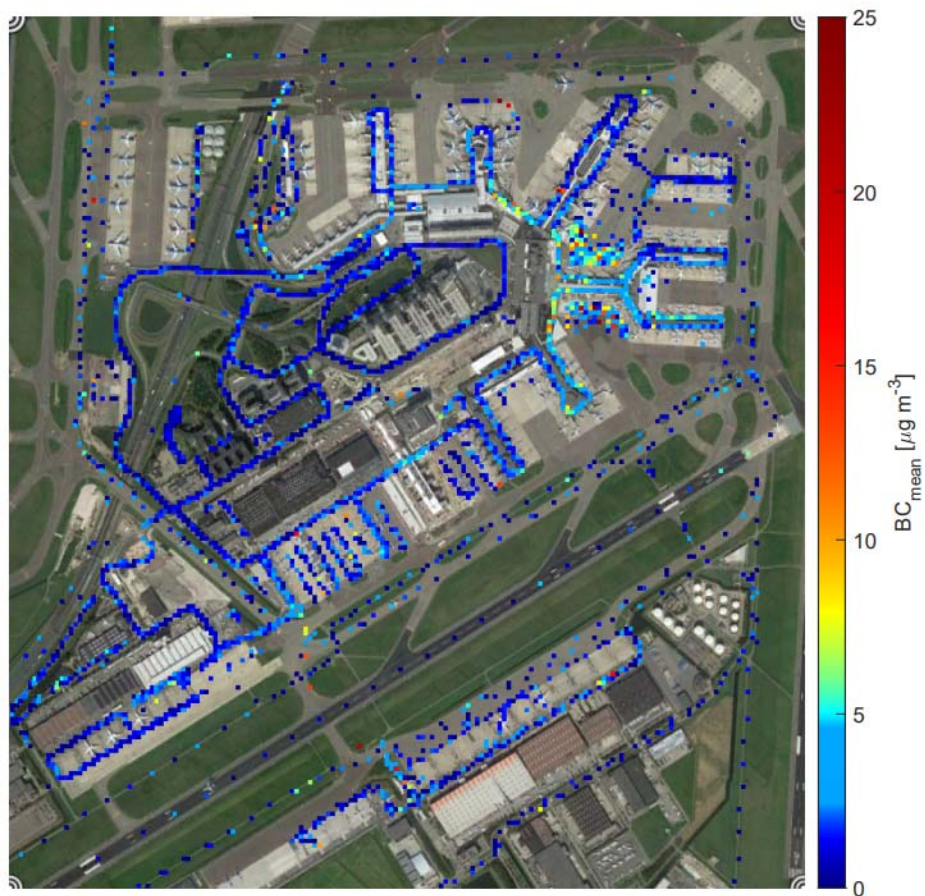
Net zoals voor UFP (zie paragraaf 5.2) zijn de resultaten van de mobiele roet (black carbon: BC) metingen weergegeven in de vorm van concentratieprofiel kaarten. Ook hier is in eerste instantie uitgegaan van 1 seconde data, echter bleken de fluctuaties en de ruis in het signaal te groot om een betrouwbaar beeld te kunnen schetsen. Om minder last te hebben van signaalruis is de 1 seconde data eerst gemiddeld over 10 seconden, waardoor per gereden traject van ca. 80 meter (bij een snelheid van 30 km/uur) één gemiddelde concentratie beschikbaar is. Dit resulteert in meer robuuste concentratiewaarden. Per cel van 15 x 15 meter, zijn van alle verzamelde 10-secondegemiddelde BC concentraties over de gehele meetperiode, de gemiddelde waarde, mediaan en 90 percentiel waarden berekend. In Figuur 12 zijn de gemiddelde waarden gepresenteerd en in Bijlage C de mediaan en 90 percentiel waarden.

Doordat voor BC minder datapunten beschikbaar zijn, ontbreken er meetpunten op een traject. Dit is vooral zichtbaar in het buitengebied, waar op sommige trajecten slechts een enkele keer is gereden. Verhoogde BC concentraties komen vooral voor onder en nabij de terminals en langs de pieren C en D. Dit gaat ook gepaard met een verhoging in de UFP concentratie op die plekken. Dit suggereert dat het wegverkeer (dieselmotor emissies), tenminste voor een deel, verantwoordelijk is voor de verhoogde UFP concentraties. De verhoogde UFP concentraties op en langs de Kaagbaan gaan niet gepaard met een verhoging in de BC concentraties. Hier zijn startende en landende vliegtuigen zeer waarschijnlijk de belangrijkste emissiebron.

Net zoals voor UFP zijn in Tabel 2, voor verschillende locaties en terrein op Schiphol Airport, de gemiddelde, mediane en 90-percentiel roet (BC) concentraties berekend. Aangezien de intensiteit van de gereden routes op de aangegeven locaties en terreinen niet overal hetzelfde is geweest, is tevens het aantal metingen weergegeven. Meer metingen betekent een betrouwbaarder en representatiever beeld van de black carbon concentraties op de weergegeven locaties. Om meer inzicht te krijgen in de variatie in de BC metingen op een locatie is van de gemiddelde waarde ook de standaarddeviatie gegeven. De gepresenteerde getallen horen bij de gekozen meetopzet op basis van mobiele metingen en kunnen niet zomaar vergeleken worden met waarden van andere meetcampagnes op basis van vaste meetstations.

Tabel 2. Gemiddelde inclusief standaarddeviatie (SD), mediane en 90-percentiel roet (BC) concentraties over de gehele meetperiode, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, voor verschillende locaties en terreinen op Schiphol Airport op basis van mobiele metingen.

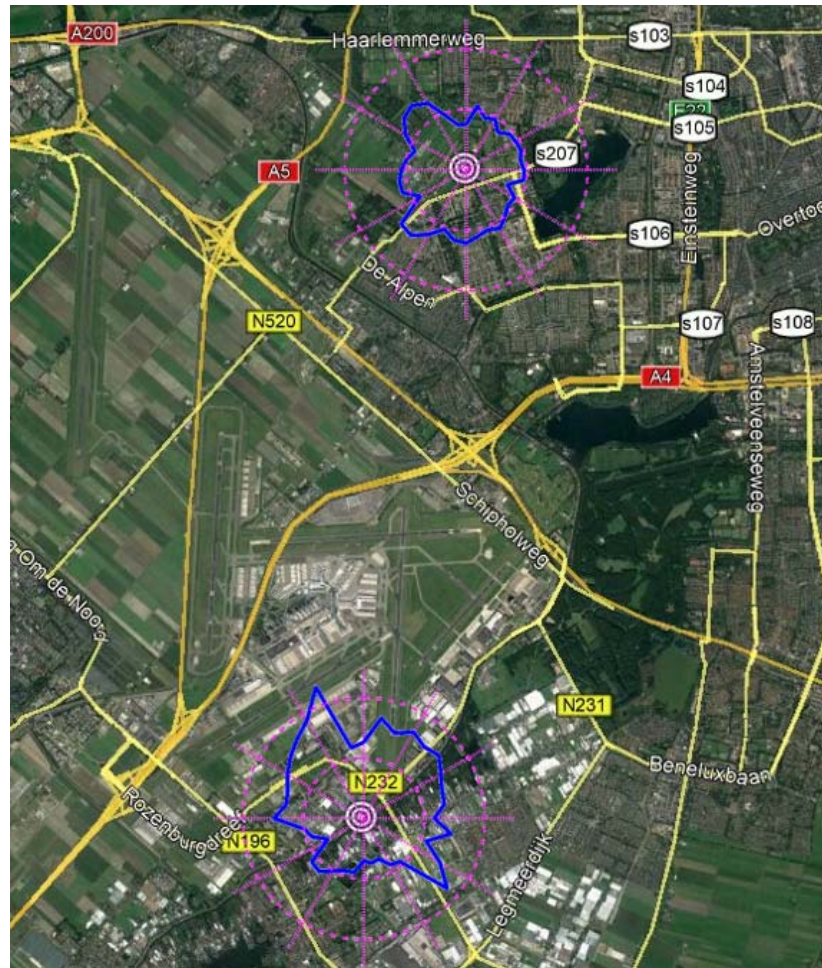
Locaties	Aantal metingen	BC concentratie (µg/m³)		
		Gemiddelde	mediaan	90 percentiel
Rondom terminals en pieren				
Terminals 1-3, pieren B-G	12309	3,2 ±6,0	1,7	6,6
Terminals 1-2, pieren C-E	7612	3,5 ±6,8	1,8	7,7
Terminal 3, pieren F en G	3894	2,5 ±4,8	1,5	4,7
Terminals 1-3	1480	5,6 ±10,9	2,9	12,2
Boulevard/Ceintuurbaan	2922	1,4 ±2,1	1,0	2,8
Langs start en landingsbanen				
Kaagbaan	744	2,1 ±2,4	1,6	4,4
Zwanenburgbaan	45	3,0 ±3,1	2,1	7,0
Aalsmeerbaan	32	1,8 ±1,4	1,5	4,3
Buitenveldertbaan	54	3,1 ±2,1	2,8	6,4
Schiphol Oostbaan	12	2,4 ±2,3	2,0	6,7
Rondom platforms				
A/B-platform	1435	2,5 ±4,1	1,5	4,7
J-Platform	14	2,1 ±2,6	1,8	3,5
R-Platform	6766	1,5 ±1,8	1,0	3,1
S-Platform	391	2,4 ±3,9	1,6	3,9
Overige locaties en terreinen				
Bedrijventerrein tussen A4 en Ceintuurbaan	1236	1,5 ±1,4	1,2	3,1
Bedrijventerrein Schiphol Zuidoost / Schiphol Rijk	127	1,5 ±1,7	1,2	2,5
Detentiecentrum Schiphol / OT gebouw	32	2,1 ±1,7	1,7	5,1
Bedrijventerrein De Hoek	37	1,2 ±1,2	0,9	1,9
Randwegen snelweg A4	1804	2,1 ±2,9	1,4	4,3



Figuur 12. De gemiddelde concentraties aan roet (black carbon) gemeten door de Caddy rondom de terminals en pieren van Schiphol Airport. Globale kleurschaal roet (links): donkerblauw: ≤ 2 , lichtblauw: 2-5, groen: 6-7, geel: ca. 8, oranje: 9-12, rood: 13-20, donkerrood/bruin: $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

6.4 UFP achtergrondmetingen

In Figuur 13 zijn windroos-grafieken van UFP concentraties weergegeven voor meetstation Oude Meer en meetstation Ookmeer, geprojecteerd op de geografische locaties in een luchtfoto (bron: GoogleMaps). De windroos-grafieken geven de gemiddelde UFP concentraties over de meetperiode 6 mei – 1 juli 2021, bij wind uit een bepaalde richting (met een windrichtingsvenster van 10°). De schaal loopt hierbij van $0 \text{ \#}/\text{cm}^3$ (centrum windroos) tot $20.000 \text{ \#}/\text{cm}^3$ (buitenring windroos). Als de UFP concentratie bij een bepaalde windrichting is verhoogd dan dragen emissiebronnen die in die richting zijn gelegen sterker bij dan bronnen in de andere windrichting. In Figuur 14 (meetstation Oude Meer) en Figuur 15 (meetstation Ookmeer) zijn tevens windroos-histogrammen van 1-uursgemiddelde UFP concentraties weergegeven. Deze windroos-histogrammen geven ook per windrichtingsvenster van 10° de verdeling weer van het aantal keer dat een bepaalde 1-uursgemiddelde UFP concentratie is gemeten. Dit geeft inzicht in het aantal keer dat verhoogde concentraties zijn gemeten, waardoor de invloed van specifieke UFP bronnen beter zichtbaar wordt.

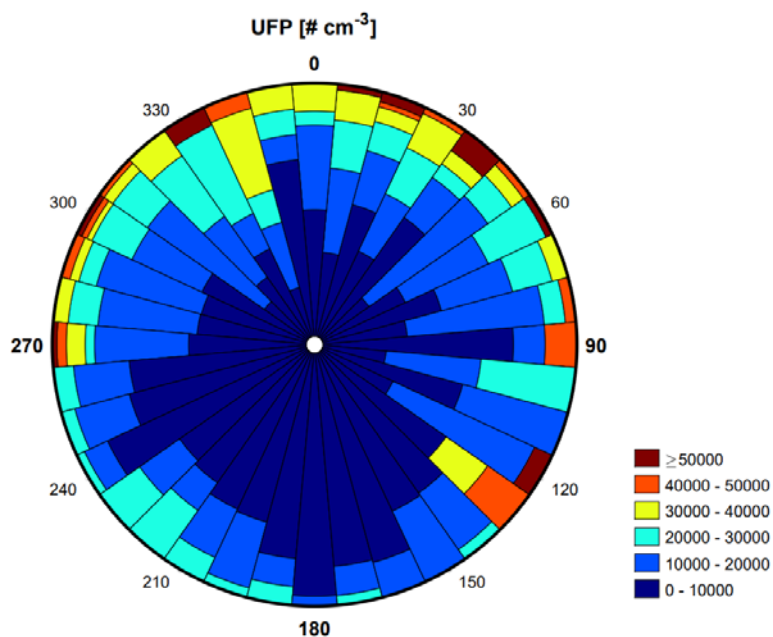


Figuur 13. Windroos-grafieken van UFP concentraties op de meetstations Oude Meer (zuidelijk meetpunt) en Ookmeer (noordelijk meetpunt) rondom Schiphol Airport, gemeten in de periode 6 mei – 1 juli 2021.

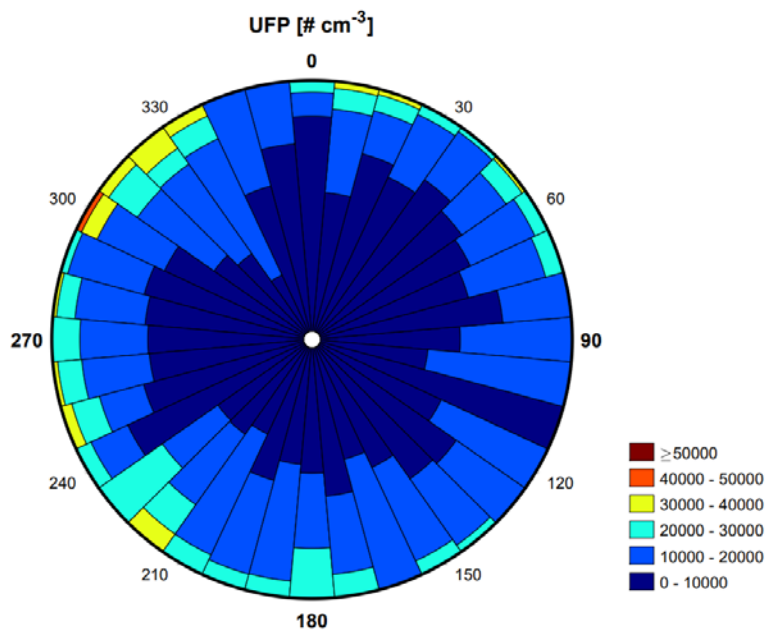
Op meetstation Oude Meer is de invloed van Schiphol ten Noorden van het meetstation duidelijk terug te zien (ca. 15.000 – 20.000 #/cm³). De hoge UFP concentraties bij 330 – 340° (> 20.000 #/cm³) zouden gerelateerd kunnen worden aan het vliegverkeer (starten en landen) op de Kaagbaan. Deze baan is in de meetperiode het meest in gebruik geweest. Bij aanvoer vanuit Zuidelijke richting zijn de UFP concentraties veel lager (ca. 5.000 – 10.000 #/cm³), met uitzondering van de UFP concentratiepiek (ca. 15.000 #/cm³) bij 130°. Gezien de smalle piek is de oorzaak van deze verhoogde UFP concentratie waarschijnlijk zeer lokaal en is mogelijk het effect van kerende en stilstaande auto's en brommers op het aangrenzende stuk asfalt (keerlus) aan de Aalsmeerderdijk.

Op meetstation Ookmeer zijn over het algemeen lagere UFP concentraties gemeten dan op meetstation Oude Meer. Dit komt omdat de afstand tot Schiphol Airport groter is (ca. 5 km) wat betekent dat de bijdrage van Schiphol op de UFP concentratie minder is dan bij meetstation Oude Meer (op ca. 1 km van Schiphol). Doordat het meetstation omgeven is door snelwegen (A4, A5, A9, A10 en A200) die ook bijdragen aan de gemeten UFP concentratie is het effect van Schiphol vrijwel niet zichtbaar. Bij wind vanaf Schiphol is de gemeten UFP concentratie op

meetstation Ookmeer ca. 10.000 – 15.000 #/cm^3 . De hoge UFP concentraties bij 220 – 230° (ca. 15.000 #/cm^3) zouden gerelateerd kunnen worden aan het vliegverkeer (starten en landen) op de Zwanenburg baan.

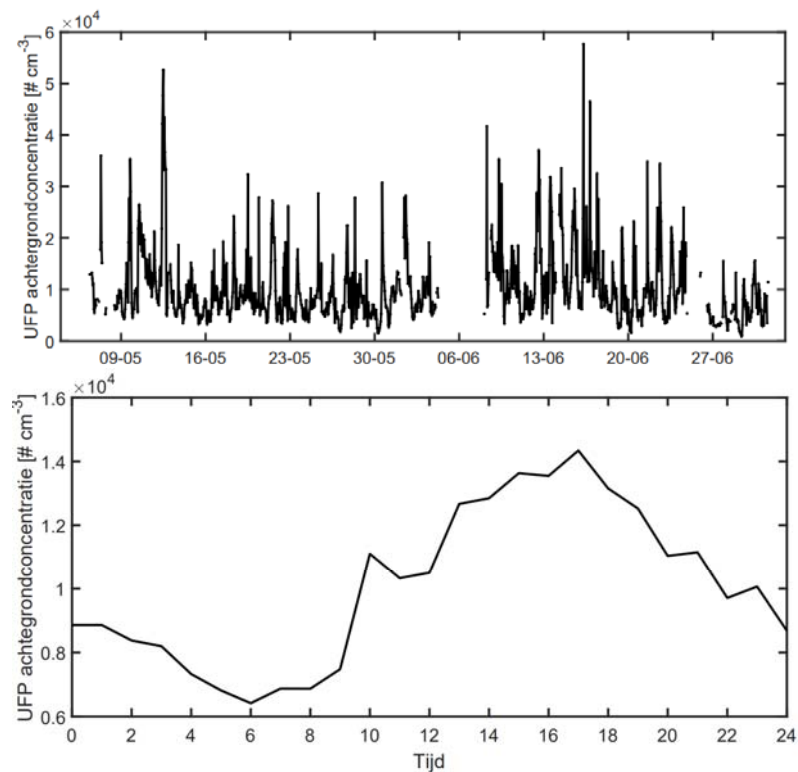


Figuur 14. Windroos-histogram voor 1-uursgemiddelde UFP concentraties op station Oude Meer.



Figuur 15. Windroos-histogram voor 1-uursgemiddelde UFP concentraties op station Ookmeer.

Voor de bepaling van de achtergrondconcentratie is meetstation Oude Meer gebruikt bij windrichting 90 – 270° en meetstation Ookmeer bij de overige windrichtingen (<90° en >270°). Voor de bepaling van de windrichting is het KNMI station Schiphol gebruikt. In Figuur 16 (boven) zijn de 1-uursgemiddelde UFP achtergrondconcentraties weergegeven gedurende de gehele meetperiode van 6 mei – 1 juli 2021; ook is de 1-uursgemiddelde UFP metingen uitgemiddeld over alle meetdagen (onder). De achtergrondconcentratie neemt gedurende de dag toe van ca. 6.500 – 14.000 #/cm³, met een daggemiddelde van ca. 10.000 #/cm³. Deze achtergrondconcentratie is veel lager dan gemeten concentraties op het terrein van Schiphol Airport. Hieruit volgt dat de achtergrondbijdrage vanuit de omgeving geen grote invloed heeft gehad op de gemeten concentraties op Schiphol Airport.



Figuur 16. De 1-uursgemiddelde UFP achtergrondconcentratie gedurende de meetperiode van 6 mei – 1 juli 2021 (boven) en gemiddeld over alle meetdagen (onder). Op de y-as de concentratie van UFP in 10.000 deeltjes/cm³ (10^4 /cm³).

De achtergrondconcentraties gemeten op de stations Ookmeer en Oude Meer in de periode 6 mei – 1 juli 2021 zijn vergeleken met de concentraties op dezelfde meetstations in de periode augustus 2017 – augustus 2018 als onderdeel van de gezamenlijke meetcampagne van TNO en RIVM (Voogt et. al, 2019). De UFP metingen zijn hierbij met dezelfde apparatuur uitgevoerd als in de huidige meetcampagne. In Tabel 3 zijn de UFP concentraties weergegeven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de concentratie bij wind vanuit Schiphol, de achtergrondconcentratie en de geschatte bijdrage van Schiphol. De in de huidige meetcampagne gemeten concentraties aan UFP zijn gemiddeld iets lager dan in 2017-2018 (ca. 20-30%). Enig voorbehoud is wel nodig aangezien de meetperioden en meteorologische condities niet gelijk zijn. Zo zijn concentraties in lucht sterk

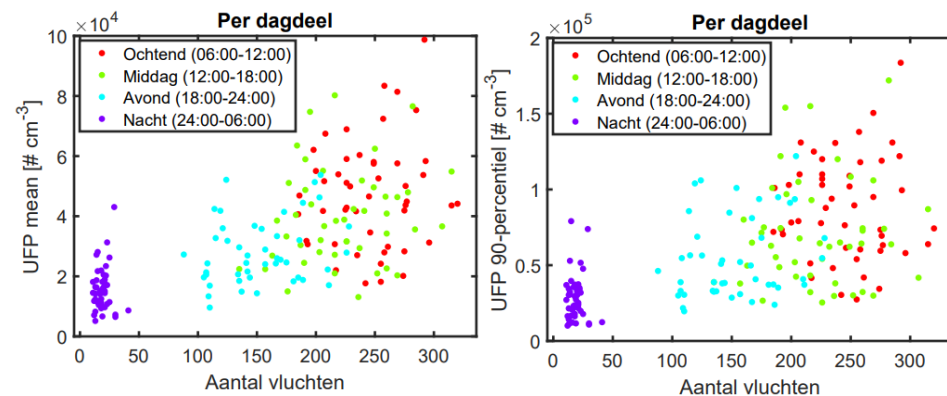
afhankelijk van de windsnelheid; de concentratie is omgekeerd evenredig met de windsnelheid. De geschatte bijdrage van Schiphol is daarom slechts een indicatie.

Tabel 3. Gemiddelde gemeten UFP concentratie ($\#/cm^3$), schatting van de 'achtergrond'-concentratie en de afgeleide bijdrage van Schiphol per meetstation en periode.

Meetstation	Meetperiode	Concentratie bij wind vanuit Schiphol	'Achtergrond' concentratie	Bijdrage Schiphol
Oude Meer	aug 2017 – jan 2018	16.200	10.000	6.200
	mrt – aug 2018	24.200	12.000	12.200
	mei – juli 2021	16.300	8.000	8.300
Ookmeer	aug 2017 – jan 2018	16.000	9.000	7.000
	mrt – aug 2018	14.900	12.000	2.900
	mei – juli 2021	11.700	8.900	2.800

6.5 Correlatie vliegbewegingen en UFP concentraties

Om inzicht te krijgen in de samenhang tussen het aantal vluchten en UFP concentraties op het Schiphol terrein is in Figuur 17 een scatterplot weergegeven van de gemiddelde en 90 percentiel UFP concentraties tegen het aantal vluchten per dagdeel (6-uur periode). In deze scatterplot zijn alle metingen over het gehele Schiphol terrein meegenomen. In de nacht zijn er weinig vliegbewegingen en wordt voornamelijk de achtergrondconcentratie gemeten. Het aantal vluchten is het hoogst in de ochtend en middag.



Figuur 17. Scatterplot van de gemiddelde UFP concentraties ($\#/cm^3$) (links) en de 90 percentiel UFP concentraties ($\#/cm^3$) (rechts) tegen het aantal vluchten per dagdeel (6-uur periode), waarbij alle metingen over het gehele Schiphol terrein zijn meegenomen. In rood de ochtendvluchten, in groen de middagvluchten, in blauw de avondvluchten en in paars de nachtvluchten vs. gemeten concentraties. NB de y-as-schalen zijn verschillend.

Ondanks de grote spreiding in UFP concentraties blijkt wel dat in algemene zin een toename in het aantal vluchten gepaard gaat met een toename in de 6-uurs gemiddelde UFP concentraties. Deze samenhang is in de 90 percentiel concentraties minder duidelijk. Wellicht komt doordat het 90 percentiel vaak gedictieerd wordt door enkele kortdurende 'events'. Hiervan zijn er slechts enkele en ze worden min of meer toevallig bemeten. Ook bij weinig vliegbewegingen kan dat gebeuren. In de ochtend en middag is het aantal vluchten enigszins vergelijkbaar (zie ook Tabel 4).

In Tabel 4 is het aantal vliegbewegingen in de periode 6 mei tot en met 1 juli 2021 (tijdens de meetperiode) vergeleken met het aantal vliegbewegingen in dezelfde periode van 2019. Het jaar 2019 wordt als referentiekader gebruikt omdat toen het aantal vliegbewegingen nog niet verminderd was door de COVID-19 pandemie. In algemene zin was in 2019 het aantal vluchten in deze periode ruim twee maal zo hoog.

Tabel 4. Vergelijking van het aantal vliegbewegingen in en rondom de meivakanties van 2021 (tijdens de meetperiode) en 2019 (in dezelfde maanden vóór de Corona pandemie).

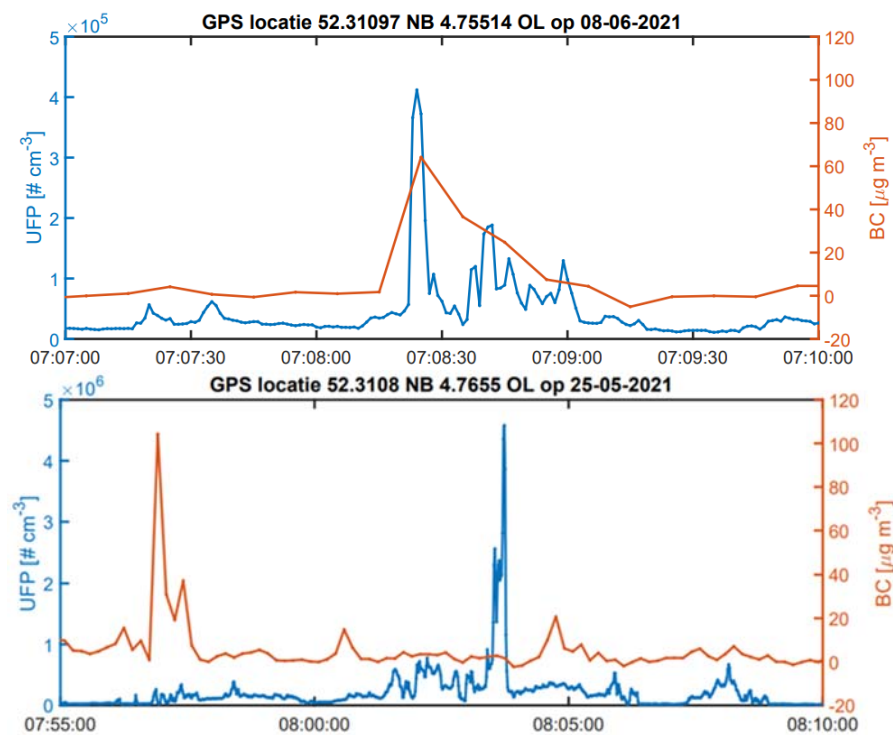
	Totaal vluchten		% vluchten in 2021 t.o.v. 2019				
	2019	2021	nacht (0:00- 6:00)	ochtend (6:00- 12:00)	middag (12:00- 18:00)	avond (18:00- 24:00)	gehele meet- periode
Vergelijking aantal vluchten periode 6 mei – 1 juli 2021							
Tijdvak							
Nacht (00:00-6:00)	3066	1116					36%
Ochtend (6:00-12:00)	30297	14731					49%
Middag (12:00-18:00)	33248	13235					40%
Avond (18:00-24:00)	25147	8942					36%
Baan							
Kaagbaan	9841	14181	43%	212%	193%	98%	144%
Polderbaan	29779	10030	21%	40%	35%	26%	34%
Oostbaan	3030	3091	9%	117%	96%	96%	102%
Buitenveldertbaan	4901	3373	254%	120%	49%	58%	69%
Aalsmeerbaan	21531	3860	0%	22%	13%	19%	18%
Zwanenburgbaan	22286	3230	51%	17%	12%	13%	14%
Helispot	390	258	78%	52%	52%	80%	66%
Pier							
b	17157	7033	57%	42%	38%	45%	41%
c	18230	7022	28%	45%	34%	37%	39%
d1	17990	5275	18%	44%	22%	21%	29%
d2	10203	4087	17%	46%	46%	36%	40%
e	6316	3570	28%	69%	53%	58%	57%
f	2927	1935	60%	70%	63%	68%	66%
g	5033	2014	8%	76%	40%	5%	40%
h	3874	121	0%	2%	1%	5%	3%
m	3254	258	0%	7%	8%	9%	8%
vracht-zuid	717	1231	96%	138%	200%	277%	172%
vracht-zuidoost	1568	1934	159%	104%	134%	116%	123%
spl-oost	3643	3211	82%	92%	88%	84%	88%
Totaal							
totaal vluchten	91758	38024	36%	49%	40%	36%	41%

De verdeling van de vliegtuigen over de verschillende pieren en start- en landingsbanen was in 2021 niet altijd hetzelfde als in 2019; ook het aantal vliegbewegingen per tijdvak in beide perioden varieerden. Zo is het verschil in vliegbewegingen in de ochtend het kleinst (de helft minder vluchten) en in de avond het grootst (twee derde minder vluchten). De E en F pieren werden het meest gebruikt en zitten op 60 – 70% van de capaciteit in 2019. Het aantal vluchten op de Kaagbaan, de Polderbaan en de Buitenveldert baan is zelfs hoger ten opzichte van dezelfde periode in 2019. Zowel in 2019 als in 2021 zijn de meeste vliegtuigbewegingen tussen 09:00 en 10:00 uur in de ochtend. In dat tijdvak zijn de verschillen in vliegtuigbewegingen het kleinst, waarbij de capaciteit in de meetperiode op ca. 60% zit van dezelfde periode in 2019. Samenvattend kan worden gesteld dat de reductie van het aantal vliegtuigbewegingen door de COVID-

19 pandemie een zekere invloed heeft gehad op de gemeten UFP concentraties. Echter, de concentraties zullen zeker géén ordergrootte lager liggen en op sommige momenten van de dag, vooral in de ochtend, zullen de gemeten waarden de UFP concentraties bij volle capaciteit zelfs benaderen.

6.6 Onderscheid vlieg- en wegverkeer

De gemeten roet (black carbon) concentraties zijn in dit onderzoek gebruikt om onderscheid te maken tussen vlieg- en wegverkeer op Schiphol Airport. Hierbij wordt aangenomen dat gelijktijdig optredende pieken in BC en UFP concentraties voornamelijk het resultaat zijn van dieselemissies vanuit wegverkeer en aggregaten (Figuur 18, boven). UFP piekconcentraties waarbij geen substantiële toename in de BC concentratie te zien is, zijn waarschijnlijk het gevolg van vliegtuigemissies (Figuur 18, onder).

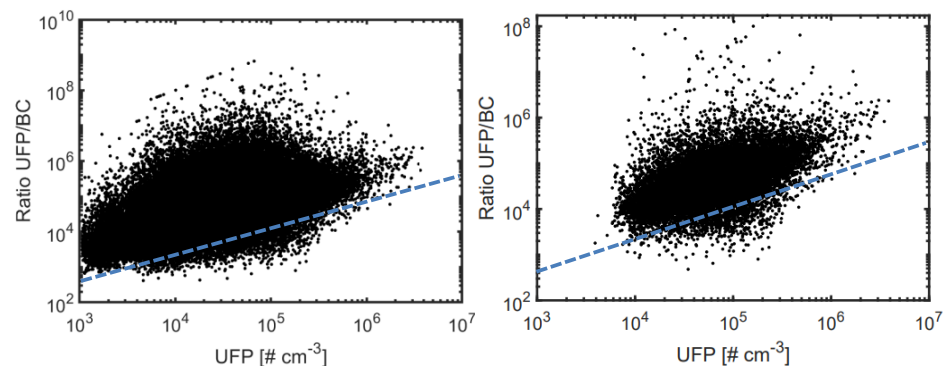


Figuur 18. Voorbeeld van een simultane verhoging van de UFP en BC concentratie op 8 mei 2021 bij de G pier als gevolg van dieselmotor emissie (boven) en een verhoging van de UFP concentratie op 25 mei 2021 bij de E pier zonder substantiële verhoging van de BC concentratie als gevolg van vliegtuigemissie (onder).

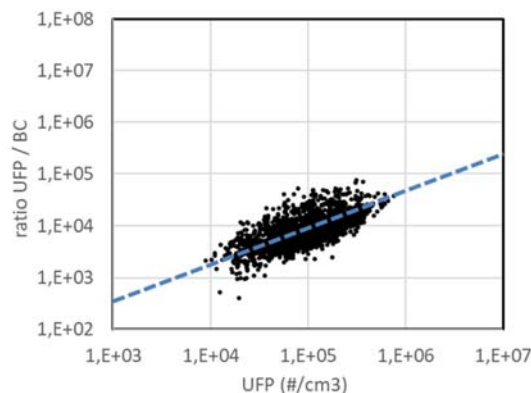
In Figuur 19 zijn in een scatterplot de verhoudingen tussen gelijktijdig gemeten UFP en BC concentraties (UFP/BC ratio) uitgezet tegen de gemeten UFP concentraties. Er zijn twee plots gemaakt. Één met alle metingen en één met een selectie van de metingen rondom de terminals en pieren. De UFP/BC ratio geeft het aantal UFP (in #/cm^3) per microgram BC (in $\mu\text{g/m}^3$). Duidelijk is te zien dat bij een toename in UFP concentratie de verhouding tussen UFP en BC omhoog gaat. Dit betekent dat bij toenemende UFP het aandeel aan BC concentraties omlaag gaat. Ditzelfde geldt voor de scatterplot van de UFP/BC ratios verkregen in een heel andere studie in de Maastunnel in Rotterdam. Bij deze studie zijn alle UFP afkomstig van het

wegverkeer. Ook hier is de UFP/BC ratio uitgezet tegen de gemeten UFP concentraties (uitgevoerd door TNO in januari 2014 in het kader van het project NanoNextNL) (Figuur 20). De UFP/BC ratio ligt in de Maastunnel lager. Dit betekent dat in de emissies als gevolg van wegverkeer een toename in UFP concentratie gepaard gaat met een grote toename in BC concentratie. Deze toename is groter dan wat we zien in de scatterplots op basis van de metingen op Schiphol Airport. Ook is er een grotere correlatie tussen UFP en UFP/BC ratio wat tot uiting komt in een smallere wolk met datapunten.

Door de regressielijn (blauw gestreepte lijn) van UFP/BC ratio tegen UFP concentratie afkomstig van het wegverkeer in de Maastunnel (Figuur 20) te projecteren op de scatterplot in Figuur 19 wordt inzicht verkregen in het verschil in UFP/BC ratio tussen wegverkeer emissies en emissies op Schiphol..



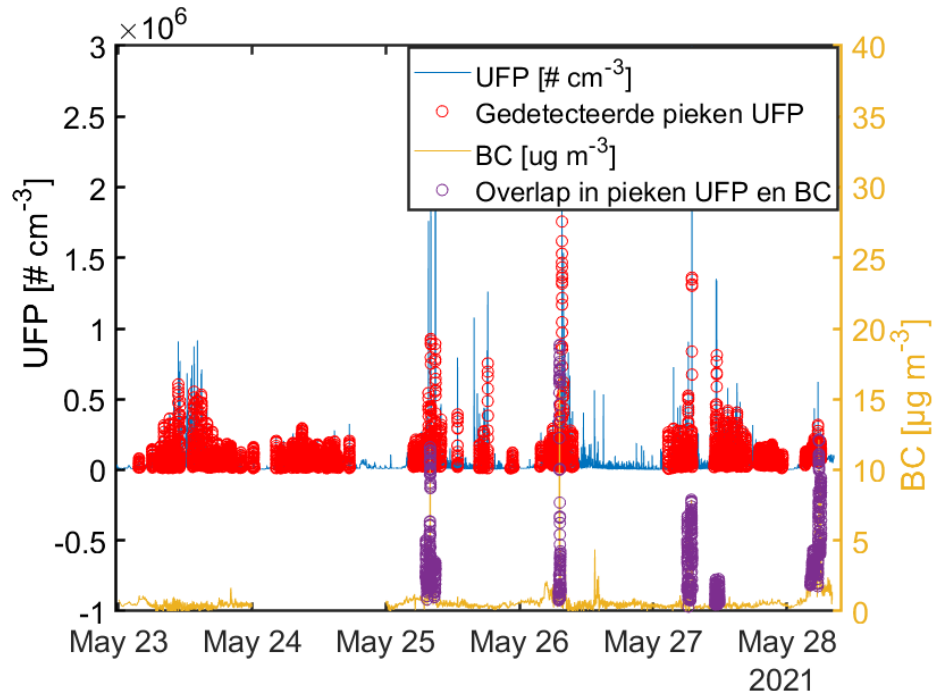
Figuur 19. Scatterplots van de UFP/BC ratio uitgezet tegen de gemeten UFP concentratie, in $\# / \text{cm}^3$, gemeten met de EPC en AE33 op de Caddy in de meetperiode 6 mei – 1 juli 2021. Links: scatterplot met alle metingen en Rechts: scatterplot met een selectie van de metingen bij terminals en pieren. De regressielijn (blauw gestreepte lijn) is afkomstig van de metingen in de Maastunnel en illustreert de UFP/BC ratio als gevolg van wegverkeer.



Figuur 20. Scatterplots van de UFP/BC ratio uitgezet tegen de gemeten UFP concentratie, in $\# / \text{cm}^3$, gemeten met een SMPS en een MAAP in de Maastunnel in Rotterdam in 2014. De regressielijn (blauw gestreepte lijn) geeft de UFP/BC ratio als gevolg van wegverkeer in de Maastunnel.

De hier gepresenteerde analyse laat zien dat de verhouding tussen concentraties van UFP en BC zoals die gemeten is in de Maastunnel (louter emissies van het wegverkeer) lager is dan die gemeten op Schiphol. Op basis van literatuur (zie paragraaf 3.3) zijn er duidelijke aanwijzingen dat vliegtuigmotoren veel minder BC uitstoten dan dieselmotoren (uit het wegverkeer), met als gevolg een hoge UFP/BC ratio. De conclusie lijkt daarmee gerechtvaardigd dat wanneer de verhouding tussen concentraties van UFP en BC hoger is dan de blauw gestreepte regressielijn, de bijbehorende UFP concentraties voornamelijk afkomstig zijn van de emissie van vliegtuigmotoren. Gezien de grote wolk aan meetpunten met hoge UFP/BC ratios mag dan ook worden verondersteld dat de meest dominante bron van UFP op Schiphol Airport zeer waarschijnlijk het vliegverkeer is.

In Figuur 21 is dit ook op een andere manier geïllustreerd; daar zijn de concentraties aan UFP en BC uitgezet over de meetperiode van 23 - 28 mei 2021. De rode cirkels geven de gedetecteerde UFP pieken aan en de paarse cirkels geven aan dat er overlap is in de pieken van UFP en BC. Hieruit blijkt dat het grootste deel van UFP piek concentraties niet gepaard gaat met een simultane verhoging van de BC concentraties. Dit betekent dat het grootste deel van de UFP piekconcentraties kan worden toegeschreven aan vliegverkeer, en dat een klein deel is beïnvloed door wegvoertuigen en/of generatoren. Dit is in overeenstemming met de scatterplots van Figuur 19 en 20. Zoals blijkt uit Figuur 11 en 12 en Bijlage D is de bijdrage van wegvoertuigen en/of generatoren vooral zichtbaar bij locaties in de buurt en onder de terminals en langs de pieren C en D.



Figuur 21. Tijdserie van de UFP concentraties, in $\# \text{ cm}^{-3}$ (blauwe lijn) en de BC concentraties, in $\mu\text{g m}^{-3}$ (bruine lijn) gemeten met de EPC en AE33 op de Caddy in de meetperiode 25-28 mei 2021. De rode cirkels geven de gedetecteerde UFP pieken en de paarse cirkels geven de gedetecteerde BC pieken die gelijktijdig met de UFP pieken optreden.

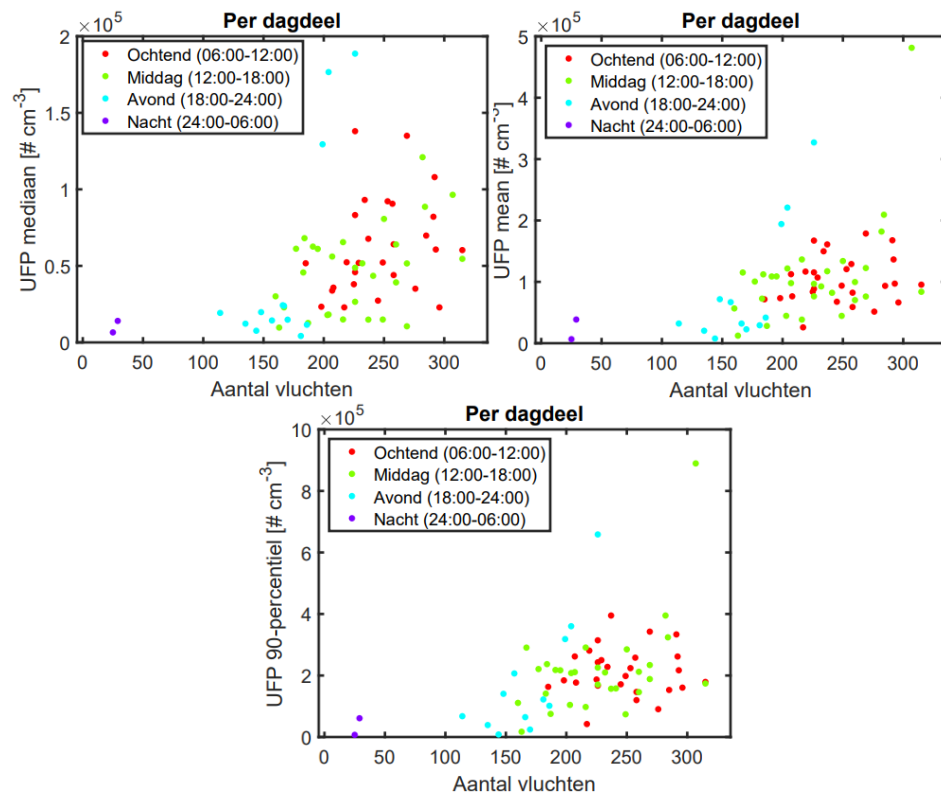
6.7 Gemeten concentraties en indicatie voor blootstelling

6.7.1 *Gemeten concentraties UFP*

Om een indicatie te krijgen van de blootstelling aan UFP op Schiphol is naast de gemeten concentraties op het terrein van Schiphol ook inzicht nodig in de momenten en de duur dat medewerkers aan deze UFP concentraties worden blootgesteld. Arbeidsgerelateerde blootstelling wordt vaak berekend over een tijdsperiode van 8 uur (gemiddelde werkdag). Gedurende een werkdag kunnen medewerkers diverse activiteiten ondernemen op verschillende locaties waarbij blootstellingsconcentraties kunnen variëren. De mobiele meetapparatuur geeft hier geen inzicht in en blootstellingsconcentraties kunnen dan ook niet worden bepaald. De gemeten concentraties met de mobiele meetapparatuur geven wel een eerste indruk van mogelijk blootstelling.

Er dient wel rekening te worden gehouden met de beperking van de mobiele metingen voor een indicatie van blootstelling. De mobiele metingen zijn gelimiteerd aan de verplichte rijbanen op het terrein (onder terminals en langs pieren), terwijl medewerkers zich op andere plaatsen kunnen bevinden. Daarnaast zullen de platform medewerkers zich niet altijd buiten bij de pieren en terminals bevinden, maar gedurende de dag deels ook binnen en op andere minder belaste locaties aanwezig zijn. Dit betekent dat de gemeten concentraties met de mobiele meetapparatuur waarschijnlijk een overschatting geven van de blootstelling.

In Tabel 1 (zie paragraaf 6.1) zijn de gemiddelde, mediaan en 90 percentiel UFP concentraties weergegeven over de verschillende locaties op Schiphol Airport. Dit zijn gemiddelde concentraties over de gehele meetperiode van 6 mei tot en met 1 juli 2021 en geven een eerste indruk van de UFP concentraties waaraan medewerkers blootgesteld kunnen worden. Met name rondom de terminals en de pieren zijn de UFP concentraties verhoogd (over de gehele meetperiode: gemiddelde 120.000 #/cm³ en mediaan 57.000 #/cm³). In de betreffende meetperiode zijn langs de A4 ook verhoogde UFP concentraties gemeten (over de gehele meetperiode: gemiddeld 54.000 #/cm³ en mediaan 30.000 #/cm³), maar die blijven nog onder de niveaus die zijn gemeten bij de terminals en pieren. Hierbij geldt wel dat in tegenstelling tot de metingen bij terminals en pieren de mobiele metingen langs de A4 voor een deel in de nacht zijn uitgevoerd.



Figuur 22. Scatterplot van de mediane UFP concentraties (links boven), gemiddelde UFP concentraties (rechts boven) en 90 percentiel UFP concentraties (onder), in # cm^{-3} , rondom de terminals en pieren tegen het aantal vluchten per dagdeel (6-uur periode). NB alle schalen zijn verschillend.

De 2-maandengemiddelde concentratie (meetperiode 6 mei – 1 jul 2021) geeft een gemiddeld beeld van de blootstelling over een langere periode. Dit zegt echter nog weinig over de blootstelling gedurende een werkdag. De 8-uursgemiddelde concentratie kan enorm fluctueren. Dit is mede afhankelijk van het aantal en type vliegtuigen, de bezetting van de pieren, het aantal en type wegvoertuigen rondom de terminals en pieren, de weerscondities (windrichting, windsnelheid, neerslag) en het 'gedrag' van de vliegtuigen (o.a. 'jet blast events'). In Figuur 22 zijn rondom de terminals en pieren voor de ochtend en middag, mediaan, gemiddelde en 90 percentiel concentraties berekend over een periode van 6 uur (dagdeel). Voor de meeste dagdelen zit de gemiddelde UFP concentratie tussen de 10.000 en 200.000 #/cm^3 ; ditzelfde geldt voor de mediaanwaarden. Er zijn twee uitschieters boven de 200.000 #/cm^3 ; deze zijn ook terug te zien in de 90 percentiel concentraties. Dit betekent dat het waarschijnlijk gaat om een incidentele piekconcentratie (mogelijk veroorzaakt door een 'jet blast event'). De UFP concentraties gemeten over een dagdeel geven een eerste indruk van de mogelijke blootstelling gedurende een werkdag.

Nast de gemiddelde concentratie gedurende een werkdag zijn voor een goede risico-inschatting ook piekblootstellingen van belang. Deze piekblootstellingen kunnen bijvoorbeeld optreden wanneer werknemers zich in buurt van vliegtuigen met draaiende motoren bevinden (o.a. binnenkomende en vertrekkende

vliegtuigen, 'jet blast events'); maar ook in de buurt van uitlaatemissies van wegvoertuigen kunnen hoge UFP concentraties optreden. De 90 percentiel waarden geven een goede eerste indruk van piekblootstellingen die kunnen optreden bij platform medewerkers van Schiphol. Rondom de pieren en terminals is het 90 percentiel (vastgesteld over de meetperiode van 2 maanden) 260.000 #/cm³. Dit betekent dat in 10% van de tijd de UFP concentratie op of boven de genoemde waarde uitkomt. De 90 percentielwaarde per dagdeel varieert tussen 50.000 en 400.000 #/cm³.

Net zoals voor een 8-uurs blootstelling geven de 90 percentiel concentraties over een dagdeel een eerste indruk van de piekblootstelling gedurende een werkdag. Dit betekent dat gedurende ca. drie kwartier per dag de concentratie boven het 90 percentiel uitkomt. Bij deze benadering moet echter de nodige voorzichtigheid worden betracht. De 'hoog belaste' plekken rond de terminals en pieren waar de meetwagens (Caddy en Crafter) hebben gereden en stilgestaan, zijn niet de plekken waar de platform medewerkers zich normaliter bevinden.

6.7.2 Toepasbaarheid UFP sensoren voor blootstellingsonderzoek

Voor blootstellingsonderzoek zijn persoonlijke metingen noodzakelijk. In het Deense onderzoek zijn hiervoor draagbare UFP sensoren (van het type NanoMonitor van Philips/Oxility) gebruikt. TNO heeft dezelfde sensoren meegenomen in dit onderzoek voor de evaluatie van geschiktheid en toepasbaarheid voor toekomstig blootstellingsonderzoek. Uit een eerste vergelijking van de sensoren met de EPCs lijkt dat deze sensoren geschikt zijn om fluctuaties in concentraties te registreren die in overeenstemming zijn met de fluctuaties in de concentraties gemeten met de EPCs. Wel lijkt het dat de geregistreerde concentratieniveaus achterblijven op die van de EPCs. Een nadere analyse zal dit moeten uitwijzen, alsmede de geschiktheid van de sensoren om persoonlijke blootstellingsniveau 's te registreren. Uit een eerste data-screening blijkt echter al wel dat in aanvulling op de gekozen onderzoekstrategie op de luchthaven Kopenhagen, de sensoren regelmatig gekalibreerd moeten worden met high-end meetinstrumenten en mogelijk ook dat sensordata gecorrigeerd moet worden voorafgaand aan de uiteindelijke blootstellingsbeoordeling.

6.7.3 Gemeten concentraties Black Carbon

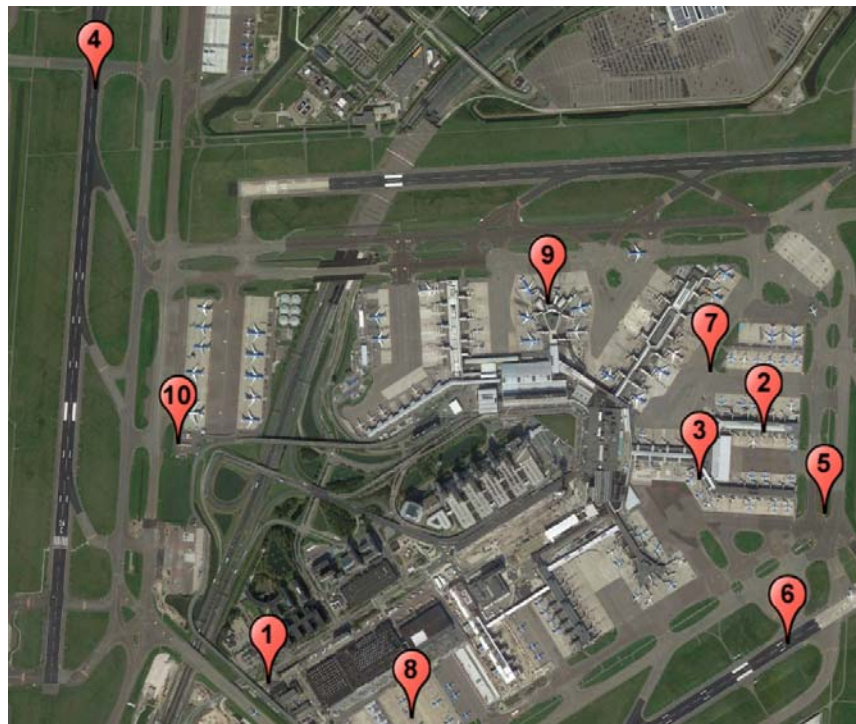
De black carbon metingen kunnen niet zondermeer worden vergeleken met persoonlijke metingen van elementair koolstof ¹¹ in het kader van een Arbo technisch onderzoek. Ondanks de sterke correlatie tussen black carbon en elementair koolstof kunnen de gemeten concentraties op een locatie afwijken. Over het algemeen liggen de black carbon concentraties iets hoger dan de elementair koolstof concentraties. Net zoals voor UFP geldt ook voor de met de mobiele meetapparatuur gemeten BC concentraties dat het alleen een eerste indruk geeft van blootstelling. De beperkingen van de mobiele metingen voor de bepaling van blootstellingsconcentraties van UFP gelden ook voor BC (zie sub paragraaf 6.7.1). De in Tabel 2 (zie paragraaf 6.3) genoemde concentraties geven dus een eerste indruk van de blootstellingsconcentratie van roet (elementair koolstof).

¹¹ De officiële referentie meetmethode voor roet of DME (dieselmotor emissions) is thermische koolstofanalyse, waarmee elementair koolstof (EC) als maat voor roet wordt gebruikt.

6.8 UFP concentraties in relatie tot 'jet blast events'

Wanneer vliegtuigen bij vertrek de (koude) motoren na pushback van de gate opstarten, worden de uitlaatgassen met hoge concentraties aan UFP in de richting van de terminal geblazen. Dit wordt een 'jet blast event' genoemd. De gevolgde onderzoeks aanpak is niet gericht op het identificeren van deze 'jet blast events'; met mobiele metingen is het lastig om deze 'events' goed in beeld te krijgen. Wel is de initiële onderzoeks aanpak aangepast om deze 'jet blast events' beter te kunnen bemeten. In de geplande route nabij de platforms is aan de bestuurders van de meetwagens expliciet gevraagd om stil te staan of zeer langzaam te rijden op het moment dat vliegtuigen vertrekken.

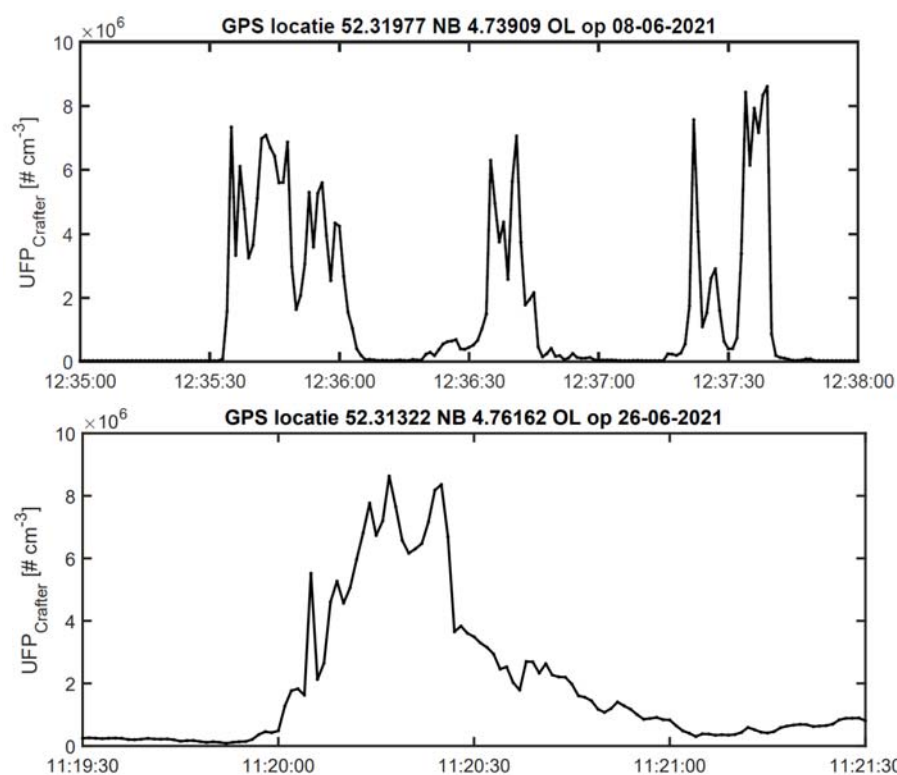
Tijdens de metingen zijn de 'jet blast events' niet apart geregistreerd in een logboek. Op basis van de aanname dat deze events gepaard gaan met extreem hoge emissies van UFP is meetdata gescreend op piekconcentraties boven de 10^6 $\text{\#}/\text{cm}^3$. In Tabel 5 is een selectie weergegeven van 10 willekeurige 'jet blast' events met in Figuur 23 de exacte meetlocaties op basis van de geregistreerd GPS data. Wanneer de 'jet blast event' is gemeten met de Caddy is tevens de roet concentratie (BC) weergegeven om meer inzicht te krijgen in de in de 'jet blast'. De 'jet blast events' die rondom de pieren zijn gemeten, duren maximaal een minuut. (zie Figuur 24, onder). Er zijn ook extreem hoge concentraties gemeten op taxibanen en vertrek- en landingsbanen (zie Figuur 24, boven). Deze concentraties zijn waarschijnlijk het gevolg van taxiënde en/of opstijgende en landende vliegtuigen, waar de Crafter in de buurt was.



Figuur 23. Overzichtsfiguur van de luchthaven Schiphol met 10 willekeurig geselecteerde 'events' waarbij de gemeten UFP concentratie groter is dan 10^6 $\text{\#}/\text{cm}^3$. Bron luchtfoto: Google Maps.

Tabel 5 Een tiental willekeurig geselecteerde 'events' waarbij de gemeten UFP concentratie groter is dan 10^6 #/cm³. De locaties staan in Figuur 22 ingetekend.

Nr	Voertuig	Snelheid (km/u)	Datum	Tijdsperiode (UTC)	Piekconcentratie		
					UFP (#/cm ³)	BC (µg/m ³)	Tijdsduur (sec)
1	Caddy	27	20-mei	12:18-12:20:30	4×10^6	3	120
2	Caddy	18	20-mei	12:42-12:43:30	5×10^6	4	20
3	Caddy	8	21-mei	6:06:40-6:07:40	5×10^6	4	20
4	Crafter	18	8-jun	12:35-12:38	8×10^6	-	120
5	Caddy	0	9-jun	13:27-13:29	4×10^6	6	45
6	Caddy	38	9-jun	13:31:45-13:33:45	3×10^6	6	90
7	Caddy	7	11-jun	14:51-14:52:30	$2,5 \times 10^6$	-	40
8	Caddy	13	16-jun	14:05-14:07:30	5×10^6	5	30
9	Crafter	2	26-jun	11:19:30-11:21:30	8×10^6	-	60
10	Crafter	8	30-jun	7:31-7:32:30	8×10^6	-	30



Figuur 24. Gemeten piekconcentraties UFP (#/cm³) dichtbij de Zwanenburgbaan op 8 juni 2021 (nr. 4, boven) en in de buurt van de F pier op 26 mei 2021 (nr. 9, onder).

De hoge piekconcentraties van UFP gaan niet gepaard met een extreme verhoging van de BC concentraties. Bij de getoonde 'jet blast events' zijn de concentraties aan BC slechts licht verhoogd (3 – 6 µg/m³). Dit bevestigt ook het beeld in paragraaf 6.6, waarin is gesteld dat het grootste deel van de UFP piekconcentraties kan worden toegeschreven aan vliegverkeer.

7 Conclusies en aanbevelingen

Op het Schiphol terrein zijn in de periode 6 mei – 1 juli 2021 mobiele metingen van ultrafijn stof (UFP) en black carbon (BC) uitgevoerd. Gedurende de meetperiode van 8 weken zijn nabij de terminals, pieren en platforms dagelijks en op verschillende tijdstippen van de dag, metingen uitgevoerd, met honderden metingen per locatie (van 15 x 15 meter) op de gereden route als resultaat. Ook in het buitengebied, in de omgeving van de start- en landingsbanen is vrijwel dagelijks gereden, waarbij tientallen metingen per locatie zijn verzameld. Het onderzoek heeft een uitgebreide en unieke hoeveelheid meetgegevens opgeleverd. Door de gekozen meetstrategie is een goed en representatief beeld ontstaan van de concentratieniveaus aan UFP rond de pieren, terminals en platforms op de luchthaven Schiphol. Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

Ultrafijn stof concentraties op verschillende plaatsen op de luchthaven

De concentratie van UFP verschilt per locatie. In de tabel staan de concentraties van UFP op die locaties, als gemiddelde-, mediaan- en 90 percentiel waarden over de gehele meetperiode, vermeld:

Locaties	UFP concentratie (# / cm ³)		
	Gemiddelde	Mediaan	90 percentiel
Terminals en pieren	100.000 – 120.000	44.000 – 68.000	210.000 – 270.000
Boulevard/Ceintuurbaan	62.000	42.000	130.000
Taxi-, start- & landingsbanen	26.000 – 76.000	7.600 – 26.000	56.000 – 110.000
Platforms	36.000 – 140.000	13.000 – 36.000	37.000 – 200.000
Bedrijventerreinen	22.000 – 52.000	16.000 – 47.000	43.000 – 98.000
Randwegen snelweg A4	54.000	30.000	110.000

Behalve een variatie in gemeten UFP concentraties tussen de verschillende locaties, is er een grote variatie van de UFP concentraties in de tijd. Gemiddelde concentraties per dagdeel (6 uur) nabij de terminals en pieren variëren van 10.000 tot meer dan 200.000 deeltjes per cm³. De hoogste UFP concentraties worden daarbij in de ochtend en middag gemeten; dit hangt samen met het hoge aantal vliegbewegingen in die periodes. UFP concentraties kunnen enorm fluctueren; kortstondig (seconden tot minuten) kunnen hoge piekconcentraties optreden van meer dan 500.000 deeltjes per cm³. Deze pieken worden in verband gebracht met zogenaamde ‘jet blast events’ van vliegtuigen¹² en zijn het gevolg van het opstarten van vliegtuigmotoren nabij de pieren en terminals en van taxiënde en opstijgende vliegtuigen op en langs start- en landingsbanen

¹² De sterke luchtstroom uit de straalmotor van vliegtuigen

Onderscheid tussen de bijdrage van het vlieg- en wegverkeer

Het is van belang vast te stellen welke bronnen hoge concentraties van UFP veroorzaken. Belangrijke bronnen kunnen zijn: het wegverkeer op de wegen rondom Schiphol, het vliegtuigverkeer en het wegverkeer op de luchthaven en bijvoorbeeld dieselaggregaten op de luchthaven. Om dit te onderzoeken is ook de concentratie van Black Carbon (BC; roet) gemeten. BC wordt vooral geëmitteerd door dieselmotoren. De concentratie van BC geeft dus informatie over de bijdrage van dieselmotoren aan de UFP concentratie. Door het tegelijkertijd uitvoeren van mobiele UFP en BC metingen kon onderzocht worden wat de bijdrage van dieselmotoren is. Het blijkt dat het grootste deel van de verhoogde concentraties aan UFP niet gepaard gaat met een simultane substantiële verhoging van de concentratie aan BC. Dit betekent in algemene zin dat emissies door het wegverkeer of andere dieselmotoren op de luchthaven een relatief kleine bijdrage hebben aan de UFP concentraties op de luchthaven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, grootschalig gezien, vliegtuigemissies de grootste bijdrage leveren aan de concentratie van UFP op Schiphol. Onder de terminals en langs de pieren C en D zijn zowel de concentraties van BC als die van UFP verhoogd. Dit betekent dat op die plaatsen “niet-vliegtuig emissies”, zoals die van wegvoertuigen en aggregaten, wel een bijdrage leveren aan de verhoogde UFP concentraties. Het is op dit moment moeilijk aan te geven hoe groot deze bijdrage is.

Het aantal vliegtuigbewegingen tijdens de meetperiode en daarbuiten

Het aantal vliegtuigbewegingen tijdens de meetperiode is gemiddeld 60% lager dan tijdens dezelfde periode in 2019; in de ochtend is het verschil het kleinst met 50%. Er zijn echter andere, grote, verschillen in de bezetting van de verschillende start- en landingsbanen en pieren. Het aantal vliegtuigbewegingen in de ochtend bij de E, F en G pier is het minst gedaald (25 - 30% lager dan in 2019). Op de Kaagbaan zijn er zelfs meer vluchten dan in 2019; dit heeft waarschijnlijk ook te maken met de heersende windcondities. Deze verschillen in de bezetting van de pieren geven aan dat nodige voorzichtigheid is geboden wanneer de nu gemeten concentraties aan UFP zouden worden vertaald naar een 100% capaciteit van Schiphol. Een verhoging van de capaciteit betekent niet zonder meer dat de concentratieniveaus aan UFP in dezelfde mate toenemen. Dit is onder andere afhankelijk van de spreiding van het aantal vluchten gedurende de dag en de bezetting van de start- en landingsbanen en de pieren. Wel blijkt dat de geschatte bijdrage van Schiphol op de gemeten concentraties aan UFP op de meetstations Ookmeer en Oude Meer gemiddeld 20 – 30% lager ligt dan in de periode 2017-2018.

De concentratie van black carbon

De hoogste concentraties aan black carbon worden gemeten rondom de terminals en pieren met een gemiddelde concentratie over de gehele meetperiode van 2,5 – 5,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Onder de terminals worden de hoogste concentraties gemeten, die kortstondig kunnen oplopen tot boven de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (90 percentiel 12,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Het is waarschijnlijk dat wegvoertuigen en aggregaten hieraan een grote bijdrage leveren. Op de overige locaties op de luchthaven zijn de gemeten black carbon concentraties vergelijkbaar met niveaus die in een stedelijke omgeving voorkomen (1 – 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). De black carbon metingen geven een eerste indruk van de concentratieniveaus op de luchthaven Schiphol, maar kunnen door de gekozen meetopzet en -techniek, niet worden doorvertaald naar persoonlijke blootstellingsniveaus.

De toepasbaarheid van de onderzochte UFP sensoren

Een aantal UFP sensoren werd meegenomen in het onderzoek en voortdurend blootgesteld aan dezelfde concentratie als de 'high-end' monitoren van TNO. Uit een eerste data-screening blijkt dat de gebruikte UFP sensoren geschikt lijken om fluctuaties in concentraties te registreren. Wel zijn de gemeten concentratieniveaus lager dan de concentraties gemeten met de met de 'high end' monitoren. Een nadere analyse is nodig om te kunnen beoordelen of de sensoren geschikt zijn om persoonlijke blootstellingniveaus te registreren.

Mogelijkheden voor mitigatie (quick wins)

Het bepalen van de persoonlijke blootstelling van medewerkers maakte geen deel uit van dit onderzoek. Wel is duidelijk dat rond de terminals en pieren de UFP concentratie het meest is verhoogd. Dit zijn ook de plaatsen waar platform medewerkers, bagagemedewerkers en overig grondpersoneel zich bevinden. Onderzoek naar de mogelijkheden om blootstelling te verminderen valt ook buiten de scope van het huidige onderzoek. Teneinde de UFP concentraties in de genoemde gebieden te verlagen is het zoveel mogelijk wegnemen van emissiebronnen altijd zinvol. Effectieve oplossingsrichtingen zijn o.a. het elektrificeren van wegvoertuigen en het wegslepen van vliegtuigen uit de zone waar grondpersoneel zich bevindt, alvorens de vliegtuigmotoren te starten.

Indicatie voor blootstelling

Het luchtkwaliteitsonderzoek op de luchthaven Schiphol geeft een eerste indruk van de concentraties aan UFP, waaraan medewerkers van Schiphol blootstaan. De gemeten concentraties kunnen niet worden vertaald naar persoonlijke blootstellingconcentraties voor (groepen van) medewerkers. Aanbevolen wordt dan ook om een vervolgonderzoek (conform de NEN-EN 689) uit te voeren naar de persoonlijke blootstelling van medewerkers die waarschijnlijk het meest belast zijn (o.a. platform medewerkers, bagagemedewerkers). Dit houdt in dat eerst op basis van de activiteiten van medewerkers en de locaties waar zij zich bevinden gedurende de dag medewerkers worden ingedeeld in groepen met een overeenkomend blootstellingspatroon. Voor deze groepen wordt bij een selectie van werknemers persoonsgebonden metingen uitgevoerd, waarvan de resultaten worden vertaald naar de gehele functiegroep.

Haalbaarheid gezondheidsonderzoek UFP bij werknemers Schiphol

Het Ministerie van I&W heeft het RIVM gevraagd de haalbaarheid van een additioneel onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten van beroepsmatige blootstelling aan UFP bij werknemers op Schiphol te verkennen. De uitkomsten van de verkenning staan beschreven in het briefrapport: verkenning haalbaarheid gezondheidsonderzoek werknemers Schiphol (Reedijk et al., 2021).

De huidige TNO metingen zijn in de verkenning haalbaarheid gezondheidsonderzoek werknemers Schiphol niet meegenomen vanwege de vertraging door de coronacrisis. De uitkomsten van de metingen op Schiphol sluiten in orde van grootte aan bij de aannames die gedaan zijn voor de verkenning op basis van de beschikbare literatuur, waarbij eruit is gegaan van hogere (piek)concentraties van ultrafijnstof op de platforms dan in het omwonendenonderzoek.

Voor gezondheidsonderzoek onder werknemers is het van belang meer informatie over persoonlijke blootstelling aan ultrafijnstof bij verschillende functies te krijgen. Daar geven de huidige TNO metingen geen inzicht in. Daarom wordt er in de verkenning geadviseerd een uitgebreider blootstellingsonderzoek te doen dan de huidige TNO metingen. Hierbij kan meer inzicht wordt verkregen in persoonlijke blootstellingen, bronnen en determinanten van ultrafijnstof en andere relevante componenten voor verschillende functies en locaties op de luchthaven. Met deze informatie kan ook de historische blootstelling worden ingeschat, die gebruikt zou kunnen worden in een dwarsdoorsnede onderzoek

8 Referenties

N. Janssen et al., Verkenning gezondheidsrisico's ultrafijnstof luchtvaart rond Schiphol en voorstel Vervolgonderzoek, RIVM Briefrapport 2016-0050

A.Lammers, N. Janssen, J. Boere, Effects of short-term exposures to ultrafine particles near an airport in healthy subjects, *Environment International*, 2020, 141:105779. doi:10.1016/j.envint.2020.105779

M. Voogt et al., Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol Voor onderzoek naar de gezondheid van omwonenden, RIVM rapport 2019-0074

Møller KL, Thygesen LC, Schipperijn J, et al. Occupational exposure to ultrafine particles among airport employees-combining personal monitoring and global positioning system. *PLoS One*. 2014;9(9). doi:10.1371/journal.pone.0106671

Bezemer et al., Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol, RIVM rapport 2015-0110

P. Peters, P. Berghmans, J. Van Laer, E. Frijns, UFP en BCmetingen rondom de luchthaven van Zaventem, VITO rapport 2016/MRG/R/0493

B. Stacey, R.M. Harrison, F. Pope, Evaluation of ultrafine particle concentrations and size distributions at London Heathrow Airport, *Atmospheric Environment*, 222 (2020) 117148.

J. Duyzer, M. Moerman, Ultrafijn stof rond Rotterdam The Hague Airport, TNO rapport 2018/R10714

R.E. Dodson, E.A. Houseman, B. Morin, J.I. Levy, An analysis of continuous black carbon concentrations in proximity to an airport and major roadways, *Atmospheric Environment* 43 (2009) 3764–3773

M.P. Keuken, M. Moerman, P. Zandveld, J.S. Henzing, G. Hoek, Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands), *Atmospheric Environment*, 104 (2015) 132-142

D. van Dinther, M.J. Blom, W.C.M. van den Bulk, G.P.A. Kos, M. Voogt, Metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes rond Schiphol gedurende ruim één jaar, TNO rapport 2019 R 10591

Hu, S., Fruin, S., Kozawa, K., Mara, S., Winer, A. M., & Paulson, S. E. (2009). Aircraft Emission Impacts in a Neighborhood Adjacent to a General Aviation Airport in Southern California. *Environmental Science & Technology*, 43(21), 8039–8045.

M. Masiol, R.M. Harrison, T.V. Vu, D.C.S. Beddows (2017). Sources of sub-micrometre particles near a major international airport, *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 12379–12403.

Fraport, Air Quality Annual Report 2018 - Report on Ambient Air Quality Monitoring at Frankfurt Airport, 2018

H. Lorentz, U. Janicke, H. Jakobs, W. Schmidt, P. Hellebrandt, M. Ketzel, H. Gerwig, Ultrafine particle dispersion modeling at and around Frankfurt airport (FRA), Germany, 19th International Conference on Harmonisation within Atmospheric dispersion Modeling for Regulatory Purposes, 3-6 Jun 2019, Bruges, Belgium.

G. Marcias, M.F. Casula, M. Uras, A. Falqui, E. Miozzi, E. Sogne, S. Pili, I. Pilia, D. Fabbri, F. Meloni, M. Pau, A.M. Sanna, J. Fostinelli, G. Massacci, E. D'Aloja, F.L. Filon, M. Campagna, L.I. Lecca (2019) Occupational Fine/Ultrafine Particles and Noise Exposure in Aircraft Personnel Operating in Airport Taxiway, *Environments* 6, 35.

F. Shirmohammadi, M.H. Sowlat, S. Hasheminassab, A. Saffari, G. Ban-Weiss, C. Sioutas, Emission rates of particle number, mass and black carbon by the Los Angeles International Airport (LAX) and its impact on air quality in Los Angeles, *Atmospheric Environment* 151 (2017) 82-93

M. Stafoggia G. Cattani F. Forastiere, A. Di Menno di Bucchianico, A. Gaeta, C. Ancona, Particle number concentrations near the Rome-Ciampino city airport, *Atmospheric Environment* 147 (2016) 264-273

9 Ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

Schiphol Nederland B.V.
Postbus 7501
1118 ZG Schiphol

Namen van de projectmedewerkers:

P.C. Tromp, D. van Dinther, S.E. de Bie,
J. Duyzer, J.P. Lollinga, M.M. Moerman, S.J. Henke

Kwaliteitsborging:

Het onderzoek is uitgevoerd onder een kwaliteitssysteem dat voldoet aan ISO-9001

Tijdsbestek waarin het onderzoek heeft plaatsgevonden:

maart – september 2021

Tweede lezer:

Dr. A.J. Plomp
Scientist

Ondertekening:

Drs. P.C. Tromp
Scientist

Autorisatie vrijgave:

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

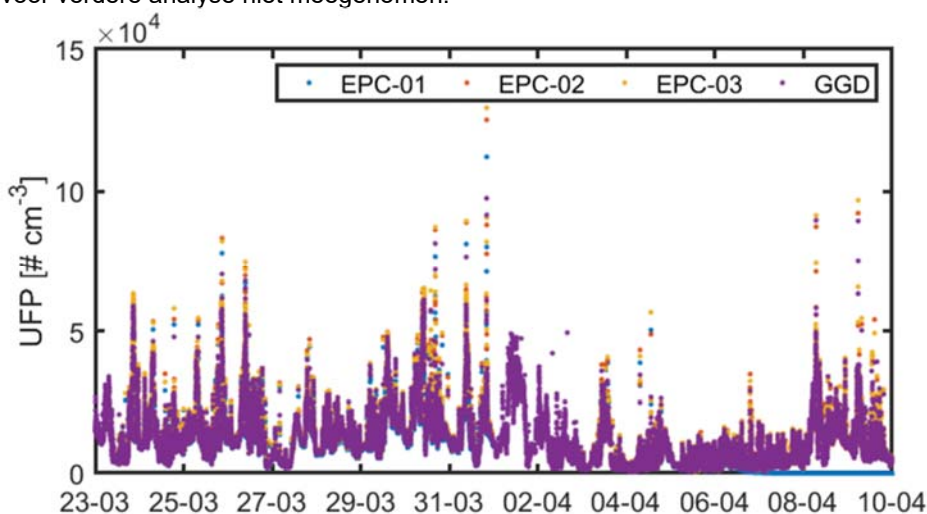
A Bijlage – Resultaten vergelijkingsmetingen

Van 23 maart 2021 tot 10 april 2021 hebben de EPC's naast elkaar gemeten op het station Ookmeer (voor opstelling zie Figuur A1). De EPC van de GGD is ook na de metingen op het station blijven staan en wordt hier aangeduid als EPC-GGD. De EPC die tijdens de campagne is ingebouwd in de Caddy wordt hier aangeduid als EPC-01 en die van de Crafter als EPC-02. De EPC die stationair op Oude meer heeft gemeten is EPC-03.



Figuur A1. Foto van de opstelling op Ookmeer tijdens de vergelijkingsmetingen.

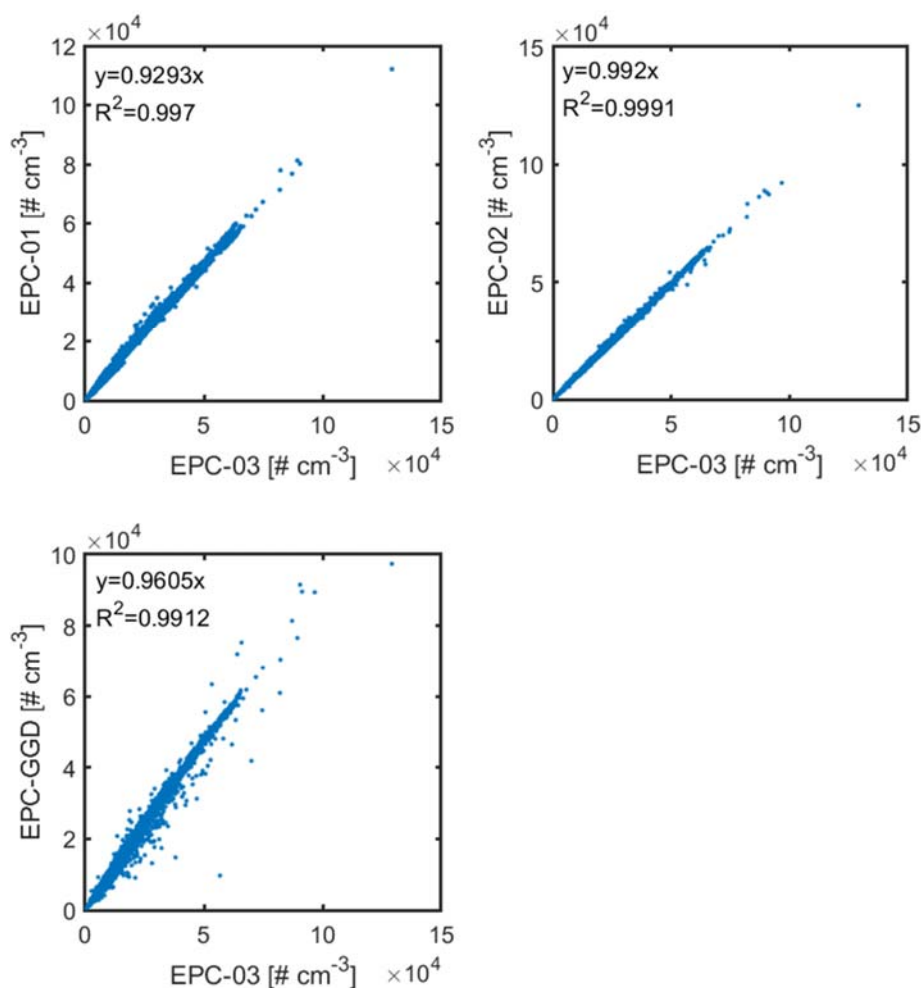
Een tijdserie over de gehele meetperiode is zichtbaar in Figuur A2. Het is duidelijk te observeren dat de data van de EPC's, zoals verwacht, zeer dichtbij elkaar liggen. EPC-01 heeft vanaf 6 april een probleem, waardoor het signaal inzakt. Deze data is voor verdere analyse niet meegenomen.



Figuur A2. Tijdserie van UFP concentraties gemeten in Ookmeer met de vier EPC's van 1 minuut gemiddelden.

EPC-03 is als referentie gekozen voor de vergelijking, omdat deze EPC net van de fabrikant afkwam en daardoor als meest betrouwbaar is aangenomen.

In Figuur A staan de bijbehorende scatterplots inclusief regressiestatistiek. Er is voor gekozen om de regressie door nul te trekken. Hierdoor blijft alleen de helling over die als correctiefactor gebruikt kan worden. De EPC's liggen zeer dichtbij elkaar, met afwijkingen van maximaal 8% (EPC-01 ten opzichte van EPC-03). De zeer hoge R^2 van boven de 0,99 voor alle apparatuur geeft aan dat de spreiding tussen apparatuur nihil is. De correctiefactoren die hieruit volgen zijn: 1,08 voor EPC-01; 1,01 voor EPC-02 en 1,04 voor EPC-GGD. Deze zijn toegepast op de data van de metingen op en nabij Schiphol.



Figuur A3. Scatterplots van UFP concentraties van EPC-01 (linksboven), EPC-02 (rechtsboven) en EPC-GGD (linksonder) tegen EPC-03, met bijbehorende regressie geforceerd door nul.

B Bijlage – Routebeschrijving UFP metingen

De volgende instructie is schriftelijk gegeven aan alle medewerkers van Schiphol die met de Caddy projectauto hebben gereden.

De Route heeft als doel om zoveel mogelijk langs de vliegtuig opstelplaatsen bij de pieren te rijden. Het rondje aan airside kan je een paar keer herhalen als je dat wilt. Meer rondjes is meer data, dan kunnen we achteraf beter analyseren wat de ultrafijnstofconcentratie op Schiphol is. Na het gedeelte aan airside kan je nog een rondje over landzijde rijden met de vertrekkpassage, Schiphol Boulevard en The Base. Ook hier geldt: meer rondjes is meer data. Als je zelf ergens de ultrafijnstofconcentratie wilt weten kan je daar ook naartoe rijden. Probeer even stil te staan of rij er langzaam langs. Denk wel aan het overige verkeer en de regels die gelden!

Volg zoveel mogelijk de route, maar als je een keer verkeerd rijdt is dat niet erg. Pak de route dan weer op waar je de weg weer kent. We rijden zoveel mogelijk dezelfde route zodat we elke dag op dezelfde locaties de luchtkwaliteit meten, dan weten we na alle metingen meer over de ultrafijnstofconcentratie op die locaties.

De gele lijn is de hele route (airside en landside), met de blauwe lijn kan je het gedeelte aan airside nogmaals rijden. We vinden het vooral fijn als je meerdere rondjes aan airside rijdt. Als je langzaam rijdt zijn de metingen het nauwkeurigst, rij dus langzaam, maar zorg ervoor dat je de operatie niet teveel stoort. Ongeveer 30 km/h is een mooie snelheid.



Bron kaartmateriaal: Google Maps

De routebeschrijving airside

De route volgt aan airside alleen de randwegen, je gaat dus nooit over een rode lijn! Houd je altijd aan de regels die aan airside gelden!

- Als je wegrijdt bij het SHG ga je bij de stoplichten rechtsaf

- Dan kom je bij de werkzaamheden van de rijbaan Q.
- Volg de bordjes UGS A naar doorlaatpost 90
- De security check gaat hetzelfde als je gewend bent:
- Zet de auto neer in een vrije laan bij de security agent

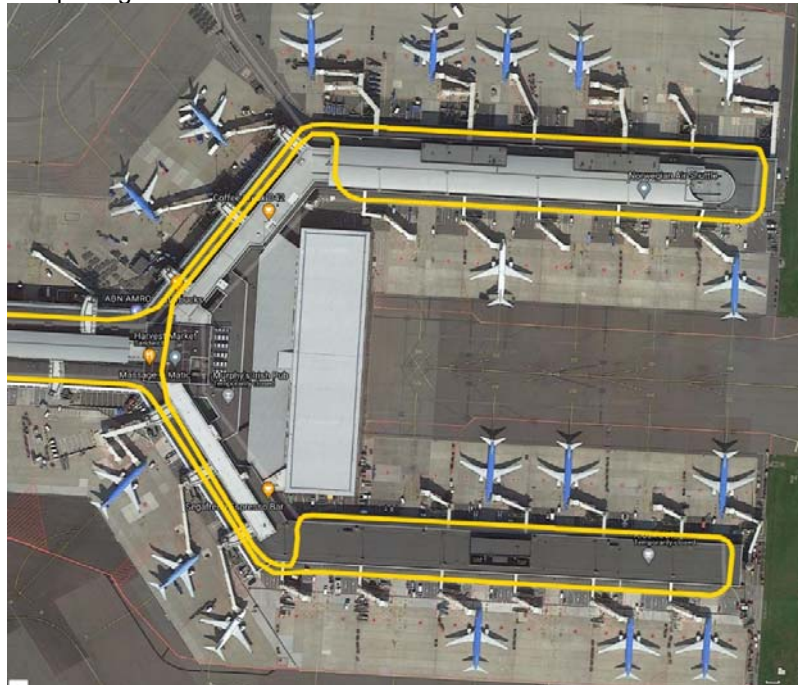
Opmerking: Achter de bestuurdersstoel staat een kist met accu's voor de meetapparatuur. De deksel kan aan de voorkant worden opgetild om in de kist te kijken. Het kan zijn dat de security agent vraagt om even te helpen.

- Loop zelf door het gebouw
- Haal de auto aan de andere kant weer op
- Na de security controle ga je rechtsaf richting het vrachtplatform (R-platform)*
- Volg de weg naar het einde van het platform. Je rijdt hier achter de vliegtuigen langs, LET OP! Als een vliegtuig wil vertrekken gaat dat voor. Je moet dan even wachten.
- Na opstelplaats R72 volg je de weg naar rechts
- Blijf de weg volgen en rij aan de voorkant langs de vliegtuigen
- Om het R-platform weer te verlaten ga je na opstelplaats R77 (voor R80) naar rechts en vervolgens weer naar links
- Volg de randweg door de tunnel tot de rotonde
- Ga bij de rotonde driekwart rond (naar links, dus niet de Kaagbaan-tunnel in!)
- Dan kom je weer bij een rotonde
- Ga bij deze rotonde naar rechts, je rijdt op de Rinse Hofstraweg (RH-weg)
- Je rijdt langs KLM Cargo
- Ter hoogte van de slagbomen kan je naar rechts
- Aan het einde van het platform zit een keerlus, daar kan je omdraaien en weer terugrijden naar de RH-weg, ga dan rechtsaf en vervolg je weg
- Je volgt de RH-weg en rijdt door het bouwterrein van de A-pier
- Vlak voor de B-pier ga je naar rechts en rij je om de B-pier heen
- Als je om de pier heen bent ga je weer rechtsaf de RH-weg op naar de C-pier
- Vlak voor de C-pier ga je naar rechts en rij je om de C-pier heen
- Als je om de pier heen bent ga je weer rechtsaf de RH-weg op naar de D-pier
- Vlak voor de D-pier ga je naar rechts en rij je om de D-pier heen
- Omdat de D-pier het model heeft van een stemvork is het lastiger om er omheen te rijden (Verderop staat een stukje tekst over de route bij de D-pier)
- Je rijdt langs de zuidkant van de D-pier naar het einde, dan kan je om de D-pier heen
- Je rijdt door tot opstelplaats D23. Kort daarna kan je links onder de pier door rijden. Houdt als je onder de pier door bent rechts aan.
- Ter hoogte van opstelplaats D10 kan je naar de noordkant van de pier rijden, je komt dan bij opstelplaats D41 uit.
- Daar ga je naar rechts en ter hoogte van opstelplaats D47 ga je weer onder de pier door en gelijk naar links.
- Volg de D-pier naar het einde en rij er omheen.
- Je kan dan de weg volgen, weer terug naar de RH-weg
- Vlak voor de E-pier ga je naar rechts en rij je om de E-pier heen
- Aan het einde van de E-pier is een eenrichtingsstraat, hou daar rekening mee
- Als je om de pier heen bent ga je weer rechtsaf de RH-weg op naar de F-pier
- Vlak voor de F-pier ga je naar rechts en rij je om de F-pier heen
- Als je om de pier heen bent ga je weer rechtsaf de RH-weg op naar de G-pier
- Vlak voor de G-pier ga je bij de rotonde naar rechts en rij je om de G-pier heen
- Als je ter hoogte van opstelplaats G3 bent, ga je linksaf onder de G-pier door
- Je komt dan weer op de rotonde en daar ga je rechtsaf richting Hek 60.

- Je kan bij Hek 60 Airside verlaten
- Als je nog een ronde wilt rijden kan je de weg blijven volgen
- Je gaat dan over de snelweg A4, langs het J-platform en het Y-platform weer terug over de snelweg A4
- Je komt uiteindelijk bij een rotonde, daar ga je rechts
- Bij de volgende rotonde ga je weer rechts onder de korte tunnel door
- Je komt dan weer bij het R-platform en je kan de route daar weer oppakken. In de tekst hierboven kom je dan uit bij de *

Route bij de D-pier

De route bij de D-pier is wat lastiger omdat er twee uiteinden zijn. Hieronder zie je een plattegrond van dit deel van de route.



Bron kaartmateriaal: Google Maps

De routebeschrijving landzijde

- Als je door Hek 60 airside hebt verlaten ga je rechtsaf
- Je volgt de weg tot voorbij de busbaan en gaat dan rechtsaf (Volg het bordje richting A4, Utrecht, Haarlem, Amsterdam)
- Bij de volgende kruising ga je bij de stoplichten linksaf de Westelijke Randweg op
- Bij de volgende stoplichten ga je weer naar links, je komt dan op de Schiphol Boulevard. Je blijft de weg volgen en rijdt voor het WTC langs
- De weg draait naar links. Blijf de weg volgen en volg het bordje "Terug naar Schiphol"
- Even verder staat er weer een bordje, volg dan "Parkeren, Terug naar Schiphol". Je komt dan op de Retourbaan.
- Vanaf hier kan je de bordjes "Vertrek" blijven volgen tot aan de Vertreypassage
- Aan het einde van de Vertreypassage volg je de bordjes "Lang Parkeren"
- Als je bij de kruising met de stoplichten komt, ga je linksaf de Westelijke Randweg op
- Ter hoogte van The Base ga je linksaf de Evert van de Beekstraat op

- Aan het einde ga je twee keer naar rechts om parkeergarage P12 heen
- Tot slot bij The Outlook weer naar rechts richting het SHG

- Onderstaande deel van de instructie is in de 2^e helft van mei toegevoegd aan de instructie, naar aanleiding van een gesprek met platformmedewerkers. -

Extra aandacht aan airside

Vrijwilligers die bekend zijn aan airside kunnen op een aantal locaties langer blijven. Dat zijn locaties waar wij speciale aandacht voor hebben, maar die net verder gaan dan de randwegen. In onderstaand kaartje hebben we deze gebieden gemarkeerd. Om meer data te krijgen op deze locaties is het goed als de auto langzaam rijdt of een paar minuten stil staat.

Aan airside zijn we erg geïnteresseerd in de situatie rondom vertrekkende vliegtuigen. Deze starten hun (koude) motoren op in de baai met de uitlaatgassen richting de terminal. De blauwe locaties op de kaart zijn plekken waar we deze situatie verwachten. Je kan in je Airport Community app kijken waar vliegtuigen gaan vertrekken en daarbij in de buurt gaan staan. Houd je hierbij wel aan alle regels die aan airside gelden. Vrijwilligers met een P op de pas kunnen, indien mogelijk, ook op een VOP in de buurt gaan staan.

Een andere manier om extra in de D-E baai te meten is de route te volgen over de D-E buffer. Je moet dan wel langs de stoplichten, doe dat alleen als je daar vertrouwd mee bent.



Bron kaartmateriaal: Google Maps

Extra aandacht aan landzijde

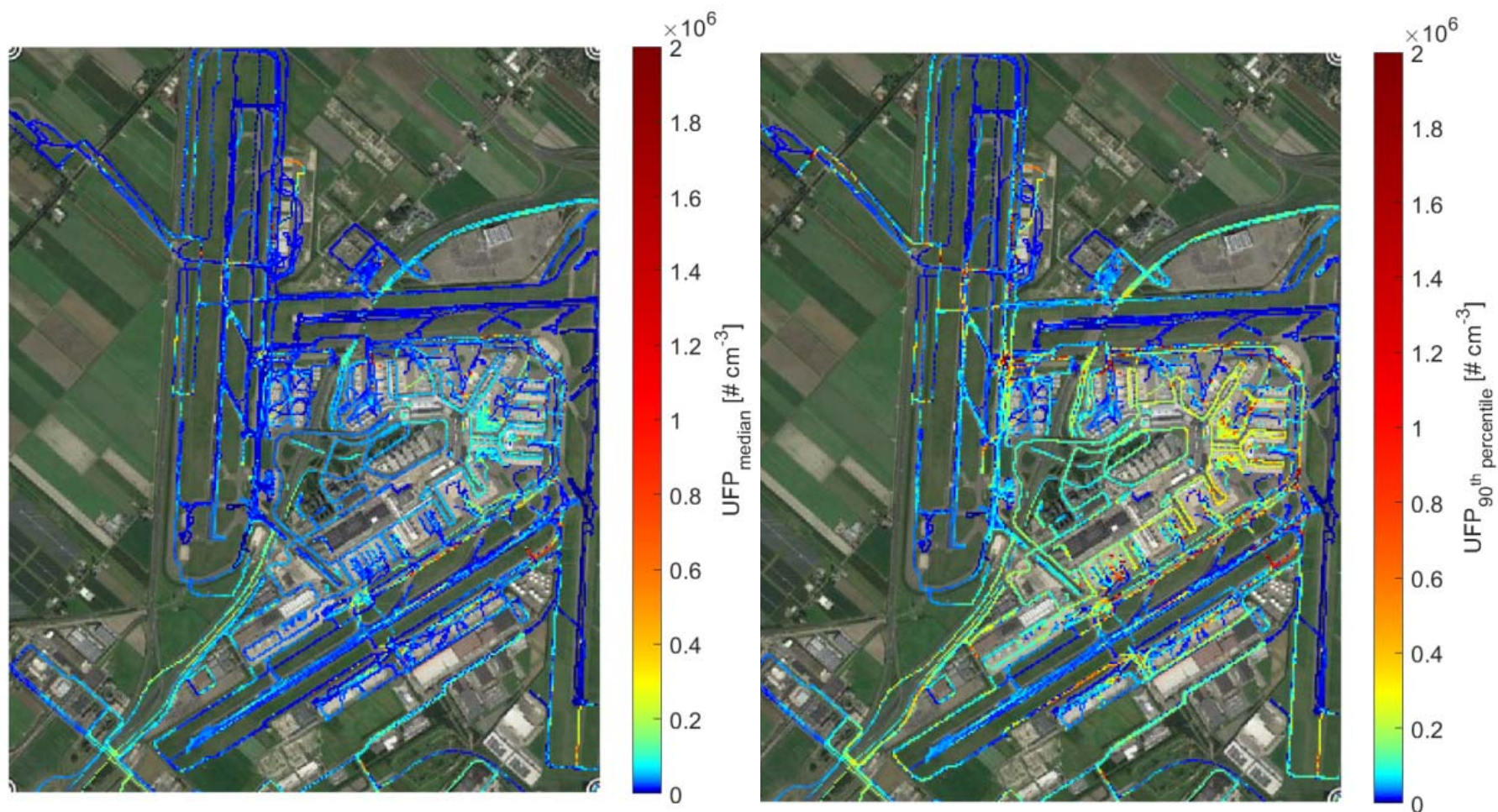
Ook aan landzijde zijn er locaties waar we speciale aandacht voor hebben. Het gaat met name om de kantoren waar veel mensen werken. Als je daar extra langs wil rijden krijgen we meer gegevens over deze locaties. Om veel data te krijgen op deze locaties is het goed als de auto langzaam rijdt of een paar minuten stil staat. Het gaat voornamelijk om de volgende kantoren:

- WTC
- The Base
- The Outlook
- Avioport
- SHG

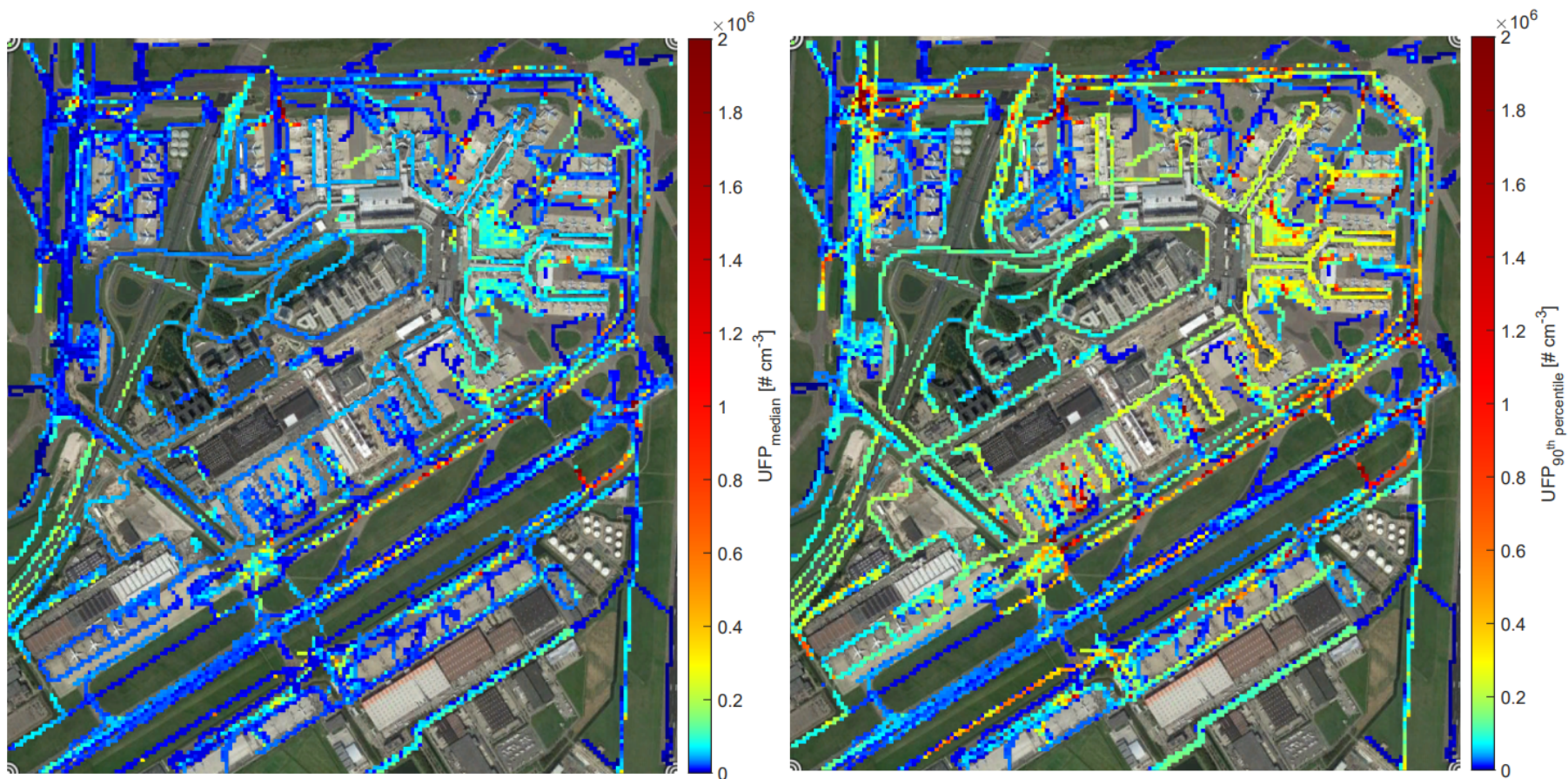
C Bijlage – Concentratieprofiel kaarten: mediaan en 90 percentiel

In Figuren D1 t/m D4 zijn de concentratieprofiel kaarten van de mediane waarden en 90 percentiel waarden weergegeven voor UFP en BC. Hierbij is de mediaan concentratieprofiel kaart naast de 90 percentiel concentratieprofiel kaart geplaatst, zodat duidelijk wordt in hoeverre verhoogde UFP en BC concentraties uitschieters zijn of met regelmaat voorkomen. In het eerste geval is de verhoging alleen te zien op de 90 percentiel kaart en het tweede geval zal de verhoging op beide concentratieprofiel kaarten te zien zijn.

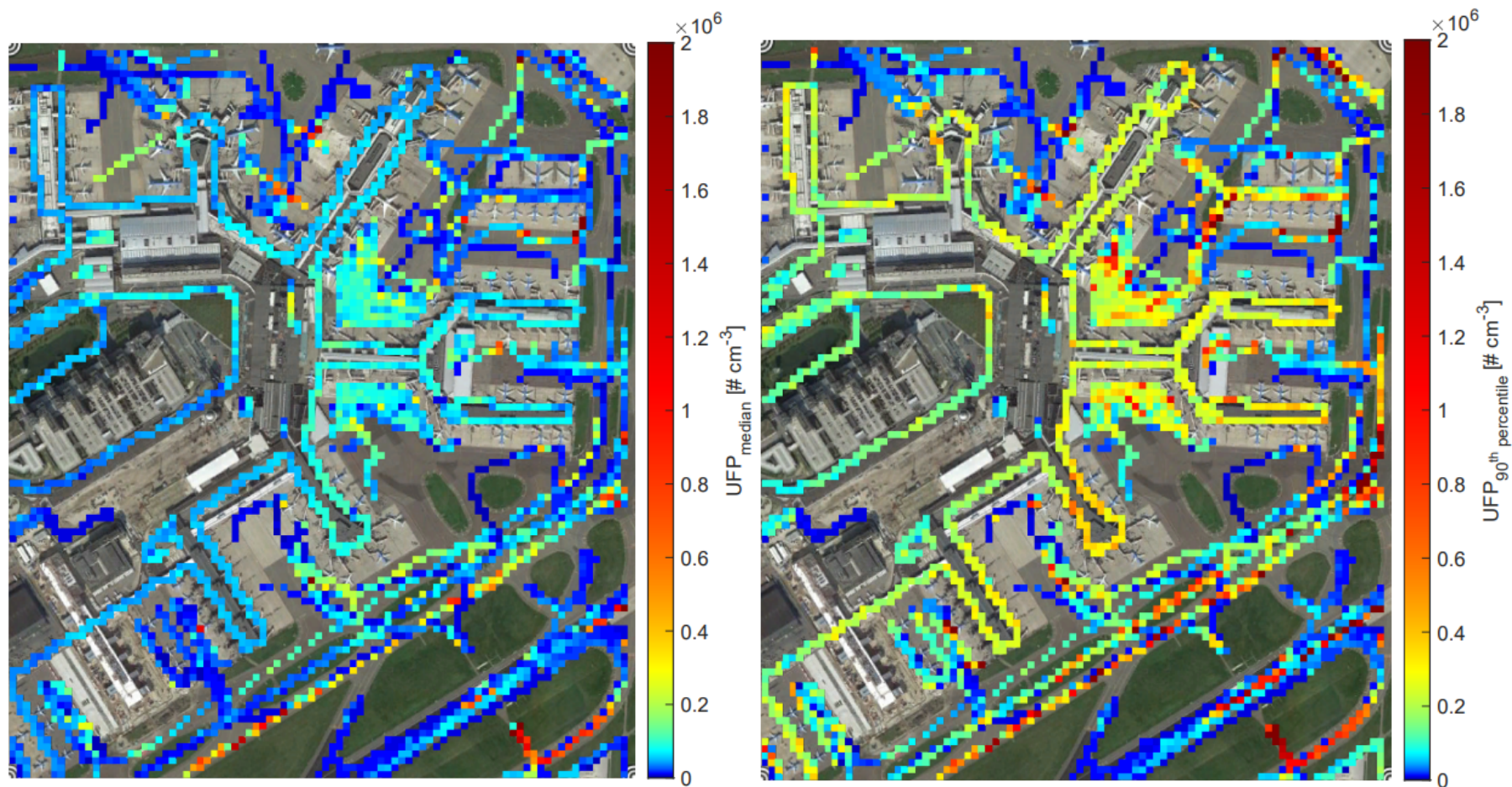
De sterk verhoogde UFP concentraties in de mediaan concentratieprofiel kaarten (zichtbaar als oranje en rode cellen) zijn vrijwel allemaal gemeten op routes die slechts enkele keren zijn gereden (< 10 keer). Dit betekent dat het in deze gevallen nog onzeker is of de meetdata representatief is voor de situatie op die locatie. Door Figuur D2 (UFP concentraties rondom de terminals en pieren) en Figuur D4 (BC concentraties rondom terminals en pieren) met elkaar te vergelijken kan worden beoordeeld in hoeverre BC concentraties correleren met de UFP concentraties.



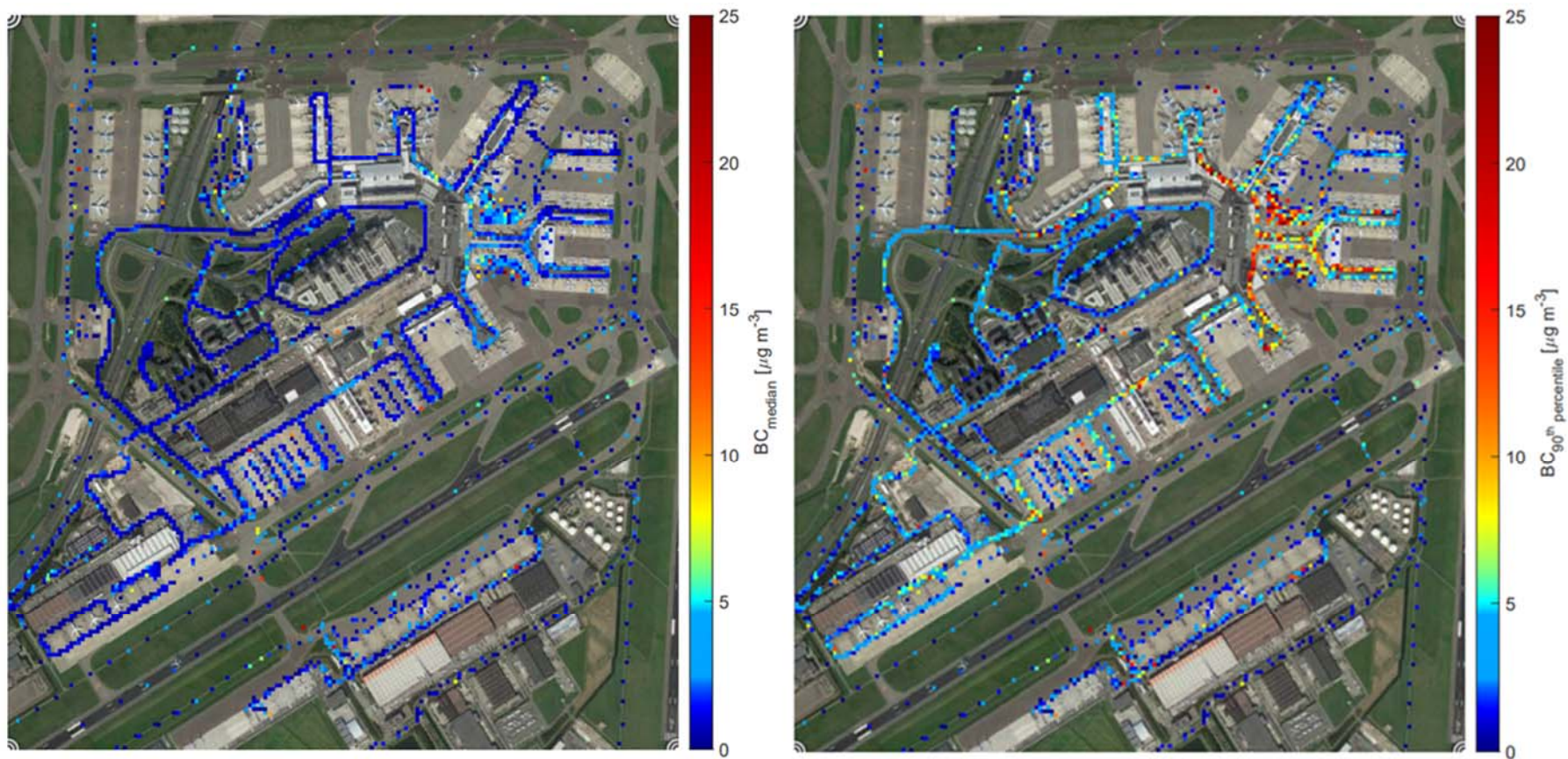
Figuur D1. Overzichtsfiguur van de mediaan UFP concentraties (links) en de 90 percentiel UFP concentraties (rechts) over het Schiphol terrein door de Caddy en de Crafter. Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ deeltjes/ cm^3 .



Figuur D2. De mediaan UFP concentraties (links) en de 90 percentiel UFP concentraties (rechts) door de Caddy en de Crafter rondom de terminals en pieren van Schiphol Airport (ingezoomd). Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ deeltjes/cm³.

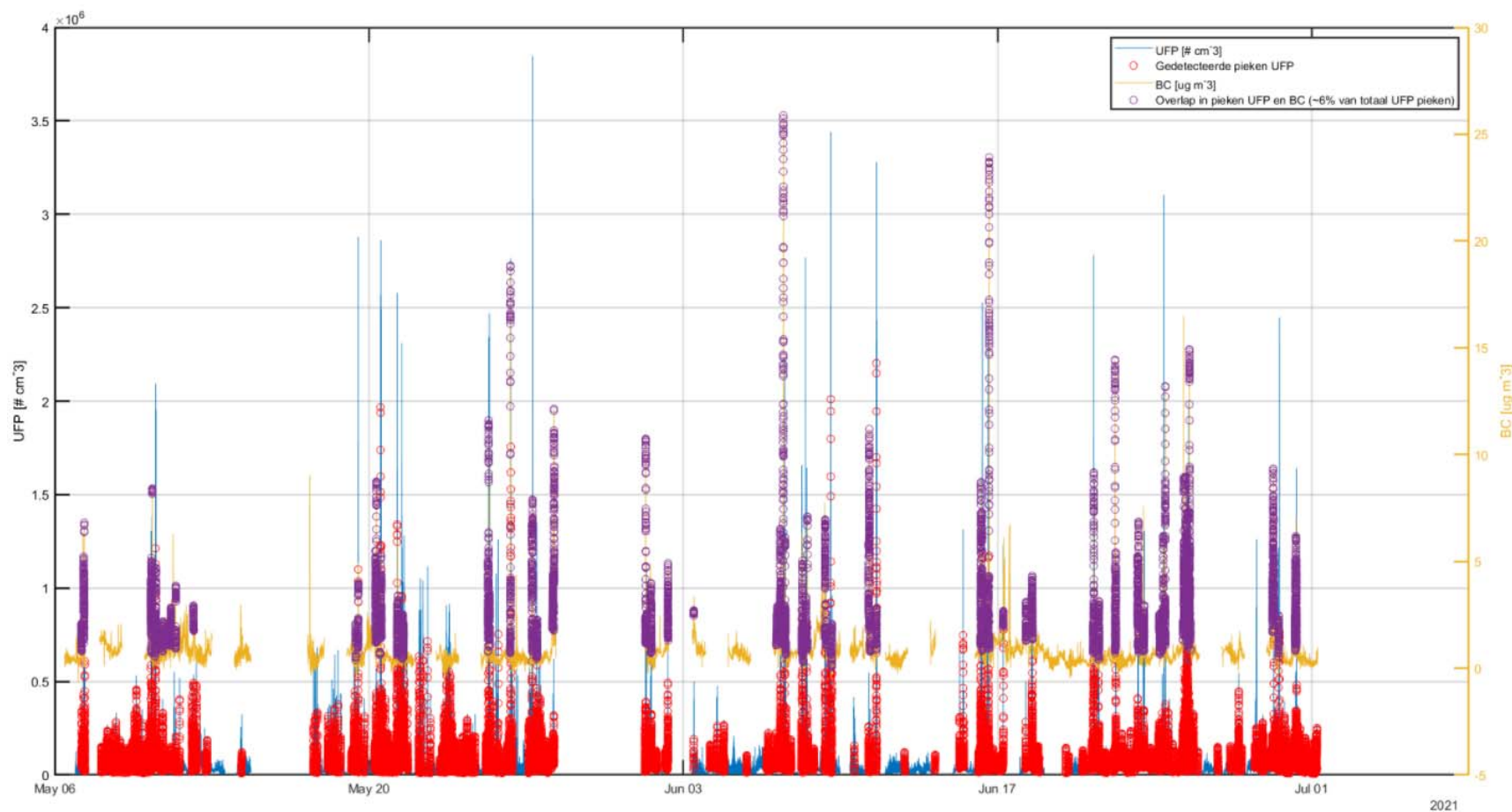


Figuur D3. De mediaan UFP concentraties (links) en de 90 percentiel UFP concentraties (rechts) door de Caddy en de Crafter rondom terminals 1 – 3 en pieren B - G (verder ingezoomd) van Schiphol Airport. Kleurschaal: (donker)blauw: ≤ 10.000 , lichtblauw: ca. 50.000, groen: ca. 100.000, geel: ca. 300.000, oranje: ca. 500.000, rood: ca. 1.000.000, donkerrood: ca. 1.500.000 en bruin: $\geq 2.000.000$ deeltjes/cm³.



Figuur D4: De mediaan BC concentraties (links) en de 90 percentiel BC concentraties (rechts) gemeten door de Caddy rondom de terminals en pieren van Schiphol Airport. Globale kleurschaal roet (links): donkerblauw: ≤ 2 , lichtblauw: 2-5, groen: 6-7, geel: ca. 8, oranje: 9-12, rood: 13-20, donkerrood/bruin: $\geq 20 \mu\text{g/m}^3$.

D Bijlage – Overlap in UFP en BC pieken



Figuur F1: Tijdsreef van de UFP concentraties, in $\# \text{ cm}^{-3}$ (blauwe lijn), en de BC concentraties, in $\mu\text{g m}^{-3}$ (bruine lijn) gemeten met de EPC en AE33 op de Caddy in de meetperiode 6 mei – 1 juli 2021. De rode cirkels geven de gedetecteerde UFP pieken en de paarse cirkels geven aan dat er overlap is in de pieken van UFP en BC.