

Onderzoek naar blootstelling aan ultrafijnstof op Rotterdam-The Hague Airport



TNO 2024 R10113 – 12 maart 2024

Onderzoek naar blootstelling aan ultrafijnstof op Rotterdam-The Hague Airport

Auteurs	J.C. Esveld, M. le Feber, P.C. Tromp
Met medewerking van:	J.P. Lollinga, J. Fabriek, H. van Mansom, S. Spaan, S. Ruiter, T.J. Korstanje
Reviewer:	W. Fransman
Aantal pagina's	84 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	10
Opdrachtgever	Rotterdam-The Hague Airport N.V.
Projectnummer	060.56167

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Samenvatting

Inleiding

Ultrafijnstof (UFP) is een verzamelnaam voor deeltjes kleiner dan 100 nm. In de laatste jaren zijn er in toenemende mate onderzoeken uitgekomen die erop wijzen dat het inademen van UFP een nadelig effect kan hebben op de gezondheid. Het is bekend dat vliegtuigen een belangrijke bron van UFP zijn, en om die reden is TNO gevraagd onderzoek uit te voeren naar de concentraties van UFP in de lucht op verscheidene vliegvelden. In 2022 is hier ook onderzoek naar gedaan op het platform van Rotterdam-The Hague Airport. Hierbij zijn gemiddelde UFP concentraties in de lucht gemeten van respectievelijk 89 000 en 94 000 # cm⁻³ voor de noord- en zuidzijde van het platform over de hele meetperiode. De 8-uurs gemiddelde concentraties liepen op tot maximaal 483 000 # cm⁻³. Naar aanleiding van de gemeten stationaire UFP concentraties op het platform heeft Rotterdam-The Hague Airport, op advies van TNO, besloten om aanvullend onderzoek uit te voeren naar de persoonlijke blootstelling aan UFP van medewerkers actief op Rotterdam-The Hague Airport. Dit onderzoek is beschreven in dit rapport.

Onderzoeksopzet

De persoonlijke metingen binnen dit blootstellingsonderzoek hebben plaatsgevonden in de periode van 18 juli t/m 14 september 2023 en zijn uitgevoerd conform de richtlijnen in de NEN-EN-689 voor het meten van de blootstelling op de werkplek om te controleren of wordt voldaan aan grenswaarden. Voorafgaand aan de metingen heeft een uitgebreide inventarisatie plaatsgevonden van functiegroepen op Rotterdam-The Hague Airport met behulp van vragenlijsten, waaruit blootstellingsprofielen ('Similar Exposure Groups' (SEG)) zijn opgesteld op basis van de werkzaamheden en verblijfslocaties per functiegroep. Deze blootstellingsprofielen zijn vervolgens gerangschikt op basis van de verwachte blootstelling, waarna in overleg met RTHA is besloten om de functiegroepen 'Airport Operations Officer', 'Rampmedewerker', 'Bagagemedewerker', 'Buschauffeur' en 'Grondstewardess' te bemeten. Deze functiegroepen zijn verspreid over de luchthaven aanwezig, waardoor de UFP blootstelling op meerdere locaties inzichtelijk is gemaakt. Voor alle bovengenoemde groepen zijn zes metingen verzameld op vijf tot zes verschillende meetdagen.

Door middel van metingen met draagbare sensoren, die in de ademzone van de medewerkers zijn geplaatst, is de persoonlijke blootstelling aan UFP van een selectie van medewerkers in een SEG vastgesteld. Deze UFP sensoren zijn reeds vergeleken met de UFP monitor (EPC) in voorgaande studie op Eindhoven Airport, waaruit een goede correlatie bleek. Naast de UFP metingen zijn de medewerkers ook uitgerust met contextsensoren (UV-B en GPS) en zijn ze geobserveerd tijdens de werkzaamheden, waarmee inzicht is verkregen in de UFP concentraties op verschillende locaties en tijdens verschillende activiteiten. Tenslotte is met een stationair meetstation de concentratie op het platform gedurende de gehele meetperiode vastgesteld. De persoonlijke metingen zijn uitgevoerd onder realistische worst-case weersomstandigheden. Dit houdt in dat niet is gemeten bij zuidwestelijke windrichting, en dat de metingen alleen zijn uitgevoerd op dagen zonder neerslag. De gehanteerde meetstrategie geeft een nauwkeurig en gedetailleerd beeld van de blootstellingsprofielen van de vijf bemeten functiegroepen op Rotterdam-The Hague Airport, en faciliteert het nemen van gerichte en doeltreffende maatregelen om de blootstelling omlaag te brengen.

Belangrijkste resultaten en conclusies

Op basis van het stationaire meetstation was de gemiddelde UFP concentratie op het platform over de gehele meetperiode $54\,000 \text{ # cm}^{-3}$. Deze concentratie is circa 43% lager dan gemeten in 2022 ($89\,000$ en $94\,000 \text{ # cm}^{-3}$). Het is waarschijnlijk dat de lagere concentratie in de huidige meetperiode het gevolg is van veranderde weersomstandigheden, met een andere dominante windrichting, en meer neerslag dan in de meetperiode in 2022. Doordat de persoonlijke metingen zijn uitgevoerd bij droog weer zonder zuidwestelijke windrichting waren tijdens de persoonlijke meetdagen de stationair gemeten daggemiddelde UFP concentraties op het platform wel vergelijkbaar met de niveaus uit 2022.

Omdat voor UFP (nog) geen wettelijke grenswaarde is vastgesteld, zijn de gevonden concentraties in dit onderzoek vergeleken met de voorlopige nano-referentiewaarde (NRW) voor biopersistente nanomaterialen met lage dichtheid. Ook het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid adviseert om deze NRW te gebruiken. Naar analogie van de NEN-EN 689 zijn de daggemiddelde UFP blootstellingen (8-uurs TGG) van zes bemeten personen per functiegroep als blootstellingsgroep (Similar Exposure Group) vergeleken met deze NRW van $40\,000$ en $50\,000 \text{ # cm}^{-3}$ (zonder en met achtergrondcorrectie van $10\,000 \text{ # cm}^{-3}$). De resultaten zijn in onderstaand overzicht weergegeven. De waarden tussen de haakjes geven de laagste en hoogste daggemiddelde UFP blootstelling weer per SEG:

Blootstellingsgroep	Daggemiddelde blootstelling (# cm^{-3}) ¹⁾	Vergelijking met nano referentiewaarden conform NEN-EN 689 ³⁾
Airport Operations Officer	$39\,000$ ²⁾ ($15\,000 - 67\,000$)	Voldoet niet
Rampmedewerker	$105\,000$ ($63\,000 - 167\,000$)	Voldoet niet
Bagagemedewerker	$51\,000$ ($26\,000 - 110\,000$)	Voldoet niet
Buschauffeur	$40\,000$ ²⁾ ($21\,000 - 64\,000$)	Voldoet niet
Grondstewardess	$29\,000$ ²⁾ ($11\,000 - 56\,000$)	Voldoet niet

- 1) Gebaseerd op rekenkundig gemiddelde blootstellingen
- 2) Het is mogelijk dat de gemiddelde blootstelling lager is dan de NRW, maar dat toch niet wordt voldaan aan de NRW; dit wordt veroorzaakt door de spreiding binnen de metingen, waardoor niet met voldoende zekerheid kan worden gesteld dat wordt voldaan aan de NRW.
- 3) Zowel met als zonder achtergrondcorrectie

Voor geen van de groepen kan met voldoende zekerheid worden gesteld dat de blootstelling lager is dan de voorlopige nano-referentiewaarde. Alhoewel deze NRW geen wettelijke status en ook slechts een beperkte gezondheidkundige grondslag heeft, kan deze waarde, bij gebrek aan publieke en private grenswaarden, wel gebruikt worden om de gemeten blootstellingen in perspectief te plaatsen. Uit het onderzoek blijkt dat de UFP blootstelling voor alle SEGs omlaag moet worden gebracht om te kunnen voldoen aan de NRW.

Op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP- en contextsensoren in combinatie met observaties worden de volgende conclusies getrokken in relatie tot omstandigheden, activiteiten en locaties:

- De blootstelling wordt voor het grootste deel bepaald door het verblijf buiten op airside. De UFP concentratie op airside varieert sterk; de uiteindelijke blootstelling is afhankelijk van de locatie, de verblijftijd en het tijdstip op airside. Hierbij speelt de heersende windrichting ook een rol; benedenwinds van emissiebronnen worden hogere concentraties gemeten dan bovenwinds. Op het platform is de concentratie het hoogst; de gemiddeld gemeten blootstelling op het platform bedraagt $115\,000 \text{ \# cm}^{-3}$, en de gemiddelde blootstelling op heel airside bedraagt $89\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. De gemiddelde blootstelling op airside buiten het platform bedraagt $57\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. Werknemers die zich in een voertuig bevinden worden minder blootgesteld aan UFP dan werknemers te voet (maximaal een factor 2 lager), maar openstaande ramen en deuren kunnen dit effect verminderen.
- Taxiënde vliegtuigen zijn een belangrijke bron van blootstelling op het platform. Bij alle medewerkers is bij taxiënde vliegtuigen een toename te zien in de UFP blootstelling ten opzichte van de gemiddelde blootstelling op het platform. Dit is echter afhankelijk van de locatie van de werknemer en de activiteiten die worden uitgevoerd, en verschilt sterk tussen de functiegroepen. Voor de 'Grondstewardess' is de gemiddelde verhoging ca. 1,5 keer en voor de 'Rampmedewerker', 'Bagagemedewerker', 'Airport Operations Officer' en 'Buschauffeur' ca. 2 keer.
- Tijdens gebruik van de 'Auxiliary Power Unit' (APU) is soms ook een verhoging in UFP blootstelling te zien. De toename in de blootstelling is afhankelijk van de locatie van de werknemer ten opzichte van APU (afstand, boven- of benedenwinds). Voor de 'Bagagemedewerker' en 'Grondstewardess' is de gemiddelde verhoging in UFP blootstelling het duidelijkst zichtbaar (ca. factor 2).
- De UFP blootstelling in het ruim van het vliegtuig ligt circa 2 keer hoger ($241\,000 \text{ \# cm}^{-3}$) dan de gemiddelde UFP blootstelling op het platform. Deze verhoging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het ophopen van UFP in het bagageruim door de beperkte ventilatie.
- De gemeten UFP blootstelling in de binnenruimten is variabel. In de kantooruimte (ruimte waar medewerkers van Aviapartner veelal pauzeren) treedt de laagste blootstelling aan UFP op ($9\,000 \text{ \# cm}^{-3}$), terwijl de blootstelling in de vertrekhal bijna 2 keer hoger lag ($17\,000 \text{ \# cm}^{-3}$), en in de bagagehal zelfs 5 keer hoger ($46\,000 \text{ \# cm}^{-3}$). De hogere blootstelling in de vertrekhal wordt veroorzaakt doordat de gates richting het platform regelmatig open staan, waardoor UFP emissies van het platform naar binnen kunnen treden. De hogere blootstelling in de bagagehal wordt veroorzaakt doordat de bagagehal zich dichtbij het platform bevindt, en roldeuren van de bagagehal bij mooie weersomstandigheden open staan waardoor de bagagehal continue in verbinding staat met de buitenlucht. Emissies afkomstig van het platform zullen zich hierdoor, afhankelijk van de windrichting, verspreiden tot in de bagagehal.
- De blootstelling op RTHA is erg variabel in de tijd, en dit hangt samen met de bezetting van de vliegtuigopstelplaatsen (VOPs) op het platform. In de ochtend (rond 07:00) staan veel van de VOPs vol, en vertrekken veel vliegtuigen tegelijkertijd. Hierdoor is de blootstelling om 07:00 uur hoger dan op andere momenten van de dag.

Met de uitgevoerde metingen is een goed inzicht verkregen in de blootstelling aan UFP van medewerkers op RTHA, waarbij de belangrijkste oorzaken zijn geïdentificeerd. De blootstelling is voor een belangrijk deel gerelateerd aan de verblijftijd en het tijdstip van verblijf van medewerkers op het platform, en de activiteiten die daar worden uitgevoerd. Eveneens blijkt dat UFP emissies van het platform zich kunnen verspreiden naar binnenruimten vanwege openstaande deuren. Dit heeft als gevolg dat voor alle bemeten functiegroepen niet met voldoende zekerheid kan worden gesteld dat de blootstelling lager is dan de voorlopige nano-referentiewaarde. Voor een goede indicatie van de blootstelling van niet-bemeten functiegroepen wordt aanbevolen om verblijftijden op de diverse locaties en UFP concentraties in binnenruimten beter in kaart te brengen. Door per functiegroep enkele medewerkers uit te rusten met een GPS sensor kan een goed inzicht worden verkregen van

de verblijftijden over de locaties en binnenruimten. Door middel van aanvullende blootstellingsmetingen bij een aantal functiegroepen (bijvoorbeeld ‘Securitymedewerker CSF/Hek 19’ en ‘Vliegtuigschoonmaker’) kan de blootstelling op de nog niet bemeten locaties zoals de vliegtuigcabine en de doorlaatpost worden bepaald.

Aanbevelingen

Hoewel voor UFP nog geen wettelijke of gezondheid gerelateerde grenswaarde is opgesteld, is een werkgever vanuit de zorgplicht uit het Arbobesluit altijd verplicht om doeltreffende maatregelen te treffen ter voorkoming of beperking van de blootstelling van medewerkers. Voor het terugdringen van de UFP blootstelling op Rotterdam-The Hague Airport wordt aanbevolen om de UFP emissies te beperken door het wegslepen van vliegtuigen mogelijk te maken met (elektrische) pushback vehicles. Hiernaast kan de emissie van dieselaangedreven materieel worden teruggebracht door middel van elektrificatie van GPUs en voertuigen (tankwagens, toiletwagens, lift). Ook is het belangrijk om het gebruik van de APU en vliegtuigmotoren op airside zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld door het opstellen van strikte(re) richtlijnen en handhaving op de naleving van deze richtlijnen. De vliegtuigmotoren dienen zo ver mogelijk weg van het grondpersoneel opgestart te worden, waarbij elektrisch wegslepen en elektrisch taxiën het meeste resultaat zullen opleveren. Ook het veranderen van de oriëntatie van de vliegtuigen (waardoor emissies in noordelijke richting plaatsvinden) kan bijdragen aan lagere blootstelling aan UFP. Deze maatregelen zullen niet enkel een positieve invloed hebben op de blootstelling van de bemeten functiegroepen, maar zullen voor alle functiegroepen op RTHA de blootstelling aan UFP verminderen.

Naast de bovengenoemde maatregelen is het ook mogelijk om de UFP blootstelling te verminderen door installatie van moderne, voor ultrafijnstof geschikte filtersystemen (zowel roetfilters voor de uitlaat als interne filters voor luchtbehandeling in binnenruimten en voertuigen). In combinatie met het zoveel mogelijk gesloten houden van ramen en deuren in binnenruimten en voertuigen kan dit de blootstelling in binnenruimten reduceren. Een andere inrichting van de werkzaamheden kan voor sommige functiegroepen ook zorgen voor een lagere blootstelling. Door medewerkers zo min mogelijk op het platform te laten verblijven ten tijde van veel taxiënde vliegtuigen (denk bijvoorbeeld aan de ochtendpiek om 7 uur 's ochtends) kan blootstelling aan UFP worden voorkomen. Indien het niet mogelijk is om de blootstelling voldoende te verlagen met behulp van bovenstaande bronmaatregelen, zou als laatste stap het dragen van adembeschermingsmiddelen voorzien van een (ultra)fijnstoffilter op airside de inhalatie van UFP omlaag kunnen brengen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave	7
1 Afkortingen en termen	8
2 Inleiding en doelstelling.....	8
3 Meetopzet	11
3.1 Inventarisatie	11
3.1.1 Blootstellingsfactoren.....	11
3.1.2 Vragenlijst.....	12
3.2 Meetstrategie	16
3.2.1 Meetmethoden	17
3.3 Blootstellingsbeoordeling	19
3.3.1 Persoonlijke blootstelling	19
3.3.2 Referentiewaarden ultrafijnstof	20
3.3.3 Vergelijking met referentiewaarden	21
4 Resultaten	22
4.1 Persoonlijke blootstelling.....	22
4.1.1 Meteorologische gegevens.....	22
4.1.2 Persoonlijke metingen	23
4.1.3 Functiegroepen en SEGs.....	24
4.1.4 Locatie- en situatierelateerde blootstelling.....	29
4.1.5 Overige SEGs	46
4.2 Stationaire metingen	49
4.2.1 Meteorologische gegevens.....	50
5 Conclusie	52
6 Aanbevelingen	55
6.1 Beheersing van de blootstelling	55
6.2 Blootstelling overige functiegroepen	57
7 Referenties	58

1 Afkortingen en termen

Tabel 1.1 Gebruikte afkortingen en termen in het rapport

Afkorting/term	Betekenis
Airside	Algemeen: gebieden en ruimten die toegankelijk zijn voor luchthavenpersoneel en reizigers die vertrekken of aankomen met het vliegtuig In dit rapport: buitengebied op- en rondom het platform
Landside	Algemeen: gebieden en ruimten van de luchthaven en het terminalgebouw die openbaar toegankelijk zijn voor al het publiek In dit rapport: Het buitengebied en parkeerplaatsen aan de andere zijde van het terminalgebouw dan het platform.
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
AM	Arithmetic mean (rekenkundig gemiddelde)
AOO	Airport Operations Officer
APU	Auxiliary Power Unit
COV	Coefficient of Variance (variantie)
EPC	Environmental Particle Counter
GM	Geometric mean (geometrisch gemiddelde)
GPU	Ground Power Unit
NRW	Nano-referentiewaarde
SEG	Similar Exposure Group
TGG	Tijdgewogen Gemiddelde
UFP	Ultrafine Particles
VOP	Vliegtuigopstelplaats

2 Inleiding en doelstelling

Ultrafijnstof (Ultrafine Particles, UFP) bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 100 nm. Deeltjes met een dergelijk kleine diameter kunnen ver doordringen tot in de longblaasjes, en kunnen zelfs opgenomen worden in de bloedbaan (Gezondheidsraad, 2021). De kleine diameter zorgt ook voor een hoog effectief oppervlak, waardoor ze gemakkelijker schadelijke stoffen kunnen transporteren (Kwon et al., 2020). Hierdoor bestaan er zorgen over de nadelige gezondheidseffecten van UFP. Hoewel nog maar weinig onderzoek heeft plaatsgevonden naar de lange termijneffecten van blootstelling aan UFP op de gezondheid, blijkt uit recent onderzoek wel degelijk een negatief effect (Bouma et al., 2023). Door Bouma et al. zijn mobiele UFP-metingen in Nederland gekoppeld aan een groot Nederlands cohort, waarbij een significant verband is aangetoond tussen de jaargemiddelde blootstelling aan UFP en natuurlijke sterfte. De associaties waren nog sterker voor sterfte ten gevolge van luchtwegaandoeningen en longkanker. Eerder werden al aanwijzingen gevonden dat langdurige blootstelling aan UFP leidt tot een verhoogd risico op hart- en vaataandoeningen, en een negatieve invloed heeft op de groei van een foetus (Gezondheidsraad, 2021). Door het RIVM, in samenwerking met TNO, GGD Amsterdam en IRAS, zijn de gezondheidseffecten van UFP onderzocht bij omwonenden rond Schiphol Airport (Janssen et al., 2022). Uit dit onderzoek blijkt dat de UFP-emissies van vliegverkeer mogelijk een negatief effect hebben op het hart- en vaatstelsel, en op de ontwikkeling van ongeboren kinderen.

Door de kleine diameter van ultrafijnstof deeltjes is de massa erg laag en wordt, in tegenstelling tot andere luchtverontreinigende stoffen, de concentratie UFP uitgedrukt in aantallen per kubieke cm ($\# \text{ cm}^{-3}$). Er bestaan verscheidene emissiebronnen van UFP, waarvan algemene verbranding en verbrandingsmotoren de belangrijkste zijn (Vu et al., 2015). Vooral vliegtuigen emitteren hoge concentraties aan UFP, vandaar dat de laatste jaren er steeds meer aandacht is gekomen voor UFP op en rondom vliegvelden (de Bruin-Hoegée et al., 2022; Keuken et al., 2015; Stacey, 2019; Tromp et al., 2021; van Dinther et al., 2019, 2022; Westerdahl et al., 2008). In 2021 zijn hierom op luchthaven Schiphol metingen uitgevoerd, waarbij sterk variërende UFP-concentraties werden gemeten (Tromp et al., 2021). Per dagdeel (6 uur) bleek de concentratie te variëren van $10\,000 \# \text{ cm}^{-3}$ tot meer dan $200\,000 \# \text{ cm}^{-3}$. De hoogste concentraties werden gemeten ten tijde van een hoog aantal vliegbewegingen. Naar aanleiding van het onderzoek op Schiphol, is in 2022 ook op Rotterdam-The Hague Airport de UFP concentratie op het platform gemeten (de Bruin-Hoegée et al., 2022). Hierbij is op twee stationaire meetstations de UFP-concentratie gedurende vier weken gemeten, waarbij een gemiddelde concentratie tussen de $89\,000$ en $94\,000 \# \text{ cm}^{-3}$ werd gevonden, met 8-uurs gemiddelde concentraties die opliepen tot $482\,000 \# \text{ cm}^{-3}$. Bij dergelijk hoge concentraties op het platform van Rotterdam-The Hague Airport is de kans reëel dat medewerkers op de luchthaven ook worden blootgesteld aan hoge UFP-concentraties.

Blootstelling aan inhaleerbaar of respirabel stof wordt over het algemeen gravimetrisch bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de massa van stofdeeltjes. Omdat UFP deeltjes een zeer kleine massa hebben, kan deze methode niet gebruikt worden voor UFP. In plaats daarvan wordt blootstelling aan UFP gemeten met zgn. particle counters. Particle counters worden al geruime tijd ingezet om de concentratie deeltjes in de buitenlucht te bepalen. De instrumenten die hiervoor gebruikt worden zijn echter te groot om persoonlijke blootstelling mee te meten. Daarom wordt persoonlijke blootstelling gemeten met draagbare UFP

sensoren. Er is nog maar nauwelijks ervaring met het gebruik van dit soort draagbare UFP sensoren voor blootstellingsonderzoek. Om die reden is het belangrijk deze UFP sensoren te vergelijken met de geavanceerde UFP particle counters die voor de buitenlucht gebruikt worden.

Er zijn (nog) geen gezondheidkundig onderbouwde grenswaarden voor UFP. Door het zeer beperkte aantal wetenschappelijke onderzoeken heeft de WHO of Gezondheidsraad nog geen gezondheidkundige richtwaarden kunnen afleiden voor de blootstelling aan UFP. Voor nanomaterialen, die qua deeltjesgrootte vergelijkbaar zijn met UFP en waarvoor ook geen gezondheidkundig onderbouwde grenswaarden beschikbaar zijn, zijn de tijdelijke nano-referentiewaarden ontwikkeld (Dekkers & de Heer, 2010). Deze referentiewaarden worden gebruikt om de gemeten concentratie nanomaterialen betekenis te geven, maar garanderen geen veilig niveau. Sterker nog, voor nanomaterialen wordt aanbevolen het ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principe te hanteren en de blootstelling altijd zo ver mogelijk te reduceren. UFP van vliegtuigemissies vallen in de categorie waarvoor een referentiewaarde geldt van $40\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. Het is ook mogelijk voor een bedrijf of branche om een bedrijfsgrenswaarde op te stellen. Dit is voor UFP nog maar weinig gedaan, en ook Rotterdam-The Hague Airport heeft (nog) geen bedrijfsgrenswaarden opgesteld. Rijkswaterstaat heeft echter wel bedrijfsgrenswaarden opgesteld voor de blootstelling van haar werknemers. De bedrijfsgrenswaarden van Rijkswaterstaat zijn voor een daggemiddelde (8-uur tijdgewogen gemiddelde) $60\,000 \text{ \# cm}^{-3}$, en voor een weekgemiddelde $50\,000 \text{ \# cm}^{-3}$ (Wander & Verbist, 2016).

Het hoofddoel van dit onderzoek is inzicht te krijgen in de mate van blootstelling aan UFP van (deels) op het platform actieve medewerkers. De volgende specifieke doelstellingen zijn hierbij geformuleerd:

- Het bepalen van de daggemiddelde (8-uurs tijdgewogen gemiddelde) blootstelling aan UFP afgezet tegen referentiewaarden, in lijn met de NEN-EN 689.
- Inzicht krijgen in de variatie in blootstelling bij diverse activiteiten en welke factoren hierop van invloed zijn.
- Op basis van de persoonlijke blootstellingsmetingen bepalen waar mitigerende maatregelen zich op moeten richten.

3 Meetopzet

Het onderzoek is opgebouwd uit twee fasen:

- Fase 1. Inventarisatie van activiteiten en werkzaamheden op Rotterdam-The Hague Airport verricht door de verschillende functiegroepen. Op basis van deze inventarisatie zijn conform de NEN-EN 689 Similar Exposure Groups (SEGs) geselecteerd en is een meetstrategie opgesteld voor het meten van de persoonlijke UFP-blootstelling in fase 2 bij medewerkers in deze SEGs.
- Fase 2. Persoonlijke blootstellingsmetingen binnen vijf geselecteerde SEGs die (deels) actief zijn op het platform. Metingen zijn uitgevoerd met UFP-sensoren in combinatie met GPS-tracking en contextsensoren die informatie geven over waar, en de omstandigheden waaronder, blootstelling plaatsvindt.

3.1 Inventarisatie

Omdat het praktisch moeilijk uitvoerbaar is om alle medewerkers op alle dagen van het jaar op Rotterdam-The Hague Airport te bemeten, en omdat niet alle medewerkers even hoog worden blootgesteld, is als eerste stap geïnventariseerd welke medewerkers op Rotterdam-The Hague Airport het hoogst lijken te worden blootgesteld aan UFP. In de NEN-EN 689 wordt een procedure beschreven waarbij geschatte blootstellingsprofielen van medewerkers gebruikt worden om medewerkers in te delen in groepen met vergelijkbare en homogene blootstelling, zogenaamde 'Similar Exposure Groups' (SEGs). De blootstellingsprofielen van medewerkers van Rotterdam-The Hague Airport zijn afhankelijk van welke werkzaamheden worden uitgevoerd, hoe lang en hoe vaak, welk materieel daarvoor nodig is, op welke locaties, en onder welke omstandigheden. Met behulp van een vragenlijst gericht op de relevante blootstellingsfactoren zijn de blootstellingsprofielen per functiegroep in kaart gebracht, ervan uitgaande dat medewerkers binnen een functiegroep dezelfde activiteiten verrichten onder dezelfde omstandigheden, zoals aangegeven door Rotterdam-The Hague Airport.

3.1.1 Blootstellingsfactoren

Bij aankomst en rondom het gereedmaken van een vliegtuig voor vertrek vinden meerdere werkzaamheden en activiteiten plaats op het platform waarbij UFP blootstelling kan optreden vanuit nabijgelegen emissiebronnen. Denk hierbij aan emissies vanuit diesel aangedreven materieel dat wordt ingezet voor o.a. tanken, pushback, stroomvoorziening (GPU) en transporteren van mindervaliden. Daarnaast vinden ook nog emissies plaats vanuit het vliegtuig, bijvoorbeeld wanneer de APU aan staat, of tijdens taxiën waarbij één of meerdere vliegtuigmotoren worden gebruikt.

De mate van blootstelling aan UFP op Rotterdam-The Hague Airport kan onder meer door de volgende factoren beïnvloed worden:

- Aantal en status vliegtuigen
 - UFP-emissies ontstaan mede door gebruik van de straalmotoren en APU van vliegtuigen en diesel-aangedreven materiaal, zoals GPUs en tankwagens. Bij veel vliegtuigbewegingen zullen de UFP-emissies toenemen. Bij medewerkers die hoofdzakelijk activiteiten en werkzaamheden uitvoeren bij geparkeerde vliegtuigen met

uitgeschakelde APU, GPU en straalmotoren zal de blootstelling aan UFP lager zijn dan wanneer deze wel in gebruik zijn. Bij medewerkers die wel aanwezig zijn tijdens het gebruik van de APU, GPU of bij het opstarten van motoren, speelt het type van het vliegtuig ook een rol.

- Locatie medewerker
 - Binnen/buiten; medewerkers die zich veelal binnen bevinden (in auto, gebouw, vliegtuig) worden naar verwachting minder blootgesteld aan UFP-emissies van vliegtuigen dan medewerkers buiten; voor medewerkers in auto's (indien ramen gesloten zijn) geldt naar verwachting ook een lagere blootstelling.
 - Positie ten opzichte van vliegtuigen en andere UFP-bronnen; in algemene zin zullen medewerkers die buiten op het platform (en dus dicht bij de vliegtuigen) werken waarschijnlijk aan hogere UFP-concentraties worden blootgesteld dan medewerkers die buiten op landside werken. Maar ook de positie van medewerkers op het platform is belangrijk; personen die zich bevinden in de nabijheid van de APU of de jet blast van vliegtuigmotoren zullen worden blootgesteld aan hogere UFP-concentraties.
 - Duur en frequentie van werkzaamheden; medewerkers die sporadisch of voor korte periodes op het platform aanwezig hoeven te zijn, hebben naar verwachting een lagere daggemiddelde blootstelling dan medewerkers die langdurig op het platform werken.
- Weersomstandigheden
 - Neerslag; bij droog weer zullen de ultrafijnstofdeeltjes zich verder kunnen verplaatsen dan bij regenachtig weer/hoge luchtvochtigheid.
 - Windrichting en -snelheid; in de vorige studie op Rotterdam-The Hague Airport (de Bruin-Hoegée et al., 2022) is gebleken dat de UFP-concentraties op het platform lager zijn bij wind uit het zuidwesten dan bij wind uit de overige richtingen; hierbij worden de emissies vanaf de start- en landingsbaan, en de taxibaan niet richting het platform geblazen.

Hiernaast zijn nog een aantal factoren van invloed op de persoonlijke blootstelling waarbij o.a. het gedrag van de medewerkers een rol speelt:

- Afstand en positie ten opzichte van UFP-emissiebronnen; de UFP-concentratie neemt (afhankelijk van de windrichting) exponentieel af met de afstand tot de emissiebron (APU, straalmotor, GPU, overige bronnen). Medewerkers die (bovenwinds) meer afstand houden zullen daardoor minder worden blootgesteld aan hoge UFP-concentraties. In samenhang met de afstand speelt de windrichting en de positie ten opzicht van de bron ook een rol, wanneer een medewerker zich benedenwinds van de emissiebron bevindt (verspreiding met de wind mee) zal de blootstelling aanmerkelijk hoger zijn dan bij een bovenwindse positie.
- Duur van de blootstelling; medewerkers zijn in de regel alleen op het platform aanwezig om bepaalde taken uit te voeren; de hoeveelheid werk per taak is echter niet altijd gelijk en daardoor duren taken soms langer, soms korter.
- Beschermingsfactoren; naar verwachting zijn UFP-concentraties binnen lager dan buiten; dit betekent ook dat medewerkers die consequent de ramen en deuren van voertuigen of gebouwen gesloten houden, waarschijnlijk minder worden blootgesteld.

3.1.2 Vragenlijst

Rotterdam-The Hague Airport heeft 25 functiegroepen aangereikt die (relevante) werkzaamheden uitvoeren op de luchthaven, met daarbij een inschatting van de hoeveelheid tijd dat de medewerkers zich buiten bevinden. Op basis van de functiebeschrijvingen en de blootstellingsfactoren (paragraaf 3.1.1) is door TNO een vragenlijst opgesteld, die vervolgens via Rotterdam-The Hague Airport bij de verantwoordelijke partijen terecht is gekomen, en is ingevuld voor in totaal 28 functiegroepen. De vragenlijst is opgenomen in Bijlage A.

De vragenlijsten zijn ingevuld door de KAM-medewerker of leidinggevende van de betreffende functiegroep. De ingevulde vragenlijsten zijn gebruikt om een rangschikking te maken van de functiegroepen op basis van de ingeschatte relatieve blootstelling. Als eerste is hiervoor gekeken naar de tijdsduur dat medewerkers op het platform zijn. Vervolgens is bepaald of er sprake was van blootstellingsreducerende omstandigheden, zoals het verblijven in een auto of in een vliegtuig wanneer de medewerkers zich op het platform bevinden, of alleen wanneer vliegtuigmotoren uit staan. Op basis van deze gegevens is een relatieve inschatting gemaakt van de blootstelling per functiegroep (Tabel 3.1).

Op basis van de ingevulde vragenlijsten is besloten dat de geïnventariseerde functiegroepen zich wat betreft activiteiten en omstandigheden te veel van elkaar onderscheiden om meerdere functiegroepen in één SEG samen te voegen. Derhalve worden functiegroepen als aparte SEGs genomen. Wel zijn de functiegroepen veelal op vergelijkbare locaties aanwezig. De concentratie aan UFP op bepaalde locaties kan daarom gebruikt worden om een indicatie te krijgen van de blootstelling aan UFP van niet bemeten functiegroepen. RTHA heeft vooraf aangegeven de blootstelling aan UFP van 4-5 functiegroepen te willen bemeten. Op basis van de ingeschatte relatieve blootstelling per functiegroep, de praktische haalbaarheid van de metingen en een zo groot mogelijk raakvlak aan werknemers op RTHA, heeft TNO geadviseerd welke functiegroepen het beste konden worden bemeten. Uit dit advies kwamen de functiegroepen Rampmedewerker, Bagagemedewerker, Airport Operations Officer, Buschauffeur en de Grondstewardess naar voren. In overleg met RTHA is dit advies overgenomen, en zijn deze vijf aanbevolen groepen bemeten. Bij het advies speelde, naast de ingeschatte blootstellingsintensiteit voor de verschillende functiegroepen, argumenten als het aantal medewerkers binnen de functiegroepen en spreiding over werklocaties om een meer representatief beeld te verkrijgen van alle medewerkers, een rol. Door deze aanpak zijn de bemeten groepen goed verspreid over de gehele luchthaven, waardoor meer inzicht wordt verkregen in de blootstelling op andere plekken dan het platform en een betere inschatting van lager blootgestelde groepen gemaakt kan worden.

Tabel 3.1 Inschatting relatieve blootstelling functiegroepen Rotterdam-The Hague Airport.

Bedrijf	Functiegroep	Typische verdeling van taken over werkdag/dienst	Locatie	Dienst-lengte (uur)	% van de dag op platform	Aantal mensen aanwezig per werkdag	Ingeschatte blootstelling
Aviapartner	Rampmedewerker	Baggage uit vliegtuig halen, baggage inladen in vliegtuig, materiaal af- en aankoppelen	Platform rondom vliegtuig	3-10	100%	10	Hoog
Aviapartner	Bagagemedewerker	Bagage van check-in in karren laden, bagage rijden	Bagagehal	3-10	20%	4	Middel-hoog
Rotterdam-The Hague Airport	Airport Operations Officer	Marshallen / Controle rondes rijden	Platform	8-9	50%	2	Middel-hoog
Trigion	Buschauffeur	Busvervoer aan airside	In voertuig aan airside	3-10	80%	6	Middel-hoog
SJS/Shell Tankdienst	Medewerker tankdienst	tanken van vliegtuigen, product movement taken, administratie	Apron/tankopstelp laats/kantoor	4-9	75%	2	Middel-hoog
Transavia	Medewerker Technische dienst	Vliegtuig onderhoud	Platform rondom vliegtuig	6-9	70%	2	Middel-hoog
Asito	Vliegtuig schoonmaker	Voorlieden Check materiaal en auto op schade/meewerkend voorman/-vrouw, schoonmaakwerkzaamheden uitvoeren	In het vliegtuig	3-10	10%	2	Middel-hoog
Aviapartner	OPS, loadcontrol, dispatch	Dispatch, teamleider, loadcontrol, flightwatch	Platform rondom vliegtuig, kantoor	8-10	50%	4	Middel
Rotterdam-The Hague Airport	Birdcontroller	Controle rondes rijden / Inspecties buiten	Platform	8	80%	1	Middel
Trigion	Security-medewerker CSF/Hek 19	Werkzaamheden in de terminal of doorlaatpost, soms aan airside bij corridorvluchten.	Binnen in terminal of doorlaatpost	3-10	5%	50	Middel-laag
Aviapartner	Grondstewardess	Check-in, boarding, begeleiden passagiers	Vertrekhal, gate, ramp voetpaden	3-10	20%	20	Middel-laag
CAPI Travel Plaza	Medewerkers horeca en retail partners	Kassa werkzaamheden, vracht verwerken, aanvullen.	Vertrekhal	3-12	10%	2	Middel-Laal
HMSHost	Countermedewerker	Eten en drinken bereiden voor passagier	Vertrekhal	8-10	0%	12	Middel-Laal
HMSHost	Teamtrainers	Eten en drinken bereiden voor passagier/inwerken nieuwe medewerkers	Vertrekhal	8-10	0%	1	Middel-Laal

Bedrijf	Functiegroep	Typische verdeling van taken over werkdag/dienst	Locatie	Dienst-lengte (uur)	% van de op platform	Aantal mensen aanwezig per werkdag	Ingeschatte blootstelling
HMSHost	Shiftmanager	Eten en drinken bereiden voor passagier/indelen shift	Vertrekhal	8-10	0%	1	Middel-Laag
HMSHost	Hospitality manager	Administratie, kantoorwerk	Vertrekhal	8-10	0%	1	Middel-Laag
Jeeves	Hostels, Valet Parking,	Begeleiden/ondersteunen van de passagiers en het wegzetten van hun vervoersmiddel	Landside	3-9	0%	2	Middel-Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Medewerker TD	Onderhoud, oplossen storingen, locaties bezoeken met externen, inspecties uitvoeren, etc.	Kantoor	8			Middel-laag
Rotterdam-The Hague Airport	Dutymanager OPS	Controle rondes rijden / Inspecties buiten	Op Havendienst binnen	8	10%	1	Middel-laag
Rotterdam-The Hague Airport	Manager AO / Adviseurs	Vergaderen / Heen en weer naar terminal	Op Havendienst binnen	8	10%	3	Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Medewerker CX/Commercie	Kantoorwerkzaamheden, af en toe naar terminal	Kantoor	8-9	1%	10	Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Werkplekbeheer IT	Bezoeken van verschillende werkplek locaties op de luchthaven (bijv. Havendienst, Poort 19, Brandweer). Naar veldkasten voor netwerk aan landzijde en airside	Kantoor	8-9	20%	5	Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Kantoor-medewerker	Kantoorwerkzaamheden	Kantoor	7-10	<5%	15	Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Dutymanager Security	Regievoering securityprocessen	Vertrekhal	8	5%	1	Laag
Rotterdam-The Hague Airport	Landside operations manager	Werkzaamheden op landzijdig deel, niet aan airside	Buiten aan landzijde	8-9	0%	1	Laag
Koninklijke Marechaussee	Politiedienst	In- / uitreiscontroles, politietaak op de luchthaven	Aankomst- en vertrekhal	8	10%	7	Laag
LVNL	Luchtverkeersleiding	Verkeersleiding plegen	Verkeerstoren	6-8	0%	3	Laag
Aviapartner	Overhead, managers, duty etc.	Administratief, buiten op ramp controle / naleving regels.	Kantoor	8	10%	7	Laag

Hieronder is een gedetailleerde beschrijving gegeven van de geselecteerde functiegroepen, als zijnde SEGs voor het meetonderzoek in fase 2:

Airport Operations Officer (AOO)

De AOO is verantwoordelijk voor het binnenhalen van de vliegtuigen op de VOPs, en vervult verder een controlerende rol van de werkzaamheden rondom het binnenhalen en wegsturen van de vliegtuigen. De AOO is regelmatig op het platform, en bevindt zich hierbij vaak in een auto. De AOO komt ook regelmatig in de afgesloten kantooruimten bij de haven-dienst.

Rampmedewerker

De Rampmedewerker is bezig met alle zaken rondom het vliegtuig. Dit betekent het aansluiten van de Ground Power Unit (GPU), het plaatsen van de trappen voor passagiers, en het in- en uitladen van de bagage. De werkzaamheden van de Rampmedewerker vinden vooral plaats rondom het vliegtuig. Hiervoor rijden ze vaak rond op en rondom de platforms in (elektrisch aangedreven) bagagetrekkers, en komen ze op veel plaatsen op het platform.

Bagagemedewerker

De Bagagemedewerker op RTHA zorgt ervoor dat de ruimbagage op de juiste plaats terecht komt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van bagagetrekkers, waarmee de bagage van en naar het platform wordt gebracht. De Bagagemedewerkers bevinden zich tijdens het werk het grootste gedeelte van de tijd in en rondom de bagagehal, en op het platform. De bagagehal is verbonden met de buitenlucht met twee deuren, die, afhankelijk van de buitentemperatuur, open of dicht kunnen staan. In de huidige meetperiode stonden deze deuren meestal open.

Buschauffeur

De Buschauffeur is verantwoordelijk voor het vervoeren van de passagiers vanaf de gate tot het vliegtuig en andersom. Hierbij wordt gebruikt gemaakt van bussen, waarvan 80% (4 van de 5) elektrisch is aangedreven, en 20% dieselaangedreven. Met name tijdens drukke periodes worden bussen ingezet om de passagiers te vervoeren. Tijdens rustige periodes kunnen de passagiers lopen. Wanneer geen passagiers vervoerd hoeven te worden vervullen de Buschauffeurs veelal beveiligingstaken.

Grondstewardess

De Grondstewardess vervult taken bij de incheckbalie, waar de bagage van passagiers in ontvangst wordt genomen. Hierbij bevinden medewerkers uit deze functiegroep zich in de vertrekhal, die niet direct verbonden staat met de buitenlucht, enkel wanneer deuren (bijvoorbeeld de gates) open staan. Hiernaast worden taken vervuld bij de gates, en zorgt de Grondstewardess dat de passagiers via de wandelpaden naar het vliegtuig lopen. Hierbij staan ze ook regelmatig op het platform. Verder worden ook administratieve werkzaamheden uitgevoerd, waarbij de Grondstewardess zich in kantooruimten bevindt.

3.2 Meetstrategie

Binnen de meetstrategie zijn de principes beschreven in de NEN-EN 689 “Blootstelling op de werkplek – meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen - Strategie om te voldoen aan de arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden” (NEN, 2019) gehanteerd.

In het onderzoek is m.b.t. de weersomstandigheden zo veel mogelijk een worst-case benadering gehanteerd, wat inhoudt dat de persoonlijke blootstellingsmetingen alleen hebben plaatsgevonden bij droog weer en matige wind (hooguit 4 beaufort). Op basis van het

voorgaande onderzoek is naar voren gekomen dat de UFP concentratie op het platform bij wind uit het zuidwesten lager was dan de overige windrichtingen (de Bruin-Hoegée et al., 2022). Hierom is gekozen om de persoonlijke blootstellingsmetingen niet uit te voeren bij wind uit het zuidwesten. De overige omstandigheden op RTHA waren representatief voor de dagelijkse uitvoering van de werkzaamheden van de vijf te bemeten SEGs.

Om de persoonlijke blootstelling voor een SEG te bepalen zijn per SEG zes medewerkers gedurende een gehele werkdag, maar op verschillende dagen, bemeten. Er is gekozen om de medewerkers de gehele werkdag te bemeten, en niet alleen gedurende bepaalde activiteiten. Dit houdt in dat medewerkers de gehele werkdag de meetapparatuur dragen en een realistische daggemiddelde blootstelling berekend kan worden. Vervolgens kunnen de berekende daggemiddelde blootstellingen van de zes medewerkers per SEG gebruikt worden om te vergelijken met referentiewaarden. Door gebruik te maken van realtime sensoren is het, naast de berekening van de daggemiddelden, ook mogelijk om de concentraties bij bepaalde activiteiten te bepalen. De medewerkers zijn uitgerust met harnassen, waarop een ultrafijnstofsensor, een contextsensor en een GPS-sensor zijn bevestigd. De context- en GPS-sensoren bieden de mogelijkheid om de hoogte van de blootstelling op specifieke momenten en bij specifieke activiteiten te koppelen aan de locatie en omstandigheden die zich op dat moment voordoen. Op basis van de GPS-informatie in combinatie met UFP-metingen kunnen ook concentratiekaarten worden opgesteld van het terrein van RTHA zodat inzicht wordt verkregen in de concentratieniveaus op bepaalde locaties. De bemeten personen zijn tevens geobserveerd door een TNO-medewerker of hebben, indien mogelijk, zelf hun werkzaamheden bijgehouden op een door TNO verstrekte observatielijst. Het op deze manier verkregen inzicht in blootstellingsmomenten, activiteiten en locaties kan tevens als input voor handelingsperspectief worden gebruikt voor RTHA en betrokken sectorpartijen.

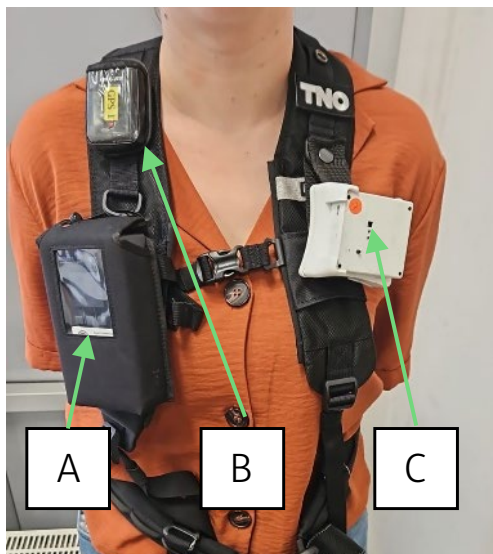
Naast de persoonlijke meetapparatuur is ook een stationair meetstation ingericht met een hoogwaardig meetinstrument (Environmental Particle Counter, EPC) die ook in 2022 op het platform heeft gestaan. Doel van dit stationaire meetstation was tweeledig:

- Inzicht verkrijgen in verschillen in stationaire concentraties tussen 2023 en 2022.
- Bepalen van de UFP concentratie op het platform

Dit stationaire station heeft gedurende twee maanden metingen uitgevoerd in dezelfde periode als dat de persoonlijke metingen plaatsvonden.

3.2.1 Meetmethoden

De persoonlijke metingen zijn uitgevoerd in de ademzone van de medewerkers, door ze uit te rusten met een harnas met meetapparatuur. De harnassen zijn uitgerust met een ultrafijnstofsensor (Naneos Partector 2), welke een meetbereik heeft van 10 – 300 nm, met een maximale concentratie van $10^6 \text{ \# cm}^{-3}$. Deze UFP sensoren zijn onderling vergeleken, en vergeleken met een UFP monitor tijdens een vergelijkbare studie op Eindhoven Airport (Esveld et al., 2024). Hieruit is een goede correlatie gebleken tussen de persoonlijke UFP sensoren en de UFP monitor (zie Bijlage I). Daarnaast zijn een contextsensor en een GPS-sensor (Qstarz Travel Recorder XT) op de harnassen geplaatst (Figuur 3.1). De contextsensor is ontwikkeld binnen het EPHOR (Exposome Project for Health and Occupational Research) project (ephor-project.eu), en maakt het mogelijk om UV-B te meten, waardoor beter beoordeeld kan worden of medewerkers zich binnen of buiten bevinden.



Figuur 3.1 Harnas met meetapparatuur. De UFP-sensor is aangeduid met A, de GPS-sensor met B en de contextsensor met C.

De stationaire metingen hebben plaatsgevonden op één locatie op het platform. De locatie bevond zich niet op dezelfde plaats als de twee meetstations in 2022, maar hier tussenin. Deze locatie is gekozen omdat de locatie op het platform gesitueerd is, ter hoogte van de vertrekhal/gates, waardoor ook inzicht wordt verkregen in de UFP concentraties net buiten de vertrekhal. Figuur 3.2 geeft de locatie weer.



Figuur 3.2 Stationaire meetstation op Rotterdam-The Hague Airport (kaartmateriaal: Google).

De meetlocatie is uitgerust met een Environmental Particle Counter (EPC, type 3783 van TSI). Deze EPC meet het aantal deeltjes per cm^3 , met een meetbereik van 7 nm tot $3 \mu\text{m}^1$. Deze apparatuur is ook in voorgaande studies naar UFP nabij en op vliegvelden gebruikt (de Bruin-Hoegée et al., 2022; Tromp et al., 2021; van Dinther et al., 2022). Op de meetlocatie zijn de weersomstandigheden gemeten met een Vaisala (type WXT 536).

¹ Het meetbereik van de EPC ligt hoger dan de 100 nm grens van UFP. Hoewel strikt genomen ook deeltjes worden geteld die groter zijn dan UFP, is het aandeel van deze deeltjes op de gemeten deeltjesaantallen erg klein (<1%).

3.3 Blootstellingsbeoordeling

3.3.1 Persoonlijke blootstelling

Met de gebruikte meetmethode wordt de UFP concentratie in real time gemeten op secondebasis, gedurende een volledige werkdag. Om een vergelijking te kunnen maken met een 8-uurs tijdgewogen gemiddelde (8-uurs TGG) referentiewaarde moet de data eerst omgerekend worden naar de 8-uurs gemiddelde waarde. In de praktijk is een werkdag echter niet altijd 8 uur, gezien op RTHA veel in verschillende diensten wordt gewerkt. In dit onderzoek is ervoor gekozen om een 'worst case' benadering aan te houden, dat houdt in dat voor een meetperiode langer dan 8 uur, gedaan wordt of de totale blootstelling opgelopen in de langere tijd dan 8 uur, in 8 uur was opgelopen (conform de berekening in Bijlage G uit de NEN-EN689). Indien de meetperiode bijvoorbeeld 10 uur was, dan is de uurgemiddelde blootstelling vermenigvuldigd met de meetduur (10 uur), en vervolgens gedeeld door 8. Bij meetperiodes korter dan 8 uur wordt aangenomen dat in de niet bemeten 'restitie' eenzelfde blootstelling heeft plaatsgevonden als de bemeten dienstdag.

Om de metingen te kunnen afzetten tegen een grenswaarde moet eerst een daggemiddelde waarde berekend worden uit de sensordata. Hiervoor zijn twee mogelijkheden: het rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}) of het geometrisch gemiddelde (GM_{meting}). Het AM_{meting} komt het meest overeen met de totale blootstelling die iemand heeft opgelopen (vergelijkbaar met stof opgevangen op een filter). Echter, de meetresultaten volgen geen normale, maar een lognormale verdeling. Dit wordt veroorzaakt doordat erg hoge piekconcentraties optreden, die tot wel 1 000 keer hoger kunnen liggen dan concentraties gemeten tijdens minder belastende activiteiten. In dit soort situaties geeft een geometrisch gemiddelde een gemiddelde waarde die in mindere mate beïnvloed wordt door de pieken. Omdat de pieken in blootstelling van belang zijn in een blootstellingsonderzoek, hanteren we het rekenkundig gemiddelde bij de toetsing. Het geometrisch gemiddelde wordt per meting gerapporteerd in Bijlage H, en de boxplot in Bijlage J.

Daarnaast zijn de 10^e en 90^e percentielen van de meetwaarden gedurende een werkdag berekend. Het 10^e percentiel (de laagste 10% van de meetwaarden) geeft een indruk van de achtergrondconcentratie waaraan de medewerker is blootgesteld gedurende de werkdag, en het 90^e percentiel (de hoogste 10% van de meetwaarden) geeft inzicht in de piekconcentraties waaraan de medewerker is blootgesteld gedurende de werkdag. Naast het 8-uurs TGG is het ook mogelijk om een 15-minuten TGG te berekenen; dit is met name relevant indien sprake is van acute toxiciteit. Aangezien bij UFP (voor zover bekend) hier geen sprake van is, zal geen beoordeling worden gegeven op basis van de 15-min TGG blootstelling.

De UFP-concentraties zijn sterk wisselend en afhankelijk van de weersomstandigheden, in het bijzonder de windrichting. Om hier rekening mee te kunnen houden zijn de daggemiddelde waarden van de gemeten concentraties op de stationaire meetopstelling berekend. De middelingstijd van de stationaire meetwaarden komt overeen met de werkdagen (diensttijden) van de bemeten medewerkers. Op deze manier kan inzicht worden verkregen in de mate waarin lokale omstandigheden (o.a. weer, vliegbewegingen) de UFP concentraties op het platform hebben beïnvloed, om een indruk te krijgen van de weersinvloed op de persoonlijke blootstellingsmetingen. Dit betekent niet alleen dat de invloed van het weer op het gemeten concentratieniveau kan worden beoordeeld maar ook kan de variatie in daggemiddelde blootstellingen binnen een functiegroep worden vergeleken met de variatie door lokale omstandigheden.

Met de GPS- en contextsensor wordt exact duidelijk waar een persoon zich bevindt, en of dit binnen of buiten is. Deze gegevens kunnen gebruikt worden ter ondersteuning van de observaties, die veelal wat minder nauwkeurig zijn, om te onderzoeken welke activiteiten en omstandigheden tot hoge blootstelling aan UFP leiden. Daarnaast kan op basis van deze gegevens een gemiddelde concentratie (AM_{meting} en GM_{meting}) berekend worden per GPS-locatie om het verschil tussen werkplekken inzichtelijk te maken.

3.3.2 Referentiewaarden ultrafijnstof

Voor UFP zijn momenteel geen nationale of internationale gezondheidkundige grenswaarden beschikbaar. Ook algemeen geldende advieswaarden of referentiewaarden voor UFP zijn nog niet opgesteld. Dit betekent dat in het kader van de RI&E (risico-inventarisatie en -evaluatie) door de werkgever (of branche) zelf bedrijfsgrenswaarden moeten worden afgeleid. Er zijn nog nauwelijks bedrijven in Nederland die private grenswaarden voor UFP hebben afgeleid. Ook de luchthavens in Nederland, inclusief Rotterdam-The Hague Airport, hebben nog geen private grenswaarden voor UFP afgeleid.

Rijkswaterstaat (RWS) is een van de weinige bedrijven in Nederland die wel richtwaarden voor UFP heeft opgesteld. Op basis van input vanuit de dosis-respons relatie voor dieselmotoremissies, waarbij een NOEL (no-effect level) van 30 000 – 50 000 # cm^{-3} is vastgesteld, en rekening houdend met een achtergrondconcentratie van 5 000 – 15 000 # cm^{-3} zijn richtgetallen afgeleid. Voor een dag- en weekgemiddelde blootstelling gaat het om richtgetallen van respectievelijk 60 000 en 50 000 # cm^{-3} (Wander & Verbist, 2016). Tevens is voor piekblootstellingen een richtgetal van 200 000 # cm^{-3} voorgesteld; bij overschrijding wordt geadviseerd om adembescherming te gebruiken of andere maatregelen te treffen om de blootstelling omlaag te brengen.

Voor nanomaterialen zijn in 2010 nano-referentiewaarden (NRWs) afgeleid die gelden als richtwaarden voor blootstelling aan nanodeeltjes op de werkplek (Dekkers & de Heer, 2010). Ook het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) adviseert om de NRW te hanteren voor dit soort situaties (Asscher, 2012). Voor nanomaterialen met een primaire deeltjesgrootte in de 1 tot 100 nm range is onderscheid gemaakt in twee groepen:

- metalen, metaaloxiden en biopersistente granulaire deeltjes met een dichtheid groter dan 6 g cm^{-3} (o.a. TiO_2 , SiO_2 , Ag, Au) met een NRW van 20 000 # cm^{-3}
- biopersistente granulaire deeltjes met een dichtheid kleiner dan 6 g cm^{-3} (o.a. Carbon Black) met een NRW van 40 000 # cm^{-3}

De nano-referentiewaarden voor persistente deeltjes zijn afgeleid van het gemiddeld aantal deeltjes (20 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm) dat past in 0,1 mg m^{-3} . Voor de gezondheidkundige onderbouwing is ook gekeken naar de effecten van dieselmotoremissies, waarbij een NOEL is afgeleid van 30 000 – 50 000 # cm^{-3} . Omdat met de gangbare meetmethoden voor deeltjes in lucht geen onderscheid kan worden gemaakt tussen de proces gegenereerde nanodeeltjes op de werkplek en achtergrond deeltjes moet de NRW worden vermeerderd met de achtergrondconcentratie.

De verwachting is dat UFP afkomstig van verbrandingsmotoren voor het grootste deel uit koolstofgebaseerde verbindingen bestaan, waarmee voor het definiëren van een referentiewaarde het best worden aangesloten bij de NRW voor biopersistente granulaire deeltjes met lage dichtheid (40 000 # cm^{-3}). Als dezelfde analogie wordt aangehouden als bij nanomaterialen zal dit bij een achtergrondconcentratie van ca. 1 000 – 10 000 # cm^{-3} (10^e percentiel waarden in Tabel 4.2) uitkomen op een richtwaarde van maximaal 50.000 # cm^{-3}

op een werkdag. In tegenstelling tot blootstelling aan nanodeeltjes is UFP echter nauwelijks te onderscheiden van achtergronddeeltjes, die voor een belangrijk deel ook bestaan uit verbrandingsemissies. Het is dus de vraag of de gemeten blootstelling bij vergelijking met een referentiewaarde voor UFP verminderd zou moeten worden met de achtergrondconcentratie. Om verwarring te voorkomen over de gemeten blootstellingswaarden is in deze studie gekozen om te vergelijken met twee referentiewaarden van 40 000 en 50 000 # cm⁻³ om de gemeten blootstellingen in voldoende perspectief te plaatsen. Rekenkundig gezien is er geen verschil tussen het vermeerderen van de referentiewaarde met de achtergrondconcentratie, of het verminderen van de gemeten blootstelling met de achtergrondconcentratie.

3.3.3 Vergelijking met referentiewaarden

Om de blootstelling te kunnen vergelijken met referentiewaarden, moet de UFP sensor data per meetdag worden omgerekend naar 8-uurs gemiddelde waarden. Hiervoor is het rekenkundig gemiddelde gebruikt, zoals besproken in 3.3.1. Vervolgens zijn de zes 8-uurs gemiddelde waarden per SEG getoetst aan de nano referentiewaarden uit 3.3.2 op basis van zowel het rekenkundig gemiddelde. Het geometrisch gemiddelde is te vinden in Bijlage H, en de boxplot van de GM_{meting} vergeleken met de grenswaarden in Bijlage J.

Doordat de persoonlijke blootstelling van medewerkers afhankelijk is van veel factoren (inclusief gedrag), kunnen de 8-uurs TGG waarden binnen een functiegroep en (veronderstelde) SEG toch vaak uiteen lopen. Daarom staan in de NEN-EN 689 voorwaarden beschreven waaraan moet worden voldaan om statistisch te mogen toetsen aan een grenswaarde, o.a. dienen minimaal zes metingen uitgevoerd te worden bij verschillende personen binnen een SEG en op verschillende dagen. De resultaten van de persoonlijke metingen zijn conform NEN-EN-689 getoetst aan de referentiewaarde. Omdat voor elke SEG de resultaten van zes of meer persoonlijke metingen beschikbaar zijn is direct getoetst aan de referentiewaarde met behulp van een statistische toets. Hierbij is sprake van ‘compliance’ indien met tenminste 70% zekerheid kan worden aangetoond dat minder dan 5% van 8-uurs TGG blootstellingen binnen de SEG de grenswaarde overschrijdt. Voorafgaand aan de toetsing is nagegaan of de resultaten van de persoonlijke metingen die zijn uitgevoerd voor een SEG ook daadwerkelijk binnen de SEG vallen op basis van functieprofielen, uitgevoerde taken en variatie in (gemiddelde) blootstellingsniveaus.

De statistische toetsing geeft aan of er sprake is van compliance of niet. Het is hierbij belangrijk om in gedachte te houden dat de referentiewaarden en richtgetallen zoals vermeld in paragraaf 3.3.2 geen gezondheidkundige onderbouwde grenswaarden zijn. Hiernaast is de NEN-EN 689 niet ontwikkeld voor het vergelijken van sensordata met een grenswaarde. Compliance betekent hier dus niet dat er geen gezondheidseffecten kunnen optreden. Sterker nog, ook bij compliance wordt ingeval van gebruik van de NRW uitdrukkelijk aanbevolen toch het ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable) te hanteren en de blootstelling zo ver als redelijkerwijs haalbaar te reduceren. De toetsing dient hier enkel om de resultaten in perspectief te plaatsen.

4 Resultaten

De metingen op RTHA hebben plaatsgevonden van 18 juli t/m 14 september 2023. De stationaire meetopstelling heeft vanaf 18 juli t/m 13 september op het platform gestaan. Tussen 17 en 27 augustus heeft een storing bij de apparatuur plaatsgevonden, waardoor data ontbreekt. Dit heeft een beperkte invloed op het onderzoek, gezien op twee dagen waarop persoonlijke metingen zijn uitgevoerd geen vergelijking kan worden gemaakt met de UFP concentraties op het stationaire meetstation. De persoonlijke metingen hebben plaatsgevonden op 26 juli, 9, 10, 16, 22 en 24 augustus en 4, 6, 7 en 14 september. De resultaten van de persoonlijke blootstelling worden eerst besproken. Later wordt ingegaan op de resultaten van de stationaire meetopstelling.

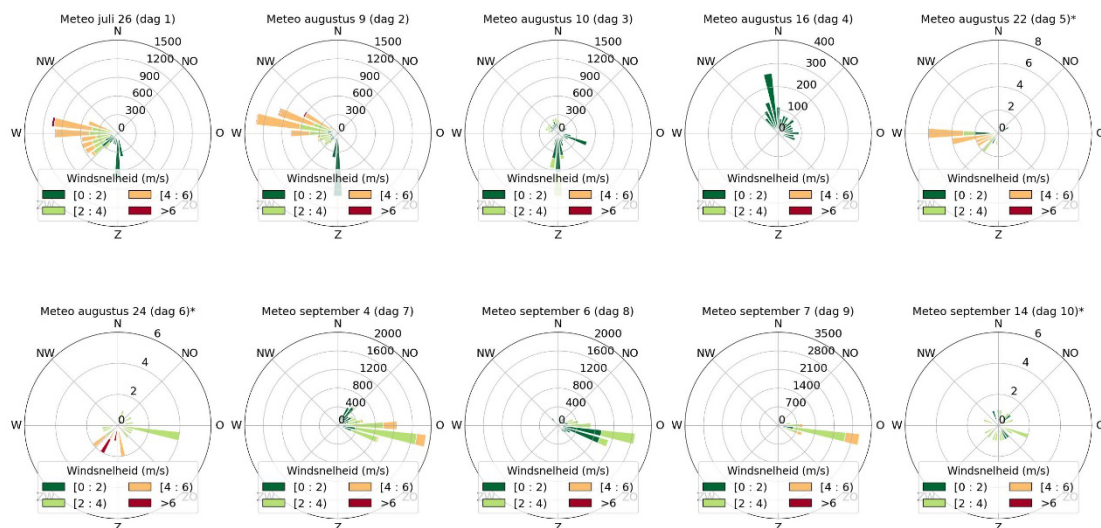
4.1 Persoonlijke blootstelling

Het doel van dit onderzoek is om de blootstelling van werknemers aan UFP op RTHA in kaart te brengen. Hiertoe hebben persoonlijke metingen plaatsgevonden op 26 juli, 9, 10, 16, 22 en 24 augustus en 4, 6, 7 en 14 september. Bij deze metingen is de totale shift van de medewerkers bemeten, zodat de gemiddelde blootstelling per werkdag berekend kan worden.

4.1.1 Meteorologische gegevens

Op basis van voorgaand onderzoek is besloten om bepaalde windrichtingen uit te sluiten voor de persoonlijke metingen. Aangezien bij zuidwestelijke windrichting de UFP concentraties veel lager waren dan bij de andere windrichtingen, is zo min mogelijk gemeten bij wind uit zuidwestelijke richting. In Figuur 4.1 is de windrichting en -snelheid weergegeven tijdens de persoonlijke meetdagen. Op de persoonlijke meetdagen op 22 en 24 augustus en 14 september zijn geen meteogegevens van het stationaire meetstation beschikbaar. Hiervoor zijn de meteogegevens van het KNMI weerstation van Rotterdam, op circa 1,5 km afstand van de meetlocatie, gebruikt. De gemiddelde UFP concentratie (AM_{meting}) op het platform, ten tijde van deze persoonlijke metingen, bedroeg (gemiddeld genomen per dag) $146\,000 \pm 110\,000$ en $142\,000 \pm 113\,000 \text{ \# cm}^{-3}$ op basis van het stationaire meetstation en de persoonlijke metingen respectievelijk. De hoge standaardafwijking wordt veroorzaakt door de meting op 7 september, waar de gemiddelde concentratie op het platform $363\,000 \text{ \# cm}^{-3}$ bedroeg. Ook de geometrisch gemiddelde concentratie lag op deze dag hoger dan op de andere meetdagen (circa 2 en 3 keer hoger op basis van het stationaire meetstation en de persoonlijke metingen respectievelijk). Op 7 september kwam de wind uit oostelijke richting, waarbij geregeld hogere concentraties zijn gemeten. Er was geen sprake van een toename van het aantal vliegbewegingen ten opzichte van de andere meetdagen. Ook de persoonlijke blootstelling (2 bagagemedewerkers) lag op deze dag relatief hoog (2-4x zo hoog). Op 7 september is in de middag gemeten (vanaf circa 11:30 tot 19:00). In de middag is de UFP concentratie op het platform overwegend hoger (circa 15% hoger) dan in de ochtend. Daarnaast hebben de weersomstandigheden op die dag (o.a. oostenwind) ook bijgedragen aan een verhoging van de UFP concentratie op het platform. Verder kunnen afwijkende operationele omstandigheden zoals een hogere bezetting van de VOPS of het langer aanstaan van vliegtuigmotoren ook oorzaken zijn geweest voor de verhoogde UFP concentratie.

De concentratie tijdens de persoonlijke meetdagen ligt hoger dan de gemiddelde UFP concentratie overdag (6 - 18 uur) gedurende de gehele meetperiode ($80\,000 \pm 52\,000$), wat bevestigt dat qua weersomstandigheden bij realistische worst-case omstandigheden is gemeten.



Figuur 4.1 Windrichting en -snelheid tijdens de werkdagen waarop persoonlijke blootstellingsmetingen zijn uitgevoerd. De radiale as geeft het aantal metingen weer (10s basis) dat een bepaalde windrichting is voorgekomen, en de kleuren geven de windsnelheid weer. Op 3 van de meetdagen (dag 5, 6 en 10, aangegeven met een *) zijn geen meteogegevens beschikbaar van de stationaire meetopstelling. Hier zijn de meteogegevens afkomstig van het KNMI weerstation Rotterdam op 1,5 km afstand. De KNMI data zijn uurgemiddelden.

4.1.2 Persoonlijke metingen

Op RTHA is de persoonlijke blootstelling bij vijf verschillende functiegroepen bepaald. Deze functiegroepen zijn de 'Airport Operations Officer (AOO)', de 'Rampmedewerker', de 'Bagagemedewerker', de 'Buschauffeur' en de 'Grondstewardess'. Voor alle groepen zijn 6 metingen verzameld. Er zijn twee personen dubbel bemeten op één werkdag (1x Bagagemedewerker, 1x AOO). Eén keer is het voorgekomen dat de bemeten persoon na korte duur het harnas al heeft afgezet, deze meting is buiten beschouwing gelaten. Hiernaast is op één meetdag de functiegroep 'Teamlead' bemeten, welke geen onderdeel uitmaakte van de onderzochte functiegroepen. Deze meting is wel gebruikt voor het bepalen van de gemiddelden per locatie, maar wordt niet getoetst volgens de NEN-EN 689.

Tabel 4.1 Resultaten persoonlijke blootstellingsmetingen. De laatste kolom geeft de gemiddelde stationaire UFP concentratie op het platform weer, ter indicatie van de lokale omstandigheden per meetdag.

Functiegroep	Datum	Meetduur (HH:MM)	8-uurs gemiddelde (AMmeting) (# cm-3)	10e Percentiel (# cm-3)	90e Percentiel (# cm-3)	8-uurs gemiddelde stationair (AM) (# cm-3)
AOO	26-07-2023	08:45	15 000	2 000	20 000	37 000
AOO	09-08-2023	08:56	30 000	1 000	53 000	47 000
AOO	10-08-2023	08:32	47 000	2 000	70 000	108 000
AOO	22-08-2023	08:42	58 000	3 000	67 000	- 1)

Functiegroep	Datum	Meetduur (HH:MM)	8-uurs gemiddelde (AMmeting) (# cm-3)	10e Percentiel (# cm-3)	90e Percentiel (# cm-3)	8-uurs gemiddelde stationair (AM) (# cm-3)
AOO	04-09-2023	09:09	67 000	4 000	75 000	158 000
AOO	06-09-2023	08:40	46 000	3 000	104 000	124 000
Rampmedewerker	16-08-2023	08:05	74 000	3 000	80 000	194 000
Rampmedewerker	16-08-2023	08:37	167 000	3 000	122 000	193 000
Rampmedewerker	22-08-2023	08:01	63 000	2 000	75 000	- ¹⁾
Rampmedewerker	04-09-2023	07:54	143 000	8 000	243 000	179 000
Rampmedewerker	06-09-2023	08:25	91 000	7 000	111 000	122 000
Rampmedewerker	14-09-2023	08:27	132 000	2 000	129 000	- ¹⁾
Bagagemedewerker	26-07-2023	07:04	31 000	3 000	56 000	38 000
Bagagemedewerker	24-08-2023	06:47	52 000	9 000	79 000	- ¹⁾
Bagagemedewerker	06-09-2023	07:40	26 000	8 000	32 000	75 000
Bagagemedewerker	07-09-2023	06:52	103 000	15 000	146 000	316 000
Bagagemedewerker	07-09-2023	06:24	110 000	30 000	162 000	434 000
Bagagemedewerker	14-09-2023	07:51	38 000	9 000	68 000	- ¹⁾
Buschauffeur	26-07-2023	08:48	21 000	1 000	31 000	37 000
Buschauffeur	09-08-2023	08:16	64 000	2 000	31 000	49 000
Buschauffeur	10-08-2023	08:46	44 000	2 000	55 000	127 000
Buschauffeur	16-08-2023	08:09	55 000	3 000	99 000	227 000
Buschauffeur	24-08-2023	06:29	40 000	3 000	73 000	- ¹⁾
Buschauffeur	24-08-2023	06:31	32 000	2 000	63 000	- ¹⁾
Grondstewardess	26-07-2023	07:42	11 000	2 000	16 000	36 000
Grondstewardess	16-08-2023	07:33	56 000	2 000	98 000	135 000
Grondstewardess	22-08-2023	09:00	30 000	2 000	31 000	- ¹⁾
Grondstewardess	24-08-2023	07:56	49 000	3 000	75 000	- ¹⁾
Grondstewardess	06-09-2023	09:16	17 000	3 000	27 000	99 000
Grondstewardess	14-09-2023	06:20	40 000	3 000	54 000	- ¹⁾
Teamlead ²⁾	04-09-2023	07:58	94 000	5 000	134 000	175 000

1) Geen stationaire meetgegevens verzameld vanwege storing apparatuur.

2) Functiegroep maakt geen onderdeel uit van de onderzochte blootstellingsgroepen

4.1.3 Functiegroepen en SEGs

Tijdens de metingen op RTHA zijn ook observaties uitgevoerd. Op basis van deze observaties is de blootstelling nogmaals ingeschat en vergeleken met de eerder geschatte relatieve blootstelling (laag, middel, hoog) op basis van de vragenlijsten (zie paragraaf 4.1.3.1). Om te

toetsen of de uitgevoerde metingen bij de vier functiegroepen representatief zijn voor alle medewerkers binnen de functiegroep, is beoordeeld of de uitgevoerde activiteiten van de bemeten personen overeenkomen met de vooraf opgegeven taakomschrijving. Ook de spreiding (variantie) van blootstellingen binnen de functiegroep is hierin meegenomen, waarbij de individuele blootstellingen zijn vergeleken met observaties van activiteiten en omstandigheden (o.a. weersomstandigheden). Dit wordt besproken in paragraaf 4.1.3.2. Indien de metingen representatief zijn, dan kunnen de bemeten functiegroepen worden aangeduid als ‘Similar Exposure Groups’ (SEGs), en kunnen de gemiddelde blootstellingswaarden van de gehele SEG worden vergeleken met de referentiewaarden, om de blootstelling in perspectief te plaatsen (paragraaf 4.1.3.3).

4.1.3.1 Vragenlijsten

Voorafgaand aan de metingen heeft een inventarisatie plaatsgevonden, waarbij vragenlijsten zijn beantwoord. Op basis van deze vragenlijsten zijn vervolgens SEGs opgesteld, waarbij ook de verwachte (relatieve) blootstelling per SEG is ingeschat. Dit doet geen uitspraak over de kwantitatieve blootstelling die vervolgens in het onderzoek is gemeten, maar op basis van deze inschatting is wel een keuze gemaakt van de SEGs die in het blootstellingsonderzoek uiteindelijk zijn bemeten. Aangezien deze vragenlijsten maar door één medewerker/leidinggevende per functiegroep zijn ingevuld, is het mogelijk dat de beantwoording van de vragenlijsten niet representatief is voor de gehele functiegroep. De gemaakte aannames over bijvoorbeeld de activiteiten, omstandigheden en verblijftijden op het platform zijn gecontroleerd door te vergelijken met de inschatting die op basis van observaties gemaakt kan worden. De vergelijking van de twee inschattingen is gegeven in Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Ingeschatte relatieve blootstelling op basis van vragenlijsten en observaties

Bedrijf	Functiegroep	Beoordeling o.b.v. vragenlijsten	Beoordeling o.b.v. observaties
Aviapartner	Rampmedewerker	Hoog	Hoog
Aviapartner	Bagagemedewerker	Middel-hoog	Middel-hoog
Rotterdam-The Hague Airport	Airport Operations Officer	Middel-hoog	Middel-hoog
Trigion	Buschauffeur	Middel-hoog	Middel-hoog
SJS/Shell Tankdienst	Medewerker tankdienst	Middel-hoog	Hoog
Transavia	Medewerker Technische dienst	Middel-hoog	Middel-hoog
Asito	Vliegtuig schoonmaker	Middel-hoog	Middel
Aviapartner	OPS, loadcontrol, dispatch, teamleider	Middel	Middel-hoog
Rotterdam-The Hague Airport	Birdcontroller	Middel	Middel
Trigion	Security-medewerker CSF/Hek 19	Middel-laag	Middel-laag
Aviapartner	Grondstewardess	Middel-laag	Middel-laag
CAPI Travel Plaza	Medewerkers horeca en retail partners	Middel-laag	Middel-laag

Bedrijf	Functiegroep	Beoordeling o.b.v. vragenlijsten	Beoordeling o.b.v. observaties
HMSHost	Countermedewerker	Middel-laag	Middel-laag
HMSHost	Teamtrainers	Middel-laag	-
HMSHost	Shiftmanager	Middel-laag	-
HMSHost	Hospitality manager	Middel-laag	-
Jeeves	Hostels, Valet Parking,	Middel-laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Medewerker TD	Middel-laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Dutymanager OPS	Middel-laag	Middel-laag
Rotterdam-The Hague Airport	Manager AO / Adviseurs	Laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Medewerker CX/Commercie	Laag	Middel
Rotterdam-The Hague Airport	Werkplekbeheer IT	Laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Kantoor-medewerker	Laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Dutymanager Security	Laag	-
Rotterdam-The Hague Airport	Landside operations manager	Laag	-
Koninklijke Marechaussee	Politiedienst	Laag	Laag
LVNL	Luchtverkeersleiding	Laag	Laag
Aviapartner	Overhead, managers, duty etc.	Laag	-

Op basis van de observaties is de beoordeling van een aantal groepen aangepast. De groepen die omhoog zijn bijgesteld zijn de groepen 'OPS, loadcontrol, dispatch, teamleider', 'Medewerker CX/Commercie' en 'Medewerker tankdienst'. De reden voor de groep 'OPS, loadcontrol, dispatch, teamleider' is dat de teamleider ook regelmatig buiten op het platform is gezien, en ook meer dan 40% van de tijd zoals aangegeven in de beantwoorde vragenlijst. Op basis van de observaties lijkt het dat deze 40% een gemiddelde is van de drie functies ('OPS, loadcontrol, dispatch, teamleider'), en dat de functies 'OPS, loadcontrol en dispatch' minder op het platform zijn dan de teamleider. Voor de 'Medewerker CX/Commercie' geldt dat de vertrekhal regelmatig open staat, waardoor ook binnen hogere concentraties optreden dan op voorhand verwacht werd. Hierom is de blootstelling bij deze groep op basis van de observaties bijgesteld. De 'Medewerker tankdienst' is omhoog bijgesteld aangezien deze persoon zich veelal ook buiten de tankwagen bevindt, terwijl op basis van de vragenlijst werd ingeschat dat deze persoon zich meer in de auto zou bevinden. Verder is de functiegroep 'Vliegtuigschoonmaker' naar beneden bijgesteld, aangezien deze werknemers maar kortdurend op het platform zelf zijn, en tijdens de observaties duidelijk werd dat de vliegtuigen hierbij veelal uit staan.

4.1.3.2 Variatie in blootstellingsconcentraties

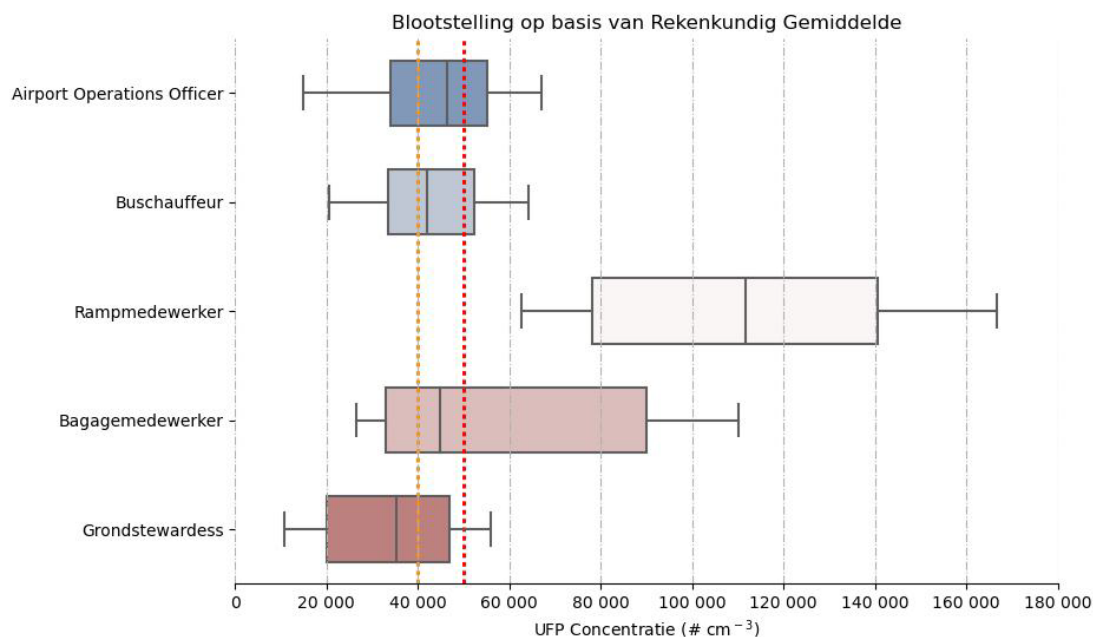
De blootstellingswaarden uit Tabel 4.1 geven een indicatie van de spreiding binnen een SEG. Naast deze blootstellingswaarden is ook bij de stationaire meetopstelling gekeken naar de spreiding binnen de meetdagen. Dit geeft een beeld van de spreiding (variatie) die optreedt vanwege wisselende weersomstandigheden en operationele omstandigheden. Deze data is inzichtelijk gemaakt aan de hand van boxplots en de variatiecoëfficiënt in Bijlage D. Deze variatiecoëfficiënt is een indicatie van de spreiding van meetpunten rondom het gemiddelde. Deze spreiding wordt bij blootstellingsmetingen altijd verwacht, aangezien meten op verschillende dagen leidt tot verschillende weers- en operationele omstandigheden, maar ook omdat verschillende personen zijn bemeten en persoonlijk gedrag een grote rol speelt in de blootstelling.

Voor de functiegroepen 'AOO', 'Rampmedewerker', 'Buschauffeur' en 'Grondstewardess' is de spreiding tussen de verschillende meetdagen beperkt. De variatiecoëfficiënt bedraagt hier respectievelijk 41%, 41%, 31% en 43%. Voor de functiegroep 'Bagagemedewerker' is de variatiecoëfficiënt hoger (70%). De grotere variatie bij de functiegroep 'Bagagemedewerker' wordt veroorzaakt doordat veel in verschillende ploegen wordt gewerkt, waarbij de ploeg in de ochtend een ander blootstellingsprofiel heeft dan de ploeg in de middag, vanwege operationele verschillen in de ochtend en de rest van de dag. Aangezien dit verschil inherent is aan de functiegroep, kunnen de metingen wel als representatief worden beschouwd voor de functiegroep. Op basis van de gevonden variaties bij de persoonlijke metingen ten opzichte van de spreiding binnen de stationaire metingen valt te stellen dat de variatie gedeeltelijk veroorzaakt wordt door wisselende weersomstandigheden. De overige spreiding kan worden toegewezen aan persoonlijke gedrag, locatie van werknemers (binnen/buiten) en wisselende operationele omstandigheden, zoals vlieg- en taxibewegingen wanneer werknemers op het platform zijn.

4.1.3.3 Daggemiddelde blootstelling per SEG

De metingen die hebben plaatsgevonden voor de functiegroepen zijn representatief voor de functiegroepen. Op basis van de metingen en observaties hoeft geen verdere opsplitsing van de vooraf opgestelde SEGs plaats te vinden, en kunnen de SEGs in analogie met de NEN-EN 689 vergeleken worden met de grenswaarde.

Aangezien geen wettelijke grenswaarde bestaat voor UFP, en ook nog geen gezondheidkundige grenswaarden zijn afgeleid, is de blootstelling per SEG vergeleken met de nano-referentiewaarden (NRWs) van 40 000 (zonder correctie voor de achtergrond) en 50 000 # cm⁻³ (met achtergrondcorrectie van 10 000 # cm⁻³). In Figuur 4.2 zijn de boxplots van de 6 metingen per SEG weergegeven, waarbij daggemiddelde blootstellingswaarden zijn weergegeven op basis van het rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}). De oranje en rode stippellijnen geven de gehanteerde referentiewaarden van respectievelijk 40 000 en de richtwaarde van 50 000 # cm⁻³ weer. De randen van de box zelf duiden de 25^e en 75^e percentielwaarden aan, en de streep in de box geeft de mediaan (50^e percentiel) weer. De uiterste lijnen geven de minimale en maximale daggemiddelde concentratie weer.



Figuur 4.2 Boxplot rekenkundig gemiddelde blootstelling (AM_{meting}) van 6 bemeten medewerkers per SEG. Oranje en rode stippellijnen geven de gehanteerde referentiewaarden weer van 40 000 en 50 000 $\# \text{ cm}^{-3}$.

De daggemiddelde concentraties zijn berekend op basis van het rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}), en omgerekend op basis van de meetduur, zoals beschreven in bijlage G van de NEN-EN 689. Er kunnen zich voor deze omrekening twee situaties voordoen:

1. Meetduur korter dan 8 uur

Bij een meting die korter duurt dan 8 uur is bij het berekenen van de gemiddelde blootstelling aangenomen dat in de overige (niet bemeten) tijd dezelfde blootstelling wordt opgelopen als de rest van de tijd:

$$8 \text{ uren } TGG = \text{gemiddelde blootstelling} = \frac{\text{totale blootstelling}}{\text{meetduur}}$$

2. Meetduur langer dan 8 uur

Bij een meetduur langer dan 8 uur wordt gedaan alsof de totale blootstelling in 8 uur is opgelopen. Hierdoor wordt het 8-uurs TGG hoger dan de gemiddelde blootstelling, en wordt een worst-case scenario gewaarborgd:

$$8 \text{ uren } TGG = \text{totale blootstelling} \times \frac{\text{meetduur}}{8 \text{ uur}}$$

De vergelijking met de nano-referentiewaarde is uitgevoerd in analogie met de NEN-EN 689. De vergelijking is gedaan door uit het daggemiddelde van de 6 metingen per SEG (AM_{meting}) een gemiddelde blootstelling te bepalen per SEG op basis van het geometrisch gemiddelde (GM_{SEG}). Deze gemiddelde blootstelling per SEG is vervolgens vergeleken met de NRW's (met en zonder correctie voor de achtergrondconcentratie). Op basis van deze vergelijking geldt dat voor géén van de bemeten functiegroepen met voldoende zekerheid gesteld kan worden dat de blootstelling onder de NRW's blijft. In Tabel 4.3 is een overzicht van de vergelijking met de NRW gegeven.

Tabel 4.3: Vergelijking van de geometrisch gemiddelde blootstelling van de bemeten SEGs (GM_{SEG}), op basis van het rekenkundig daggemiddelde (AM_{meting}) met de nano referentiewaarden conform de NEN-EN 689.

Blootstellingsgroep (SEG)	Gemiddelde blootstelling GM_{SEG} (# cm^{-3})	95 ^e percentiel (# cm^{-3})	Vergelijking met de nano referentiewaarde conform NEN-EN 689	
			40 000 # cm^{-3}	50 000 # cm^{-3}
Airport Operations Officer	39 000 ²⁾ (15 000 – 67 000)	65 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Rampmedewerker	105 000 (63 000 – 167 000)	161 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Bagagemedewerker	51 000 (26 000 – 110 000)	108 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Buschauffeur	40 000 ²⁾ (21 000 – 64 000)	62 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Grondstewardess	29 000 ²⁾ (11 000 – 56 000)	54 000	Voldoet niet	Voldoet niet

*Het is mogelijk dat de gemiddelde blootstelling lager is dan de NRW, maar dat toch niet wordt voldaan aan de NRW; dit wordt veroorzaakt door de spreiding binnen de metingen, waardoor niet aan de benodigde zekerheid van 70% kan worden voldaan.

Het is mogelijk dat de gemiddelde blootstelling lager is dan de NRW, maar dat volgens de statistische toetsing in de NEN-EN 689 toch niet wordt voldaan aan de NRW. Dit komt doordat de spreiding binnen de afzonderlijke metingen dusdanig hoog is, dat niet met tenminste 70% zekerheid kan worden gesteld dat bij 95% van de metingen wordt voldaan aan de NRW. Tijdens de metingen is rekening gehouden met neerslag en de windrichting, en is alleen op droge dagen gemeten en zo min mogelijk bij wind uit zuidwestelijke richting. In werkelijkheid regent het regelmatig in Nederland en komt de wind op RTHA juist het vaakst uit het zuidwesten. Het is dan ook aannemelijk dat de jaargemiddelde situatie anders is dan hier gemeten. Desalniettemin is bij de metingen in de realistische worst-case weersituatie aangetoond dat de UFP blootstelling van de bemeten groepen boven de NRW kan liggen. De jaargemiddelde situatie zou in kaart gebracht kunnen worden door langdurig te meten (bijv. een jaar) gedurende verschillende seizoenen.

4.1.4 Locatie- en situatiegerelateerde blootstelling

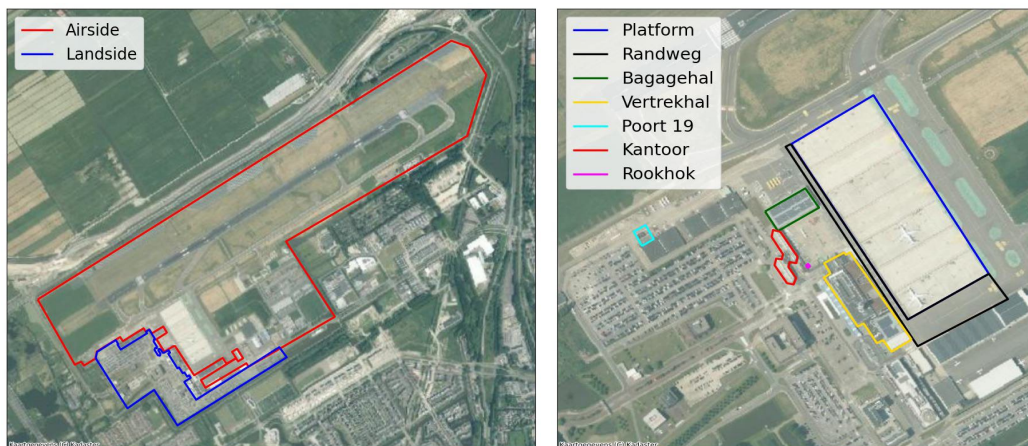
De realtime UFP sensordata geeft, naast de daggemiddelde blootstelling, ook de mogelijkheid om in meer detail te kijken naar het verloop van de concentratie gedurende de dag. Met behulp van de verzamelde observatiegegevens en contextsensordata kunnen de piekconcentraties aan locaties, activiteiten en/of omstandigheden worden gerelateerd. Hierdoor ontstaat meer inzicht in de activiteiten die leiden tot verhoogde UFP blootstelling en kunnen weloverwogen beslissingen worden genomen over passende en doelgerichte maatregelen om de UFP blootstelling omlaag te brengen. Alle bemeten medewerkers hebben een UV-B en GPS sensor gedragen, waarmee locaties herkend kunnen worden. Hiernaast zijn observaties uitgevoerd, waardoor zowel de locatie als de activiteit duidelijk zijn. Bij de SEGs ‘Rampmedewerker’, ‘Bagagemedewerker’ en ‘Grondstewardess’ zijn de observaties door medewerkers van TNO uitgevoerd. Voor twee van de SEGs (‘Airport Operations Officer’ en ‘Buschauffeur’) zijn de observaties door de medewerkers zelf uitgevoerd. De observaties van de medewerkers van de SEGs zelf zijn in minder detail gedaan, waardoor het soms niet mogelijk is om goed onderscheid te maken tussen activiteiten en omstandigheden.

De UV-B sensordata wordt gebruikt om onderscheid te maken tussen binnen- en buitensituaties. De UV-B sensordata wisselt in absolute waarde per sensor, en ook de houding van de medewerker beïnvloedt of en hoeveel UV-B wordt gemeten (bijvoorbeeld in de vroege ochtend bij schemerlicht of als de drager van de sensor voorover bukt, zal de sensor minder UV-B meten). Voor het onderscheid tussen 'binnen' en 'buiten' is daarom een waarde van '0' gehanteerd voor 'binnen', en een waarde groter dan '0' voor buiten. Door het effect van afscherming op de UV-B metingen kan echter niet worden voorkomen dat sommige buitenlocaties toch als binnenlocatie worden aangeduid door de UV-B sensor. Ook overkappingen en in voertuigen met open ramen/deuren geeft de UV-B sensor soms geen signaal.

In onderstaande paragrafen worden de resultaten met betrekking tot locatie- en situatiegerelateerde blootstelling per SEG besproken op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP, UV en GPS sensoren en observaties. Het is ook mogelijk om alle SEGs samen te voegen, om de spreiding binnen een activiteit beter in beeld te brengen. Voor de opdeling in SEGs is gekozen omdat de medewerkers binnen de bemeeten SEGs specifieke taken vervullen die ertoe leiden dat de blootstelling voor de verschillende functiegroepen op dezelfde locatie en in dezelfde situatie toch kan verschillen. In paragraaf 4.1.4.6 worden de gevonden resultaten samengevat.

De uitgewerkte UV-B data met de bijhorende concentraties per SEG zijn weergegeven in Bijlage F. Over het algemeen komt de UV-sensor data goed overeen met de observaties, wat betreft het onderscheid tussen binnen- en buitenlocaties. Bij de interpretatie van de UV sensor data is wel rekening gehouden met de hierboven genoemde beperkingen (afscherming). Meerdere keren per meetperiode zijn verhoogde UFP concentraties gemeten zonder een respons van de UV sensor. Hiernaast heeft de GPS sensor soms signaal verloren. Dit is ook op te maken uit een afwijkende tijdsduur van de metingen bij de contextsensoren ten opzichte van de observaties. In deze gevallen zijn observaties gebruikt om de situatie te identificeren.

Voor de locatie- en situatiegerelateerde blootstelling wordt naast het AM_{meting} ook het GM_{meting} gerapporteerd en besproken. Het GM_{meting} wordt hier met name gebruikt om te controleren of er op bepaalde locaties en in bepaalde situaties sprake is van een structurele verhoging van de UFP concentratie (GM_{meting} is dan ook verhoogd) of dat dit komt door enkele piekconcentraties (alleen AM_{meting} verhoogd). Een verdere uitleg van de verschillen tussen het GM en AM wordt besproken in hoofdstuk 3.3.1. In Figuur 4.3 zijn de gebieden weergegeven die gebruikt zijn om de gemiddelde concentraties op basis van de contextsensoren te bepalen, en in Tabel 4.4 zijn de bijhorende gebruikte selecties in de data weergegeven.



Figuur 4.3 Gebruikte gebieden voor het berekenen van de concentraties per locatie (op basis van de contextsensoren)

Tabel 4.4: Gebruikte selecties in de data om concentraties te bepalen per locatie (op basis van de contextsensoren)

Selectie	GPS gebied	GPS snelheid	UV-B	Commentaar
Airside	Airside	-	-	-
Airside (niet platform)	Airside – (platform + randweg)	-	-	-
Airside (te voet)	Airside	< 6 m/s	> 0	Mogelijke onderschatting, waar UV-B sensor niet goed heeft gewerkt zal data verloren gaan (wel buiten, maar UV-B sensor afgeschermd)
Airside (in rijdende auto)	Airside	> 6 m/s	= 0	Mogelijke onderschatting, stil staan in de auto wordt bijvoorbeeld niet meegenomen. Plaatsen waar UV-B sensor niet goed heeft gewerkt (UV-B = 0) worden hier (soms onterecht) meegeteld.
Airside (roken)	Rookhok	-	-	-
Platform (te voet)	Platform + Randweg	< 6 m/s	> 0	Mogelijke onderschatting, waar UV-B sensor niet goed heeft gewerkt zal data verloren gaan (wel buiten, maar UV-B sensor afgeschermd)
Platform (auto/te voet)	Platform + Randweg	-	-	-
Platform (auto)	Platform + Randweg	> 6 m/s	= 0	Mogelijke onderschatting, stil staan in de auto wordt bijvoorbeeld niet meegenomen. Plaatsen waar UV-B sensor niet goed heeft gewerkt (UV-B = 0) worden hier (soms onterecht) meegeteld.

Selectie	GPS gebied	GPS snelheid	UV-B	Commentaar
In ruim	Platform	< 3 m/s	= 0	Mogelijke onderschatting, stil staan in de auto wordt hier bijvoorbeeld ook meegenomen, maar ook wanneer de medewerker zich onder het vliegtuig bevindt. Plaatsen waar UV-B sensor niet goed heeft gewerkt (UV-B = 0) worden hier (soms onterecht) meegeteld.
Binnen	Vertrekhal +Bagagehal + Poort 19 + Kantoor	-	= 0	Bagagehal is hier enige locatie die altijd verbonden staat met de buitenlucht, overige locaties staan (meestal) afgesloten. In algemene zin zijn de binnenlocaties gevoeliger voor het verliezen van het GPS signaal, waardoor mogelijk minder datapunten worden gevonden.
In bagagehal	Bagagehal	-	= 0	Bagagehal (verbonden met buitenlucht) en Havendienst (afgesloten van buitenlucht, niet aangegeven op de kaart, bevindt zich boven de bagagehal) worden hier allebei meegenomen.
Landside	Landside	-	-	-

4.1.4.1 Airport Operations Officer

De UFP blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG 'Airport Operations Officer' gedurende de werkdag zijn weergegeven in Bijlage F. In Tabel 4.5 is de gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale blootstelling en de totale tijdsduur per situatie en/of activiteit weergegeven op basis van sensordata en observaties. Hoe langer de tijdsduur hoe betrouwbaarder de UFP blootstelling, aangezien het gemiddelde dan op meer datapunten berust. Bij een korte tijdsduur spelen toevalligheden (zoals een sporadische hoge piekblootstelling) een grotere rol. Dit kan bij de SEG 'AOO' in meerdere gevallen gebeurd zijn, aangezien de tijdsduur zeer beperkt (<1 uur) is geweest bij een aantal geobserveerde activiteiten (aangegeven in de tabel). Uit de kolom 'Tijdsduur' valt tevens op te maken dat de 'Airport Operations Officer' zich veelal op airside bevindt, en daarbij veel tijd in de auto zit, en kortdurend te voet op het platform is.

Op basis van de resultaten binnen de SEG 'AOO', maar ook de overige bemeten SEGs blijkt dat de hoogste UFP blootstelling optreedt bij buitenactiviteiten. De observaties zijn bij de SEG 'AOO' uitgevoerd door de medewerkers zelf, waarbij soms geen onderscheid is gemaakt tussen binnen/buiten de auto, maar soms juist wel. In de tabel zijn deze observaties gescheiden gehouden. De concentratie in de auto en op het platform zijn voor de SEG 'AOO' vergelijkbaar, maar de concentraties te voet zijn hierbij iets hoger dan in de auto. Beide blootstellingen op het platform liggen hoger (circa 5x hoger) dan de blootstellingen die binnen worden gemeten. Dit is ook gedaan voor puur de contextsensoren (GPS + UV-B), gebruikmakend van airside in plaats van enkel het platform (zie Tabel 4.4 voor de verschillen tussen airside en platform). Ook bij deze selectie blijkt een hogere concentratie 'te voet' dan 'in rijdende auto', maar in deze selectie wordt een stilstaande auto niet meegenomen.

Tabel 4.5: Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) op verschillende locaties en in verschillende situaties voor de Airport Operations Officer, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Locatie / Situatie	UFP blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Platform (te voet)	65 000 [107 000]	10 000 [19 000]	6 120 000 [7 899 000]	2 [3]
Platform (auto / te voet)	52 000 [64 000] ¹⁾	15 000 [12 000] ¹⁾	7 986 000 [3 947 000] ¹⁾	29 [6] ¹⁾
Binnen	11 000 [25 000] ²⁾	5 000 [6 000] ²⁾	4 331 000 [274 000] ²⁾	11 [1] ²⁾
Airside	[55 000]	[14 000]	[7 986 000]	[26]
Airside (niet platform)	[41 000]	[13 000]	[4 331 000]	[11]
Airside (te voet)	[91 000]	[21 000]	[7 899 000]	[6]
Airside (in rijdende auto)	[42 000]	[12 000]	[2 396 000]	[3]
Landside ²⁾	[12 000] ²⁾	[6 000] ²⁾	[39 000] ²⁾	[<1] ²⁾
Airside (roken)	71 000 [87 000] ²⁾	34 000 [35 000] ²⁾	1 172 000 [1 363 000] ²⁾	1 [<1] ²⁾
Taxiënd vliegtuig ²⁾	209 000 ²⁾	20 000 ²⁾	3 760 000 ²⁾	<1 ²⁾
Vliegtuig stijgt op/landt ²⁾	172 000 ²⁾	23 000 ²⁾	4 537 000 ²⁾	<1 ²⁾
Totale dataset				[27] ³⁾

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data.

1) contextsensordata gebaseerd op alle data op platform.

2) data gebaseerd op weinig meetpunten, waardoor toevalligheden een erg grote rol spelen.

3) tijdsduur van de totale dataset, waarbij punten zonder GPS signaal zijn verwijderd. Dus een maat voor het aantal datapunten waarop de contextsensoren gebaseerd kunnen worden.

Tijdens de metingen hebben de medewerkers zelf aangegeven wanneer ze een rookpauze hebben gehad, en dit is op basis van de contextsensoren ook te herkennen (op RTHA mag maar op één plaats gerookt worden op airside, dus op basis van de GPS is dit te herkennen). Tijdens het roken is de blootstelling aan UFP op basis van het rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}) niet hoger dan de blootstelling op het platform, maar het is wel hoger dan de gemiddelde blootstelling op airside. De geometrisch gemiddelde blootstelling is tijdens het roken het hoogste van de selectie van activiteiten/situaties die voor deze SEG is gemaakt. Dit geeft aan dat tijdens het roken een aanhoudende blootstelling optreedt die hoger is dan de achtergrondconcentratie, maar dat geen sprake is van piekblootstellingen zoals die op het platform optreden.

De gemiddelde blootstelling bij de geobserveerde activiteiten (Taxiënd vliegtuig en 'Vliegtuig stijgt op/landt') zijn gebaseerd op weinig datapunten, en daardoor niet erg betrouwbaar. Op basis van het beperkte aantal datapunten lijkt de concentratie tijdens taxiënd vliegverkeer hoger dan de gemiddelde concentratie op het platform. De 'Airport Operations Officer' is op het platform wisselend in de auto en te voet. De medewerker helpt de piloot om goed op de juiste VOP te staan en het vliegtuig beweegt hierbij richting de 'Airport Operations Officer', waardoor de medewerker niet direct in de uitlaat staat. Zodra het vliegtuig is binnengehaald

gaat de medewerker vaak door naar de volgende VOP in de auto. Een belangrijk deel van de blootstelling van de SEG 'AOO' treedt daarom op doordat de emissies van taxiënde vliegtuigen van de taxibaan het platform op worden geblazen, en niet zozeer dat de medewerker direct in de uitlaat van vliegtuigen werkt.

4.1.4.2 Rampmedewerker

De UFP blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG 'Rampmedewerker' zijn weergegeven in Bijlage F. In Tabel 4.6 zijn de gevonden concentraties per locatie weergegeven voor de SEG 'Rampmedewerker'. Uit de kolom 'Tijdsduur' valt op te maken dat de 'Rampmedewerker' zich veel op het platform bevindt. De gemiddelde UFP blootstelling op het platform is ook duidelijk hoog ten opzichte van de UFP gemiddelde blootstelling binnen (AM_{meting} 9 en 24 keer hoger op basis van observaties en contextsensoren respectievelijk). Voor de GM_{meting} is deze toename lager (3 en 7 keer hoger op basis van observaties en contextsensoren respectievelijk). Ten opzichte van de SEG 'AOO' is de blootstelling op het platform circa 2 keer hoger. Dit kan verklaard worden doordat de SEG 'Rampmedewerker' in algemene zin dicht bij de vliegtuigen staat, en zich meer rondom het vliegtuig begeeft, waarbij de medewerker aan hogere UFP concentraties wordt blootgesteld. Hiernaast is de SEG 'Rampmedewerker' veelal te voet aanwezig op het platform, terwijl de SEG 'AOO' zich vaak in de auto bevindt. De gemiddelde UFP blootstelling op het platform is circa 35% hoger dan de blootstelling die wordt opgelopen op het totaal van airside.

Tabel 4.6: Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) op verschillende locaties en in verschillende situaties voor de Rampmedewerker, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Locatie / Situatie	UFP blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Platform	215 000 [216 000]	33 000 [35 000]	23 965 000 [23 965 000]	10 [21]
In ruim	133 000 [249 000]	38 000 [44 000]	1 353 000 [23 570 000]	1 [7]
In bagagehal	12 000 ¹⁾ [11 000]	10 000 ¹⁾ [7 000]	36 000 ¹⁾ [106 000]	<1 ¹⁾ [2]
Binnen	25 000 ¹⁾ [9 000]	11 000 ¹⁾ [6 000]	174 000 ¹⁾ [323 000]	<1 ¹⁾ [7]
Airside	[159 000]	[24 000]	[23 965 000]	[32]
Airside (niet platform)	[46 000]	[11 000]	[5 567 000]	[11]
Airside (te voet)	[168 000]	[29 000]	[23 965 000]	[7]
Airside (in rijdende auto)	[101 000]	[27 000]	[6 125 000]	[1]
Airside (roken) ¹⁾	[269 000] ¹⁾	[41 000] ¹⁾	[3 396 000] ¹⁾	[<1] ¹⁾
Landside	[11 000]	[7 000]	[290 000]	[3]
APU aan	86 000	18 000	4 068 000	3
GPU aan (diesel) ¹⁾	51 000 ¹⁾	12 000 ¹⁾	676 000 ¹⁾	<1 ¹⁾
Bedienen voertuig (diesel)	123 000	17 000	9 420 000	2
Taxiënd vliegtuig	435 000	41 000	23 965 000	3

Locatie / Situatie	UFP blootstelling (# cm ³)			Tijdsduur (uur)
	AM _{meting}	GM _{meting}	Maximum (5 sec)	
Vliegtuig stijgt op/landt	221 000	80 000	17 763 000	1
Totale dataset				48 ²⁾

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data.

1) data gebaseerd op weinig meetpunten, waardoor toevalligheden een erg grote rol spelen.

2) tijdsduur van de totale dataset, waarbij punten zonder GPS signaal zijn verwijderd. Dus een mate voor het aantal datapunten waarop de contextsensoren gebaseerd kunnen worden.

Bij de SEG ‘Rampmedewerker’ is ook een lagere UFP blootstelling gemeten in de auto dan te voet. Voor de ‘Rampmedewerker’ geldt dat transport in een auto vaak met een bagagetrekker plaatsvindt. Deze bagagetrekker is volledig open, dus vindt geen afscherming plaats van de buitenlucht, en wordt ook geen lagere UFP blootstelling verwacht. Het is waarschijnlijk dat verplaatsingen in een bagagetrekker vaker plaatsvinden voor de SEG ‘Rampmedewerker’ wanneer er weinig vliegtuigen op het platform staan, of dat het rijden in een bagagetrekker minder in de directe omgeving van vliegtuigen plaatsvindt.

De UFP blootstelling in het ruim is hoog ten opzichte van de UFP blootstelling die op andere binnenlocaties wordt opgelopen door de SEG ‘Rampmedewerker’. Hierbij is zelfs sprake van een hogere GM_{meting} blootstelling dan bij de blootstelling op het platform, wat aangeeft dat hier veelal sprake was van aanhoudend hoge UFP concentraties. Deze hogere GM_{meting} UFP blootstelling wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat UFP emissies zich in het ruim van het vliegtuig ophopen. Het AM_{meting} in het ruim is bijna 2 keer hoger op basis van de contextsensor dan op basis van de observaties, terwijl het GM_{meting} minder verschilt. Dit betekent dat met name hoge piekconcentraties verantwoordelijk zijn voor het verschil tussen observaties en de contextsensor. Echter, op basis van de contextsensor is de verblijftijd in het ruim 7 keer hoger dan op basis van observaties. Dit verschil wordt voor een groot deel veroorzaakt doordat bij gebruik van contextsensoren meetdata onrechtmatig wordt toegekend aan de situatie ‘In ruim’. Wanneer de medewerker stil staat naast of onder het vliegtuig en de UV-B sensor afgeschermd is, worden deze metingen ook toegekend aan de situatie ‘In ruim’. Hiermee rekening houdend is de gemiddelde blootstelling die berekend is bij de observaties het meest betrouwbaar.

Verder wordt bij APU en GPU (diesel) gebruik geen verhoogde blootstelling gemeten ten opzichte van de gemiddelde blootstelling op het platform. Net zoals voor de SEG ‘AOO’ geven taxiënde vliegtuigen wel een duidelijke verhoging in de UFP blootstelling, ook ten opzichte van de gemiddelde concentraties op het platform. Aangezien de ‘Rampmedewerker’ zich vaak op het platform bevindt wanneer vliegtuigen vertrekken/arriveren, is dit volgens de verwachting. De ‘Rampmedewerker’ bevindt zich van alle bemeten groepen het vaakst in de buurt van de taxibaan wanneer vliegtuigen taxiën, dus de gevonden blootstelling is ook gebaseerd op veel datapunten. Ook de maximale blootstelling ligt het hoogst tijdens taxiënde vliegtuigen bij de SEG ‘Rampmedewerker’. Wanneer vliegtuigen vanuit stilstand vertrekken, staan de medewerkers vaak direct in de uitlaat van de straalmotoren.

Voor opstijgende/landende vliegtuigen wordt enkel bij de GM_{meting} een hoge blootstelling gemeten ten opzichte van de gemiddelde blootstelling op het platform. Aangezien opstijgende en landende vliegtuigen vaak samen optreden met het taxiën, kan deze verhoging ook komen vanwege taxiënde vliegtuigen. In de praktijk is de start- en landingsbaan te ver verwijderd van de medewerkers om ten tijde van het opstijgen/landen de

emissies van vliegtuigen goed te kunnen herkennen. Deze emissies hebben tijd nodig om zich te verplaatsen richting de medewerkers/het platform, dus zullen ten tijde van het registreren van de activiteit nog niet gemeten worden. Hiernaast zal de pluim uitgespreid zijn wanneer deze het platform bereikt. Hierdoor is het waarschijnlijker dat opstijgende/landende vliegtuigen zorgen voor een verhoogde achtergrondconcentratie dan dat deze duidelijk als UFP piekconcentraties te herkennen zijn.

4.1.4.3 Bagagemedewerker

De UFP blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG 'Bagagemedewerker' gedurende de werkdag zijn weergegeven in Bijlage F. De gemiddelde blootstelling per locatie/situatie voor de SEG 'Bagagemedewerker' is weergegeven in Tabel 4.7. Opvallend is dat de 'Bagagemedewerker' zich de meeste tijd op airside begeeft (ca. 70%), en weinig aanwezig is in de bagagehal zelf (ca. 15%). In Bijlage E, Figuur E.3 is te zien dat de 'Bagagemedewerker' ook veel tijd net buiten de bagagehal spendeert, wat onder airside valt.

Voor de SEG 'Bagagemedewerker' is het GM_{meting} op het platform (op basis van de observaties) relatief hoog ten opzichte van het AM_{meting} en ook hoger dan het GM_{meting} op het platform bij alle andere SEGs. Dit is niet het geval op basis van de contextsensoren, waarbij ook meer datapunten worden gevonden. Het is dus aannemelijk dat de concentratie op basis van de observaties een overschatting is, doordat deze observaties bijvoorbeeld precies op een druk moment zijn gedaan.

Opvallend is dat de 'Bagagemedewerker' de enige bemeten SEG is waarbij de gemiddelde blootstelling op totaal airside (inclusief platform) hoger is dan de blootstelling op airside zonder platform. Hoewel het verschil maar klein is, geeft dit wel aan dat de blootstelling die op het platform wordt opgelopen voor de 'Bagagemedewerker' niet verschilt van de rest van airside. Wanneer in meer detail wordt gekeken naar de blootstellingskaart van de SEG (zie Bijlage G, Figuur G.4), dan valt op dat binnen en net buiten de bagagehal een blootstelling plaatsvindt die vergelijkbaar is met de blootstelling op het platform. De dichtstbijzijnde VOP bevindt zich op minder dan 50 meter afstand, en de taxibaan tussen de VOPs is zelfs nog dichterbij, waarbij de emissies van de taxibaan direct richting de bagagehal worden geblazen. Hiernaast treedt voor deze SEG veel blootstelling op in en rondom het rookhok, wat niet onder het platform valt. Dat de concentratie op airside dus vergelijkbaar is met de concentratie op het platform, heeft te maken met het feit dat de bagagehal in direct contact staat met de buitenlucht, en nabij VOPs en de taxibaan ligt.

Tabel 4.7: Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) op verschillende locaties en in verschillende situaties voor de Bagagemedewerker, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Locatie / Situatie	UFP blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Platform	99 000 [64 000]	64 000 [23 000]	1 866 000 [9 221 000]	3 [5]
In bagagehal	77 000 [44 000]	39 000 [21 000]	1 796 000 [10 166 000]	4 [5]
Binnen	27 000 ^{1) 2)} [45 000] ¹⁾	14 000 ^{1) 2)} [18 000] ¹⁾	1 495 000 ^{1) 2)} [2 320 000] ¹⁾	<1 ^{1) 2)} [<1] ¹⁾
Airside	[71 000]	[27 000]	[9 221 000]	[25]

Locatie / Situatie	UFP blootstelling (# cm ³)			Tijdsduur (uur)
	AM _{meting}	GM _{meting}	Maximum (5 sec)	
Airside (niet platform)	[73 000]	[29 000]	[3 655 000]	[21]
Airside (te voet)	[58 000]	[23 000]	[1 353 000]	[4]
Airside (in rijdende auto)	[95 000]	[18 000]	[9 221 000]	[1]
Airside (roken) ¹⁾	121 000 ¹⁾ [172 000] ¹⁾	68 000 ¹⁾ [82 000] ¹⁾	1 013 000 ¹⁾ [1 986 000] ¹⁾	<1 ¹⁾ [<1] ¹⁾
Landside ¹⁾	[18 000] ¹⁾	[12 000] ¹⁾	[98 000] ¹⁾	[<1] ¹⁾
APU aan	199 000	90 000	10 166 000	3
Taxiënd vliegtuig	168 000	70 000	10 166 000	7
Vliegtuig stijgt op/landt	108 000	63 000	3 655 000	3
Totale dataset				33 ²⁾

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data.

1) data gebaseerd op weinig meetpunten, waardoor toevalligheden een erg grote rol spelen.

2) observaties 'Binnen' betreft hier enkel het kantoor van Aviapartner

3) tijdsduur van de totale dataset, waarbij punten zonder GPS signaal zijn verwijderd. Dus een mate voor het aantal datapunten waarop de contextsensoren gebaseerd kunnen worden.

Op basis van de observaties blijkt dat de blootstelling die in de bagagehal wordt opgelopen hoger is dan op basis van de contextsensoren. Een mogelijke verklaring voor dit verschil is dat op basis van de observaties meetdata is meegenomen waar de bagagemedewerker net binnen de bagagehal aanwezig is, waar op basis van de contextsensoren (GPS) de bagagemedewerker buiten is. Een andere verklaring voor de hogere concentraties tijdens de observaties is dat de observaties met name werden uitgevoerd wanneer vliegtuigen aanwezig waren, terwijl dat voor de contextsensoren niet geldt. Wanneer de 'Bagagemedewerker' dus werd geobserveerd, bestond een hogere kans op blootstelling. Het is niet mogelijk om op basis van de verzamelde gegevens van de 'Bagagemedewerker' het verschil in blootstelling op de verschillende binnenlocaties te duiden. Voor de SEG 'Bagagemedewerker' zijn immers te weinig datapunten verzameld op andere binnenlocaties dan de bagagehal, en de gemiddelde blootstelling op de overige binnenlocaties is hierdoor minder betrouwbaar. Op basis van de gevonden blootstelling die andere bemeten SEGs opliepen in binnenlocaties lijkt de blootstelling in de bagagehal hoger dan de overige binnenlocaties. De hogere blootstelling in de bagagehal komt doordat deze in direct contact staat met de buitenlucht, waardoor concentraties op het platform (met name bij wind uit het oosten) richting de bagagehal worden geblazen. De andere SEGs bevinden zich minder vaak in de bagagehal, en zijn daar juist regelmatig in de kantooruimte boven de bagagehal (met lagere UFP concentraties).

Net zoals bij de andere SEGs wordt bij de 'Bagagemedewerker' een 2 keer hogere gemiddelde blootstelling gemeten bij taxiënde vliegtuigen, ten opzichte van de gemiddelde blootstelling die optreedt op het platform. In tegenstelling tot de SEG 'Rampmedewerker' wordt voor de 'Bagagemedewerker' wel een hogere gemiddelde blootstelling gemeten bij gebruik van de APU. Ook voor de SEG 'Grondstewardess' (Tabel 4.9) is deze verhoging te zien bij gebruik van de APU. Dit verschil is mogelijk te verklaren door de verblijftijd en positionering rondom de vliegtuigen van de 'Bagagemedewerker' en 'Grondstewardess' ten opzichte van de 'Rampmedewerker'. De 'Rampmedewerker' werkt dichterbij de vliegtuigen waarbij de APU zich meer boven de 'Rampmedewerker' bevindt en de medewerker dus minder last heeft van de

UFP emissie. De ‘Bagagemedewerker’ en de ‘Grondstewardess’ bevinden zich iets verder weg van het vliegtuig, waarbij de UFP emissie vanuit de APU zich wel kan verspreiden richting deze medewerkers. Bij de UFP blootstelling vanuit de APU is de windrichting ook relevant, die bepaalt of de UFP emissie zich wel/niet richting de medewerker verspreidt. De UFP blootstelling is lager bij de ‘Bagagemedewerker’ dan bij de ‘Rampmedewerker’. Dit is verklaarbaar, aangezien de ‘Rampmedewerker’ zich langere tijd op het platform bevindt en dichterbij de vliegtuigen aanwezig is.

4.1.4.4 Buschauffeur

De UFP blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG ‘Buschauffeur’ gedurende de werkdag zijn weergegeven in Bijlage F. Tabel 4.8 geeft de gemiddelde concentraties per locatie weer op basis van de observaties en de contextsensoren. Uit de kolom ‘Tijdsduur’ valt op te maken dat de ‘Buschauffeur’ zich het merendeel van de tijd (ca. 70%) op airside bevindt, waarvan ca. 45% op het platform.

De gemiddelde blootstelling op het platform is hoger dan op airside en vergelijkbaar met de blootstelling van overige SEGs, met uitzondering van de ‘Rampmedewerker’. Dit is hoger dan verwacht aangezien de ‘Buschauffeur’ zich het merendeel van de tijd in de bus bevindt, niet direct in de emissie vanuit de vliegtuigen. Wel staat de bus vaak open en gedurende enkele minuten stil bij het vliegtuig terwijl passagiers in- of uitstappen. In deze periode is het waarschijnlijk dat de UFP blootstelling in de bus vergelijkbaar is met buiten op het platform. De blootstelling in een rijdende auto (bus) is lager dan de blootstelling op het platform en airside. Wanneer de bus rijdt zijn deuren gesloten en bevindt deze zich over het algemeen niet op het platform, of niet direct in de buurt van (<10 meter) vliegtuigen met een draaiende motor. Het is dan ook logisch dat de concentraties in een rijdende auto (bus) lager zijn dan op airside en het platform zelf. Op airside, zowel op als buiten het platform, staat de bus ook vaak stil. Deze situatie kon niet goed met contextsensoren worden geïdentificeerd, maar kan wel worden benaderd op basis van de totale tijd op airside, airside te voet en airside in rijdende auto. Hieruit lijkt de UFP blootstelling op de airside in een stilstaande bus hoger dan in een rijdende bus op airside. Openstaande deuren en ramen kunnen een oorzaak van deze verhoging zijn.

Tabel 4.8: Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) op verschillende locaties en in verschillende situaties voor de Buschauffeur, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Locatie / Situatie	UFP blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Platform	[81 000]	[22 000]	[16 259 000]	[7]
Airside	63 000 [69 000]	20 000 [17 000]	21 182 000 [21 182 000]	20 [18]
Airside (niet platform)	[61 000]	[15 000]	[21 182 000]	[10]
Airside (te voet)	[103 000]	[23 000]	[21 182 000]	[6]
Binnen	6 000 [4 000]	4 000 [3 000]	1 198 000 [113 000]	13 [4]
Airside (in rijdende auto)	[45 000]	[11 000]	[1 440 000]	[1]
Airside (roken) ¹⁾	100 000 ¹⁾	39 000 ¹⁾	1 487 000 ¹⁾	<1 ¹⁾

Locatie / Situatie	UFP blootstelling (# cm ³)			Tijdsduur (uur)
	AM _{meting}	GM _{meting}	Maximum (5 sec)	
Landside	14 000 [9 000]	4 000 [4 000]	1 395 000 [1 198 000]	4 [4]
Taxiënd vliegtuig ¹⁾	179 000 ¹⁾	49 000 ¹⁾	1 840 000 ¹⁾	<1 ¹⁾
Vliegtuig stijgt op/landt ¹⁾	68 000 ¹⁾	27 000 ¹⁾	322 000 ¹⁾	<1 ¹⁾
Totale dataset				26 ²⁾

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data.

1) data gebaseerd op weinig meetpunten, waardoor toevalligheden een erg grote rol spelen.

2) tijdsduur van de totale dataset, waarbij punten zonder GPS signaal zijn verwijderd. Dus een mate voor het aantal datapunten waarop de contextsensoren gebaseerd kunnen worden.

Bij de ‘Buschauffeur’ wordt tijdens taxiënde vliegtuigen een 2 keer hogere blootstelling gemeten dan de gemiddelde blootstelling op het platform, net als bij de andere SEGs. Het gemiddelde is echter gebaseerd op een beperkt aantal datapunten, en daardoor niet erg betrouwbaar. Het is aannemelijk dat deze verhoogde blootstelling veelal optreedt wanneer de medewerkers met de bus op of rondom het platform zijn, of op de voetpaden rondom het platform lopen.

De SEG ‘Buschauffeur’ vervult ook een rol als beveiligingsmedewerker. Hierbij wordt gepatrouilleerd en wordt toezicht gehouden op de luchthaven. Ook is het mogelijk dat de buschauffeur zich dan in de buurt van doorlaatpost (poort 19) begeeft. Op basis van de contextsensoren is deze situatie niet gedetecteerd, en ook tijdens de observaties is dit niet waargenomen. Er is daarom geen aparte concentratie berekend voor verblijf bij de doorlaatpost. Op basis van de observaties en de contextsensoren was de ‘Buschauffeur’ wel vaker op landside dan de overige SEGs, wat waarschijnlijk te maken heeft met de rol als beveiligingsmedewerker. Voor de ‘Buschauffeur’ ligt de UFP blootstelling op landside 4 – 5 keer lager dan op airside; dit is in lijn met de andere SEGs waar de blootstelling op landside ook veel lager ligt dan op airside.

4.1.4.5 Grondstewardess

De UFP blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG ‘Grondstewardess’ gedurende de werkdag zijn weergegeven in Bijlage F. De gevonden gemiddelde blootstelling per locatie zijn voor de SEG ‘Grondstewardess’ weergegeven in Tabel 4.9. Op basis van de kolom ‘Tijdsduur’ blijkt de ‘Grondstewardess’ verspreid over de luchthaven aanwezig te zijn, zowel op airside en landside, en de binnenlocaties. De tijdsduur van de totale dataset is bij deze SEG het laagst, waaruit kan worden opgemaakt dat de ‘Grondstewardess’ zich vaker binnen bevindt dan op basis van de tabel blijkt. In binnen situaties is observatie lastig en het GPS signaal gaat daar ook vaker verloren. Desalniettemin zijn meer datapunten verzameld op basis van de contextsensoren dan de observaties, en is de berekende blootstelling ‘Binnen’ gebaseerd op de contextsensoren betrouwbaarder dan op basis van de observaties. De blootstelling ‘Binnen’ is logischerwijs lager dan de blootstelling op airside en het platform, maar is minder laag dan voor de andere SEGs op binnenlocaties (met uitzondering van de ‘Bagagemedewerkers’). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de dominante binnenlocatie voor de ‘Grondstewardess’ de vertrekhal is. De vertrekhal bestaat uit één grote ruimte, waarbij regelmatig de schuifdeuren van de gates open staan om passagiers naar binnen/buiten te laten gaan. Hierdoor komt lucht vanaf het platform in de vertrekhal, en

leidt dit tot een verhoging van de UFP concentratie in de vertrekhal, vergelijkbaar met de bagagehal.

De gemiddelde blootstelling op het platform is vergelijkbaar met de andere SEGs, met uitzondering van de ‘Rampmedewerker’ (deze is 2 keer hoger) en duidelijk hoger dan op landside, airside (uitgezonderd het platform) en binnen. Opvallend is dat de blootstelling op landside hoger is dan de blootstelling binnen en op airside (uitgezonderd het platform). Uit Bijlage E, Figuur E.5 wordt duidelijk dat de ‘Grondstewardess’ zich vaak op en rondom de parkeerplaatsen begeeft, wat kan verklaren dat de blootstelling op landside hoog is, aangezien hier blootstelling kan optreden door emissies van verkeer.

Tabel 4.9: Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) op verschillende locaties en in verschillende situaties voor de Grondstewardess, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Locatie / Situatie	UFP blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Platform	98 000 [107 000]	18 000 [15 000]	11 827 000 [11 827 000]	2 [4]
Binnen	56 000 ¹⁾ [29 000]	30 000 ¹⁾ [10 000]	665 000 ¹⁾ [1 935 000]	<1 ¹⁾ [4]
Airside	[75 000]	[14 000]	[11 827 000]	[7]
Airside (niet platform)	[28 000]	[13 000]	[1 332 000]	[3]
Airside (roken) ¹⁾	85 000 ¹⁾	34 000 ¹⁾	1 321 000 ¹⁾	<1 ¹⁾
Landside	[44 000]	[12 000]	[2 704 000]	[4]
APU aan	179 000	14 000	11 827 000	1
Taxiënd vliegtuig	172 000	27 000	11 827 000	1
Vliegtuig stijgt op/landt ¹⁾	58 000 ¹⁾	18 000 ¹⁾	837 000 ¹⁾	<1 ¹⁾
Totale dataset				18 ²⁾

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data

1) data gebaseerd op weinig meetpunten, waardoor toevalligheden een erg grote rol spelen

2) tijdsduur van de totale dataset, waarbij punten zonder GPS signaal zijn verwijderd. Dus een mate voor het aantal datapunten waarop de contextsensoren gebaseerd kunnen worden.

Voor de SEG ‘Grondstewardess’ treedt, ten opzichte van het platform, ook een verhoogde blootstelling op bij gebruik van de APU en bij taxiënde vliegtuigen. De verhoging bij taxiënde vliegtuigen is vergelijkbaar met de andere SEGs. De verhoging bij gebruik van de APU kan, net zoals voor de ‘Bagagemedewerker’ worden verklaard vanuit de verblijftijd en positionering rondom de vliegtuigen (zie paragraaf 4.1.4.3). De ‘Grondstewardess’ staat veelal buiten op het platform/de wandelwegen nabij het platform om de passagiers via de juiste paden naar de aankomsthal en vertrekhal te leiden. Hierbij staan ze onbeschut, en kunnen ze bij APU gebruik blootgesteld worden aan verhoogde UFP concentraties. Net als bij de medewerkers van de andere SEGs wordt de ‘Grondstewardess’ op het platform ook blootgesteld aan de emissies van de taxibaan en de VOPs die in de richting van de medewerkers worden geblazen bij bepaalde windrichtingen.

4.1.4.6 Locaties, activiteiten en omstandigheden

Zoals uitgewerkt in de bovenstaande paragrafen, kan op basis van de gesynchroniseerde UFP, UV-B en GPS data een uitspraak worden gedaan over individuele SEGs en over specifieke omstandigheden, activiteiten en locaties.

- Voor alle SEGs wordt de blootstelling voor het grootste deel bepaald door de verblijftijd buiten op airside. De gemiddelde blootstelling buiten op airside is veel hoger dan buiten op landside en veel hoger dan in binnenruimten. Op airside varieert de blootstelling sterk en is afhankelijk van de precieze locatie en de activiteiten die daar plaatsvinden.
- Voor de meeste SEGs is de blootstelling op het platform het meest relevant aangezien daar de hoogste UFP blootstelling optreedt, deze is voor de 'Buschauffeur', 'AOO', 'Grondstewardess' en 'Rampmedewerker' respectievelijk 1,5 keer, 2,5 keer, 4 keer en 4,5 keer hoger dan op het overige deel van airside. Alleen voor de 'Bagagemedewerker' is de blootstelling op het platform vergelijkbaar met het overige deel van airside, aangezien deze medewerkers zich op airside vaak dichtbij de bagagehal naast het platform bevinden. Voor de 'Bagagemedewerker' is dan ook de blootstelling in en rondom de bagagehal het meest relevant.
- De blootstelling van medewerkers wordt beïnvloed door hun locatie ten opzichte van de emissiebronnen, de verblijftijd en de heersende windrichting. Bij benedenwindse posities worden hogere blootstellingen gemeten dan bovenwinds. Bijvoorbeeld, tijdens taxiënde vliegtuigen wordt een hoge UFP blootstelling gemeten op benedenwindse locaties.
- Taxiënde vliegtuigen zijn een belangrijke bron van (piek)blootstelling. Voor alle SEGs is er bij taxiënde vliegtuigen een toename te zien in de UFP blootstelling ten opzichte van de gemiddelde blootstelling op het platform. Voor de 'Grondstewardess' is de verhoging ca. 1,5 keer en voor de 'Rampmedewerker', 'Bagagemedewerker', 'Airport Operations Officer' en 'Buschauffeur' ca. 2 keer.
- Ten opzichte van andere binnenruimten is de blootstelling in de bagagehal relatief hoog. Dit komt omdat de hal zich dichtbij het platform bevindt en in directe verbinding met de buitenlucht staat vanwege de veelal openstaande roldeuren. De blootstelling die optreedt in de vertrekhal is lager dan in de bagagehal maar wel hoger dan de blootstelling in het kantoor van Aviapartner. Dit komt doordat de lucht vanaf het platform zich verspreidt naar binnen zodra de gates open gaan om de passagiers naar het vliegtuig te vervoeren.
- Op airside is de blootstelling tevens afhankelijk van het vervoersmiddel. Voor de 'AOO' en 'Buschauffeur' is de blootstelling in de auto/bus gemiddeld 2 keer lager dan te voet. Dit is echter wel afhankelijk van deuren en ramen die open of dicht staan. Voor de 'Bagagemedewerker' is geen verschil merkbaar tussen de blootstelling te voet en in de auto; dit komt omdat gebruik wordt gemaakt van open bagagetrekkers. Voor de 'Rampmedewerker' wordt ook gebruik gemaakt van open bagagetrekkers, maar is net als bij de SEGs 'AOO' en 'Buschauffeur' een 2 keer lagere gemiddelde blootstelling gevonden in de auto dan te voet. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de 'Rampmedewerker' in de bagagetrekker rijdt wanneer het niet druk is op het platform.

4.1.4.7 Ruimtelijke concentratiekaarten van UFP-concentraties

Op basis van de verzamelde metingen kan met behulp van de gesynchroniseerde GPS gegevens een UFP concentratiekaart worden opgesteld per locatie. Hiermee kan de gemiddelde blootstelling per locatie worden bepaald, waardoor een inschatting kan worden gemaakt van de blootstelling die optreedt wanneer werknemers zich op een bepaalde locatie bevinden. Hierbij is voor de berekening in dit hoofdstuk alleen gebruik gemaakt van de contextsensoren. Voor sommige locaties (denk aan het platform) is deze gemiddelde concentratie verspreid over de gehele locatie van minder toegevoegde waarde dan voor

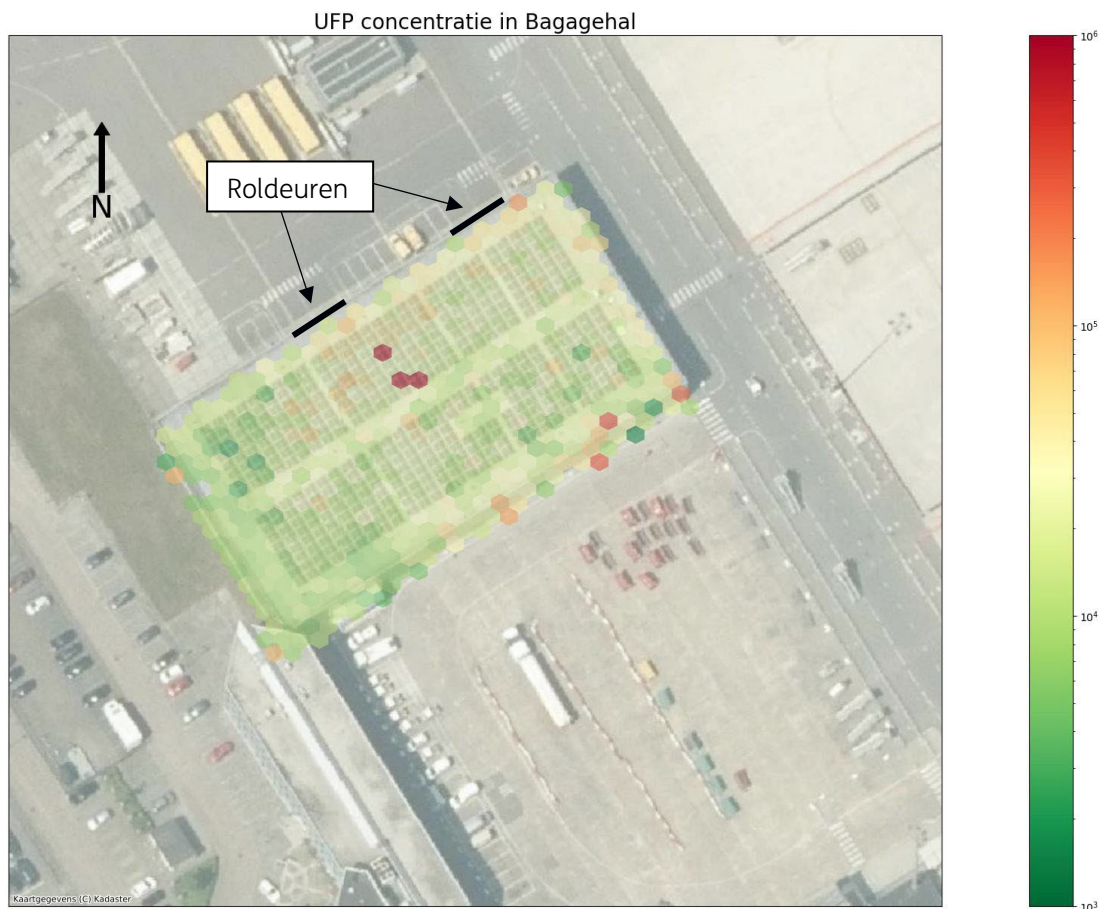
andere locaties (zoals het kantoor/de vertrekhal), doordat de UFP concentratie op sommige plaatsen ook sterk afhangt van activiteiten zoals taxiënd vliegverkeer.

De concentratiekaarten zijn opgesteld door de blootstelling van alle SEGs op alle meetdagen te combineren, en vervolgens op te delen in 'grids' van circa 5x5 meter op basis van de GPS coördinaten, waarbij de gemiddelde concentratie per 'grid' is bepaald.

Bagagehal

In de bagagehal zijn de gemiddelde concentraties $31\,000 \text{ # cm}^{-3}$ (AM_{meting}) en $13\,000 \text{ # cm}^{-3}$ (GM_{meting}). Figuur 4.4 geeft de ruimtelijke verdeling weer. In het zuidwestelijke gedeelte van de bagagehal is de concentratie het laagst, en in het noordoostelijke deel is deze het hoogst. Aangezien het platform zich ten noordoosten van de bagagehal bevindt, is het logisch dat de concentratie in het zuidwestelijke gedeelte van de bagagehal lager is, aangezien de UFP pluim steeds verder wordt verdund. De deuren van de bagagehal bevinden zich aan de noordelijke zijde. In het midden van de bagagehal zijn een aantal plaatsen te zien waar de concentratie het hoogst is (rood gekleurde 'hexagonen'). Deze verhoogde concentraties bevinden zich precies op de plaats waar de bagageband ophoudt. Er bevindt zich hier geen duidelijke bron van UFP emissies, maar hier wordt wel veel gelopen door de werknemers, en ook is dit nabij de bagagetrekkers, die naar binnen worden gereden in de bagagehal.

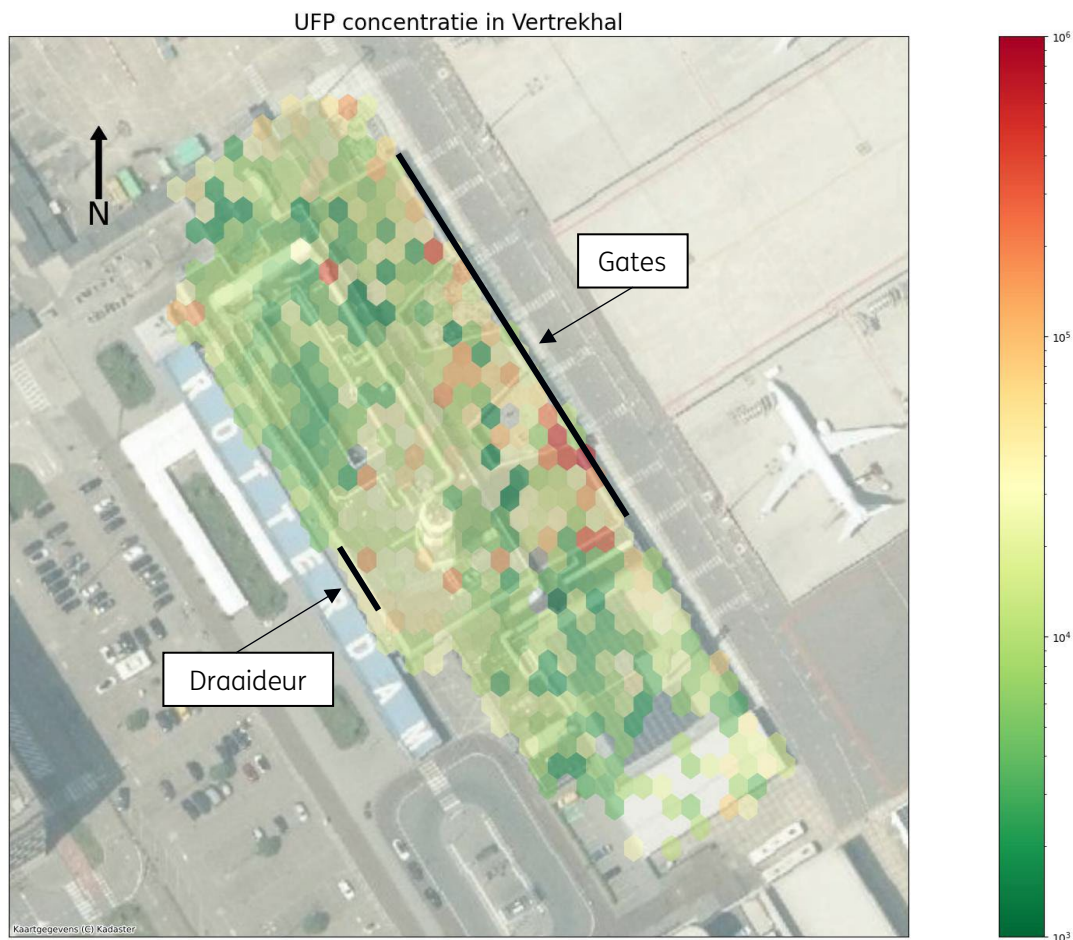
Aan de noordoostelijke zijde van het gebouw is ook een kantoorruimte (eerste verdieping), waar de havendienst zich bevindt. Er is geen onderscheid te maken tussen de eerste verdieping en de begane grond op basis van de contextsensoren. Hierdoor bestaat de concentratie in het noordoostelijke deel van de bagagehal voor een gedeelte uit metingen van de kantoorruimte, die overwegend lager zijn dan in de bagagehal.



Figuur 4.4 Ruimtelijke verdeling UFP concentratie (AM_{meting}) in de bagagehal, op basis van de GPS coördinaten.

Vertrekhal

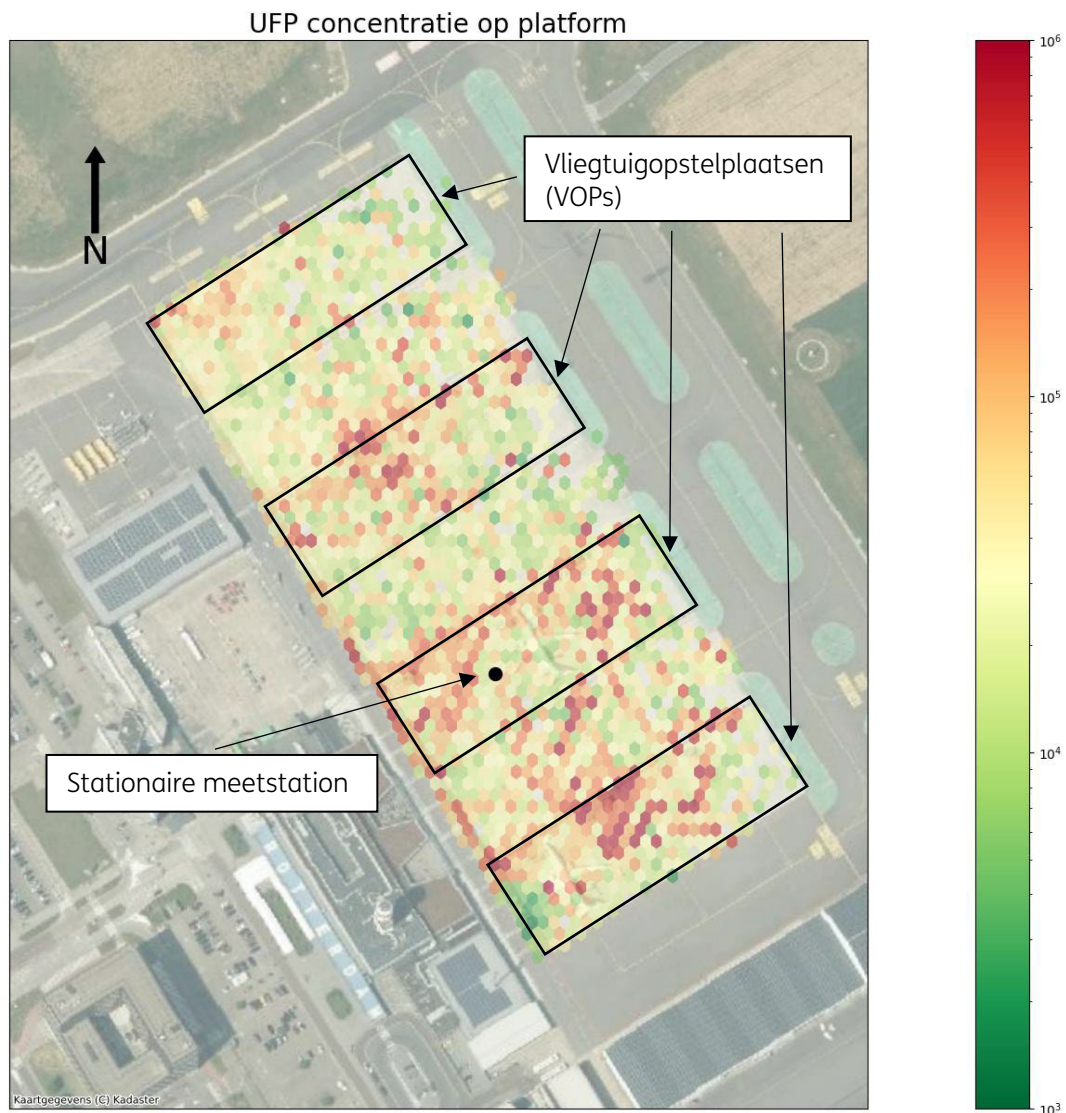
De gemiddelde concentraties in de vertrekhal bedragen $26\,000\ \text{\# cm}^{-3}$ (AM_{meting}) en $7\,000\ \text{\# cm}^{-3}$ (GM_{meting}). De ruimtelijke verdeling van de UFP concentraties is weergegeven in Figuur 4.5. Uit de figuur valt op te maken dat de hoogste concentraties aan de noordoostelijke zijde van de vertrekhal worden gemeten, nabij de gates die naar het platform leiden. Aangezien de gates regelmatig open staan om passagiers naar buiten te laten, zal de lucht vanaf het platform zich verspreiden naar binnen in de vertrekhal. Verder is opvallend dat de concentratie aan de zuidwestelijke zijde (nabij de draaideur, infobalie) verhoogd is (ca. $40\,000\ \text{\# cm}^{-3}$), terwijl deze zijde niet aan de kant van het platform ligt. Het is mogelijk dat het verkeer op de nabijgelegen parkeerplaats hier deels verantwoordelijk voor is, maar omdat de gates (noordoostelijke zijde) zijn verbonden met de ruimte van de infobalie, is het ook mogelijk een effect van de verdere verspreiding van UFP via luchtstromingen in de vertrekhal.



Figuur 4.5 Ruimtelijke verdeling UFP concentratie (AM_{meting}) in de vertrekhal, op basis van de GPS coördinaten.

Platform

De gemiddelde concentraties op het platform bedragen op basis van de persoonlijke metingen $133\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$ (AM_{meting}) en $24\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$ (GM_{meting}). Dit is duidelijk hoger (factor 2-5) dan wordt gemeten op de binnenlocaties. Op het stationaire meetstation was de gemiddelde concentratie over de gehele meetperiode lager ($54\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$), maar tijdens de persoonlijke metingen vergelijkbaar ($146\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$). In Figuur 4.6 is de ruimtelijke verdeling van de UFP concentratie op het platform weergegeven. Uit de figuur wordt duidelijk dat op het platform hoge concentraties worden gemeten ($10^6\ \# \text{ cm}^{-3}$ en hoger). Met name op de VOPs worden de hoogste concentraties gemeten, en dan specifiek de drie zuidelijkste VOPs. Op de meest noordelijke VOP wordt minder vaak een hoge concentratie gemeten. Gezien de windrichtingen waarbij is gemeten is het mogelijk dat UFP emissies van taxiënde vliegtuigen en geparkeerde vliegtuigen op de VOPs zich meer verspreiden naar de zuidkant van het platform. Daarnaast staan de vliegtuigen met de neus naar het noorden, waardoor de straalmotoren en APUs naar het zuiden zijn gericht. Tenslotte is de zuidkant van het platform omgeven door bebouwing, waardoor UFP concentraties zich kunnen ophopen.

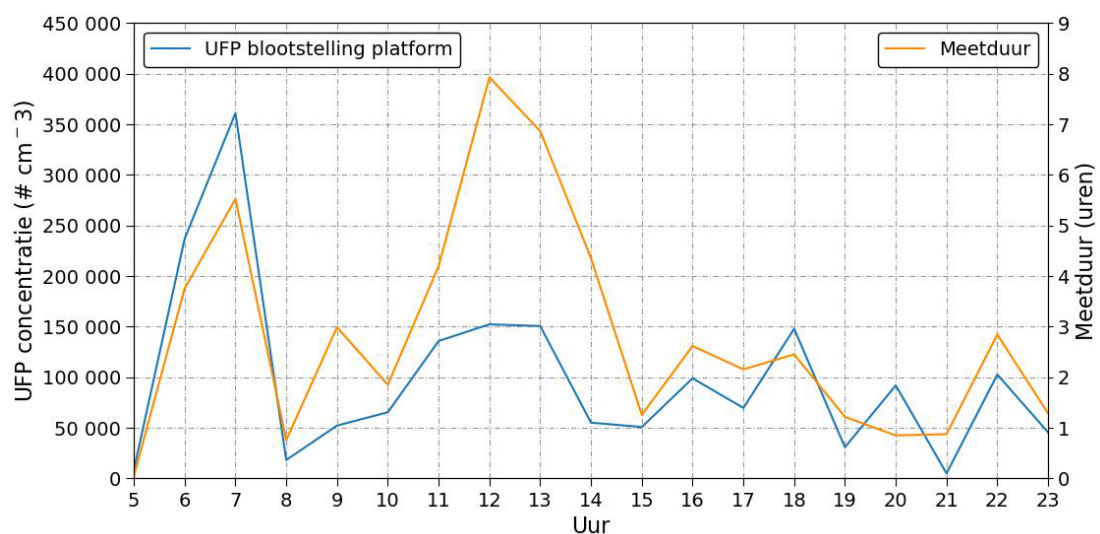


Figuur 4.6 Ruimtelijke verdeling UFP concentratie (AM_{meting}) op het platform, op basis van de GPS coördinaten.

De concentraties op de taxibaan zijn ook regelmatig hoog, maar logischerwijs worden de hoogste concentraties gemeten op de VOPs, dichtbij de vliegtuigen. Wanneer de taxibaan in gebruik is mogen werknemers zich hier niet begeven, en staan de werknemers veelal aan de westelijke zijde (linkerkant) van de vliegtuigen op de VOPs of net naast het platform (randweg/passagierspaden). Op deze plekken is het risico op directe UFP blootstelling uit straalmotoren van opstartende en taxiënde vliegtuigen richting de startbaan het grootst.

Zoals in Figuur 4.6 is te zien zijn de concentraties op het platform erg verschillend. De blootstelling van de werknemers is sterk afhankelijk van de locatie en het tijdstip op het platform en de omstandigheden (o.a. te voet / in een voertuig). In de figuur zijn alle datapunten op het platform gebruikt, dus ook wanneer medewerkers zich in een voertuig of in het ruim bevinden. Het is daarom waarschijnlijk dat de persoonlijke concentraties een onderschatting zijn van de werkelijke concentratie op het platform. Dit verschil (onderschatting) is ook te zien bij vergelijking van de persoonlijke metingen en stationaire metingen op het platform.

Zoals genoemd is de blootstelling op het platform sterk afhankelijk van het tijdstip. In Figuur 4.7 is de gemiddelde UFP concentratie op het platform weergegeven per uur. Hieruit blijkt duidelijk dat de concentratie op het platform het hoogst is tussen 06:00 en 08:00, ruim 2,5 keer hoger dan het gemiddelde. Op RTHA staan de VOPs in de ochtend bijna allemaal vol, en vertrekt het grootste gedeelte van deze opgestelde vliegtuigen rond 07:00, waardoor de concentratie op het platform dan (veel) hoger is dan gemiddeld over de dag. Dit patroon is ook te herkennen in de dagelijkse gang van de concentraties en vliegtuigbewegingen op het platform in Bijlage C.



Figuur 4.7: Gemiddelde UFP blootstelling per uur op het platform voor alle SEGs samen. In oranje (rechter y-as) is de meetduur weergegeven in uren, ter indicatie van het aantal bemeten mensen op ieder uur op het platform.

4.1.5 Overige SEGs

De huidige blootstellingsmetingen hebben de blootstelling voor 5 functiegroepen op RTHA in kaart gebracht. Op basis van de vragenlijsten is de blootstelling kwalitatief ingedeeld in de categorieën 'Laag', 'Middel' en 'Hoog'. De bemeten SEG die als 'Hoog' was ingeschat ('Rampmedewerker'), heeft een gemiddelde UFP blootstelling (GM_{SEG}) van 105 000 # cm⁻³. De als 'Middel-hoog' ingeschatte SEGs ('Airport Operations Officer', 'Bagagemedewerker' en 'Buschauffeur') hebben een gemiddelde blootstelling van respectievelijk 39 000, 51 000 en 40 000 # cm⁻³. De SEG die als 'Middel-laag' werd ingeschat heeft een gemiddelde blootstelling van 29 000 # cm⁻³. De gemeten blootstelling komt dus goed overeen met de ingeschatte kwalitatieve blootstelling op basis van de vragenlijsten. De kwalitatieve inschatting is hoofdzakelijk tot stand gekomen op basis van de verblijftijd op het platform, en de activiteiten die op het platform worden uitgevoerd. Voor de niet bemeten functiegroepen kan de blootstelling niet met zekerheid worden bepaald, maar er kan mogelijk wel een blootstellingsindicatie worden afgegeven op basis van:

- de ingeschatte verblijftijd op het platform
- bemeten activiteiten en locaties in combinatie met verblijftijden

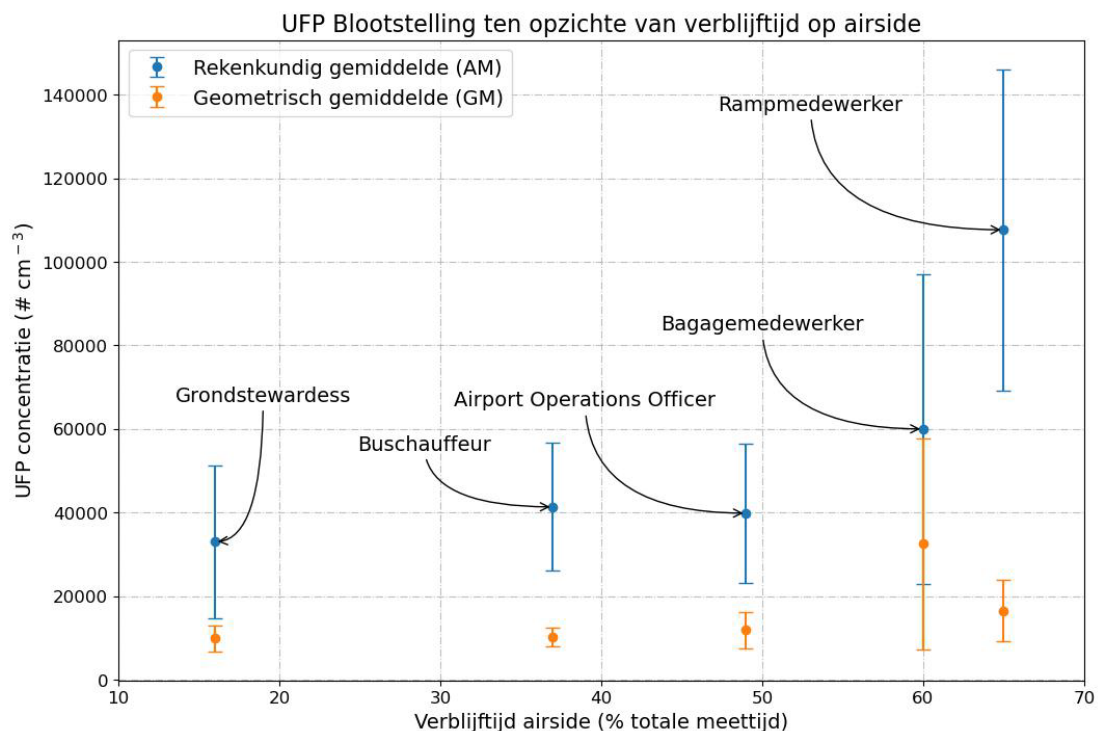
4.1.5.1 Blootstellingsindicatie op basis van verblijftijd op het platform

In de vragenlijsten is voor de functiegroepen opgegeven wat de ingeschatte verblijftijd is op het platform. Op basis van de contextsensoren (GPS) is gecontroleerd of de opgegeven verblijftijd buiten overeenkomt met de waargenomen verblijftijd op airside (exclusief de bagagehal). Er blijkt niet altijd een goede correlatie te zijn tussen de verblijftijd op basis van de vragenlijsten en contextsensoren. Kleine verschillen zijn te verwachten, aangezien de GPS sensoren soms signaal verliezen, waardoor mogelijke onderschattingen op kunnen treden. Het verschil bij de functiegroepen 'Rampmedewerker', 'Bagagemedewerker' en 'Buschauffeur' is echter dusdanig groot dat de verblijftijden op basis van de vragenlijsten niet goed zijn ingeschat. De verschillen tussen verblijftijden op basis van de vragenlijst en de contextsensor zijn weergegeven in Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Verblijftijd buiten op basis van vragenlijsten en gemeten met de contextsensoren.

SEG	Verblijftijd buiten op basis van de vragenlijsten (% van de werkdag)	Verblijftijd airside op basis van de contextsensoren (totaal % van de meetduur)
Airport Operations Officer	50	49
Rampmedewerker	100	65
Bagagemedewerker	20	60
Buschauffeur	80	37
Grondstewardess	20	16

Voor de verblijftijd buiten is airside gehanteerd zoals weergegeven in Figuur 4.3. Dit beslaat een groot gebied van RTHA, en de blootstelling is niet overal in het gebied vergelijkbaar. Dit is voor de meeste SEGs geen probleem, aangezien de dominante locatie voor de meeste SEGs zich op en rondom het platform bevindt (dit is ook te zien op de locatiedichtheid plattegronden uit Bijlage E). Alleen de SEG 'Airport Operations Officer' is regelmatig op andere locaties aanwezig dan het platform, waardoor deze SEG in verhouding met de andere SEGs, op basis van verblijftijd op een lagere UFP blootstelling uitkomt. Naast de verblijftijd op airside is ook de blootstelling aan piekconcentraties op het platform een belangrijke factor voor de uiteindelijke gemiddelde blootstelling. In Figuur 4.8 is de blootstelling per SEG uitgezet tegen de verblijftijd op airside op basis van de contextsensoren.



Figuur 4.8 Gemiddelde UFP blootstelling per SEG uitgezet tegen de verblijftijd op airside (in procenten van de totale meettijd per SEG op basis van de contextsensoren). De foutbalken geven de standaarddeviatie weer van de gemiddelde blootstellingswaarden binnen de SEG.

Uit de figuur blijkt dat op basis van het rekenkundig gemiddelde de blootstelling exponentieel toeneemt met de verblijftijd op airside, maar dat deze exponentiele toename pas optreedt bij een lange verblijftijd (>50%). Dit komt doordat de locatie, activiteit en tijdstip op airside een belangrijke rol spelen in de uiteindelijke blootstelling. Zo is de 'Grondstewardess' niet vaak op airside, maar de tijd die op airside wordt doorgebracht is veelal op het platform wanneer passagiers (en daarmee vliegtuigen) arriveren of vertrekken, waardoor de UFP blootstelling hoog is. Daardoor zijn toch hoge blootstellingen gemeten ondanks de lage verblijftijd op airside, en is de standaarddeviatie hoog (57%). Voor de 'Buschauffeur' en de 'Airport Operations Officer' geldt dat veel van de tijd ook in een auto cq bus wordt doorgebracht wat tot een lagere blootstelling leidt. Daarnaast geldt voor beide SEGs dat ze op meerdere locaties op airside aanwezig zijn en niet alleen op het platform (zie ook Bijlage E). De 'bagagemedewerker' bevindt zich voor het grootste deel in de buurt van de bagagehal en veel minder op het platform. Dit verschil komt niet tot uiting omdat ook in de buurt van de bagagehal de UFP concentraties hoog zijn. Bovenstaande factoren leiden ertoe dat er geen sterke correlatie aanwezig is tussen de verblijftijd op airside en de blootstelling aan UFP. Dit houdt tevens in dat een schatting van de blootstelling voor de niet bemeten SEGs op basis van de verblijftijd op airside alleen resulteert in grove indicatie met een grote onzekerheidsmarge. Wanneer voor de niet bemeten groepen meer details bekend worden over de specifieke locaties, verblijftijden en omstandigheden op airside is een meer nauwkeurige indicatie mogelijk.

4.1.5.2 Blootstellingsindicatie op basis van activiteiten, locaties en verblijftijden

Zoals blijkt uit de voorgaande paragraaf, is de verblijftijd op airside niet de enige factor die van belang is om de blootstelling voor de overige, niet bemeten SEGs in te schatten. Door de

blootstelling bij bepaalde activiteiten en locaties te bepalen, kan per niet bemeten SEG een blootstellingsprofiel worden opgesteld op basis van de activiteiten en verblijfslocaties van de medewerkers binnen deze SEG. Aan de hand van de blootstellingsmetingen bij de vijf SEGs en de contextsensoren is het mogelijk om de UFP blootstelling op verschillende locaties en bij verschillende activiteiten en omstandigheden in te schatten. In paragraaf 4.1.4.7 is dit voor de belangrijkste locaties al gedaan, maar daarbij is enkel uitgegaan van de contextsensoren. De waarden in Tabel 4.11 geven de gemiddelden op basis van zowel de contextsensoren als de observaties.

Tabel 4.11: Gemiddelde UFP concentraties en standaarddeviatie op diverse locaties op Rotterdam-The Hague Airport, op basis van de persoonlijke metingen van de vijf SEGs (AOO, Rampmedewerker, Bagagemedewerker, Buschauffeur en Grondstewardess) in combinatie met contextsensoren en observaties en de stationaire metingen.

Locatie		UFP Concentratie (# cm ⁻³) **	
		AM _{meting}	GM _{meting}
Airside	Algemeen ^{a4, b1-5}	89 000 ± 13 000	21 000 ± 2 000
	Te voet ^{b1-5}	117 000 ± 14 000	24 000 ± 2 000
	In auto ^{b1-5}	60 000 ± 6 000	15 000 ± 2 000
Platform	Algemeen ^{a1-3,5, b1-5}	115 000 ± 14 000	22 000 ± 2 000
	Algemeen ^{b6}	72 000 ± 47 000 *	18 000 ± 8 000 *
	Te voet ^{a1, b1-5}	137 000 ± 23 000	23 000 ± 4 000
	In auto ^{a1, b1-5}	75 000 ± 8 000	17 000 ± 2 000
	In ruim ^{a2, b2}	241 000 ± 156 000	43 000 ± 27 000
Landside	Algemeen ^{a4, b1-5}	21 000 ± 4 000	7 000 ± 1 000
Binnen	Bagagehal ^{a3, b1-5}	46 000 ± 10 000	23 000 ± 5 000
	Kantoor ^{a1-5, b1-5}	9 000 ± 1 000	5 000 ± 1 000
	Vertrekhal ^{a5, b1-5}	17 000 ± 6 000	6 000 ± 2 000

a=observaties, b=context, 1=AOO, 2=Rampmedewerker, 3=Bagagemedewerker, 4=Buschauffeur, 5=Grondstewardess, 6=Stationaire meetstation

* Het gemiddelde van het stationaire meetstation is hier gebaseerd op metingen tussen 06:00 en 00:00, op basis van alle dagen, dus ook niet-worst case dagen, zoals bij regen of zuidoostelijke wind (waarop geen persoonlijke metingen zijn uitgevoerd).

** De standaarddeviatie is gebaseerd op het verschil in concentratie op een specifieke locatie, bepaald voor de verschillende functiegroepen.

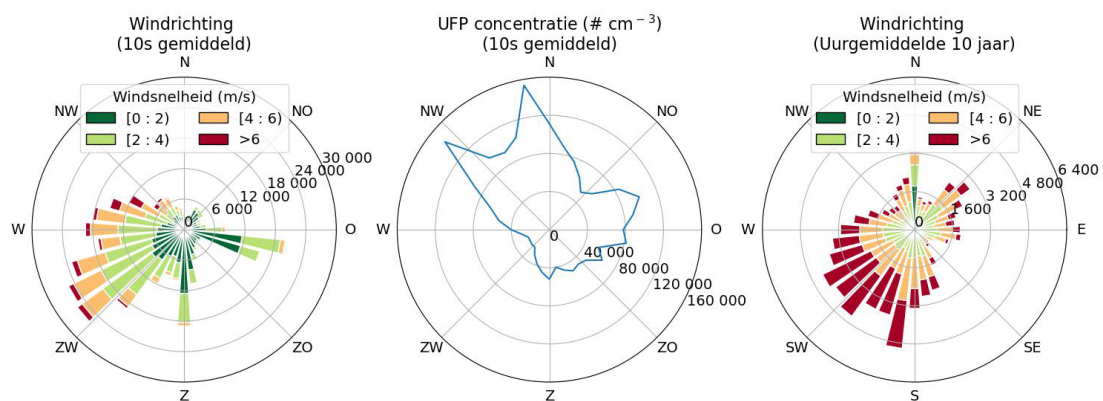
Wanneer een goede inschatting gemaakt kan worden van de activiteiten, omstandigheden en de verblijfslocaties en -tijden van de niet bemeten functiegroepen, is het mogelijk om op basis van de bovenstaande gegevens een indicatie te krijgen van de blootstelling. Omdat inzicht in activiteiten, locaties en verblijftijden voor de overige functiegroepen ontbreekt, kan op dit moment nog geen goede inschatting worden gemaakt van de blootstelling.

4.2 Stationaire metingen

De metingen op het stationaire meetstation zijn uitgevoerd met een EPC (deeltjesteller). Hiermee wordt het verloop van de UFP concentratie op het platform gemeten. Naast de deeltjestellingen heeft hier ook een weersstation gestaan, waaruit o.a. de windrichting wordt afgeleid. In de periode dat geen data is verzameld is voor de weersgegevens gebruik gemaakt van de KNMI weersdata uit Rotterdam, op circa 1,5 km afstand van het meetstation.

4.2.1 Meteorologische gegevens

In Figuur 4.9 is de windrichting tijdens de meetperiode (links) weergegeven (op basis van het de lokale windrichtingmetingen). Hieruit blijkt dat de wind tijdens de meetperiode het meest uit het zuidwesten kwam. Dit komt overeen met de 10-jaarsgemiddelde windrichting (rechterfiguur) in Rotterdam (op basis van KNMI gegevens). Uit de middelste figuur blijkt dat de hoogste concentraties optreden bij wind uit noord tot noordwestelijke richting. Dit is volgens de verwachting, gezien wind vanuit deze richting zorgt dat emissies van het platform en de start-/landingsbaan richting de meetopstelling worden geblazen.



Figuur 4.9 Meteogegevens tijdens de meetperiode op RTHA van 18 juli t/m 13 september 2023. Links is de algemene windrichting en snelheid weergegeven, waarbij de kleuren de windsnelheid weergeven, en op de radiale as het aantal metingen waarbij deze windrichting is opgetreden. De middelste figuur geeft de gemiddelde (rekenkundig) UFP concentratie weer bij de verschillende windrichtingen (in $\# \text{ cm}^{-3}$). De rechterfiguur geeft ter vergelijking de 10-jaarlijkse daggemiddelde windrichting en -snelheid in Rotterdam op basis van KNMI weergegevens.

Uitleg windroos: Een windroos geeft aan waar de wind vandaan kwam, en hoe vaak dit is voorgekomen. In Figuur 4.1 (links) zijn de staafdiagrammen het hoogst bij NE (noordoost). Dit betekent dat de wind het meest uit noordoostelijke hoek is gekomen tijdens de meetperiode. De kleuren geven de windsnelheid aan, waaruit kan worden opgemaakt dat de meeste wind tussen de 0 en 4 m s^{-1} is geweest tijdens de meetperiode. In Figuur 4.1 (midden) wordt de gemiddelde UFP concentratie weergegeven in windroosformaat. Hier geeft de radiale as aan wat de gemiddelde UFP concentratie was bij wind uit een bepaalde richting. Uit de figuur blijkt dat de hoogste gemiddelde UFP concentratie is opgetreden bij wind uit het noordnoordwesten.

De gemiddelde UFP concentratie over de gehele meetperiode was $54\,000 \# \text{ cm}^{-3}$, met 8-uurs gemiddelde waarden tussen de $3\,000$ en $397\,000 \# \text{ cm}^{-3}$. De gemiddelde concentraties per windrichting zijn weergegeven in Tabel 4.12. Hieruit blijkt dat de (rekenkundig) gemiddelde concentratie bij wind uit het zuidwesten ruim 2x lager is dan wind uit het noordoosten en noordwesten. Voor het 90^e percentiel is de concentratie zelfs 3x lager bij wind uit zuidwestelijke richting. Dit is volgens de verwachting, gezien wind uit het zuidwesten zorgt dat de emissies van het platform, de taxibaan en de start- en landingsbaan niet richting de meetlocatie worden geblazen, terwijl dit bij wind uit het noordoosten en noordwesten wel het geval is. Bij wind uit het zuidoosten wordt ook een lagere (rekenkundig) gemiddelde concentratie gemeten dan bij wind uit het noordoosten en noordwesten. Aangezien er nog VOPs ten zuidoosten liggen van de meetopstelling, is het aannemelijk dat de emissies van vliegtuigen op deze VOPs nog wel gemeten worden, maar dat emissies van de taxibaan en de start-/landingsbaan niet worden gemeten. Hiernaast bevinden zich meer VOPs ten noorden

van de meetlocatie dan ten zuiden, wat ook maakt dat een hogere concentratie verwacht wordt bij wind uit het noordoosten en noordwesten dan bij wind uit het zuidoosten.

Tabel 4.12 UFP concentraties bij de verschillende windkwadranten, gebaseerd op 10s gemiddelden.

Wind- kwadrant	Aantal metingen	Reken- kundig gemiddelde (AM) (# cm ⁻³)	Standaard- afwijking (# cm ⁻³)	Geometrisch gemiddelde (GM) (# cm ⁻³)	10 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Mediaan (# cm ⁻³)	90 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Maximum (# cm ⁻³)
Noord- oost	38 000	77 000	386 000	16 000	4 000	12 000	88 000	11 137 000
Noord- west	89 000	82 000	477 000	13 000	3 000	10 000	98 000	16 362 000
Zuidoost	84 000	57 000	274 000	16 000	6 000	12 000	44 000	14 324 000
Zuidwest	176 000	33 000	217 000	13 000	6 000	12 000	33 000	13 174 000

De gevonden concentraties kunnen worden vergeleken met de UFP concentraties gevonden in het onderzoek naar de UFP concentraties op het platform van RTHA in 2022 (de Bruin-Hoegée et al., 2022). Hieruit blijkt dat de (rekenkundig) gemiddelde UFP concentratie in de huidige meetperiode circa 43% lager is dan in 2022. Voor het 90^e percentiel geldt zelfs dat de huidige concentratie circa 60% lager is dan in 2022. Dit verschil wordt niet veroorzaakt door het aantal vliegbewegingen, gezien dit in de beide periodes gelijk was. Het verschil wordt grotendeels veroorzaakt door andere meteorologische omstandigheden. Zo is de windrichting in de huidige periode grotendeels zuidwestelijk geweest, terwijl deze in 2022 grotendeels noordwestelijk is geweest. Hiernaast is in de huidige meetperiode aanzienlijk meer (ruim 8,5x meer) neerslag gevallen, wat ook bijdraagt aan de lagere gemiddelde concentratie. Tenslotte zijn de meetlocaties niet één op één vergelijkbaar, aangezien de stationaire meetstations in het vorige onderzoek op andere plaatsen op het platform hebben gestaan. Verdere uitwerking van de stationaire meetdata is te vinden in Bijlage C.

5 Conclusies

In de periode van 18 juli t/m 14 september is door TNO onderzoek gedaan naar de persoonlijke blootstelling aan UFP van medewerkers uit vijf geselecteerde functiegroepen werkzaam op Rotterdam-The Hague Airport (RTHA). Dit onderzoek is een vervolg op het onderzoek naar de stationaire UFP concentraties op het platform van RTHA dat in 2022 is uitgevoerd, waar hogere UFP concentraties op het platform zijn gemeten dan de voorlopige nano-referentiewaarde. Door gebruik te maken van (1) een uitgebreide inventarisatie van de blootstellingsprofielen van functiegroepen, (2) UFP- en contextsensoren bij de persoonlijke metingen en (3) een stationair meetstation op het platform is een nauwkeurig en gedetailleerd inzicht verkregen in de blootstelling van medewerkers uit 5 functiegroepen op RTHA.

Uit het eerdere onderzoek op RTHA bleek dat de UFP concentratie op het platform afhankelijk is van de weersomstandigheden, en bij zuidwestelijke wind lager was dan bij de overige windrichtingen. In het huidige onderzoek naar persoonlijke blootstelling is hiermee rekening gehouden door geen persoonlijke metingen uit te voeren bij neerslag en bij wind uit het zuidwesten, om de weersomstandigheden zoveel mogelijk worst-case te houden. De gemiddelde UFP concentratie op het platform over de gehele meetperiode lag 43% lager ($54\,000 \text{ # cm}^{-3}$) dan in 2022 (tussen de $89\,000$ en $94\,000 \text{ # cm}^{-3}$). Deze lagere concentratie wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de veranderde weersomstandigheden (meer regen en voornamelijk zuidwestelijke wind, in plaats van noordwestelijk) dan in 2022. De UFP concentratie op het stationaire meetstation was tijdens dagen waarop de persoonlijke metingen zijn uitgevoerd hoger, en wél vergelijkbaar met de gemiddelde niveaus uit 2022.

In analogie met de NEN-EN 689 zijn de daggemiddelde UFP blootstellingen (8-uurs TGG) per functiegroep als blootstellingsgroep (Similar Exposure Group, SEG) afgezet tegen de nano-referentiewaarden (NRW) van $40\,000$ en (verhoogd met de achtergrondconcentratie) $50\,000 \text{ # cm}^{-3}$. Omdat er (nog) geen gezondheidskundig onderbouwde publieke of private grenswaarde voorhanden is voor UFP, is de NRW gebruikt. De resultaten zijn in onderstaand overzicht gegeven. De waarde tussen haakjes geeft de minimale en maximale daggemiddelde UFP blootstelling weer per SEG.

Blootstellingsgroep (SEG)	Daggemiddelde blootstelling (# cm^{-3}) ¹⁾	Vergelijking met de nano referentiewaarde conform NEN-EN 689	
		$40\,000 \text{ # cm}^{-3}$	$50\,000 \text{ # cm}^{-3}$
Airport Operations Officer	$39\,000$ ²⁾ ($15\,000 - 67\,000$)	Voldoet niet	Voldoet niet
Rampmedewerker	$105\,000$ ($63\,000 - 167\,000$)	Voldoet niet	Voldoet niet
Bagagemedewerker	$51\,000$ ($26\,000 - 110\,000$)	Voldoet niet	Voldoet niet
Buschauffeur	$40\,000$ ²⁾ ($21\,000 - 64\,000$)	Voldoet niet	Voldoet niet
Grondstewardess	$29\,000$ ²⁾ ($11\,000 - 56\,000$)	Voldoet niet	Voldoet niet

- 1) Gebaseerd op rekenkundig gemiddelde blootstellingen.
- 2) Het is mogelijk dat de gemiddelde blootstelling lager is dan de NRW, maar dat toch niet wordt voldaan aan de NRW; dit wordt veroorzaakt door de spreiding binnen de metingen, waardoor niet aan de benodigde zekerheid van 70% uit de NEN-EN 689 kan worden voldaan.

Voor géén van de bemeten SEGs kan met voldoende zekerheid worden gesteld dat de blootstelling lager is dan de voorlopige nano-referentiewaarde. Omdat de NRW niet gezondheidskundig is onderbouwd betekent dit niet per se dat er dus een gezondheidsrisico bestaat voor de medewerkers van Rotterdam-The Hague Airport, maar wel dat een reductie van de blootstelling nagestreefd moet worden; hierbij wordt geadviseerd het ALARA-principe (As Low As Reasonably Achievable) te volgen.

Op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP- en contextsensoren in combinatie met observaties worden de volgende conclusies getrokken in relatie tot omstandigheden, activiteiten en locaties:

- De blootstelling wordt voor het grootste deel bepaald door het verblijf buiten op airside. De UFP concentratie op airside varieert sterk; de uiteindelijke blootstelling is afhankelijk van de locatie, de verblijftijd en het tijdstip op airside. Hierbij speelt de heersende windrichting ook een rol; benedenwinds van emissiebronnen worden hogere concentraties gemeten dan bovenwinds. Op het platform is de concentratie het hoogst; de gemiddeld gemeten blootstelling op het platform bedraagt $115\,000 \text{ \# cm}^{-3}$, en de gemiddelde blootstelling op heel airside bedraagt $89\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. De gemiddelde blootstelling op airside zonder het platform bedraagt $57\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. Werknemers die zich in een voertuig bevinden worden lager blootgesteld aan UFP dan werknemers te voet (maximaal een factor 2 lager), maar openstaande ramen en deuren kunnen dit effect verminderen.
- Taxiënde vliegtuigen zijn een belangrijke bron van blootstelling op het platform. Bij alle medewerkers is bij taxiënde vliegtuigen een toename te zien in de UFP blootstelling ten opzichte van de gemiddelde blootstelling op het platform. Dit is echter afhankelijk van de locatie van de werknemer en de activiteiten die worden uitgevoerd, en verschilt sterk tussen de functiegroepen. Voor de 'Grondstewardess' is de gemiddelde verhoging ca. 1,5 keer en voor de 'Rampmedewerker', 'Bagagemedewerker', 'Airport Operations Officer' en 'Buschauffeur' ca. 2 keer.
- Tijdens gebruik van de APU is soms ook een verhoging in UFP blootstelling te zien. De toename in de blootstelling is afhankelijk van de locatie van de werknemer ten opzichte van APU (afstand, boven- of benedenwinds). Voor de 'Bagagemedewerker' en 'Grondstewardess' is de gemiddelde verhoging in UFP blootstelling het duidelijkst zichtbaar (ca. factor 2).
- De UFP blootstelling in het ruim van het vliegtuig ligt circa 2 keer hoger ($241\,000 \text{ \# cm}^{-3}$) dan de gemiddelde UFP blootstelling op het platform. Deze verhoging wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het ophopen van UFP in het bagageruim door de beperkte ventilatie.
- De gemeten UFP blootstelling in de binnenruimten is variabel. In de kantoorruimte (ruimte waar medewerkers van Aviapartner veelal pauzeren) treedt de laagste blootstelling aan UFP op ($9\,000 \text{ \# cm}^{-3}$), terwijl de blootstelling in de vertrekhal bijna 2 keer hoger lag ($17\,000 \text{ \# cm}^{-3}$), en in de bagagehal zelfs 5 keer hoger ($46\,000 \text{ \# cm}^{-3}$). De hogere blootstelling in de vertrekhal wordt veroorzaakt doordat de gates richting het platform regelmatig open staan, waardoor UFP emissies van het platform naar binnen kunnen treden. De hogere blootstelling in de bagagehal wordt veroorzaakt doordat de bagagehal zich dichtbij het platform bevindt, en roldeuren van de bagagehal bij mooie weersomstandigheden open staan waardoor de bagagehal continue in verbinding staat met de buitenlucht. Emissies afkomstig van het platform zullen zich hierdoor, afhankelijk van de windrichting, verspreiden tot in de bagagehal.

- De blootstelling op RTHA is erg variabel in de tijd, en dit hangt samen met de bezetting van de VOPs op het platform. In de ochtend (rond 07:00) staan veel van de VOPs vol, en vertrekken veel vliegtuigen tegelijkertijd. Hierdoor is de blootstelling om 07:00 hoger dan op andere momenten van de dag.

De belangrijkste oorzaken van blootstelling aan UFP op RTHA kunnen verklaard worden door de uitgevoerde metingen. De blootstelling blijkt samen te hangen met de verblijftijd en het tijdstip van verblijf op het platform, en de activiteiten die daar worden uitgevoerd. Eveneens blijkt dat UFP emissies van het platform zich veelal kunnen verspreiden naar binnenruimten vanwege openstaande deuren. Hierdoor is voor alle bemeten functiegroepen gebleken dat er een risico is dat de UFP blootstelling hoger ligt dan de waarden beschreven in de nano-referentiewaarden, en voor sommige groepen is dit met zekerheid aangetoond.

6 Aanbevelingen

6.1 Beheersing van de blootstelling

Voor de bemeten SEGs ‘Airport Operations Officer’, ‘Rampmedewerker’, ‘Bagagemedewerker’, ‘Buschauffeur’ en ‘Grondstewardess’ is de blootstelling hoger dan de voorlopige nano-referentiewaarde, en zijn met prioriteit maatregelen noodzakelijk om de blootstelling terug te dringen. Omdat de NRW niet gezondheidskundig onderbouwd is, is er geen niveau aan te geven tot waar de blootstelling moet worden teruggedrongen en geldt het ALARA principe. Dit betekent dat gestreefd moet worden naar zo laag mogelijke blootstelling.

Bij het treffen van maatregelen moet de werkgever rekening houden met de arbeidshygiënische strategie, waarin wordt gesteld dat maatregelen zo dicht mogelijk bij de bron genomen moeten worden. Als dit niet haalbaar is, kunnen maatregelen uit het volgende niveau overwogen worden.

1. Bronmaatregelen

- Elektrificatie van materieel
 - Dieselaangedreven GPU’s vervangen voor een elektrische variant of vaste stroomaansluiting op de VOPs.
 - Diesel/benzine-aangedreven voertuigen (tankwagens, toiletwagens, lift) vervangen voor elektrische voertuigen.
- Gebruik van brandstoffen met lagere emissie
 - Uit eerste onderzoeken blijkt dat gebruik van SAF kan leiden tot lagere (ultra)fijnstofemissies. Om dit te bevestigen is meer onderzoek noodzakelijk.
- Vlootvernieuwing
 - Vervangen van oudere vliegtuigen met nieuwe, zuinigere modellen.

2. Technische en organisatorische maatregelen

- Minder gebruik van vliegtuigmotoren op het platform
 - Ter verlaging van de blootstelling zouden de vliegtuigmotoren zo ver mogelijk en benedenwinds van locaties waar mensen zich bevinden (met name het platform) opgestart moeten worden, zodat grondpersoneel minder wordt belast met de UFP emissies van de vliegtuigen. Dit kan worden bewerkstelligd door de vliegtuigen vanaf het platform elektrisch weg te slepen en door elektrisch te taxiën. In RTHA wordt (nog) geen gebruik gemaakt van pushback voertuigen. Door gebruik te maken van (elektrische) pushback voertuigen en de vliegtuigmotoren pas later (niet op het platform) op te starten, vindt de UFP emissie op grotere afstand van werknemers plaats.
 - Op RTHA vertrekken veel vliegtuigen rond 07:00. Omdat veel vliegtuigen in deze periode taxiën en de vliegtuigmotoren op het platform aan hebben staan, zijn er relatief veel medewerkers op het platform aanwezig die worden blootgesteld aan verhoogde UFP concentraties, en bestaat er een hoge kans dat medewerkers zich in de uitlaat van de straalmotoren bevinden. Door het aantal vertrekkende vliegtuigen te verspreiden over een langere periode, zijn er minder mensen tegelijkertijd op het platform aanwezig.
- Minder gebruik van de APU
 - Eén van de redenen om een APU te gebruiken, is het opstarten van de airconditioning van het vliegtuig omdat de temperatuur in de cabine te hoog of laag wordt. Het

installeren en gebruiken van preconditioned air (PCA) units kan daarmee bijdragen aan het terugdringen van APU-gebruik.

- Filteren binnenlucht en zoveel mogelijk sluiten van deuren en ramen
 - In de bagagehal en vertrekhal zijn relatief hoge UFP concentraties aangetroffen. Door de installatie van (of verbetering van bestaande) luchtbehandelingssystemen met geschikte (ultrafijnstof)filters kan de UFP concentratie in deze binnenruimten verder omlaag worden gebracht. Ook voor voertuigen op airside kunnen filtersystemen worden ingebouwd om de UFP concentratie te verminderen.
 - De meeste voertuigen die gebruikt worden op RTHA zijn open, of hebben ramen die vaak open staan. Gesloten ramen zullen een deel van de blootstelling verminderen wanneer de medewerkers zich in een voertuig bevinden.
 - Het gesloten houden van de roldeuren in de bagagehal, en zo kort mogelijk openen van de gates in de vertrekhal kan helpen om de blootstelling hier te verlagen. In verband met het ontwerp van de vertrekhal en bagagehal is het echter niet mogelijk om de deuren altijd gesloten te houden. Het gebruik van sluisdeuren zou hier uitkomst kunnen bieden.
 - Cabines van voertuigen en binnenruimten sluiten (geen open ramen/deuren) en van schone lucht (HEPA filter) onder lichte overdruk voorzien
- Aanpassen indeling platform
 - Op RTHA staan de vliegtuigen met de neus richting het noorden opgesteld op de VOPs. Hierdoor zijn de emissies van de vliegtuigen veelal naar het zuiden, in de richting van bebouwing (o.a. de vertrekhal). Het is waarschijnlijk dat door de bebouwing dicht op de platforms lucht met verhoogde UFP concentraties zich ophopen. Hierdoor worden functiegroepen in en rondom de vertrekhal meer blootgesteld aan de UFP emissie van de vliegtuigen. Door de vliegtuigen met de neus naar het zuiden te oriënteren zijn deze emissies richting de landingsbaan, waar minder obstructies zijn met als gevolg een betere verspreiding en snellere verdunning van UFP emissies. Dit kan een positief effect hebben op de blootstelling van medewerkers in en rondom de vertrekhal, maar het effect op concentraties in en rondom de bagagehal is onduidelijk.

3. Individuele organisatorische maatregelen

- Anders inrichten van werktijden/activiteiten
 - De medewerkers binnen de SEG ‘Rampmedewerker’ staan tijdens het weg taxiën van vliegtuigen direct in de uitlaat van de vliegtuigmotoren. Door deze medewerkers aan te sturen op een andere plaats te staan tijdens het taxiën, kan de blootstelling worden teruggebracht.
 - Door de werkzaamheden van functiegroepen die regelmatig op het platform zijn anders in te delen, is het mogelijk om de blootstelling te reduceren. Dit effect is het grootste als minder werknemers op en rondom het platform zijn ten tijde van taxiënde vliegtuigen.

4. Persoonlijke beschermingsmiddelen

- Het dragen van adembescherming met ultrafijnstoffilter
 - Op het platform is de blootstelling het hoogst. Verschillende functiegroepen, waaronder de ‘Airport Operations Officer’ en ‘Rampmedewerker’ moeten hier bij het uitvoeren van hun taken gedurende langere tijd zijn. Indien geen van de bovengenoemde maatregelen mogelijk zijn, dan kan het dragen van adembeschermingsmiddelen voorzien van een (ultra)fijnstoffilter met de juiste beschermingsfactor voor specifieke taken op specifieke locaties de blootstelling aanzienlijk omlaag brengen. Uit effectiviteits- en comfortoverwegingen lijken motoraangedreven adembeschermingsmiddelen de voorkeur te hebben. Om dit te bevestigen is nog aanvullend onderzoek nodig.

6.2 Blootstelling overige functiegroepen

De blootstelling is afhankelijk van de verblijftijd en -plaats van de werknemers op RTHA. Op basis van de bemeten functiegroepen, en de gevonden blootstellingsconcentraties op de verschillende locaties verspreid over RTHA, wordt geschat dat de meeste functiegroepen risico lopen op een blootstelling die hoger ligt dan de nano-referentiewaarde. Een deel van de in 6.1 voorgestelde maatregelen zal ook een positief effect hebben op de blootstelling van de overige, niet-bemeten functiegroepen. Hoe hoger de maatregel in de hiërarchie (hierboven genummerd van 1 t/m 4), hoe groter het effect op de blootstelling.

Om een betere inschatting te kunnen maken van de blootstelling van de overige functiegroepen is inzicht nodig in activiteiten, locaties en verblijftijden op RTHA. Deze verblijftijden en verblijfolocaties zijn nog onvoldoende bekend. Ook blijkt dat de verblijftijden van de ingevulde vragenlijsten niet altijd overeenkomen met de verblijftijden in de praktijk. Voor een betere inschatting wordt daarom aangeraden om aanvullend onderzoek uit te voeren naar de verblijftijden en -locaties van de overige functiegroepen. Door per functiegroep enkele medewerkers uit te rusten met een GPS-sensor is het mogelijk om de beweegpatronen van functiegroepen in te schatten. Door aanvullende blootstellingsmetingen uit te voeren op locaties waar nog geen of een beperkt aantal metingen zijn uitgevoerd (bijvoorbeeld in de vliegtuigcabines en poort 19) is het mogelijk om op basis van de beweegpatronen een nauwkeurigere inschatting te maken van de blootstelling van de overige functiegroepen.

7 Referenties

- Asscher, L.F. (2012, 11 december). SER advies nanoreferentiewaarden [Kamerbrief]. Geraadpleegd van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-archief-54a83741-83f6-406c-805f-0895e6106785/pdf>.
- Bouma, F., Janssen, N. A., Wesseling, J., van Ratingen, S., Strak, M., Kerckhoffs, J., Gehring, U., Hendricx, W., de Hoogh, K., Vermeulen, R., & Hoek, G. (2023). Long-term exposure to ultrafine particles and natural and cause-specific mortality. *Environment International*, 175, 107960. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.107960>
- de Bruin-Hoegée, G. J., Esveld, J. C., Moerman, M. M., Lollinga, J. P., van Doorn, L. B., van Dinther, D., Tromp, P. C., & Korstanje, T. J. (2022). *Concentraties ultrafijnstof op het platform van Rotterdam-The Hague Airport* (No. R11315).
- Dekkers, S., & de Heer, C. (2010). *Tijdelijke nano-referentiewaarden, Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden* (601044001/2010). <https://doi.org/RIVM-Report-601044001/2010>
- Esveld, J. C., le Feber, M., Tromp, P. C. (2024). *Onderzoek naar blootstelling aan ultrafijnstof op Eindhoven Airport* (No. R11648).
- Gezondheidsraad. (2021). *Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht* (2021/38-A1).
- Janssen, N. A. H., Houthuijs, D., & Dusseldorp, A. (2022). Gezondheidseffecten van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol. Integraal rapport. In *Health effects of ultrafine particles from air traffic around Schiphol* (No. 2022-0069). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2022-0069>
- Keuken, M. P., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, J. S., & Hoek, G. (2015). Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands). *Atmospheric Environment*, 104, 132–142.
- Kwon, H.-S., Ryu, M. H., & Carlsten, C. (2020). Ultrafine particles: unique physicochemical properties relevant to health and disease. *Experimental & Molecular Medicine*, 52(3), 318–328.
- Stacey, B. (2019). Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmospheric Environment*, 198, 463–477. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.041>
- Tromp, P. C., van Dinther, D., de Bie, S. E., Duyzer, J., Lollinga, J. P., Moerman, M. M., & Henke, S. J. (2021). *Verkennd onderzoek ultrafijnstof op het Schiphol terrein met behulp van mobiele metingen* (No. R11745). TNO.
- van Dinther, D., Blom, M. J., van den Bulk, W. C. M., Kos, G. P. A., & Voogt, M. (2019). *Metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes rond Schiphol gedurende ruim een jaar*.
- van Dinther, D., Moerman, M. M., Lollinga, J. P., van Doorn, L. B., & Korstanje, T. J. (2022). *Concentraties ultrafijnstof op het platform van Eindhoven Airport* (No. R11315).
- Vu, T. V., Delgado-Saborit, J. M., & Harrison, R. M. (2015). Review: Particle number size distributions from seven major sources and implications for source apportionment studies. *Atmospheric Environment*, 122, 114–132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.09.027>
- Wander, S., & Verbist, K. (2016). De blootstelling van Rijkswaterstaat-weginspecteurs aan het ultrafijn stof door het werken op en langs de snelweg. *Tijdschrift Voor Toegepaste Arbowedenschap*, 29(2), 47–54.
- Westerdahl, D., Fruin, S. A., Fine, P. L., & Sioutas, C. (2008). The Los Angeles International Airport as a source of ultrafine particles and other pollutants to nearby communities. *Atmospheric Environment*, 42(13), 3143–3155. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.006>

8 Ondertekening

Utrecht, 12 maart 2024

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

J.C. Esveld MSc.
Auteur

Bijlage A: Inventarisatie functiegroepen

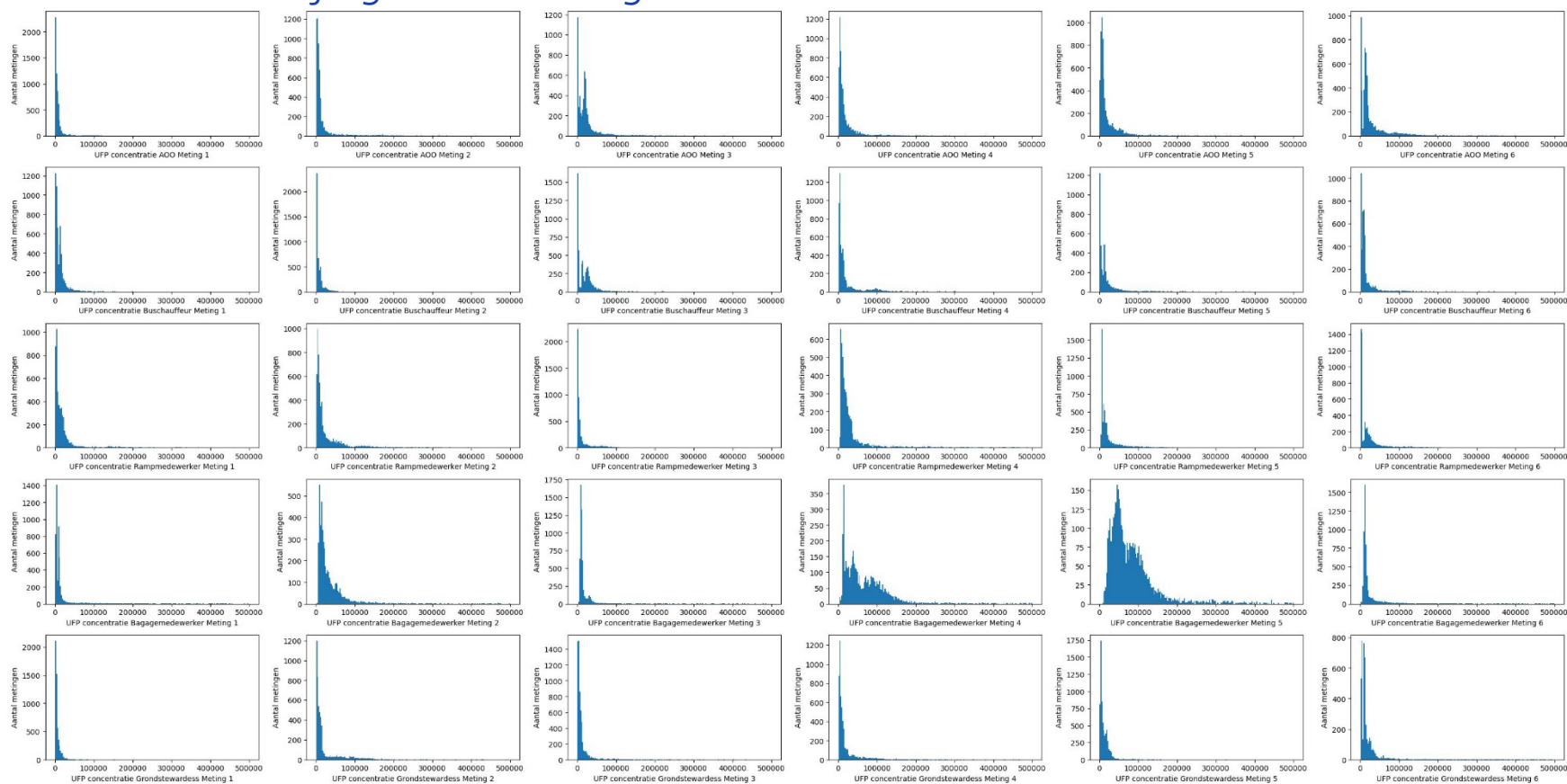
Algemene informatie per functiegroep																					
Nr.	Bedrijf		Functiegroep Graag invullen voor alle functiegroepen die voor het bedrijf relevant zijn!		Aantal werknemers in functiegroep (dus: Hoeveel werknemers in dienst met deze functiegroep?)		Aantal diensten / shifts per dag (dus: Hoe vaak vindt een ploegenwissel plaats per dag?)		Aantal werknemers aanwezig op luchthaven per dienst / shift		Duur werkdag / dienst van werknemers (inclusief downtime zoals lunch) (in uren)		Duur downtime per werkdag / dienst van werknemers (bijv. pauzes, wachten op werk) (in uren)		Beschrijving van een representatieve werkdag per functiegroep						
	Kies uit de mogelijkheden	Indien anders:	Kies uit de mogelijkheden	Indien anders:	gemiddeld	min-max	gemiddeld	min-max	gemiddeld	min-max	gemiddeld	min-max	gemiddeld	min-max	Kantine	Typische verdeling van taken over werkdag / dienst	Locatie waar de taken (hoofdzakelijk) worden uitgevoerd	% van werkdag / dienst buiten op platform aan het werk	Mogelijke variatie per werkdag / dienst m.b.t. uitvoering taken (bijv. overdag versus avond/nacht)	Overige informatie	
Voorbeeld	Aviাপথর		Rampmedewerker		15	10-25	3	2-5	10	8-15	Ookend 12, Middag 15, Avond 8	8	3-10	1	0-2	Kantine	Baggage uit vliegtuig halen, bagage inladen in vliegtuig...	Buiten, rondom vliegtuig	50%	2 ochtend meer bagage inladen, pas later in de ochtend meer arrivee...	...
1																					

Informatie over taken / werkzaamheden per functiegroep														
Regel	Functiegroep		Taak	Korte omschrijving taak	Aantal werknemers per dienst met dezelfde/vergelijkbare taak		Duur taak (in uren)		Aantal keer dat taak voorkomt op normale werkdag		Tijdsvak op de dag waarin taak wordt uitgevoerd	Locatie (LET OP: Vervolg vragen vanaf rij 43 afhankelijk van)	Persoonlijke bescherming middelen (bijv. gehoorbescherming, adembescherming, minig)	Is er sprake van fysieke inspanning
	Kies uit de mogelijkheden	Indien anders:			Gemiddeld	min-max	Gemiddeld	min-max	Gemiddeld	min-max				
Voorbeeld	Rampmedewerker		Baggage afhandelen	ophalen bagage, rijden naar vliegtuig, inladen van bagage uit vliegtuig, rijden naar bagagehal, afgeven bagage	7	4-10	0,5	0,5-1	4	1-8	Alleen	Meerdere locaties, namelijk:	Binnen, buiten, in open voertuig	Zware inspanning
1														

Locatie-gerichte vragen indien taak buiten wordt uitgevoerd																			
Regel	Taak	% van de tijd buiten gedurende uitvoering taak	Afstand tot vliegtuig (in meters)		Zijde van vliegtuig		Aantal vliegtuigen dat op minder dan 50 meter passeert/stilstaat		Status vliegtuigmotor(en)	Afstand tot startbaan tijdens werkzaamheden (in meters)	Afstand tot taxibaan tijdens werkzaamheden (in meters)	Afstand tot overig (actief) verkeer op luchthaven zoals auto's ed.	Eigen vervoer tijdens werkzaamheden buiten op platform / terrein luchthaven						
			Gemiddeld	min-max	Kies uit de mogelijkheden	Indien anders:	gemiddeld	min-max					Kies uit de mogelijkheden	min-max	min-max	min-max	(bijv. in open of gesloten voertuig, te voet)	% van de tijd in voertuig tijdens uitvoering taak	voertuig (bijv. benzine, diesel, elektrisch)
Voorbeeld	Baggage afhandelen	50%	10	0-100	Afhankelijk		4	2-10	Wisselend	40-150	10-150	15-150	open	25%	diesel				
1																			

Locatiegerichte vragen indien taak binnen wordt uitgevoerd							
Regel	Taak	% van de tijd binnen in gebouw/vliegtuig gedurende uitvoering	Grootte ruimte Schatting oppervlakte en volume	Algemene beschrijving ruimte deuren/ramen etc. Is de ruimte verbonden met de buitenlucht?	Soort ventilatiesysteem in ruimte Kies uit de mogelijkheden	Mate van ventilatie in de ruimte Aantal luchtverversingen per uur	Zijn er verbrandingsmotoren aanwezig in de ruimte die aan staan? (denk aan auto in garage, vliegtuig in loods)
Voorbeeld	Baggage afhandelen	25%	500 m2, 2500 m3	Open hal voor baggagesortering, grote deur naar buiten open, verbonden met buitenlucht	Niet van toepassing	nvt	eigen voertuig (diesel)
1							

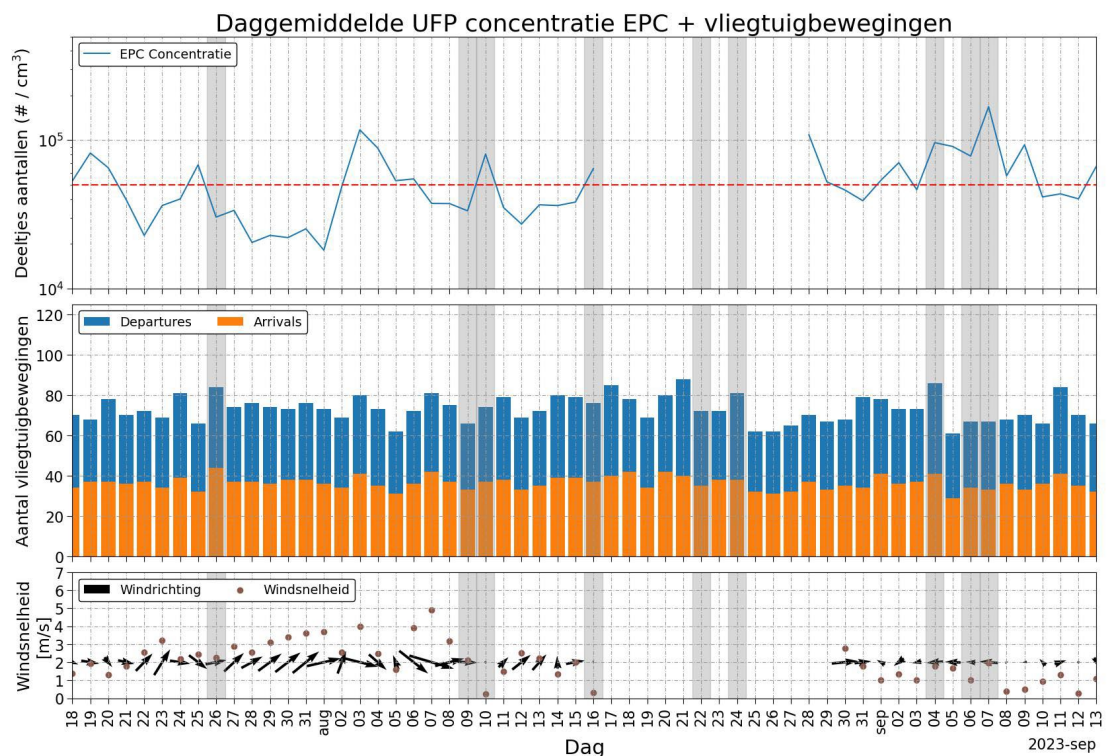
Bijlage B: Verdeling UFP meetdata



Figuur B.1 Verdeling persoonlijke blootstellingsmetingen

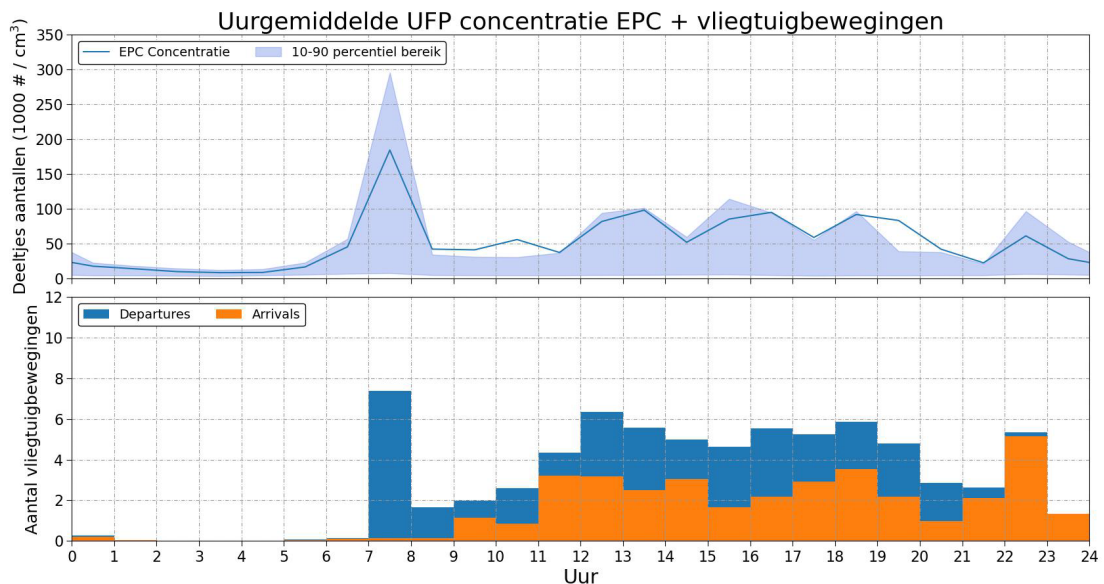
Bijlage C: Stationaire meetstation + operationele gegevens Rotterdam-The Hague Airport

De UFP concentratie op het platform is sterk afhankelijk van het aantal vliegbewegingen, in combinatie met de weersomstandigheden (vooral de windrichting). In Figuur C.1 is weergegeven wat de UFP concentratie was tijdens de meetdagen, met in grijs gearceerd op welke dagen de persoonlijke metingen zijn uitgevoerd, in de middelste figuur het aantal vliegbewegingen, en in de onderste figuur de windrichting. Hieruit is duidelijk te zien dat bij wind uit het zuidwesten (bijv. periode van 27 t/m 31 juli) de UFP concentratie lager was dan de overige meetdagen, terwijl het aantal vliegbewegingen wel vergelijkbaar was. Dit geeft duidelijk weer dat de meteorologische omstandigheden een grote invloed hebben op de gemeten UFP concentraties.



Figuur C.1 Daggemiddelde UFP-concentratie (boven) in combinatie met de operationele gegevens (midden) en de meteorologische omstandigheden (onder). De rode stippellijn geeft de daggemiddelde concentratiegrens van $50\,000\ \text{# cm}^{-3}$ weer. De periode van 17 t/m 27 augustus zijn geen stationaire metingen uitgevoerd vanwege een storing bij de apparatuur. De lichtgrijze arcering geeft aan op welke dagen persoonlijke blootstellingsmetingen hebben plaatsgevonden. In het onderste deel van de figuur is de windrichting en snelheid weergegeven. De windsnelheid is zowel als bruine punten weergegeven, als ook in de lengte van de pijl.

Niet alleen de totale som van het aantal vliegbewegingen is relevant, maar ook de verdeling op de dag kan van grote invloed zijn op de gemeten UFP concentraties. Een gelijk aantal vliegbewegingen verspreid over de gehele dag kan bijvoorbeeld een langdurig verhoogd gemiddelde veroorzaken, terwijl veel vliegbewegingen in een korte periode juist kan zorgen voor extreem hoge piekconcentraties. Figuur C.2 geeft de dagelijkse gang weer op RTHA.



Figuur C.2 Dagelijkse gang UFP concentratie en vliegtuigbewegingen. Het gearceerde blauwe deel in de bovenste grafiek geeft het 10^e percentiel tot het 90^e percentiel van de UFP concentratie weer.

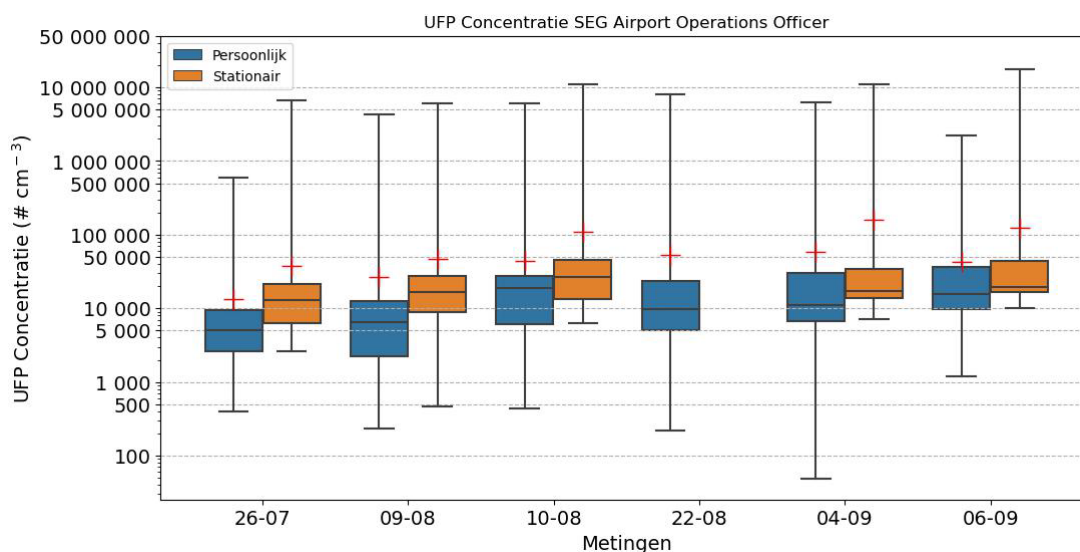
Uit de dagelijkse gang wordt duidelijk dat de hoogste concentraties gemeten worden tijdens de ochtendpiek om 7 uur. Hier vertrekken de meeste vliegtuigen die op het platform hebben overnacht in een korte periode, waarbij hoge UFP concentraties worden gemeten. De gemiddelde UFP concentratie over de gehele meetperiode was 54 000 # cm⁻³, met 8-uurs gemiddelde waarden tussen de 3 000 en 397 000 # cm⁻³. Dit is ca. 43% lager dan in voorgaand onderzoek, waar de gemiddelde UFP concentratie tussen de 89 000 en 94 000 # cm⁻³ lag (voor de twee gebruikte meetlocaties), en het 8-uurs lopende gemiddelde varieerde van 6 000 tot 483 000 # cm⁻³ (de Bruin-Hoegée et al., 2022). Het 90 percentiel bedraagt 49 000 # cm⁻³, en ligt ca. 60% lager dan in het onderzoek van vorig jaar, waar het 90 percentiel tussen 98 000 en 121 000 # cm⁻³ lag (de Bruin-Hoegée et al., 2022). Het aantal vliegbewegingen was in de huidige meetperiode vergelijkbaar met dat van vorig jaar, maar de meteorologische omstandigheden waren niet helemaal vergelijkbaar. Zo kwam bij het voorgaande onderzoek de wind het meeste uit het zuidwesten, terwijl dit in de vorige studie het meeste uit het noordwesten kwam. In het huidige onderzoek en het voorgaande onderzoek kwam de wind voor respectievelijk 46% en 31% uit het zuidwesten, 22% en 9% uit het zuidoosten, 22% en 50% uit het noordwesten, en beide keren 10% uit het noordoosten. Bij wind uit noordwestelijke richting worden UFP emissies vanaf de landingsbaan meer naar de meetlocaties geblazen dan bij wind uit zuidoostelijke richting, wat een verklaring kan zijn voor de lagere concentraties. Hiernaast was in het huidige onderzoek meer neerslag (in totaal 155 mm, tov. 18 mm vorig jaar), waardoor ook lagere concentraties zijn te verwachten. De gemiddelde temperatuur was in beide meetperioden nagenoeg gelijk, namelijk 18°C. Tenslotte stond de stationaire meetopstelling in het huidige onderzoek op een iets andere plek dan in het vorige onderzoek, wat ook een verklaring kan zijn voor de gevonden verschillen in de UFP concentratie.

Bijlage D: Variatie in blootstellingsconcentraties

In de figuren en beschrijving hieronder wordt per functiegroep de variantie (spreiding) van de gemeten blootstellingswaarden beschreven. De variantie per functiegroep is inzichtelijk gemaakt aan de hand van boxplots per persoonlijke meting (Figuren D.1 t/m D.5). De randen van de box geven de 25^e en 75^e percentielwaarden aan, de lijn in de box geeft de mediaan (middelste gemeten waarde) weer, het rode kruis in het midden het rekenkundig gemiddelde en de uiterste lijnen geven de maximale en minimale waarden weer. Per functiegroep (dus over zes persoonlijke metingen) is ook de variatiecoëfficiënt (coefficient of variation: COV) weergegeven. De COV geeft de verhouding tussen de standaarddeviatie en de gemiddelde blootstelling per functiegroep en is een maat voor de spreiding van individuele blootstellingswaarden binnen deze functiegroep. Hoe hoger de COV, hoe groter de spreiding rond de gemiddelde blootstelling.

Functiegroep 'Airport Operations Officer'

In Figuur D.1 is een boxplot weergegeven van de individuele meetresultaten binnen de functiegroep 'AOO'.



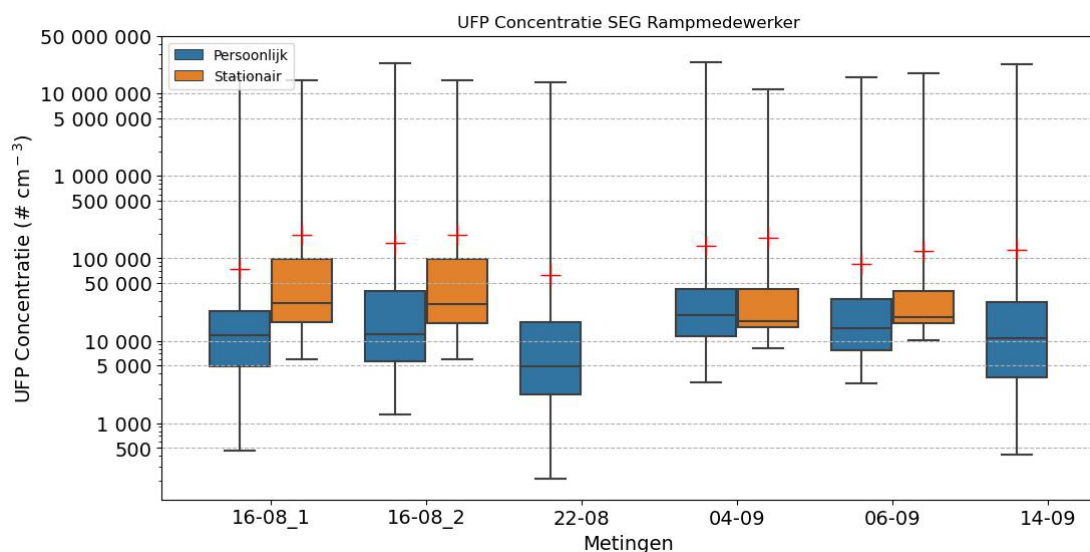
Figuur D.1 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep AOO (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje). Bij de 4^e meting zijn geen stationaire metingen beschikbaar.

Uit Figuur D.1 blijkt dat de mediaan en het 75^e percentiel van de blootstelling aan UFP voor de 'AOO' onder de 50 000 # cm⁻³ blijft. Het rekenkundig gemiddelde ligt echter wel boven de 50 000 # cm⁻³ bij twee van de zes metingen. De variatie tussen de metingen blijft beperkt (COV = 41%), en is vergelijkbaar met de variatie van de stationaire meetdata (COV=44%). De maxima liggen verder uit elkaar, zeker op dag 1, waar het maximum circa 10x lager ligt dan gemeten tijdens de overige dagen. Wanneer in detail wordt gekeken naar deze meting valt op dat de medewerker op deze dag aan minder pieken is blootgesteld gedurende de dag dan medewerkers uit dezelfde functiegroep op de andere meetdagen, en regelmatig binnen heeft gezeten. Ook bij twee van de andere bemeten SEGs op deze dag ('Bagagemedewerker' en 'Grondstewardess') was de blootstelling relatief laag. Het is daarom aannemelijk dat de lagere concentratie te maken heeft met lokale omstandigheden, en niet met een niet-homogene

SEG. De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke metingen zijn lager dan de stationaire metingen (circa 59% lager). Dit is volgens verwachting, aangezien de 'Airport Operations Officer' veel in de auto zit, en daarnaast ook af en toe in het kantoor aanwezig is. In Bijlage E, Figuur E.1 is te zien waar de 'Airport Operations Officer' zich het meest bevindt. Er is een goede correlatie tussen de persoonlijke en de stationaire daggemiddelde concentraties ($R^2 = 0.93$). De variatie binnen de metingen van de functiegroep 'Airport Operations Officer' blijft beperkt, en de metingen kunnen als representatief worden beschouwd voor de overige medewerkers binnen deze functiegroep.

Functiegroep 'Rampmedewerker'

Figuur D.2 geeft de boxplots van de persoonlijke meetresultaten van de functiegroep 'Rampmedewerker' weer.



Figuur D.2 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep Rampmedewerker (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje). Bij de 3^e meting zijn geen stationaire metingen beschikbaar.

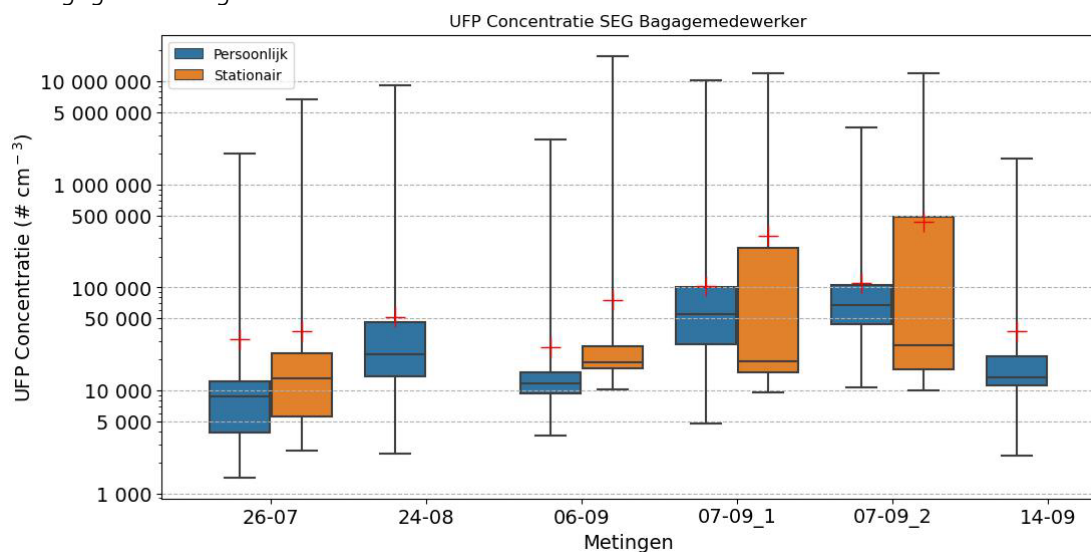
In Figuur D.2 is te zien dat de mediaan- en het 75 percentiel van de blootstelling aan UFP voor de 'Rampmedewerker' onder de 50 000 # cm⁻³ blijft, net als bij de SEG 'AOO'. De variatie van de persoonlijke metingen binnen deze functiegroep bedraagt 41%, en ligt hoger dan de variatie binnen de stationaire metingen (COV=18%). De variatie van de stationaire meetdata is gebaseerd op minder dagen, en wanneer de spreiding van alleen de dagen met zowel persoonlijke als stationaire metingen wordt gebruikt, dan is de variatie wel vergelijkbaarder (COV=35%). De daggemiddelde concentratie is circa 15-25% lager bij de persoonlijke metingen dan de stationaire metingen, met uitzondering van 1^e meting. Hier is de daggemiddelde blootstelling van de persoonlijke meting bijna 2x lager dan de stationaire meting op het platform, en ruim 2x lager dan meting 2, die op dezelfde dag is uitgevoerd. Uit de gps gegevens valt op te maken dat de medewerker van meting 1 in veel gevallen net op een punt staat waar de blootstelling lager is (dit is ook te zien bij de uitgewerkte contextsensordata uit Bijlage F, Figuur F.2). Dit kan veroorzaakt worden doordat de rampmedewerker verschillende rollen vervult, en dat de medewerker van meting 1 minder vaak rondom de uitlaat van hoofde te staan. Hiernaast kan ook persoonlijk gedrag een belangrijke rol spelen in de lagere blootstelling bij meting 1.

Opvallend is dat er nauwelijks een verband lijkt te zijn tussen de concentraties van de stationaire meetopstelling en de concentraties van de persoonlijke metingen ($R^2 = 0.14$) wanneer alle metingen worden meegenomen. Indien meting 1 niet wordt meegenomen blijkt

het verband echter wel sterk ($R^2=1.00$, gebaseerd op 3 datapunten). In algemene zin lijkt meting 1 af te wijken van de overige meetresultaten. Echter, op 2 van de 6 meetdagen ontbreekt een stationair meetresultaat, waardoor dit verband niet berust op genoeg datapunten om hier definitief uitspraak over te doen. Op basis van de observaties en de GPS data lijkt geen sprake van afwijkende werkzaamheden/taken, om te kunnen stellen dat de meting niet representatief is voor de functiegroep. De spreiding heeft naar alle waarschijnlijkheid te maken met persoonlijk gedrag. Dit is bij persoonlijke blootstellingsmetingen geen ongebruikelijke oorzaak van spreiding. Ondanks de spreiding kan daarom nog wel gesproken worden van een homogene SEG.

Functiegroep 'Bagagemedewerker'

De boxplots van de individuele meetresultaten van de SEG 'Bagagemedewerker' is weergegeven in Figuur D.3.



Figuur D.3 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep Bagagemedewerker (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje). Bij de 2^e en 6^e meting zijn geen stationaire metingen beschikbaar.

Uit Figuur D.3 valt op te maken dat de persoonlijke concentraties van de SEG 'Bagagemedewerker' bij meting 4 en meting 5 (7 september) hoger liggen dan op de overige meetdagen. De meetresultaten van het stationaire meetpunt laten tijdens meting 4 en meting 5 ook een grotere spreiding zien. De totale variatie van de persoonlijke metingen bedraagt 70%, en is vergelijkbaar met de variatie van het stationaire meetpunt (78%). De spreiding binnen de persoonlijke metingen loopt op naarmate de spreiding van de stationaire metingen toeneemt. De hoge variatie wordt vooral veroorzaakt door meting 4 en meting 5. Hier waren de UFP concentraties op het platform veel hoger dan op de rest van de dagen, en ook de spreiding was hier groter (te zien aan de brede box). Zowel het geometrisch gemiddelde (GM_{meting}) als het rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}) ligt circa 2-3x zo hoog als het gemiddelde op de overige meetdagen. Op deze twee meetdagen is in de middag gemeten (van circa 12:00 tot 18:30), terwijl op de overige dagen vooral in de ochtend is gemeten (circa 05:30 tot 12:30). In de middag is de UFP concentratie op het platform overwegend hoger (circa 15% hoger) dan in de ochtend. Daarnaast hebben de weersomstandigheden op die dag (o.a. oostenwind) ook bijgedragen aan een verhoging van de UFP concentratie op het platform. Verder kunnen afwijkende operationele omstandigheden zoals een hogere bezetting van de VOPS of het langer aanstaan van vliegtuigmotoren ook oorzaken zijn geweest voor de verhoogde UFP concentratie. Aangezien op de stationaire meetopstelling op het platform ook een hogere gemiddelde UFP concentratie is gemeten ten opzichte van

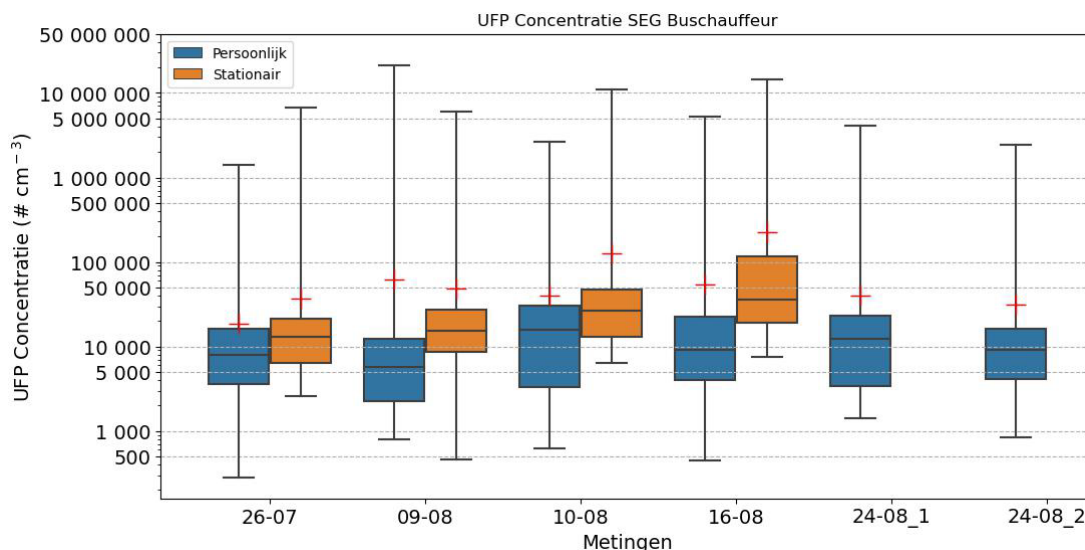
andere meetdagen, is het aannemelijk dat weers- en operationele omstandigheden de belangrijkste oorzaak zijn voor de hogere UFP blootstelling op 7 september.

De daggemiddelde persoonlijke concentraties van de SEG 'Bagagemedewerker' liggen circa 66% lager dan de daggemiddelde concentraties van het stationaire meetpunt. Dit is volgens de verwachting, aangezien de bagagemedewerkers zich niet direct bij de vliegtuigen bevinden, waardoor ze vooral worden blootgesteld aan verdunde concentraties. In Bijlage E, Figuur E.3 is te zien dat de bemeten bagagemedewerkers zich vooral in en rondom de bagagehal bevinden. Er blijkt een goede correlatie tussen de persoonlijke concentratie en de stationaire concentratie ($R^2 = 0.95$). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de bagagehal verbonden is met de buitenlucht, waardoor de concentratie in de bagagehal zal stijgen wanneer de concentratie op het platform stijgt.

Hoewel de spreiding binnen de functiegroep 'Bagagemedewerker' relatief hoog is, is deze vergelijkbaar met de spreiding op het stationaire meetpunt. Derhalve kan worden gesteld dat de spreiding naar alle waarschijnlijkheid voor een belangrijk gedeelte wordt veroorzaakt door lokale omstandigheden, en niet door afwijkende taken bij sommige metingen. Daarom kan toch worden gesproken van een homogene blootstellingsgroep.

Functiegroep 'Buschauffeur'

Figuur D.4 geeft de boxplots weer van de persoonlijke meetresultaten van de SEG 'Buschauffeur'.



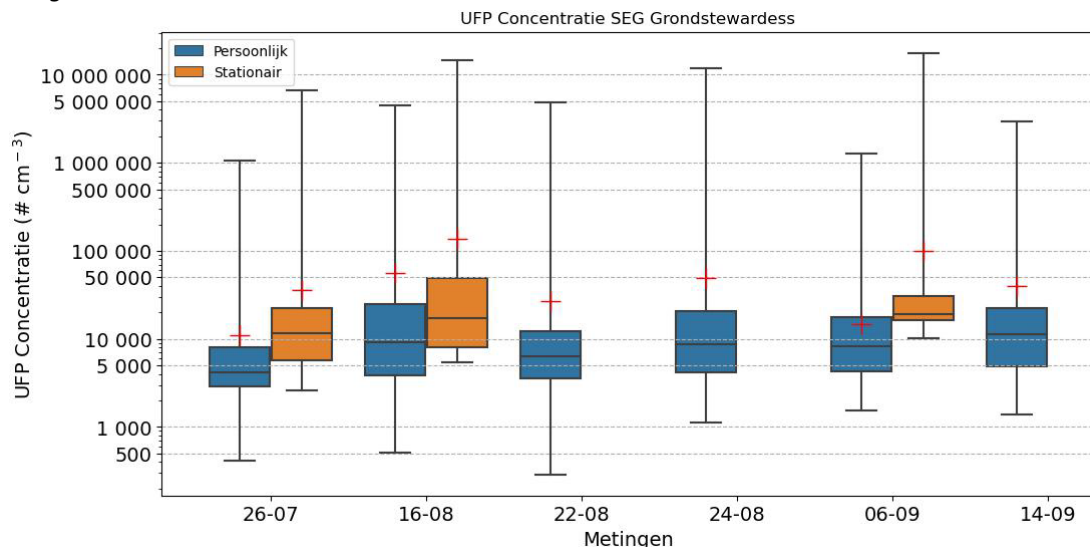
Figuur D.4 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep Buschauffeur (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje). Bij de 5^e en 6^e meting zijn geen stationaire metingen beschikbaar.

Uit Figuur D.4 (en de Figuren D.1 t/m D.3) blijkt dat de mediaan en het 75^e percentiel van de persoonlijke meetresultaten van de SEG 'Buschauffeur' relatief laag liggen t.o.v. de overige functiegroepen. De daggemiddelde concentratie van de persoonlijke metingen ligt circa 41% lager dan de concentratie op het stationaire meetpunt. Hoewel de buschauffeur zich regelmatig op het platform (in een bus) bevindt, is dit vaak maar van korte duur. In Bijlage E, Figuur E.4 is te zien dat de buschauffeur op het gehele platform komt, maar dat ze zich niet heel vaak op het platform bevinden. De spreiding binnen de SEG 'Buschauffeur' lijkt niet toe te nemen wanneer de spreiding op het stationaire meetpunt toeneemt. De variatie van de persoonlijke metingen bedraagt 31%, terwijl die van de stationaire metingen 71% bedraagt. Hiernaast blijkt geen goede relatie te bestaan tussen de persoonlijke concentraties en de

stationaire concentraties ($R^2 = 0.13$), wat aangeeft dat de persoonlijke blootstelling van de 'Buschauffeur' niet direct beïnvloed wordt door de concentraties op het platform. Aangezien de 'Buschauffeur' zich ook regelmatig op landside bevindt, is de slechte correlatie te verwachten. De spreiding binnen de meetresultaten van de SEG 'Buschauffeur' blijft beperkt, en er kan derhalve gesproken worden van een homogene blootstellingsgroep.

Functiegroep 'Grondstewardess'

De resultaten van de afzonderlijke metingen van de SEG 'Grondstewardess' zijn weergegeven in Figuur D.5.

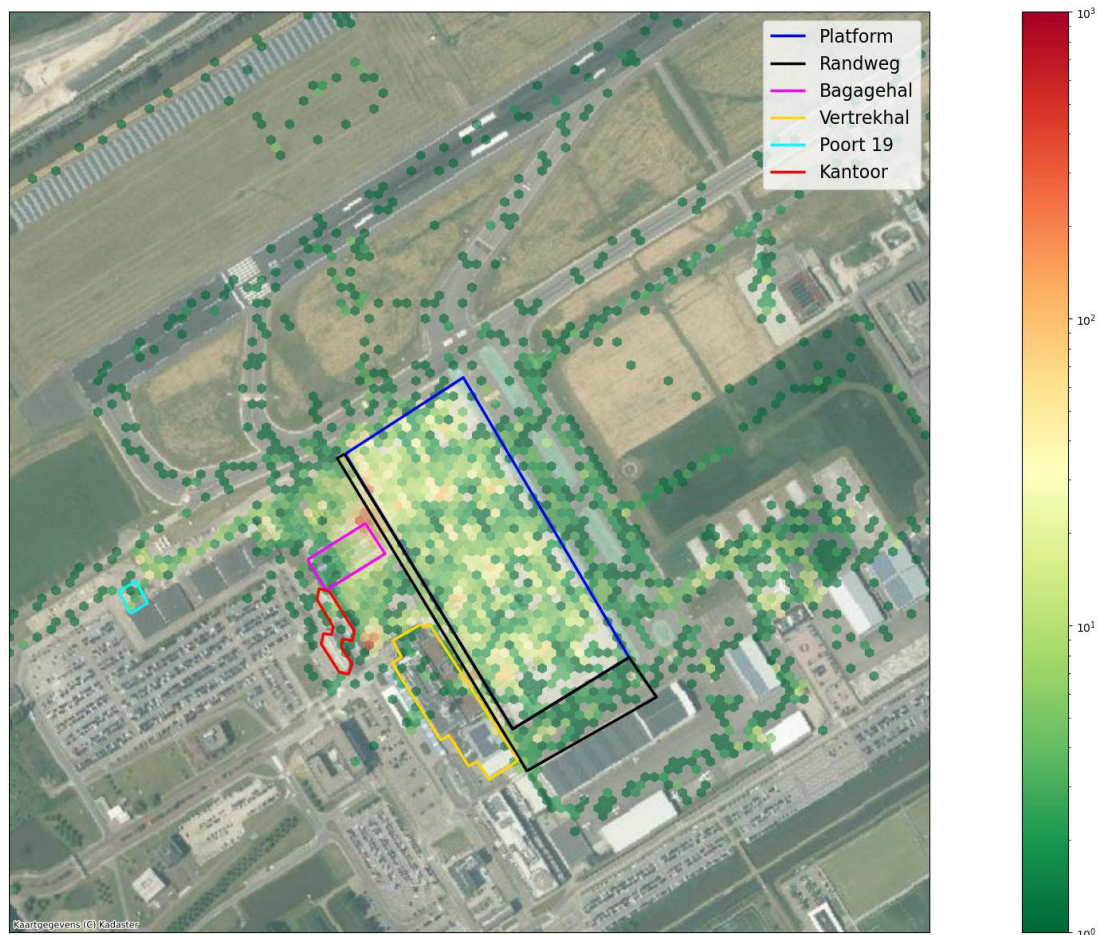


Figuur D.5 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep Grondstewardess (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje). Bij de 3^e, 4^e en 6^e meting zijn geen stationaire metingen beschikbaar.

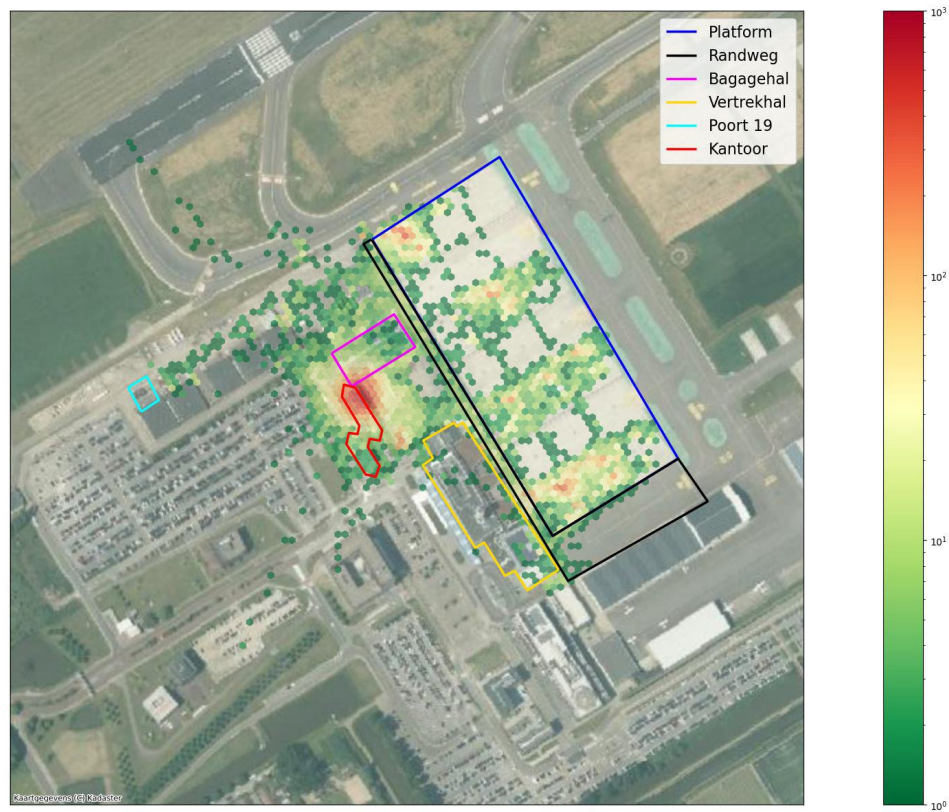
Uit Figuur D.5 blijkt dat de variatie binnen de SEG 'Grondstewardess' relatief laag blijft. Voor de SEG 'Grondstewardess' is op de helft van de meetdagen geen stationaire meetdata beschikbaar. Hierdoor is het moeilijker om een correlatie te bepalen, en zijn de afwijkingen gebaseerd op weinig meetpunten. Op basis van de gegevens die beschikbaar zijn, ligt de variatie binnen de SEG 'Grondstewardess' op 43%, wat vergelijkbaar is met de variatie op het stationaire meetstation (COV=48%). De daggemiddelde concentratie ligt circa 70% lager dan de concentratie op het platform. Aangezien de grondstewardess zich maar een beperkt gedeelte van de werkdag op het platform begeeft, is het logisch dat de blootstelling van de grondstewardess lager is dan de gemeten concentraties op het platform. Op basis van de drie datapunten lijkt de blootstelling van de grondstewardess toe te nemen naarmate de concentratie op het platform toeneemt ($R^2 = 0.67$), wat aangeeft dat de UFP blootstelling van de grondstewardess grotendeels plaatsvindt op het platform. Omdat de spreiding binnen de SEG 'Grondstewardess' beperkt blijft, kan gesproken worden van een homogene SEG.

Bijlage E: Locatiedichtheid per SEG

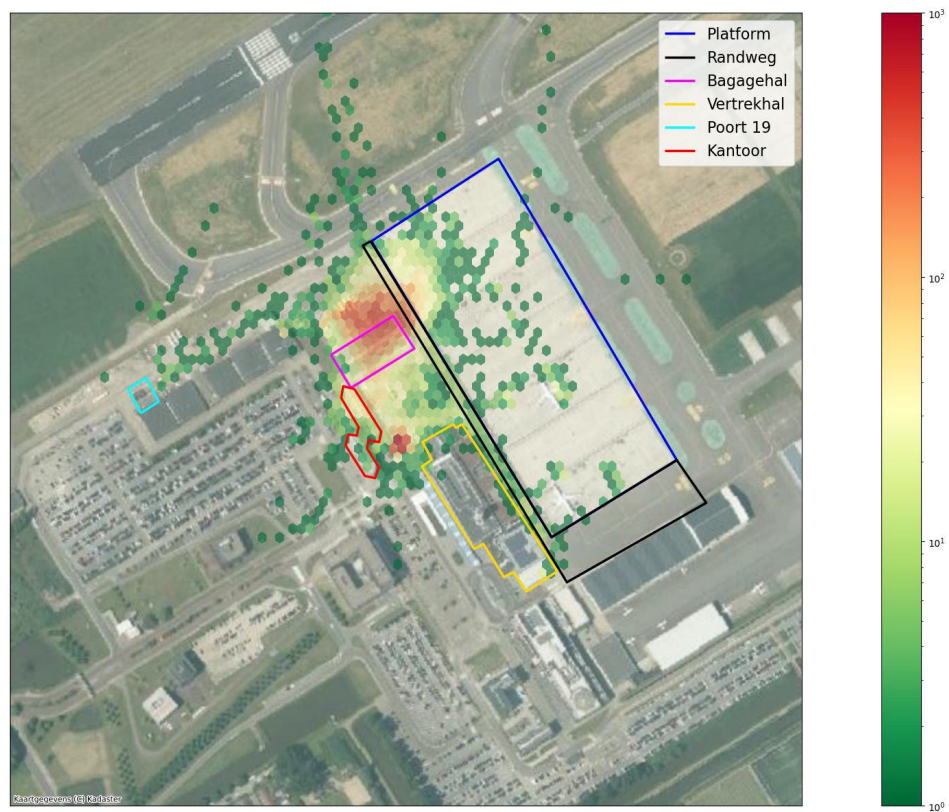
In de figuren E.1 t/m E.5 is de locatiedichtheid per SEG weergegeven. Hierop is te zien waar de medewerkers van de SEG zich het vaakst bevinden. **Deze kaarten geven enkel weer hoe vaak personen zich op een bepaalde locatie bevinden, en zeggen niets over de UFP concentratie.**



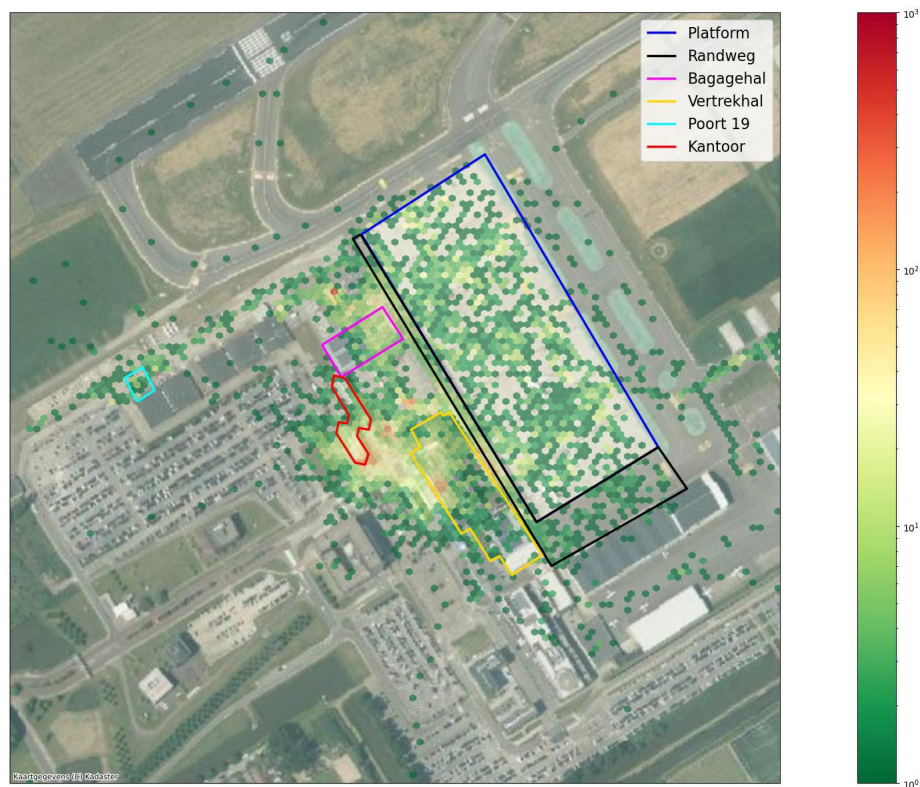
Figuur E.1 Locatiedichtheid SEG 'Airport Operations Officer'



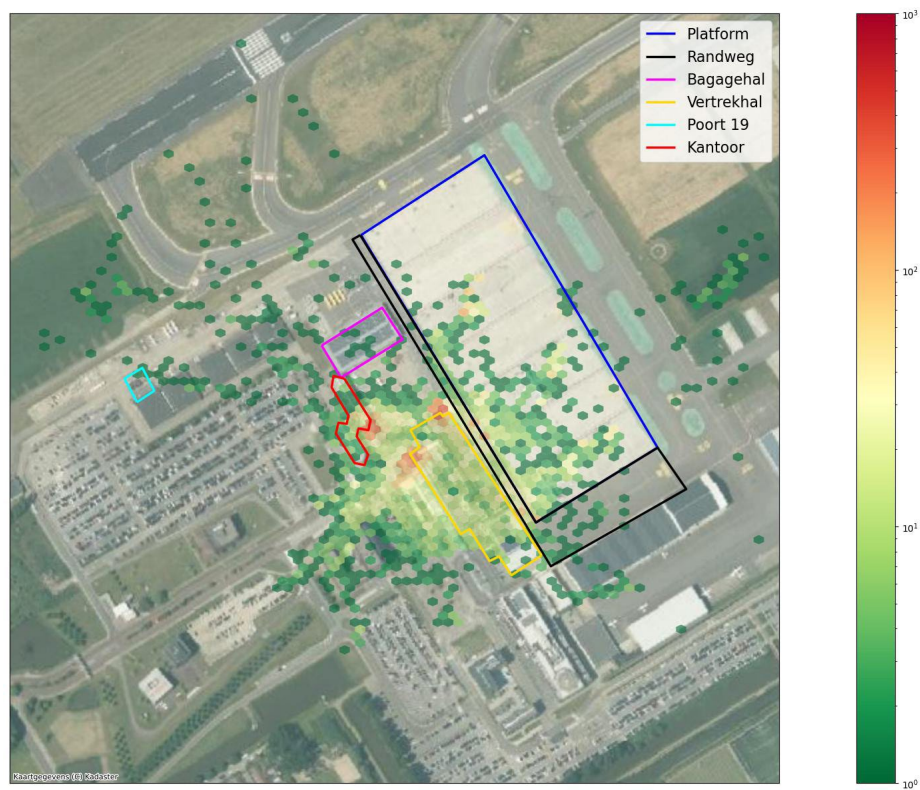
Figuur E.2 Locatiedichtheid SEG 'Rampmedewerker'



Figuur E.3 Locatiedichtheid SEG 'Bagagemedewerker'

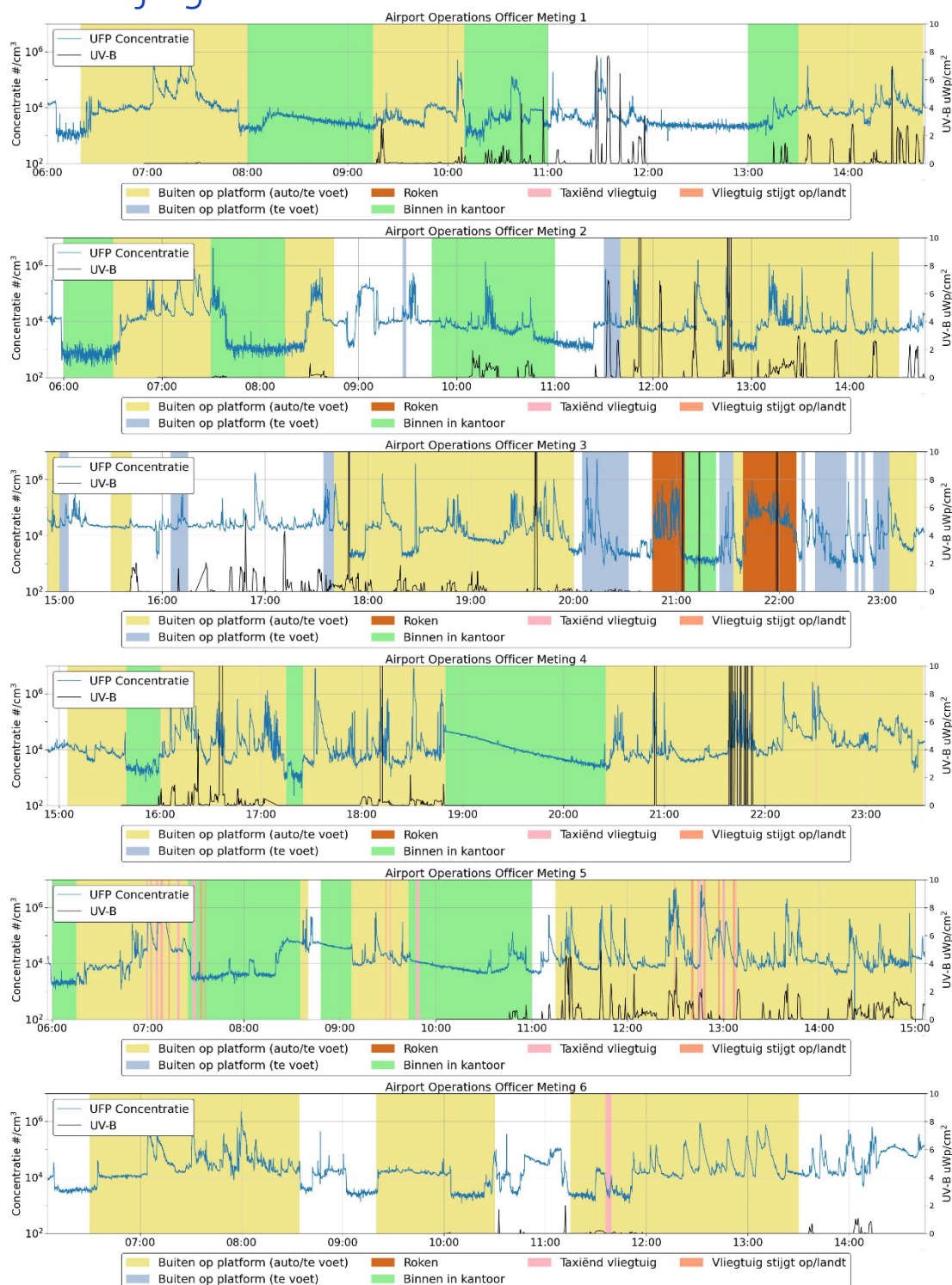


Figuur E.4 Locatiedichtheid SEG 'Buschauffeur'

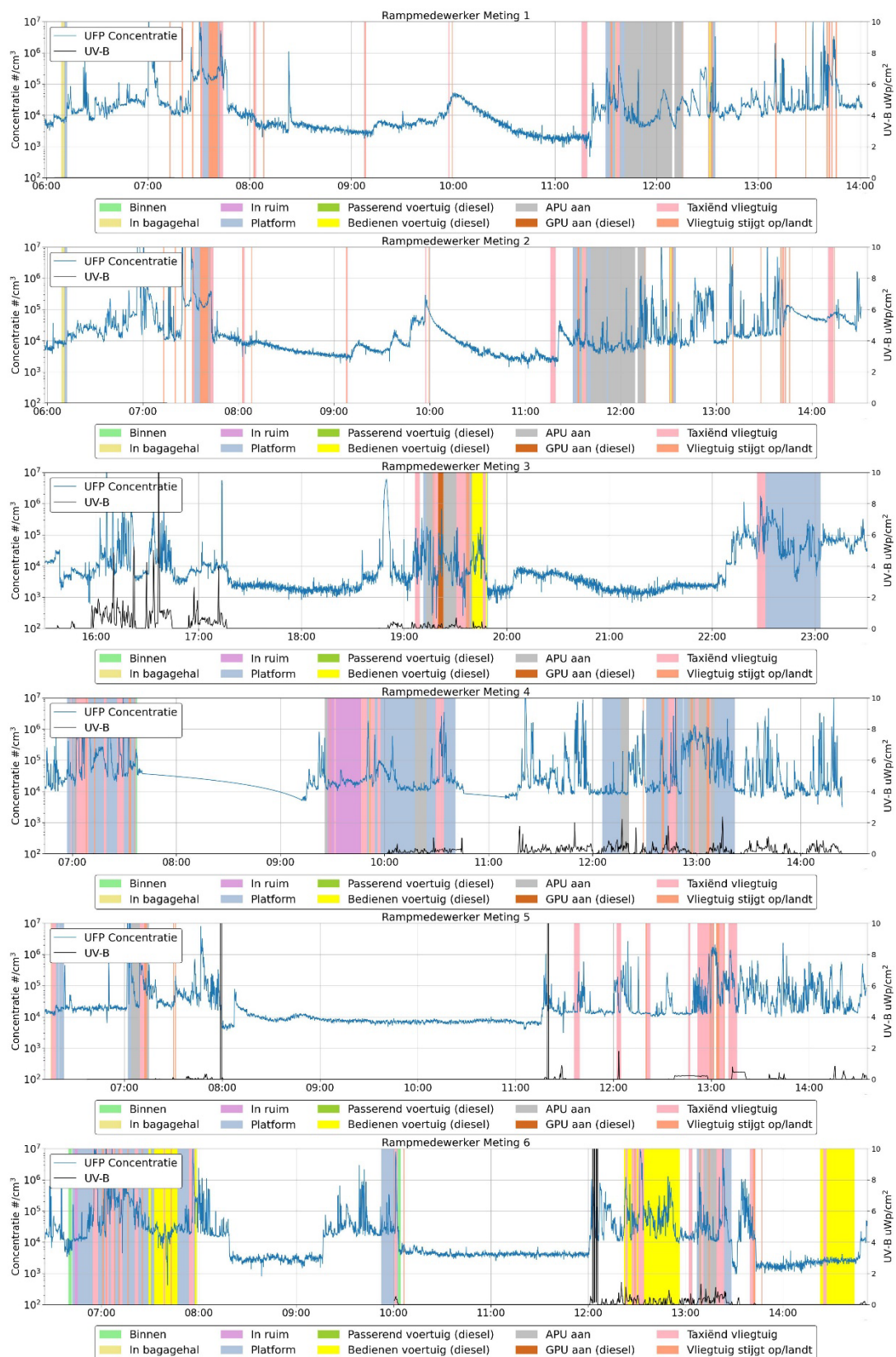


Figuur E.5 Locatiedichtheid SEG 'Grondstewardess'

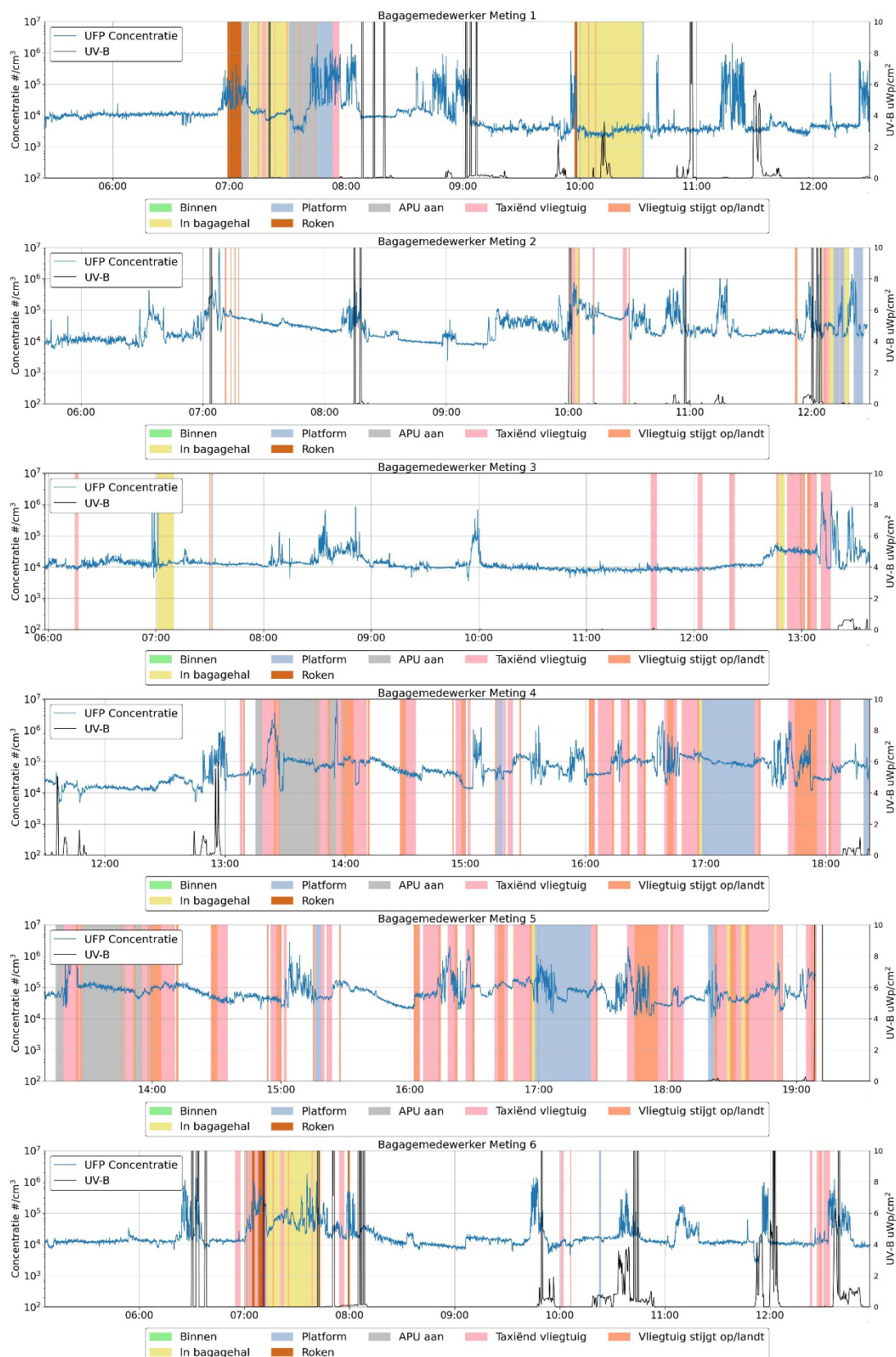
Bijlage F: Contextsensordata met observaties



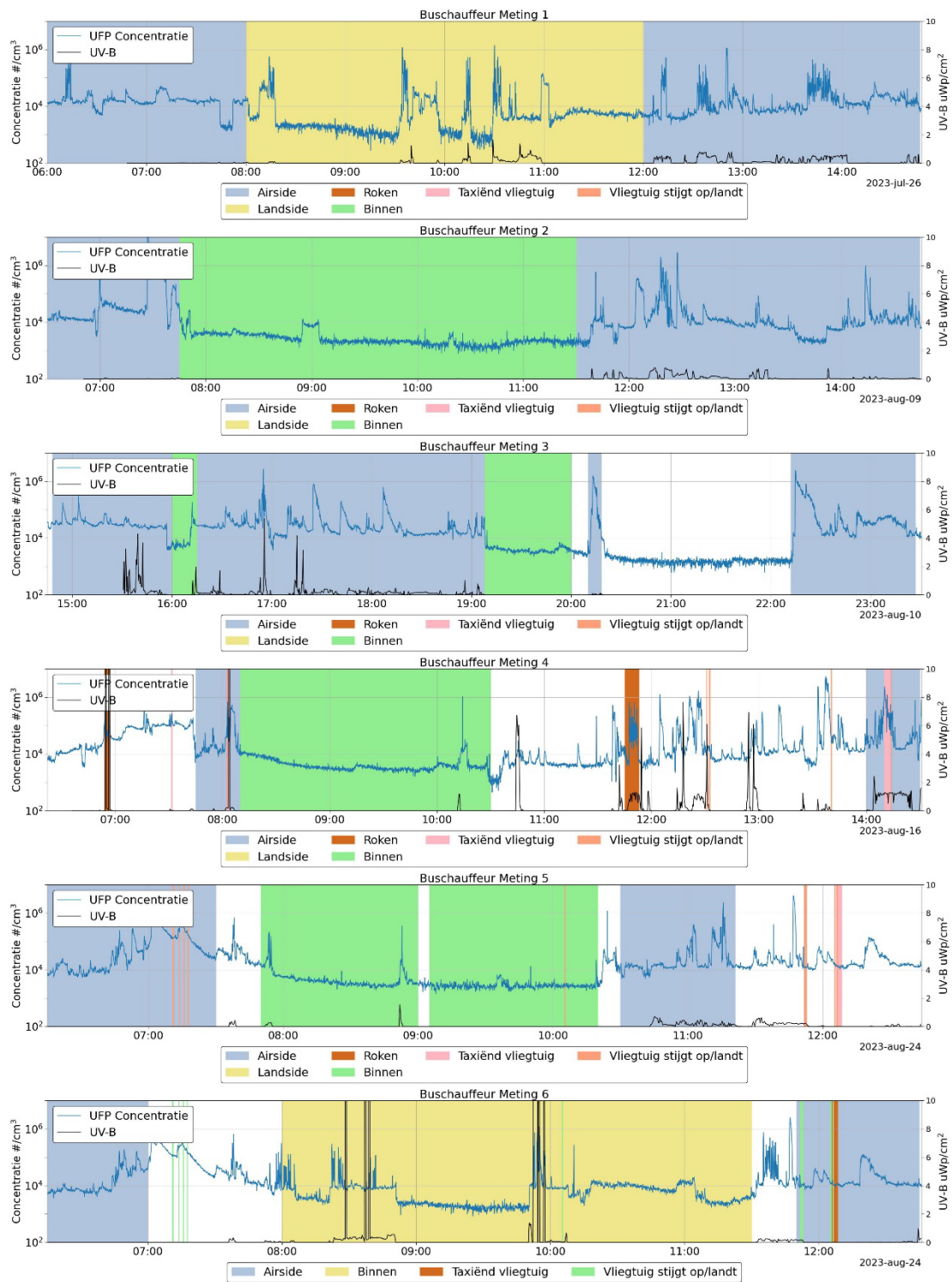
Figuur F.1 UFP concentratie verloop (blauwe lijn, linker y-as) van de bemeten personen binnen de SEG 'Airport Operations Officer' samen met de UV-B sensordata (zwarte lijn, rechter y-as) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door de medewerkers binnen de SEG zelf.



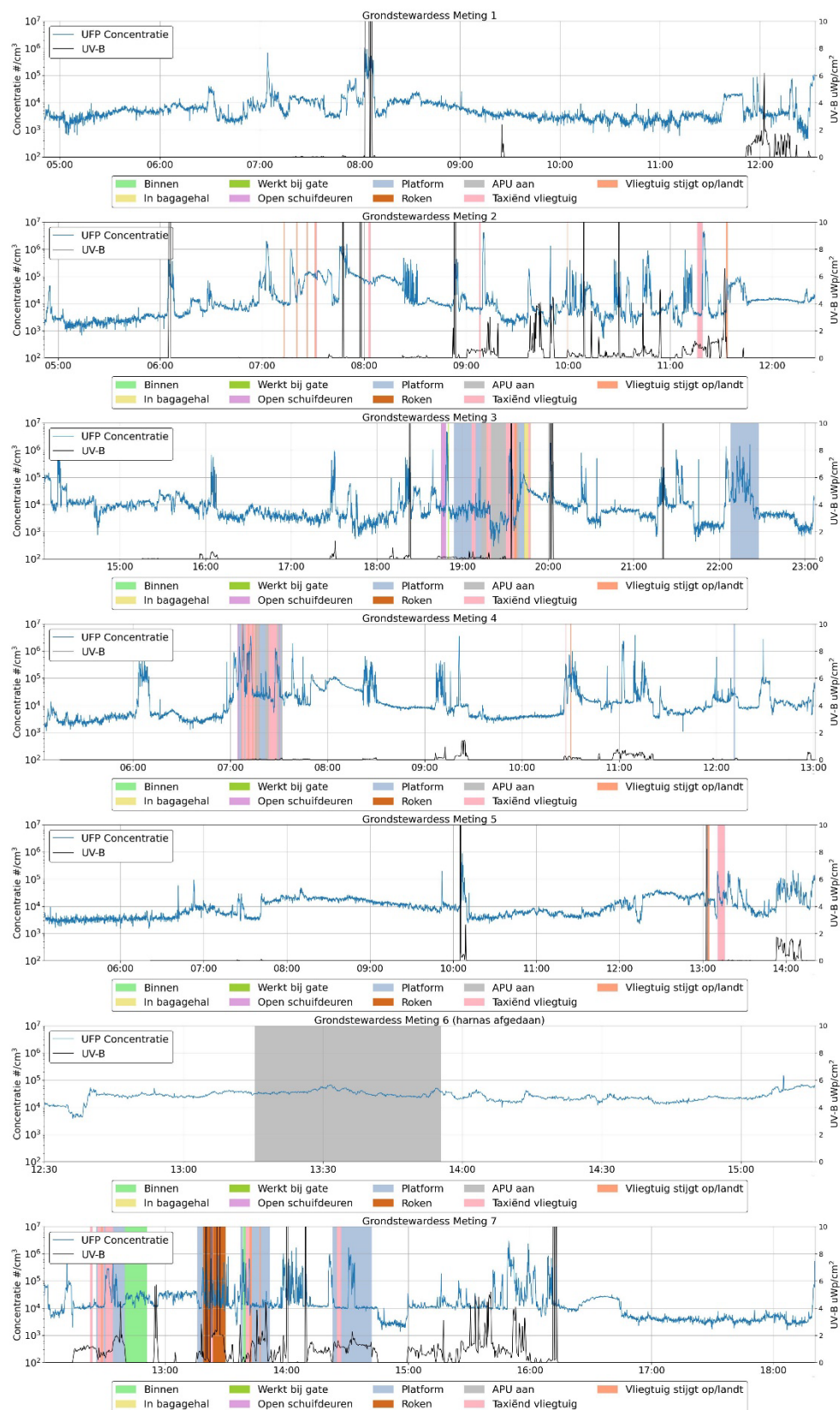
Figuur F.2 UFP concentratie verloop (blauwe lijn, linker y-as) van de bemeten personen binnen de SEG 'Rampmedewerker' samen met de UV-B sensordata (zwarte lijn, rechter y-as) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door medewerkers van TNO.



Figuur F.3 UFP concentratie verloop (blauwe lijn, linker y-as) van de bemeeten personen de SEG 'Bagagemedewerker' samen met de UV-B sensordata (zwarte lijn, rechter y-as) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door medewerkers van TNO.



Figuur F.4 UFP concentratie verloop (blauwe lijn, linker y-as) van de bemeeten personen binnen de SEG 'Buschauffeur' samen met de UV-B sensordata (zwarte lijn, rechter y-as) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door de medewerkers binnen de SEG zelf.



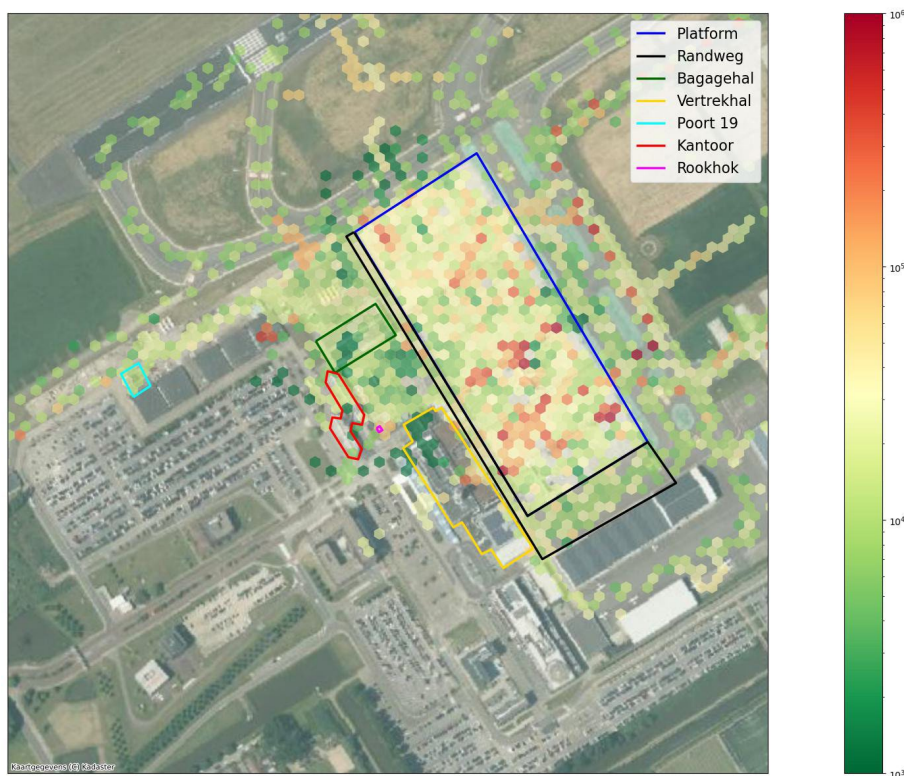
Figuur F.4 UFP concentratie verloop (blauwe lijn, linker y-as) van de bemeten personen binnen de SEG 'Grondstewardess' samen met de UV-B sensordata (zwarte lijn, rechter y-as) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door medewerkers van TNO.

Bijlage G: Blootstellingskaarten per SEG

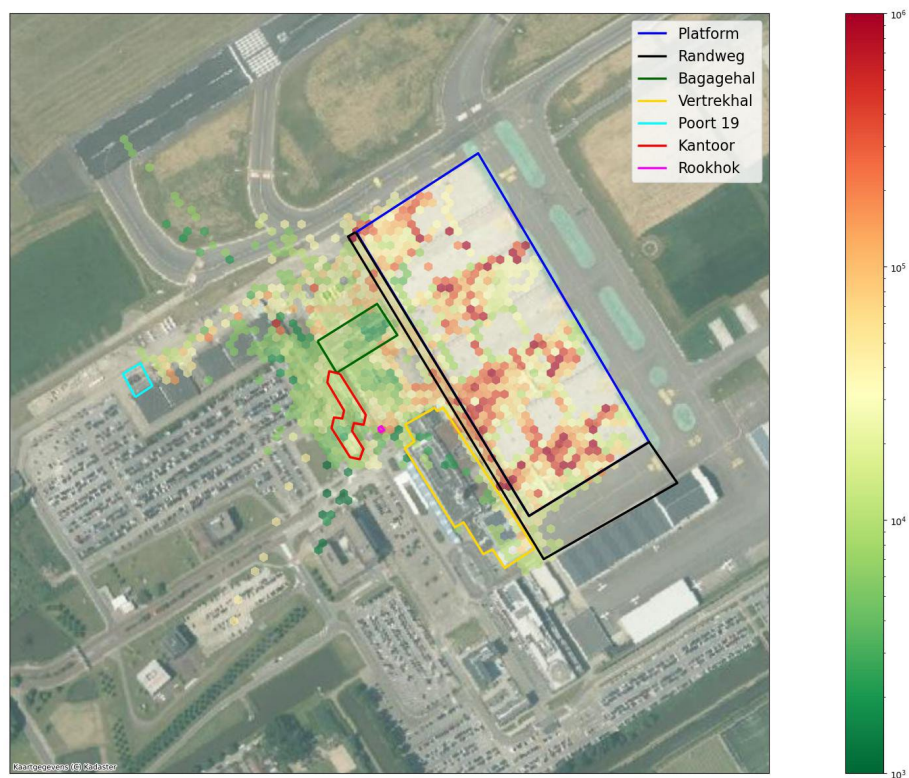
In figuren G.1 t/m G.6 is de ruimtelijke UFP concentratie per SEG weergegeven.



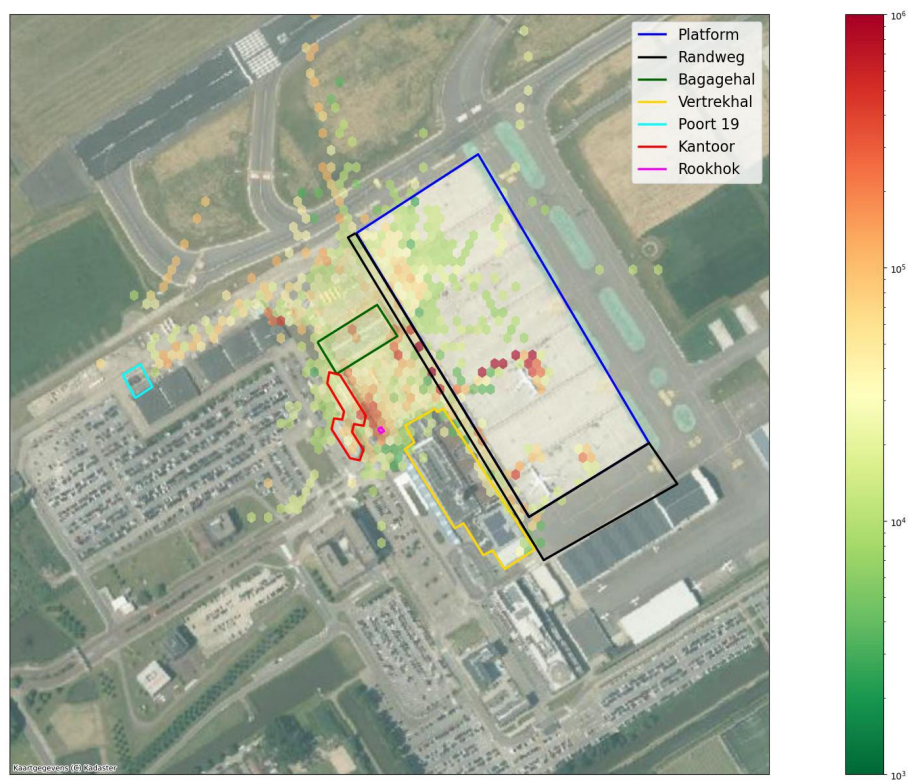
Figuur G.1 Concentratiekaart voor de SEG 'Airport Operations Officer', uitgezoomd.



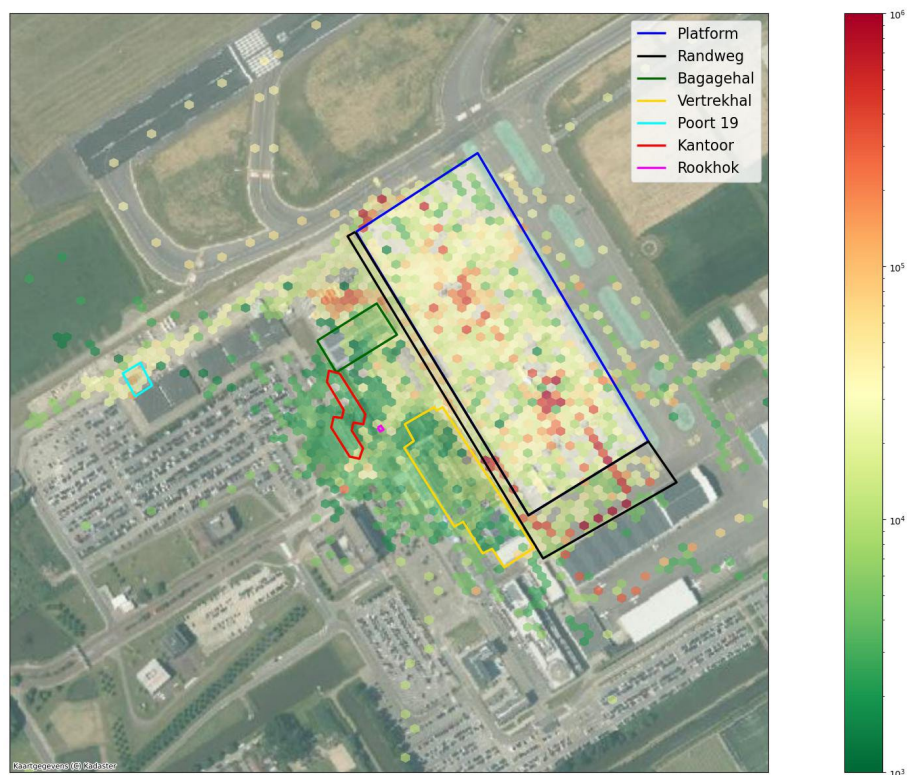
Figuur G.2 Concentratiekaart voor de SEG 'Airport Operations Officer', ingezoomd.



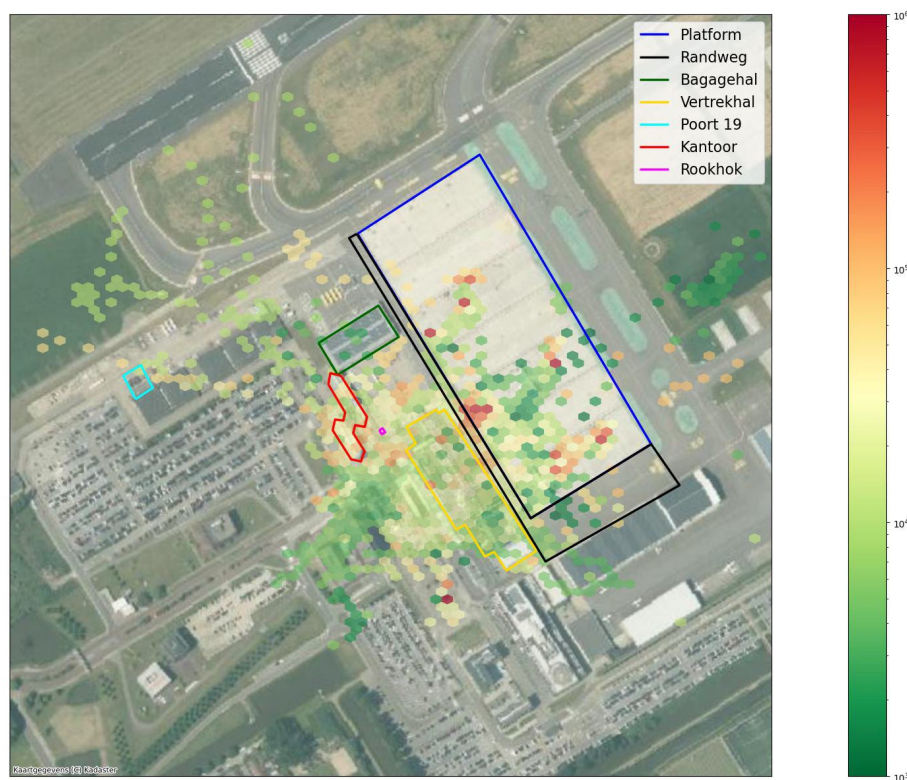
Figuur G.3 Concentratiekaart voor de SEG 'Rampmedewerker'.



Figuur G.4 Concentratiekaart voor de SEG 'Bagagemedewerker'.



Figuur G.5 Concentratiekaart voor de SEG 'Buschauffeur'.



Figuur G.6 Concentratiekaart voor de SEG 'Grondstewardess'

Bijlage H: Persoonlijke blootstellingsresultaten

Tabel H. 1 Resultaten persoonlijke blootstellingsmetingen in combinatie met stationaire meetresultaten op het platform gedurende dezelfde periode.

Functie- groep	Datum (d-m- 2023)	Meet- duur (hh: mm)	8-uurs gemiddel- de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddel- de (GM _{meting}) (# cm ⁻³)	GSD (# cm ⁻³)	10 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Mediaan (# cm ⁻³)	90 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie (# cm ⁻³)	Maximaal 1-uur gemiddel- de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Maximaal 15-min gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Tijd >100 000 # cm ⁻³ (min)	8-uurs gemiddel- de stationair (AM) (# cm ⁻³)	8-uurs gemidd- elde sta- tionair (GM) (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie stationair (# cm ⁻³)
AOO	26-07	08:45	15 000	6 000	2.9	2 000	5 000	20 000	597 000	51 000	125 000	13.1	37 000	13 000	6 684 000
AOO	09-08	08:56	30 000	7 000	4.29	1 000	6 000	53 000	4 331 000	74 000	153 000	35.2	47 000	2 0000	6 017 000
AOO	10-08	08:32	47 000	14 000	3.92	2 000	19 000	70 000	6 1190 00	113 000	279 000	35	108 000	3 0000	11 091 000
AOO	22-08	08:42	58 000	12 000	3.68	3 000	10 000	67 000	7 986 000	153 000	292 000	39.9	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
AOO	04-09	09:09	67 000	15 000	3.64	4 000	11 000	75 000	6 334 000	234 000	430 000	43.6	158 000	30 000	11 092 000
AOO	06-09	08:40	45 000	17 000	3.6	3 000	16 000	104 000	2 254 000	105 000	188 000	55.2	124 000	35 000	17 709 000
Ramp- medewerker	16-08	08:05	56 000	12 000	4.32	2 000	9 000	98 000	4 504 000	164 000	311 000	44.3	135 000	25 000	14 612 000
Ramp- medewerker	16-08	08:37	167 000	17 000	4.32	3 000	12 000	122 000	23 570 000	909 000	2 401 000	61.1	193 000	44 000	14 612 000
Ramp- medewerker	22-08	08:01	63 000	8 000	4.78	2 000	5 000	75 000	13 672 000	172 000	61 0000	34.2	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Ramp- medewerker	04-09	07:54	143 000	29 000	3.84	8 000	21 000	243 000	23 965 000	300 000	602 000	72.2	179 000	33 000	11 092 000
Ramp- medewerker	06-09	08:25	90 000	20 000	3.35	7 000	14 000	111 000	15 683 000	377 000	1 069 000	55.2	122 000	34 000	17 709 000
Ramp- medewerker	14-09	08:27	132 000	12 000	5.24	2 000	11 000	129 000	22 596 000	581 000	1 623 000	59.8	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾

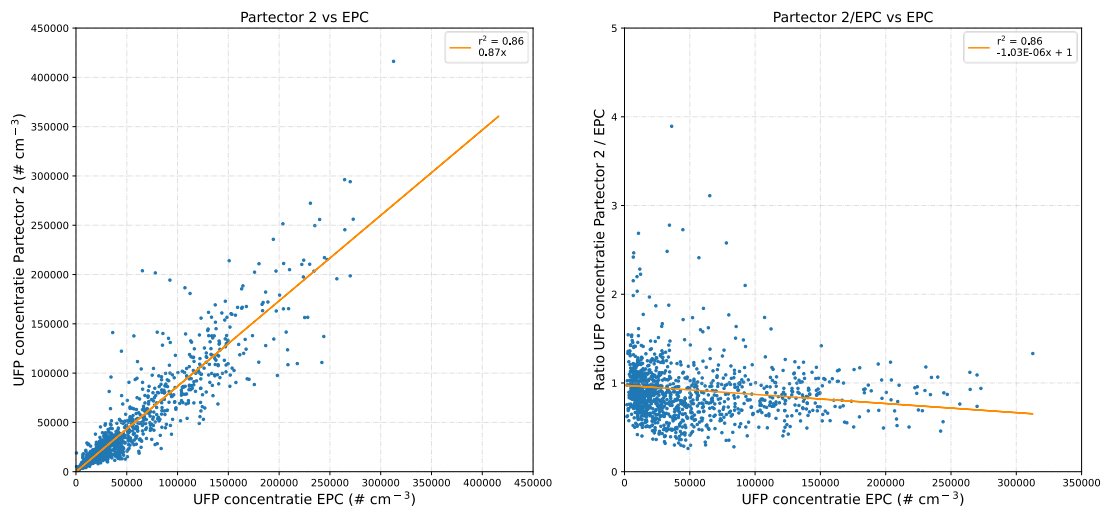
Functie- groep	Datum (d-m- 2023)	Meet- duur (hh: mm)	8-uurs gemiddel- de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddel- de (GM _{meting}) (# cm ⁻³)	GSD (# cm ⁻³)	10 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Mediaan (# cm ⁻³)	90 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie (# cm ⁻³)	Maximaa l 1-uur gemiddel de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Maximaal 15-min gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Tijd >100 000 # cm ⁻³ (min)	8-uurs gemiddel de stationair (AM) (# cm ⁻³)	8-uurs gemidd elde sta- tionair (GM) (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie stationair (# cm ⁻³)
Bagage- medewerker	26-07	07:04	31 000	9 000	3.28	3 000	9 000	56 000	2 003 000	96 000	232 000	29.9	38 000	13 000	6 684 000
Bagage- medewerker	24-08	06:47	52 000	26 000	2.47	9 000	22 000	79 000	9 221 000	114 000	339 000	29.3	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Bagage- medewerker	06-09	07:40	26 000	14 000	2.02	8 000	12 000	32 000	2 719 000	93 000	242 000	11.2	75 000	27 000	17 709 000
Bagage- medewerker	07-09	06:52	103 000	55 000	2.6	15 000	56 000	146 000	10 166 000	232 000	389 000	104.4	316 000	55 000	12 151 000
Bagage- medewerker	07-09	06:24	110 000	72 000	2.15	30 000	68 000	162 000	3 613 000	376 000	416 000	102.6	434 000	80 000	12 151 000
Bagage- medewerker	14-09	07:51	38 000	19 000	2.45	9 000	13 000	68 000	1 796 000	98 000	143 000	32.7	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Bus- chauffeur	26-07	08:48	21 000	8 000	3.4	1 000	8 000	31 000	1 395 000	39 000	73 000	13.5	37 000	13 000	6 684 000
Bus- chauffeur	09-08	08:16	64 000	7 000	4	2 000	6 000	31 000	21 182 000	390 000	1 432 000	25.4	49 000	20 000	6 017 000
Bus- chauffeur	10-08	08:46	45 000	12 000	4.4	2 000	16 000	55 000	2 637 000	128 000	403 000	29.7	127 000	30 000	11 091 000
Bus- chauffeur	16-08	08:09	55 000	12 000	4.04	3 000	9 000	99 000	5 233 000	201 000	546 000	47.6	227 000	55 000	14 612 000
Bus- chauffeur	24-08	06:29	40 000	12 000	3.76	3 000	12 000	73 000	4 079 000	118 000	278 000	31.2	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾

Functie- groep	Datum (d-m- 2023)	Meet- duur (hh: mm)	8-uurs gemiddel- de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddel- de (GM _{meting}) (# cm ⁻³)	GSD (# cm ⁻³)	10 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Mediaan (# cm ⁻³)	90 ^e Percentiel (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie (# cm ⁻³)	Maximaa l 1-uur gemiddel de (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Maximaal 15-min gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Tijd >100 000 # cm ⁻³ (min)	8-uurs gemiddel de stationair (AM) (# cm ⁻³)	8-uurs gemidd elde sta- tionair (GM) (# cm ⁻³)	Maximale con- centratie stationair (# cm ⁻³)
Bus- chauffeur	24-08	06:31	32 000	1 0000	3.6	2 000	9 000	63 000	2 467 000	100 000	236 000	28.2	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Grond- stewardess	26-07	07:42	11 000	5 000	2.44	2 000	4 000	16 000	1 052 000	40 000	125 000	5.9	36 000	13 000	6 684 000
Grond- stewardess	16-08	07:33	56 000	12 000	4.32	2 000	9 000	98 000	4 504 000	164 000	311 000	44.3	135 000	25 000	14 612 000
Grond- stewardess	22-08	09:00	30 000	8 000	3.31	2 000	6 000	31 000	4 808 000	128 000	138 000	22.4	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Grond- stewardess	24-08	07:56	49 000	12 000	3.69	3 000	9 000	75 000	11 827 000	175 000	493 000	33.1	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Grond- stewardess	06-09	09:16	17 000	9 000	2.34	3 000	8 000	27 000	1 281 000	33 000	51 000	5.3	99 000	30 000	17 709 000
Grond- stewardess	14-09	06:20	40 000	13 000	3.28	3 000	11 000	54 000	2 955 000	87 000	253 000	24.9	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾
Teamlead ²⁾	04-09	07:58	94 000	18 000	3.92	5 000	12 000	134 000	896 0000	321 000	682 000	59.9	175 000	33 000	11 092 000

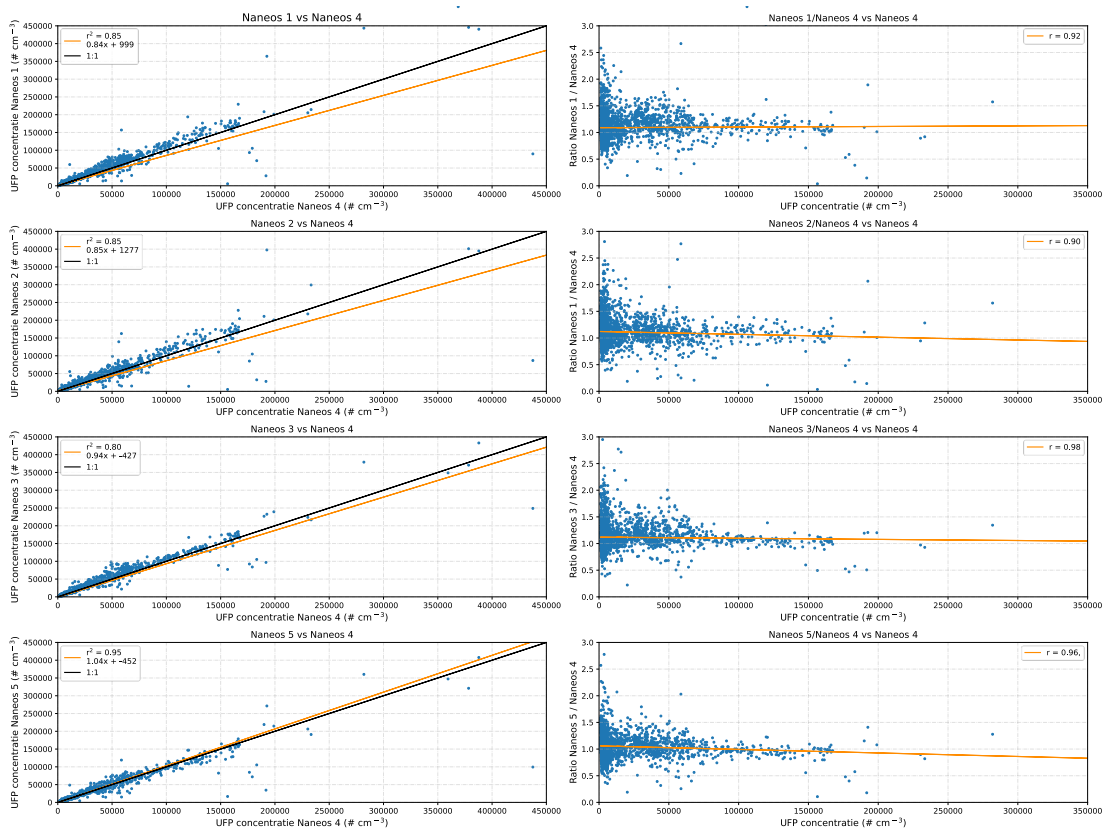
1) Geen stationaire meetgegevens verzameld vanwege storing apparatuur.

2) Functiegroep maakt geen onderdeel uit van de onderzochte blootstellingsgroepen

Bijlage I: Vergelijking UFP sensoren

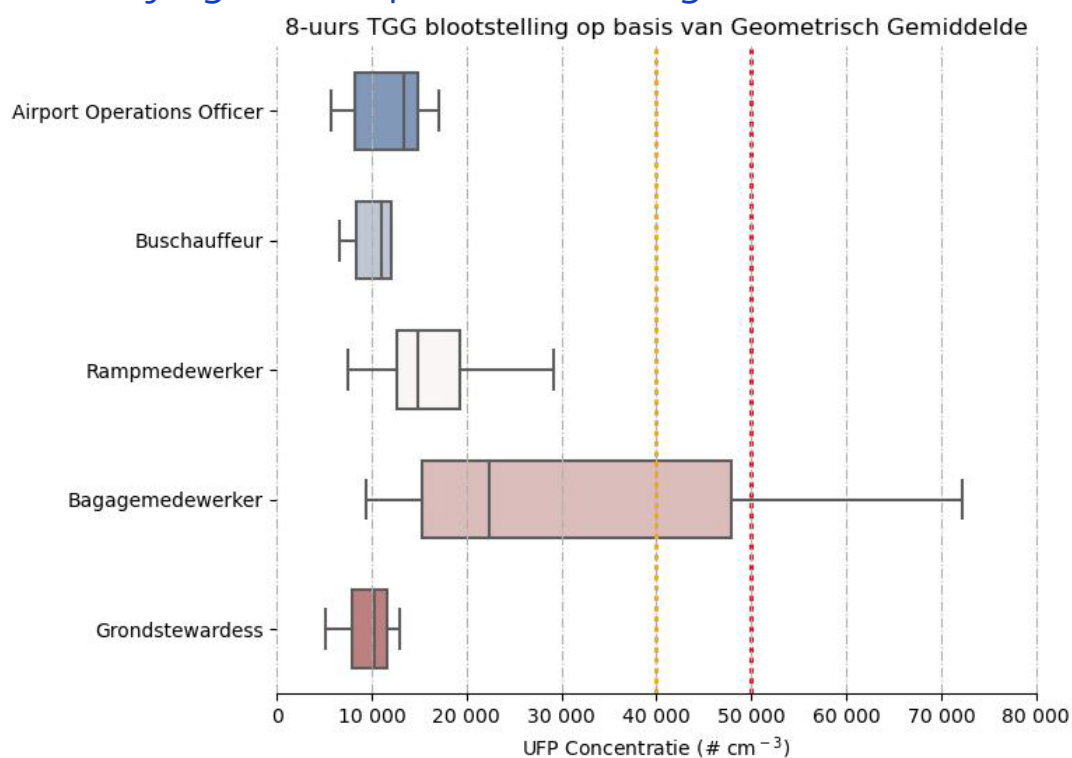


Figuur I. 1 Correlatie Partector 2 (UFP sensoren persoonlijke blootstellingsmetingen) en EPC (UFP monitor), gemeten op Eindhoven Airport (Esveld et al., 2024). Links wordt de UFP concentratie van de Partector 2 vs de EPC (op basis van uurgemiddelde concentraties) weergegeven, en rechts de verhouding van de Partector 2/EPC vs de EPC. Bij perfect overeenkomen zou de verhouding op 1 moeten liggen.



Figuur I. 2 Onderlinge vergelijking van de gebruikte UFP sensoren (type Partector), met als referentie de meest recent gekalibreerde sensor (Naneos 4), zoals gemeten voor de studie op Eindhoven Airport (Esveld et al., 2024).

Bijlage J: Boxplot GMmeting



Figuur J. 1 Boxplot geometrisch gemiddelde blootstelling (GM_{meting}) van 6 bemetten medewerkers per SEG. Oranje en rode stippellijnen geven de gehanteerde referentiewaarden weer van 40 000 en 50 000 # cm⁻³.

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl