

Onderzoek naar blootstelling aan ultrafijnstof op Eindhoven Airport



Energy & Materials
Transition
Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
P.O. Box 80015
3508 TA Utrecht
The Netherlands

www.tno.nl
T +31 88 866 42 56
info@tno.nl

TNO 2023 R11648 – 6 maart 2024

Onderzoek naar blootstelling aan ultrafijnstof op Eindhoven Airport

Auteurs	J.C. Esveld, M. le Feber, P.C. Tromp
Met medewerking van:	J.P. Lollinga, J. Fabriek, S. Spaan, T.J. Korstanje
Reviewer:	W. Fransman
Aantal pagina's	68 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	8
Opdrachtgever	Eindhoven Airport N.V.
Projectnummer	060.54602

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, waaronder in 2022 op het platform van Eindhoven Airport. Hierbij zijn gemiddelde UFP-concentraties in de lucht gemeten van 33 000 en 76 000 # cm⁻³ voor de noord- en zuidzijde van het platform over de hele meetperiode, met 8-uurs gemiddelde concentraties die opliepen tot maximaal 450.000 # cm⁻³. Naar aanleiding van de gemeten stationaire UFP-concentraties op het platform heeft Eindhoven Airport, op advies van TNO, besloten om aanvullend onderzoek uit te voeren naar de persoonlijke blootstelling aan UFP van medewerkers actief op Eindhoven Airport. Dit onderzoek is beschreven in dit rapport.

Onderzoekopzet

De persoonlijke metingen binnen dit blootstellingsonderzoek hebben plaatsgevonden in de periode van 1 mei t/m 30 juni 2023 en zijn uitgevoerd conform de richtlijnen in de NEN-EN-689 voor het meten van de blootstelling op de werkplek om te voldoen aan grenswaarden. Na een uitgebreide inventarisatie van functiegroepen op Eindhoven Airport zijn blootstellingsprofielen opgesteld door middel van vragenlijsten met betrekking tot taken, werkzaamheden en verblijfslocaties. Vervolgens zijn op basis van deze profielen de functiegroepen gerangschikt op basis van verwachte blootstelling, met het advies om de functiegroepen met de hoogst verwachte blootstelling te bemeten. In overleg met Eindhoven Airport zijn hiervan twee groepen geselecteerd: Flight Officer (FO) en Platform Employee 4/3 (PE). Beide functiegroepen zijn het merendeel van de tijd op het platform aanwezig en vallen onder de werkgever Viggo. Om te zorgen dat het onderzoek betrekking heeft op een zo groot mogelijk aantal medewerkers zijn vervolgens ook twee andere functiegroepen geselecteerd van twee andere werkgevers op Eindhoven Airport (G4S en Eindhoven Airport zelf). Deze medewerkers zijn ook geregeld aanwezig op het platform, maar hun verblijftijd op het platform (en daardoor de ingeschatte blootstelling) is lager dan de andere groepen: Airport Operations Manager (AOM) en de Medewerker Hoofddoorlaatpost (HDLP). Voor alle bovengenoemde functiegroepen zijn op vier tot zes dagen tenminste zes medewerkers bemeten.

In dit onderzoek zijn metingen in de ademzone van medewerkers uitgevoerd door gebruik te maken van draagbare sensoren. Hiermee wordt per medewerker de persoonlijke blootstelling aan UFP vastgesteld. Om inzicht te krijgen in locaties, activiteiten en omstandigheden die leiden tot een verhoogde blootstelling zijn de medewerkers tevens uitgerust met contextsensoren (UV en GPS) en geobserveerd tijdens de werkzaamheden. Daarnaast is een stationair meetstation ingericht om de concentratie op het platform vast te stellen. Op dit meetstation was ook een UFP-sensor geplaatst, zodat de kwaliteit van de UFP-sensor ten opzichte van het stationaire meetstation beoordeeld kon worden. Het meetstation stond op dezelfde plaats als de meetopstelling uit het onderzoek op Eindhoven Airport in 2022. Aangezien uit dit onderzoek is gebleken dat de UFP-concentraties op het platform erg

afhankelijk zijn van de weersomstandigheden, zijn de persoonlijke metingen uitgevoerd onder worst case weersomstandigheden, dat wil zeggen voornamelijk bij wind uit het noordwesten tot noorden, en geen neerslag.

Belangrijkste resultaten en conclusies

De gemiddeld gemeten UFP-concentratie in de lucht op het platform over de gehele meetperiode (49 000 # cm⁻³) lag 40% lager dan over de meetperiode in 2022 (76 000 # cm⁻³). Omdat de windomstandigheden vergelijkbaar waren is het waarschijnlijk dat de grotere hoeveelheid neerslag en veranderingen in de bedrijfsvoering op Eindhoven Airport hier de belangrijkste oorzaken van zijn. Doordat de persoonlijke metingen zijn uitgevoerd bij worst case weersomstandigheden zijn de stationair gemeten daggemiddelde UFP-concentraties op het platform op die dagen vergelijkbaar met de niveaus uit 2022. Door de toegepaste meetstrategie is een accuraat en gedetailleerd inzicht verkregen in de blootstellingsituatie van een groot aantal medewerkers op Eindhoven Airport. Dit inzicht kan gebruikt worden voor het nemen van gerichte en doeltreffende maatregelen om de blootstelling van medewerkers op Eindhoven Airport omlaag te brengen.

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. In afwezigheid van gezondheidkundige grenswaarden wordt ook door het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aangeraden om de waarden uit de NRW te hanteren in dit soort situaties. In analogie met de NEN-EN 689 zijn middels de statistische toets 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 # cm⁻³ (zonder en met achtergrond correctie) om te bepalen of met tenminste 70% zekerheid kan worden aangetoond dat minder dan 5% van de 8-uurs TGG blootstellingen binnen de SEG de grenswaarde overschrijdt. De resultaten zijn in onderstaand overzicht weergegeven:

Blootstellingsgroep	Daggemiddelde blootstelling (# cm ⁻³) ¹⁾	Vergelijking met nano-referentiewaarden conform NEN-EN 689
Airport Operations Manager	8 700	Voldoet
Medewerker Hoofddoorlaatpost	37 000 ²⁾	Voldoet niet
Flight Officer	77 000	Voldoet niet
Platform Employee 4/3	69 000	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 aan de benodigde zekerheid van 70% kan worden voldaan.

Alleen voor de 'Airport Operation Manager' geldt dat is aangetoond dat met tenminste 70% zekerheid minder dan 5% van de blootstelling aan UFP hoger 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. Vooral voor de 'Platform Employee' en 'Flight Officer' betekent dit dat er doeltreffende maatregelen getroffen moeten worden om de blootstelling omlaag te brengen;

om bijvoorbeeld te kunnen voldoen aan de NRW zal een reductie met een factor 3 - 4 noodzakelijk zijn.

Op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP- en contextsensoren in combinatie met observaties zijn de volgende conclusies te trekken over persoonlijke blootstellingsniveaus in relatie tot omstandigheden, activiteiten en locaties:

- De persoonlijke blootstelling wordt voor het grootste deel bepaald door de plaats en verblijftijd buiten op airside. Buiten variëren de concentraties sterk al naar gelang de positie van de medewerker ten opzichte van de vliegtuigen. Op het platform bij de vliegtuigopstelplaatsen is de blootstelling het hoogst (ca. 110 000 # cm⁻³). De gemiddelde UFP-blootstelling op het platform bedraagt ca. 104 000 # cm⁻³; dit is vergelijkbaar met de UFP-concentratie gemeten op het stationaire meetstation (94 000 # cm⁻³). De blootstelling buiten op airside wordt in lichte mate bepaald door het transportmiddel; de blootstelling is hoger indien men te voet is dan met de auto. Het beschermende effect van de auto (binnen deze studie 30-40%) lijkt echter afhankelijk van open ramen/deuren.
- Vertrekkende en aankomende vliegtuigen geven een duidelijke verhoging in UFP-blootstelling op de VOPs. Op deze momenten is de blootstelling gemiddeld 2 keer hoger (ca. 264 000 # cm⁻³). Het blootstellingsniveau is wel afhankelijk van de positie van de medewerker ten opzichte van de passerende vliegtuigen in relatie tot de heersende windrichting. Ook diesel-aangedreven UFP-bronnen zoals een tankauto en GPU kunnen een vergelijkbare tijdelijke verhoging in de blootstelling geven. Door de kleinere bronsterkte is alleen in de buurt en benedenwinds van deze bronnen het effect duidelijk meetbaar. Opvallend is dat geen verhoging in UFP-blootstelling is geconstateerd tijdens het gebruik van de APU. Dit kan ermee te maken hebben dat de uitlaat zich hoger bevindt, boven de ademzone van medewerkers op de VOPs.
- In een aantal binnenruimten is de blootstelling (AM_{meting}) opvallend hoog ten opzichte van de kantoorruimte (8 000 # cm⁻³):
 - bagageruim van vliegtuigen (ca. 108 000 # cm⁻³); dit is, naar verwachting, mede afhankelijk van de positie van de medewerker in het ruim en activiteiten op het platform (zoals passerende vliegtuigen).
 - bagagehal (ca. 31 000 # cm⁻³); dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de deuren in de richting van het platform vaak open staan.
 - hoofddoorlaatpost (ca. 23 000 # cm⁻³); ook hier spelen openstaande deuren en ramen waarschijnlijk een rol, maar kunnen ook andere bronnen (bijvoorbeeld roken, printer) een bijdrage hebben geleverd aan de verhoging

Op basis van de meetresultaten van de bemeten functiegroepen en de interpretatie daarvan kunnen de voornaamste oorzaken van blootstelling worden benoemd. Zo zijn de blootstellingsniveaus van de vier bemeten functiegroepen voor een belangrijk deel gerelateerd aan de verblijftijd op het platform. Op basis van deze verblijftijd blijkt dat vrijwel alle niet-bemeten functiegroepen (zie Tabel 3.1 voor de functiegroepen) risico lopen op een blootstelling aan UFP die hoger ligt dan de voorlopige nano-referentiewaarde, met uitzondering van de functiegroepen 'Koninklijke Marechaussee', 'Medewerkers horeca en retail partners' en 'Bouw- en onderhoudspartner'. 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. Aanvullende blootstellingsmetingen bij een select aantal functiegroepen (bijvoorbeeld medewerker schoonmaakbedrijven, technische dienst en ground operations) kan vervolgens informatie geven over de

blootstellingsniveaus in de diverse nog niet bemeten binnenruimten, zoals o.a. cabines vliegtuigen, aankomst- en vertrekhal en hangars.

Aanbevelingen

Ondanks dat voor UFP nog geen wettelijke grenswaarde is opgesteld en de effecten op de gezondheid nog niet geheel duidelijk zijn, 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. Om de blootstelling op Eindhoven Airport te verminderen wordt op de eerste plaats aanbevolen om de UFP-emissies te beperken door de electrificatie van dieselaangedreven materieel, zoals GPUs en voertuigen (tankwagens, toiletwagens, lift, pushback), maar ook door het elektrisch wegslepen en taxiën van vliegtuigen mogelijk te maken. Verder wordt aanbevolen om het gebruik van de APU en vliegtuigmotoren op airside zoveel mogelijk te beperken, bijvoorbeeld door het opstellen van strikte(re) richtlijnen en betere handhaving op de naleving van de 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. Bovenstaande beheersmaatregelen kunnen worden ingezet om de blootstelling te verlagen van de bemeten functiegroepen, maar hebben tevens een verlagend effect op de blootstelling van alle andere functiegroepen.

Verdere acties zijn de installatie van nieuwe (of verbetering van bestaande) luchtbehandelingsystemen en geschikte (ultrafijnstof) filters in binnenruimten en voertuigen in combinatie met het zoveel mogelijk sluiten van ramen en deuren in binnenruimten en voertuigen. Daarnaast kan het anders inrichten van werktijden en activiteiten ook helpen om de blootstelling omlaag te brengen, zoals het voorkomen dat medewerkers langdurig op de platforms zijn tijdens perioden met veel taxiënd vliegverkeer door bijvoorbeeld wisselende binnen/buiten diensten. 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 blootstelling omlaag kunnen brengen.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	4
Inhoudsopgave.....	1
1 Afkortingen en termen.....	2
2 Inleiding en doelstelling.....	3
3 Aanpak van het onderzoek.....	5
3.1 Inventarisatie.....	5
3.1.1 Blootstellingsfactoren.....	5
3.1.2 Vragenlijst.....	7
3.2 Meetstrategie.....	10
3.2.1 Meetmethoden.....	11
3.3 Blootstellingsbeoordeling.....	13
3.3.1 Persoonlijke blootstelling.....	13
3.3.2 Referentiewaarden ultrafijnstof.....	14
3.3.3 Vergelijking met referentiewaarden.....	15
4 Resultaten.....	16
4.1 Stationaire metingen.....	16
4.1.1 Meteorologische gegevens.....	16
4.2 Persoonlijke blootstelling.....	18
4.2.1 Meteorologische gegevens.....	18
4.2.2 Validatie persoonlijke meetapparatuur.....	18
4.2.3 Persoonlijke metingen.....	19
4.2.4 Functiegroepen en SEGs.....	21
4.2.5 Locatie- en situatierelateerde blootstelling.....	24
4.2.6 Overige functiegroepen.....	36
5 Conclusie.....	39
6 Aanbevelingen.....	42
6.1 Beheersing van de blootstelling.....	42
6.2 Blootstelling overige functiegroepen.....	43
7 Referenties.....	45
8 Ondertekening.....	47

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 en noordzijde terrein tussen platform en parkeerterrein P5 (rondom hoofddoorlaatpost)
Landside	Algemeen: gebieden en ruimten van de luchthaven en het terminalgebouw die openbaar toegankelijk zijn voor al het publiek In dit rapport: het buitengebied voor het hoofdgebouw, ter hoogte van Airport boulevard en Luchthavenweg
DAR	Demarcated Area (Gebied op airside dat alleen betreden mag worden met security, bevindt zich aan zuidwestelijke zijde van het platform)
ALARA	As Low As Reasonable Achievable
AM	Arithmetic mean (rekenkundig gemiddelde)
AM _{meting}	Arithmetic mean (rekenkundig gemiddelde) over een individuele meting/meetdag, heeft betrekking tot het gemiddelde van de sensoren
AOM	Airport Operations Manager
APU	Auxiliary Power Unit
COV	Coefficient of Variance (variantie)
EPC	Environmental Particle Counter
FO	Flight Officer
GM	Geometric mean (geometrisch gemiddelde)
GM _{meting}	Geometric mean (geometrisch gemiddelde) over een individuele meting/meetdag, heeft betrekking tot het gemiddelde van de sensoren
GM _{SEG}	Geometric mean (geometrisch gemiddelde) over een hele SEG (bestaat uit meerdere GM _{metingen} , of AM _{metingen})
GPU	Ground Power Unit
HDLP	Hoofddoorlaatpost
NOEL	No Observable Effect Level
NRW	Nano-referentiewaarde
PE	Platform Employee
SEG	Similar Exposure Group
TGG	Tijdgewogen Gemiddelde
UFP	Ultrafine Particles, ultrafijnstof
VOP	Vliegtuigopstelplaats

2 Inleiding en doelstelling

Ultrafijnstof (Ultrafine Particles, UFP) bestaat uit deeltjes met een diameter kleiner dan 100 nm en heeft geen vaste chemische samenstelling. Deeltjes met een dergelijk kleine diameter kunnen ver in de longen en tot in de longblaasjes doordringen, en kunnen zelfs opgenomen worden in de bloedbaan (Gezondheidsraad, 2021). De kleine diameter zorgt ook voor een groot 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 langetermijneffecten 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 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 ultrafijnstofdeeltjes 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 UFP. Daarom is er de laatste jaren steeds meer aandacht 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, 2022a; Westerdahl et al., 2008). In 2021 zijn op luchthaven Schiphol rijdende 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 en de doelstellingen van Eindhoven Airport, heeft in 2022 ook op Eindhoven Airport onderzoek plaatsgevonden naar de UFP-concentraties op de platforms (van Dinther et al., 2022a). Hierbij is op twee stationaire meetlocaties de UFP-concentratie gedurende vier weken gemeten, waarbij een gemiddelde concentratie (AM) tussen de $33\,000$ en $76\,000 \# \text{ cm}^{-3}$ werd gevonden, met 8-uurs gemiddelde concentraties die opliepen tot $450\,000 \# \text{ cm}^{-3}$. Bij dergelijk hoge concentraties op de platforms van Eindhoven 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 (op basis van massa) bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de cumulatieve massa van stofdeeltjes die opgevangen worden op een filter. 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 (buiten)lucht te bepalen. De instrumenten die hiervoor gebruikt worden zijn echter te groot om persoonlijke blootstelling mee te meten. Daarom wordt persoonlijke blootstelling gemeten met recent ontwikkelde draagbare UFP-sensoren. Er is nog maar weinig 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 (proces-gegenereerde) nanomaterialen / UFP in perspectief te plaatsen, 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 zolang er geen gezondheidkundige grenswaarde is afgeleid. De eigenschappen van UFP van vliegtuigemissies komen het beste overeen met de categorie uit de NRW waarvoor een referentiewaarde geldt van $40\,000 \text{ \# cm}^{-3}$. Het is ook mogelijk voor een bedrijf of branche om een onderbouwde bedrijfsgrenswaarde op te stellen. Dit is voor UFP nog maar weinig gedaan, en ook Eindhoven Airport heeft (nog) geen bedrijfsgrenswaarde voor UFP opgesteld. Rijkswaterstaat heeft echter wel bedrijfsgrenswaarden opgesteld voor de blootstelling van haar medewerkers aan UFP. 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 de nano-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 Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek is opgebouwd uit twee fasen:

- Fase 1. Inventarisatie van activiteiten en werkzaamheden op Eindhoven 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 vier 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. Voor vergelijking met voorgaand onderzoek en kwaliteitscontrole van de sensoren zijn ook referentiemetingen op een stationair meetpunt uitgevoerd.

3.1 Inventarisatie

Omdat het praktisch moeilijk uitvoerbaar is om alle medewerkers op alle dagen van het jaar op Eindhoven Airport te bemeten, en omdat niet alle medewerkers even hoog worden blootgesteld, is als eerste stap geïnventariseerd welke medewerkers op Eindhoven 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 Eindhoven 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 Eindhoven Airport en partners.

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 Eindhoven 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 (zowel in een kantoorruimte, ruimten met openstaande deuren, vliegtuigen en in voertuigen) 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 Eindhoven Airport (van Dinther et al., 2022) is gebleken dat de UFP-concentraties op het platform hoger zijn bij wind uit het noordwesten, hierbij worden de emissies vanaf de start-, landings- en taxistroom en de vliegtuigopstelplaatsen richting de terminal 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 opzichte 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

Eindhoven Airport heeft 14 functiegroepen aangereikt die werkzaamheden uitvoeren op de luchthaven. Eindhoven Airport, Viggo en G4S is gevraagd om van de groepen die bij hen in dienst zijn een korte functiebeschrijving te maken. Op basis van de functiebeschrijvingen en de blootstellingsfactoren (paragraaf 3.1.1) is door TNO een vragenlijst opgesteld, die vervolgens via Eindhoven Airport bij de verantwoordelijke partijen terecht is gekomen. 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 wel op het platform aanwezig zijn maar in een auto of in een vliegtuig, 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 en niet kunnen worden samengevoegd tot SEGs. Derhalve worden functiegroepen als SEGs genomen. Op basis van de ingeschatte relatieve blootstelling per functiegroep en de praktische haalbaarheid van de metingen heeft TNO geadviseerd om de functiegroepen met de hoogste verwachte blootstelling Platform Employee 4/3, Platform Employee 1, Flight Officer en de Technische Dienst van Transavia te bemeten. In overleg met Eindhoven Airport is besloten hiervan af te wijken en de functiegroepen Platform employee 4/3 (PE), Flight officer (FO), Medewerker hoofddoorlaatpost (HDLP) en de Airport operations manager (AOM) te bemeten. Bij deze afweging speelde, naast de ingeschatte blootstellingsintensiteit voor de verschillende functiegroepen, argumenten als het aantal medewerkers binnen de functiegroepen, spreiding over de werkgevers actief op Eindhoven Airport, en spreiding over werklocaties om een meer representatief beeld te verkrijgen van alle medewerkers, een rol. Door deze aanpak kunnen de twee functiegroepen waarbij een hoge UFP-blootstelling wordt verwacht, maar die niet bemeten zijn, alleen kwalitatief beoordeeld worden op basis van de resultaten van de wel bemeten groepen. Tegelijkertijd zijn de bemeten groepen wel beter 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 Eindhoven Airport.

Bedrijf	Functiegroep	Beschrijving van een representatieve werkdag per functiegroep				Aantal medewerkers aanwezig per werkdag	Inschatting blootstelling
		Typische verdeling van taken over werkdag / dienst	Locatie	Dienstlengte (uur)	% van de dag op platform		
Viggo	Platform Employee 4/3	Bagage laden en lossen bij het vliegtuig, bagagehal en aankomsthal	Platform, bij het vliegtuig, bagagehal en aankomsthal	3-10	60%	15-25	Hoog
	Flight Officer	Afhandelen vertrek en aankomst vliegtuigen, helpen bij Platform Employee taken	Platform, Voorbereidingsruimte kantoor / Rondom het vliegtuig	3-10	80%	3-8	Hoog
	Platform Employee 1	Bagage laden en lossen bij het vliegtuig, bagagehal en aankomsthal, pushback taken, catering taken, service taken zoals de water en toilet service en ambulift	Platform, bij het vliegtuig, bagagehal en aankomsthal	3-10	80%	15-25	Hoog
ASL-JetNetherlands	Ground Operations	Towen, cleanings, drankjes/snacks bijvullen, catering ophalen, fuel regelen, engine tests	Airside / In de hangar / Op de DAR	8	50%	1	Middel-Hoog
Transavia	Technische dienst Airlines	Vliegtuig onderhoud	Airside / Rondom vliegtuig	6-9	70%	4	Middel
Aircraft & Component MRO	Technische dienst Airlines	Line onderhoud	Airside / Binnen vliegtuig	8-10	30%	3	Middel
Jets Cleaning	Medewerker schoonmaakbedrijven	Schoonmaak cabines vliegtuigen / prullenbakken verschonen / horeca schoonmaak	Airside / Vertrekhal / Binnen vliegtuig	8-9	90%	4	Middel
CSU	Medewerker schoonmaakbedrijven	Algemene schoonmaak zoals sanitaire schoonmaak, vloer reinigen, afval ledigen, kantoren schoonmaken, schrobwerkzaamheden, glasbewassing etc.	Airside / Vertrekhal	8-9	30%	13	Middel
SJS-ATI / SJS-Shell	Medewerker tankdienst	Vliegtuig tanken	Airside / Rondom vliegtuig	4-12	80%	5	Middel
SPIE / Heijmans Infra	Bouw- en onderhoudspartner	Installatie werkzaamheden kantoor, reparaties	Landside / Airside	8	20%	1	Middel-Laag

Bedrijf	Functiegroep	Beschrijving van een representatieve werkdag per functiegroep				Aantal medewerkers aanwezig per werkdag	Inschatting blootstelling
		Typische verdeling van taken over werkdag / dienst	Locatie	Dienstlengte (uur)	% van de dag op platform		
G4S	HDLP medewerker	Medewerkers toegangscontrole, voertuigcontrole, patrouilleren, cleanen na NEU vlucht	Binnen op hoofddoorlaatpost, rondlopen op platforms	8	50%	20	Middel-Laag
Eindhoven Airport	Airport Operations Manager	Operations binnen	Binnen	8	10%	35	Laag
Kmar	Koninklijke Marechaussee	Beveiliging/controle	Binnen	8-9	5%	15-25	Laag
Capi Travel Plaza / Vermaat	Medewerkers horeca en retail partners	Kassa draaien, winkel vullen, verkopen, logistieke processen	Terminal, Winkel, Logistiek centrum, Airside	3-10	3%	3-8	Laag

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

Airport Operations Managers (AOM)

De AOM is verantwoordelijk voor het verloop van de zaken op de luchthaven. Bij het optreden van calamiteiten is de AOM aanwezig, en veel van de functiegroepen op de luchthaven hebben direct contact met AOM. De werkzaamheden van de AOM worden veelal in een kantoor uitgevoerd, maar dagelijks wordt minimaal één ronde gelopen op de luchthaven ter controle.

Medewerker Hoofddoorlaatpost (HDLP)

De HDLP is een beveiligingsmedewerker. Deze persoon zit vaak op de hoofddoorlaatpost, waar voertuigen die het platform moeten betreden worden gecontroleerd. Naast werkzaamheden op de hoofddoorlaatpost vervult de medewerker HDLP ook overige beveiligingstaken, en wordt veel in een auto rondgereden over het platform, of worden controles te voet uitgevoerd.

Flight Officer (FO)

De FO is verantwoordelijk voor het binnenhalen en omkeren van het vliegtuig. Zij halen het toestel binnen en sturen het afhandelteam aan zodat alle taken uitgevoerd worden. Daarnaast hebben ze contact met de flight crew en zijn ze verantwoordelijk voor het in/uitstappen van de passagiers. De werkzaamheden van de FO'ers zijn rondom het vliegtuig, veelal aan de voorkant, waarbij ze de bovengenoemde taken uitvoeren, maar ook bijspringen bij bijvoorbeeld het bagage afhandelen.

Platform Employee 4/3 (PE)

De PE 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, het in- en uitladen van de bagage en het transporteren van de bagage van en naar het vliegtuig. De werkzaamheden van de PE vinden vooral plaats rondom het vliegtuig en in de bagagehal. Hiervoor rijden ze vaak rond op en rondom de platforms in (elektrisch aangedreven) bagagetrekkers, en komen ze op veel plaatsen op het platform. In de bagagehal zijn ze ook bezig met het sorteren van de bagage. De bagagehal kan afgesloten worden van het platform, maar de deuren staan bij mooi weer meestal open richting het platform.

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 metingen alleen hebben plaatsgevonden bij droog weer en matige wind (hooguit 4 beaufort). Daarnaast is alleen gemeten bij wind uit noordelijke en westelijke richting. Op basis van het voorgaande onderzoek is namelijk gebleken dat bij wind uit het zuidoosten lagere UFP-concentraties werden gemeten op het platform (van Dinther et al., 2022). De overige omstandigheden op Eindhoven Airport waren representatief voor de dagelijkse uitvoering van de werkzaamheden van de vier 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 kan het berekende daggemiddelde 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 Eindhoven Airport 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 Eindhoven Airport en betrokken sectorpartijen.

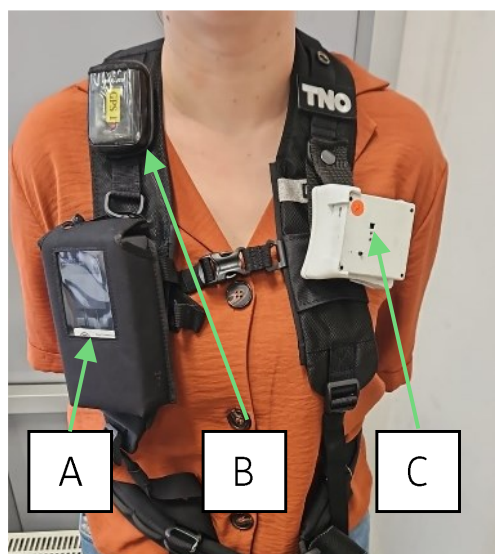
Omdat er nog maar weinig ervaring is met het gebruik van UFP-sensoren voor blootstellingsonderzoek is tot slot een stationair meetstation ingericht met zowel een UFP-sensor als een hoogwaardig meetinstrument (Environmental Particle Counter, EPC) die ook in 2022 op exact dezelfde locatie heeft gestaan. Doel van dit stationaire meetstation was tweeledig:

- Kwaliteitsbeoordeling van de UFP-sensor in vergelijking met de EPC
- Inzicht verkrijgen in verschillen in stationaire concentraties tussen 2023 en 2022.

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 # cm^{-3} . 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. Dit was dezelfde locatie als gehanteerd in voorgaand onderzoek (van Dinther et al., 2022), op LIMA-2, weergegeven in Figuur 3.2. Deze locatie is gekozen omdat het centraal gelegen is op het platform, en in voorgaand onderzoek hier hogere concentraties werden gemeten dan verder noordelijk op het platform.



Figuur 3.2 Stationaire meetlocatie LIMA-2 op Eindhoven 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 worden de weersomstandigheden gemeten met een Vaisala (type WXT 536). Ook is hier een exemplaar van de ultrafijnstofsensor (Naneos Partector 2) geplaatst die bij de persoonlijke metingen is ingezet, om de sensor te valideren.

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. Grenswaarden zijn veelal opgesteld op basis van de gemiddelde blootstelling per werkdag (uitgedrukt in het 8-uurs tijdgewogen gemiddelde, 8-uurs TGG). Om een vergelijking te kunnen maken met een 8-uurs TGG grenswaarde 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 Eindhoven Airport veel in verschillende diensten wordt gewerkt. In dit onderzoek is ervoor gekozen om een 'worst case' benadering aan te houden. Dat houdt in dat wanneer een meetperiode langer dan 8 uur was, gedaan wordt of deze totale blootstelling in 8 uur was opgelopen (conform de berekening in Bijlage G uit de NEN-EN 689). Indien de meetperiode bijvoorbeeld 10 uur was, dan is de totale blootstelling die is opgelopen in 10 uur, gedeeld door 8. Bij meetperiodes korter dan 8 uur wordt aangenomen dat in de niet bemeten 'resttijd' eenzelfde blootstelling heeft plaatsgevonden als de bemeten diensttijd. Bij korte diensten (< 4 uur) is gekozen om de hierop volgende dienst ook te bemeten, en samen te voegen tot één dag gemiddelde waarde.

Traditioneel gezien wordt de gemiddelde blootstelling van medewerkers over de meetperiode gemeten. In deze studie zijn sensoren ingezet om de blootstelling te meten. Sensoren geven elke seconde een meetresultaat. 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 in principe 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 door dat erg hoge piekconcentraties optreden, die tot wel 1000 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 gerapporteerd in Bijlage E.

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 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 persoonlijke blootstelling hebben beïnvloed. Dit betekent niet alleen dat de invloed van het weer op het gemeten concentratieniveau kan

worden beoordeeld maar ook in hoeverre de variatie in daggemiddelde blootstellingen binnen een functiegroep kan worden verklaard 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 bedrijfs grenswaarden moeten worden afgeleid. Er zijn nog nauwelijks bedrijven in Nederland die private grenswaarden voor UFP hebben afgeleid. Ook de luchthavens in Nederland, inclusief Eindhoven 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 voorlopige 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) heeft in 2012 aangeraden om de NRW te hanteren in afwezigheid van een wettelijke grenswaarde (Asscher, 2012). Hierbij wordt verwezen naar het SER advies van 23 maart 2012 over de NRW (SER, 2012), waarin wordt aanbevolen om de voorlopige nano-referentiewaarden te erkennen bij bedrijfsinspecties en om het gebruik van deze waarden actief te adviseren.

De voorlopige NRW identificeert 4 klassen voor nanomaterialen waarvoor ook verschillende referentiewaarden worden voorgesteld. De voorlopige 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}) (klasse 3 uit de NRW). 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 een referentiewaarde voor UFP vermeerderd zou moeten worden met de achtergrondconcentratie. Voor deze studie is daarom gekozen om te vergelijken met de twee referentiewaarden van 40 000 en 50 000 # cm⁻³ om de gemeten blootstellingen in voldoende perspectief te plaatsen.

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 zowel het rekenkundig als de geometrisch gemiddelde gebruikt, zoals besproken in 3.3.1. Vervolgens zijn de 8-uurs gemiddelde waarden per SEG getoetst aan de voorlopige nano referentiewaarden uit 3.3.2 op basis van zowel het rekenkundig en geometrisch gemiddelde.

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

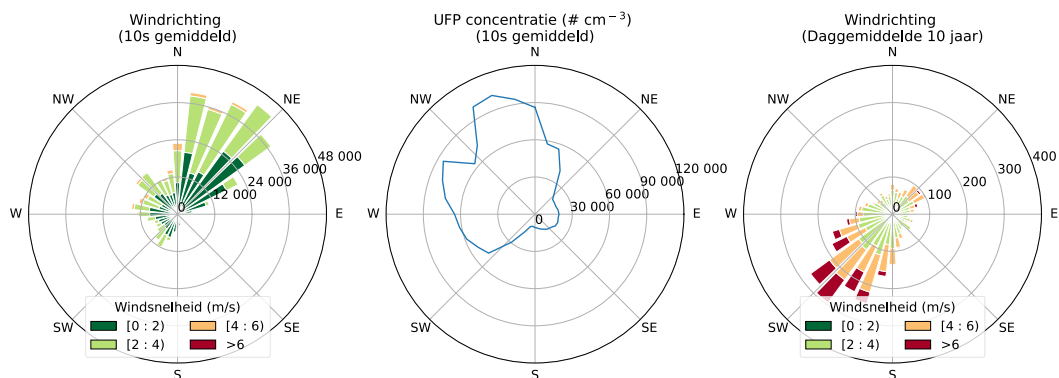
De metingen hebben plaatsgevonden in de periode van 1 mei t/m 30 juni 2023. De stationaire meetopstelling heeft gedurende de gehele periode op het platform gestaan waarbij tussen 16 en 18 juni in verband met een stroomstoring, de meetapparatuur heeft uitgestaan. De persoonlijke metingen hebben plaatsgevonden op 22, 24 en 25 mei, en op 1, 19, 21 en 27 juni. Eerst zullen de resultaten van de stationaire meetopstelling besproken worden ten aanzien van beoordeling van de kwaliteit van de UFP-sensor. De overige uitwerkingen van de stationaire meetgegevens is te vinden in Bijlage C. Vervolgens worden de persoonlijke blootstellingsmetingen met de UFP-sensor gerapporteerd.

4.1 Stationaire metingen

Op het stationaire meetstation zijn deeltjestellingen uitgevoerd met een EPC, bedoeld om het verloop van de UFP-concentraties op het platform te meten. Daarnaast zijn hier meteo gegevens verzameld, die ook invloed hebben op de persoonlijke metingen. Behalve de EPC was op het meetstation ook een UFP-sensor geplaatst, waardoor de kwaliteit van de UFP-sensor in vergelijking met de EPC beoordeeld kon worden.

4.1.1 Meteorologische gegevens

Tijdens de meetperiode kwam de wind voornamelijk uit het noordoosten, zoals weergegeven in Figuur 4.1 (links). Tijdens deze meetperiode werden de hoogste concentraties gemeten bij wind uit een westelijke/noordwestelijke richting, net als de metingen tussen 7 april en 9 mei 2022 (van Dinther et al., 2022). Net als tijdens het onderzoek in 2022 was de windrichting die tijdens deze meetperiode voorkwam meer oostelijk dan voorgaande jaren, zoals te zien is in Figuur 4.1 (rechts). Hier wordt het 10-jaarlijks gemiddelde weergegeven op basis van KNMI gegevens, waaruit blijkt dat de gemiddelde windrichting (in Eindhoven) zuidwestelijk is.



Figuur 4.1 Meteorologische gegevens tijdens de meetperiode op Eindhoven Airport van 1 mei t/m 30 juni 2023. Links is de algemene windrichting en -snelheid weergegeven, waarbij de kleuren de windsnelheid weergegeven, 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 Eindhoven 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.

In Tabel 4.1 zijn de gemiddelde concentraties per windrichting weergegeven voor de stationaire meetlocatie gedurende de gehele meetperiode. Hieruit valt op te maken dat de rekenkundig gemiddelde concentratie het hoogst is bij wind vanuit het noordwesten en de geometrisch gemiddelde concentratie het hoogst bij wind vanuit het noordoosten. Dit heeft twee redenen: bij noordwestelijke wind worden vaker hoge piekconcentraties gemeten wat weinig invloed heeft op het geometrisch gemiddelde maar wel veel invloed op het rekenkundig gemiddelde, en bij noordoostelijke wind is de bijdrage van de achtergrondconcentratie (10^e percentiel) hoger dan bij noordwestelijke wind. Het is waarschijnlijk dat dit te maken heeft met de ligging van het meetstation, gezien bij noordoostelijke windrichting de UFP-emissies van vliegtuigen en materieel op de platforms juist naar de meetopstelling worden geblazen. Deze vliegtuigen en materieel staan vaak gedurende het afhandelen van het vliegtuig aan en ook langduriger (>5 minuten), maar deze emissies worden meer uitgesmeerd. Bij noordwestelijke wind worden juist de emissies van de taxistroom naar de meetopstelling worden geblazen, waardoor juist hoge piekconcentraties (minder uitgesmeerd) worden gemeten.

Tabel 4.1 UFP-concentraties bij de verschillende windkwadranten, gebaseerd op 10s gemiddelden.

Windkwadrant	Aantal metingen	Rekenkundig 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)
Noordoost	248 000	38 000	93 000	20 000	7 000	18 000	61 000	5 041 000
Zuidoost	23 000	15 000	18 000	11 000	5 000	10 000	31 000	1 210 000
Zuidwest	74 000	37 000	104 000	13 000	4 000	10 000	78 000	4 102 000
Noordwest	123 000	83 000	238 000	19 000	4 000	12 000	202 000	6 027 000

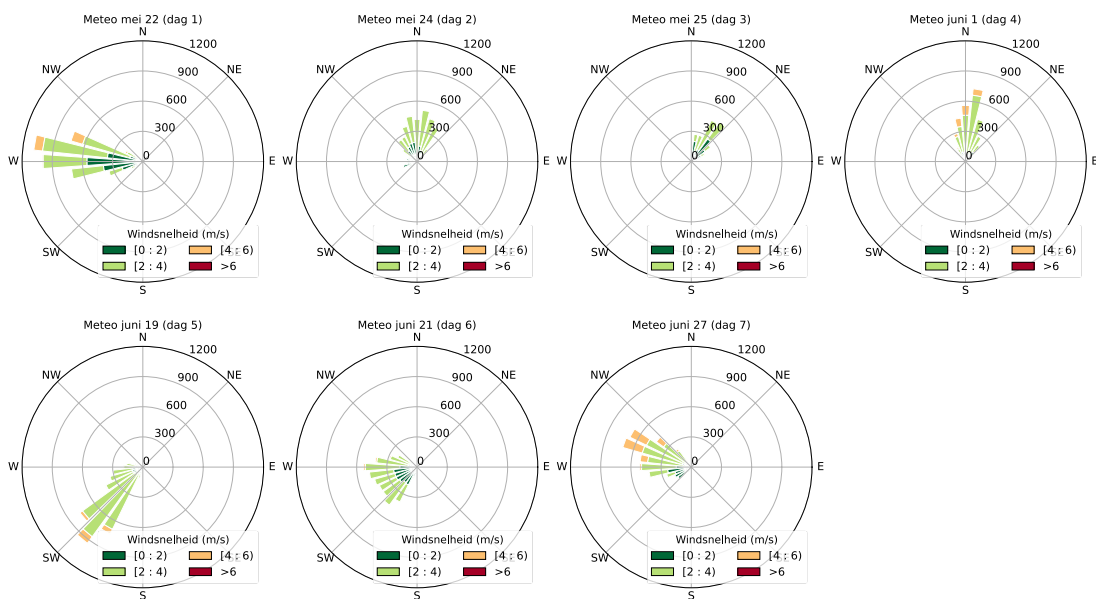
Om de gemeten UFP niveaus op het platform in perspectief te kunnen plaatsen zijn de waarden vergeleken met die van de vorige meetcampagne tussen 7 april en 9 mei 2022 op Eindhoven Airport (van Dinther et al., 2022). De huidige gemiddelde concentratie en het 90 percentiel liggen beide ca. 40% lager dan in 2022, terwijl het aantal vliegbewegingen en de windcondities vergelijkbaar waren. Wel is er in de huidige meetperiode aanzienlijk meer (5x zoveel) regen gevallen, wat het verschil goed kan verklaren. Daarnaast hebben veranderingen in de bedrijfsvoering mogelijk ook een gunstige bijdrage geleverd aan de verlaging van de UFP-concentratie op het platform. Eindhoven Airport heeft aangegeven dat afgelopen jaar meer aandacht is gekomen voor vermindering van APU gebruik, en taxiën op 1 motor. Hiernaast is aangegeven dat het percentage toestellen met een ‘schonere’ verbranding is toegenomen in de afgelopen periode, wat ook een effect kan hebben op de gemeten concentraties.

4.2 Persoonlijke blootstelling

Het doel van het huidige onderzoek is om meer informatie te verzamelen over de persoonlijke blootstelling van medewerkers op Eindhoven Airport. De persoonlijke blootstellingsmetingen hebben plaatsgevonden op 22, 24 en 25 mei, en op 1, 19, 21 en 27 juni. Bij de blootstellingsmetingen is zo veel mogelijk de totale shift van de medewerkers bemeaten om de blootstelling goed te kunnen bepalen over alle verschillende uitgevoerde activiteiten.

4.2.1 Meteorologische gegevens

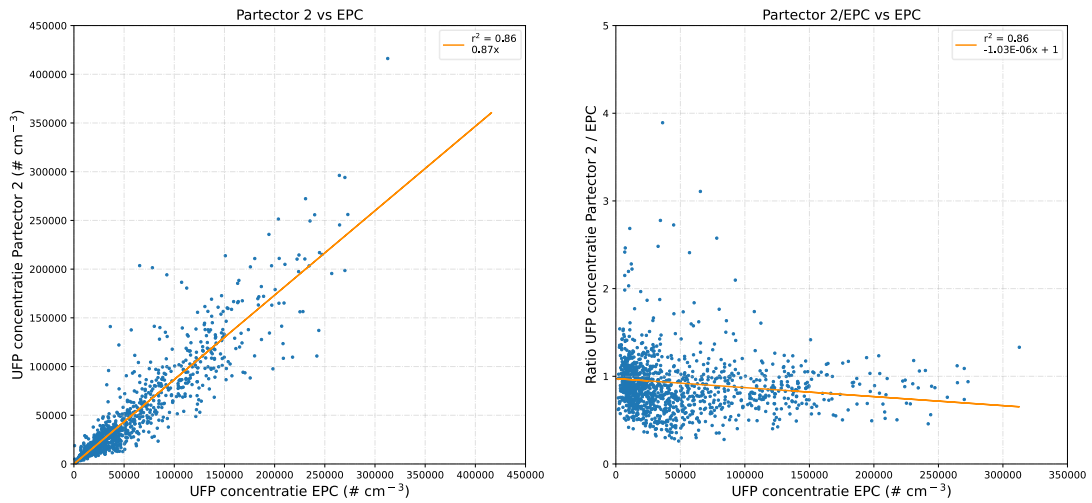
De persoonlijke metingen zijn uitgevoerd op dagen dat het niet regende en waarbij op basis van windrichting de hoogste concentraties werden verwacht op het platform, te weten bij wind uit het kwadrant noordwest (realistische worst case). In Figuur 4.2 is de windrichting en -snelheid op de verschillende meetdagen weergegeven. De gemiddelde UFP-concentratie op het platform op deze persoonlijke meetdagen bedroeg $93\ 000 \pm 29\ 000$ en $101\ 000 \text{ # cm}^{-3}$ op basis van respectievelijk het stationaire meetstation en de persoonlijke metingen. Deze concentratie ligt hoger dan de gemiddelde UFP-concentratie overdag (8 – 18 uur) gedurende de gehele meetperiode ($70\ 000 \pm 46\ 000 \text{ # cm}^{-3}$), maar zit wel in dezelfde range als de gemiddelde UFP-concentratie tussen 8 – 18 uur, gemeten in 2022, namelijk $109\ 000 \text{ # cm}^{-3}$ (van Dinther et al., 2022).



Figuur 4.2 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.

4.2.2 Validatie persoonlijke meetapparatuur

Op de stationaire meetlocatie heeft ook een UFP-sensor (Naneos Partector 2) die bij de persoonlijke metingen is ingezet meegedraaid. De UFP-sensor heeft op dezelfde plek gemeten als de UFP monitor (EPC), en de twee zouden goed overeen moeten komen bij goed functioneren. In Figuur 4.3 is de UFP-concentratie van de Partector 2 tegen de EPC uitgezet.



Figuur 4.3 Correlatie Partector 2 (UFP-sensor persoonlijke blootstellingsmetingen) en EPC (UFP monitor). 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.

Uit Figuur 4.3 blijkt een goede correlatie tussen de Partector 2 en de EPC ($r^2 = 0.86$); wel blijkt dat bij hogere concentraties de Partector 2 iets lagere waarden geeft dan de EPC. Bij minuutgemiddelde data is de correlatie nog steeds goed ($r^2 = 0.77$), maar blijkt wel dat de onderschatting bij hoge concentraties groter is dan bij uurgemiddelde data. Dit betekent dat piekconcentraties gemeten door de Partector 2 waarschijnlijk een onderschatting geven van de werkelijke concentraties. De berekende onderschatting van de geteste Partector 2 ten opzichte van de EPC is circa 13% en blijft hiermee ruim binnen de door de fabrikant opgegeven afwijking van 30%. Aangezien gebruik gemaakt wordt van daggemiddelde concentraties voor de blootstellingsberekeningen (waarbij eventuele afwijkingen op uurbasis verder worden gemiddeld), zijn de resultaten van de Partectors betrouwbaar genoeg om te gebruiken voor de persoonlijke blootstellingsmetingen.

Om een indruk te krijgen van de variabiliteit tussen de vijf Partectors zijn de sensoren gedurende enkele dagen naast elkaar gezet, waarbij ze zijn blootgesteld aan variërende UFP-concentraties, inclusief hoge piekconcentraties ($> 100\,000\ \text{# cm}^{-3}$). De variatie in gemeten UFP-concentraties tussen de verschillende sensoren is lager dan de door de fabrikant gespecificeerde 30%; dit geldt ook voor hoge piekconcentraties. Ten opzichte van de sensor die gebruikt is op het stationaire meetstation, is de afwijking tussen de 4 en 16% en blijven dus ook hiermee onder de door de fabrikant opgegeven afwijking. Een overzicht van de vergelijking onderling is gegeven in Bijlage D.

4.2.3 Persoonlijke metingen

De persoonlijke blootstelling is voor vier verschillende functiegroepen bepaald, namelijk de Airport Operations Manager (AOM), de medewerker Hoofddoorlaatpost (HDLP) de Flight Officer (FO) en de Platform Employee 4/3 (PE). Voor alle groepen zijn zes metingen uitgevoerd, verspreid over tenminste vier dagen. Er zijn drie personen dubbel bemeten (2x HDLP, 1x AOM). Voor de functiegroep HDLP is het twee keer voorgekomen dat de meetduur kort was (2 – 4 uur), vanwege de lengte van de diensten. Eén keer is het harnas doorgegeven aan de volgende persoon, en is het tijdgewogen gemiddelde over beide diensten bepaald. Hiervoor is gekozen omdat sprake was van een korte dienst tijdens de eerste meting, en de bemeten personen dezelfde functie vervulden. Eén keer was het niet mogelijk om het harnas door te geven en is

gedurende 2 uur gemeten; deze meting is niet gebruikt voor vergelijking aan referentiewaarden en er is een nieuwe meting gedaan om toch aan 6 metingen te komen.

In Tabel 4.2 is een overzicht gegeven van de verschillende meetdagen, en welke functiegroep op welke dag is bemeaten. In de tabel is de daggemiddelde blootstelling (8-uurs TGG) weergegeven als rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}). Daarnaast zijn ook het 10^e en 90^e percentiel gedurende de werkdag weergegeven om een beeld te krijgen van de spreiding (variantie) in gemeten blootstellingen. Om inzicht te krijgen in oorzaken van de variantie in blootstelling binnen een functiegroep zijn van dezelfde meetperioden ook de gemiddelde concentraties van de UFP metingen op het stationaire meetstation toegevoegd. Op 25 mei 2023 is de stationaire meting om 11:30 uitgevallen, waardoor de gemiddelde concentratie niet helemaal representatief is voor de gehele meetdag. Overige gegevens, zoals geometrisch, 15-min en 1-uurs gemiddelden en maximale waarden, zijn te vinden in Bijlage E.

Tabel 4.2 Resultaten persoonlijke blootstellingsmetingen

Functie-groep	Datum	Meetduur (uren)	8-uurs gemiddelde (AM_{meting}) (# cm ⁻³)	10 ^e percentiel (# cm ⁻³)	90 ^e percentiel (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddelde stationair (AM) (# cm ⁻³)
AOM	22-5-2023	08:09	10 000	3 000	6 000	140 000
AOM	24-5-2023	05:55	3 000	1 000	6 000	69 000
AOM	25-5-2023	06:14	11 000	1 000	16 000	14 000 ²⁾
AOM	1-6-2023	06:21	8 000	1 000	23 000	123 000
AOM	19-6-2023	06:18	15 000	1 000	31 000	112 000
AOM	21-6-2023	05:44	10 000	3 000	20 000	107 000
HDLP ¹⁾	22-5-2023	07:40	63 000	6 000	158 000	148 000
HDLP	22-5-2023	06:59	55 000	9 000	124 000	131 000
HDLP ¹⁾	24-5-2023	07:30	15 000	5 000	20 000	81 000
HDLP	24-5-2023	02:16	33 000	7 000	52 000	59 000
HDLP	25-5-2023	06:45	40 000	5 000	83 000	32 000 ²⁾
HDLP	21-6-2023	04:20	48 000	11 000	94 000	91 000
HDLP	27-6-2023	06:21	34 000	5 000	32 000	49 000
FO	22-5-2023	07:03	200 000	6 000	508 000	130 000
FO	24-5-2023	06:59	47 000	3 000	78 000	81 000
FO	1-6-2023	06:20	61 000	4 000	98 000	83 000
FO	1-6-2023	06:23	48 000	2 000	38 000	97 000
FO	19-6-2023	09:04	87 000	6 000	186 000	111 000
FO	21-6-2023	06:15	87 000	4 000	204 000	94 000
PE	25-5-2023	05:30	41 000	1 000	78 000	35 000 ²⁾
PE	1-6-2023	05:57	57 000	2 000	106 000	76 000
PE	19-6-2023	07:20	91 000	8 000	185 000	101 000
PE	19-6-2023	07:20	78 000	2 000	193 000	101 000
PE	27-6-2023	08:25	59 000	5 000	99 000	52 000
PE	27-6-2023	07:15	110 000	8 000	225 000	50 000

- 1) Samengevoegde meting van 2 verschillende medewerkers met korte meetduur
- 2) Stationaire meetopstelling uitgevallen na 11:30, is niet representatief voor de gehele periode

4.2.4 Functiegroepen en SEGs

Op basis van observaties tijdens de metingen op Eindhoven Airport zijn voor alle functiegroepen de verwachte blootstellingen geschat en vergeleken met de eerder kwalitatief geschatte relatieve blootstelling (laag, middel, hoog) op basis van de vragenlijsten (paragraaf 4.2.3.1). 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. Hierbij is ook de spreiding (variantie) van blootstellingen binnen de functiegroep beoordeeld, waarbij de individuele blootstellingen zijn vergeleken met observaties van activiteiten en omstandigheden, o.a. weersomstandigheden (paragraaf 4.2.3.2). Als representativiteit is aangetoond dan kunnen conform NEN-EN 689 de vier functiegroepen worden aangeduid als 'Similar Exposure Groups (SEGs)' en als zodanig worden vergeleken met referentiewaarden zodat de blootstellingen in perspectief geplaatst kunnen worden (paragraaf 4.2.3.3).

4.2.4.1 Vragenlijsten

Voorafgaand aan de metingen zijn SEGs vastgesteld op basis van vragenlijsten (elke functiegroep een aparte SEG). Aan de hand hiervan is ook de verwachte blootstelling kwalitatief ingeschat. Dit doet geen uitspraak over de kwantitatieve blootstelling die vervolgens in het blootstellingsonderzoek is gemeten, maar geeft een relatieve prioritering weer van de functiegroepen die in het blootstellingsonderzoek bemeten kunnen worden. Aangezien de vragenlijsten maar door één medewerker per functiegroep zijn ingevuld, is het mogelijk dat de beantwoording niet representatief is voor de hele groep, en kan het zijn dat de inschatting van de blootstelling niet representatief is voor de gehele functiegroep. Om te controleren of gemaakte aannames over o.a. activiteiten, omstandigheden en verblijftijden op de platforms juist waren is op basis van observaties tijdens de meetdagen nog een inschatting gemaakt van de verwachte blootstelling die is vergeleken met de initiële inschatting op basis van de vooraf ingevulde vragenlijsten. De kwalitatief ingeschatte blootstelling per functiegroep op basis van de vragenlijsten en observaties is weergegeven in Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Ingeschatte relatieve blootstelling op basis van vragenlijsten en observaties

Bedrijf	Functiegroep	Beoordeling o.b.v. vragenlijsten	Beoordeling o.b.v. observaties
Viggo	Platform Employee 4/3	Hoog	Hoog
	Flight Officer	Hoog	Hoog
	Platform Employee 1	Hoog	Hoog
ASL/Jetnetherlands	Groundoperations	Middel-Hoog	Middel
Transavia	Technische dienst Airlines	Middel	Middel
Aircraft & Component MRO	Technische dienst Airlines	Middel	Middel-Laag
Jeths Cleaning	Medewerker schoonmaakbedrijven	Middel	Middel
CSU	Medewerker schoonmaakbedrijven	Middel	Middel-Laag
SJS-ATI / SJS-Shell	Medewerker tankdienst	Middel	Middel-Hoog
SPIE / Heijmans Infra	Bouw- en onderhoudspartner	Middel-Laag	Middel-Laag

Bedrijf	Functiegroep	Beoordeling o.b.v. vragenlijsten	Beoordeling o.b.v. observaties
G4S	HDLP medewerker	Middel-Laag	Middel-Hoog
Eindhoven Airport	Airport Operations Manager	Laag	Laag
Kmar	Koninklijke Marechaussee	Laag	Laag
Capi Travel Plaza / Vermaat	Medewerkers horeca en retail partners	Laag	Laag

Uit de tabel wordt duidelijk dat de kwalitatief ingeschatte blootstelling op basis van vragenlijsten en observaties voor de meeste functiegroepen overeenkomt. Opvallende groepen zijn de ‘Medewerker tankdienst’ en ‘HDLP’, waarvoor de blootstelling op basis van vragenlijsten lager werd ingeschat dan op basis van observaties. Voor de functiegroep ‘medewerker tankdienst’ is een belangrijke reden hiervoor dat tijdens de observaties duidelijk werd dat de medewerkers tussen de vliegtuigen staan met (gedeeltelijk) draaiende motoren, en dat ze niet in de tankwagen blijven zitten. Medewerkers uit de functiegroep ‘Medewerker Hoofddoorlaatpost’ bleken minder in de auto/op de hoofddoorlaatpost zitten en meer te voet surveilleren dan van te voren is ingeschat.

4.2.4.2 Variantie in blootstellingconcentraties

In aanvulling op de in Tabel 4.2 gegeven blootstellingswaarden zijn ook per functiegroep de individuele blootstellingswaarden op de verschillende meetdagen met elkaar vergeleken en geëvalueerd. Hierbij is de spreiding (variantie) in gemeten blootstellingconcentraties binnen een functiegroep inzichtelijk gemaakt aan de hand van boxplots en berekende variatiecoëfficiënten (zie Bijlage H). Variantie in blootstelling binnen een functiegroep kan voorkomen doordat activiteiten en omstandigheden variëren, en ook omdat persoonlijk gedrag een rol speelt. Daarnaast hebben weersomstandigheden (met name windrichting) een grote invloed op de gemeten UFP-concentraties op het platform (zie paragraaf 4.1.1).

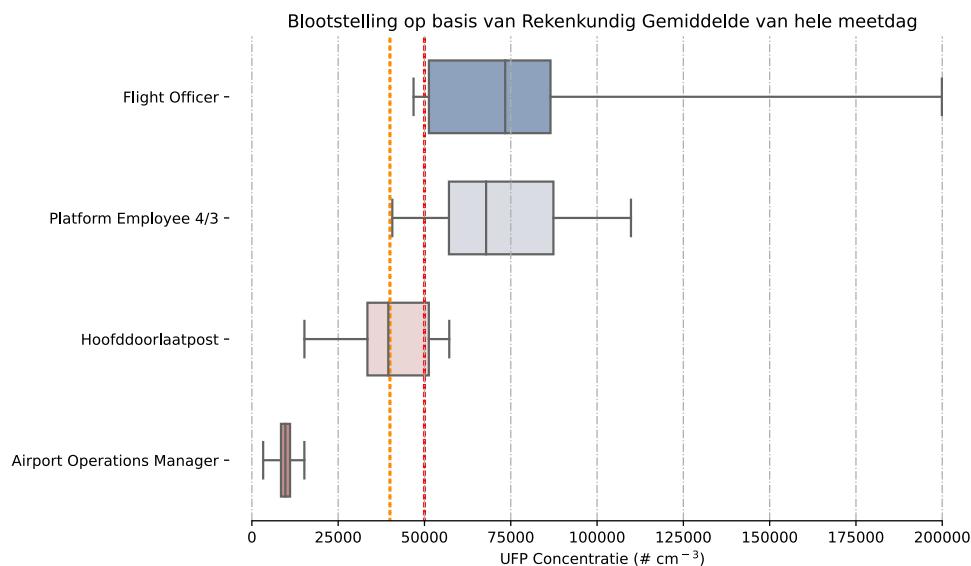
Voor de functiegroepen ‘Airport Operation Manager’, ‘Medewerker HDLP’ en ‘Platform Employee’ is de variantie in blootstellingswaarden op de verschillende meetdagen beperkt, met variatiecoëfficiënten van respectievelijk 39%, 34% en 44%. Voor de functiegroep ‘Flight Officer’ is de variantie hoger (variatioecoëfficiënt 60%). De grotere verschillen in persoonlijke blootstelling bij deze functiegroep zijn vooral te verklaren door het variërende aantal taxiënde en passerende vliegtuigen in combinatie met de wisselende weersomstandigheden. Voor alle functiegroepen blijkt overigens dat de verblijftijd op het platform en de weersomstandigheden (windrichting) de belangrijkste factoren zijn voor de hoogte van de persoonlijke blootstelling. Ook de variantie in blootstellingen binnen de functiegroepen kan voor een belangrijk deel worden verklaard op basis van deze factoren.

4.2.4.3 Daggemiddelde blootstelling per SEG

Voor de bemeten functiegroepen zijn op basis van de observaties en contextsensoren geen afwijkingen gevonden ten opzichte van de taakomschrijvingen en blootstellingsprofielen die op basis van de vragenlijsten zijn gedefinieerd. Zoals reeds aangegeven in voorgaande paragraaf is de variantie binnen de functiegroepen voor een belangrijk deel te verklaren door verschillen in verblijftijden op het platform, vliegtuigbewegingen (aantallen aankomende/vertrekkende en taxiënde vliegtuigen) en weersomstandigheden (met name windrichting). Ook bij de statistische validatie van SEGs conform de NEN-EN 689 (Bijlage E) blijken de zes daggemiddelde blootstellingen binnen de functiegroepen log-normaal verdeeld, waarbij geen afwijkingen (uitbijters) zijn geconstateerd. In analogie met de NEN-EN 689 kunnen de blootstellingen dan ook als representatief worden beschouwd voor de overige

medewerkers binnen de vier functiegroepen en kunnen deze vervolgens worden aangeduid als ‘Similar Exposure Groups (SEGs)’.

Aangezien voor UFP nog geen wettelijke en/of gezondheidkundige grenswaarden zijn afgeleid (zie paragraaf 3.3.2) zijn de gemeten blootstellingen per SEG vergeleken met de voorlopige nano-referentiewaarden (NRWs) van 40 000 (zonder correctie voor de achtergrond) en 50 000 # cm⁻³ (met een maximale achtergrond correctie van 10 000 # cm⁻³). In Figuur 4.4 zijn boxplots van de 6 metingen per SEG weergegeven, waarbij de daggemiddelde blootstelling per meetdag als rekenkundig gemiddelde zijn weergegeven. De oranje en rode stippellijnen geven de referentiewaarden van respectievelijk 40 000 # cm⁻³ en 50 000 # cm⁻³ weer. De box zelf geeft de 25^e en 75^e percentielwaarden aan, de lijn in de box geeft de mediaan (middelste gemeten waarde) weer, en de uiterste lijnen geven de maximale en minimale waarden weer.



Figuur 4.4 Boxplot rekenkundig gemiddelde blootstelling van 6 bemeten medewerkers per SEG. Oranje en rode stippellijnen geven de gehanteerde referentiewaarden weer van 40 000 en 50 000 # cm⁻³.

Voorafgaand aan de vergelijking met NRWs, zijn de blootstellingsmetingen die langer hebben geduurd dan 8 uur omgerekend naar 8-uurs TGG waarden op basis van de richtlijnen in de NEN-EN 689 (bijlage G). Voor kortere blootstellingsmetingen schrijft de NEN voor dat voor de ‘restperiode’ eenzelfde blootstelling wordt aangenomen als de bemeten periode. De vergelijking van de blootstelling binnen de vier SEGs met de NRWs is uitgevoerd conform de NEN-EN 689 (bijlage F). Bij de vergelijking is gebruik gemaakt van de rekenkundig (AM_{meting}) gemiddelde blootstellingen per meting. Vervolgens is het geometrische gemiddelde (GM_{SEG}) genomen van de afzonderlijke AM_{meting} blootstellingsmetingen en vergeleken met de NRWs. Op basis hiervan blijkt dat voor de SEGs ‘Flight Officer’, ‘Medewerker Hoofddoorlaatpost’ en ‘Platform Employee 4/3’ de gemiddelde concentratie niet met voldoende zekerheid onder de NRW ligt. Voor de SEG ‘Airport Operation Manager’ kan wel met voldoende zekerheid worden gesteld dat de blootstelling beneden de NRWs blijft.

Uit aanvullende berekening blijkt (op basis van het 95^e percentiel) tevens dat voor de SEGs ‘Platform Employee 4/3’ en ‘Flight Officer’ de blootstelling met respectievelijk een factor 3 en 5 gereduceerd moet worden om te kunnen voldoen aan de NRWs; voor de SEG ‘Medewerker

Hoofddoorlaatpost' is een halvering van de blootstelling noodzakelijk. In Tabel 4.4 wordt een overzicht gegeven van de vergelijking met de NRW.

Tabel 4.4. Vergelijking van de geometrisch gemiddelde blootstelling van de bemeten SEGs met de voorlopige nano referentiewaarden conform de NEN-EN 689, op basis van rekenkundig (AM_{meting}).

Blootstellingsgroep (SEG)	Gemiddelde blootstelling AM_{meting} (# cm^{-3})	95 percentiel (# cm^{-3})	Vergelijking met voorlopige nano referentiewaarde conform NEN-EN 689	
			40 000 # cm^{-3}	50 000 # cm^{-3}
Airport Operation Manager	8 700	14 000	Voldoet	Voldoet
Medewerker Hoofddoorlaatpost	37 000	57 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Flight Officer	77 000	172 000	Voldoet niet	Voldoet niet
Platform Employee 4/3	69 000	105 000	Voldoet niet	Voldoet niet

Het is mogelijk dat de gemiddelde blootstelling lager is dan de NRW, maar dat volgens de statistische toetsing in NEN-EN 689 toch niet wordt voldaan aan de NRW. Dit wordt veroorzaakt doordat er binnen de metingen sprake is van een dusdanige spreiding dat niet met tenminste 70% zekerheid gesteld kan worden dat bij 95% van de metingen wordt voldaan aan de NRW. Aangezien de metingen zijn uitgevoerd bij winrichtingen waarbij de hoogste concentraties werden gemeten, is het mogelijk dat de jaargemiddelde situatie hiervan verschilt. Het uitvoeren van meerdere metingen onder verschillende omstandigheden zou meer duiding kunnen geven aan de werkelijke variantie in blootstelling gedurende een langere periode (bijv. een jaar).

4.2.5 Locatie- en situatierelateerde blootstelling

Door gebruik te maken van de real-time UFP-sensordata is het mogelijk om in meer detail te kijken naar het blootstellingspatroon gedurende de werkdag. Met behulp van observaties en contextsensordata kunnen locaties, activiteiten en/of omstandigheden worden geïdentificeerd die tot een verhoogde UFP-blootstelling leiden. Dit geeft niet alleen inzicht in het blootstellingsprofiel maar daardoor kunnen ook meer gerichte en efficiëntere maatregelen worden getroffen om de blootstelling omlaag te brengen. Alle bemeten personen hebben een UV sensor en GPS meegedragen; daarnaast zijn observaties uitgevoerd, waarbij o.a. activiteiten zijn bijgehouden. Voor de SEGs 'Platform Employee 4/3' en 'Flight Officer' zijn de observaties uitgevoerd door medewerkers van TNO. Op enkele dagen is het niet gelukt om observaties te verzamelen. Voor de SEGs 'Airport Operations Manager' en 'Medewerker Hoofddoorlaatpost' zijn de activiteiten door de medewerkers zelf bijgehouden; deze observaties zijn vooral bij de 'Airport Operation Manager' minder gedetailleerd waardoor het moeilijker is om UFP-sensordata toe te wijzen aan bepaalde activiteiten en omstandigheden.

De UV sensor is gebruikt om onderscheid te maken tussen binnen en buiten. De absolute waarde van de UV-B sensoren wisselt per sensor. Daarnaast beïnvloedt ook de houding van de persoon ten opzichte van de zon de meting (bijvoorbeeld als de drager van de sensor voorover bukt zal de sensor minder UV-B meten). Voor de scheiding tussen binnen en buiten is daarom een waarde van '0' gehanteerd als 'binnen', en groter dan '0' als 'buiten'. Dit afscherpende effect heeft er wel voor gezorgd dat niet alle buitenlocaties door de UV sensor zijn gesignaleerd. Ook bij overkappingen en in voertuigen met open ramen/deuren geeft de

UV sensor vaak geen signaal. Dit is relevant omdat op het platform op Eindhoven Airport de looppaden voor passagiers grotendeels overdekt zijn, waardoor het mogelijk is dat de UV-B sensor geen signaal geeft.

Hieronder 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. Voor de opdeling in SEGs is gekozen omdat de medewerkers binnen de bemeten 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 4.2.5.5 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 verschillen in tijdschaal wordt de UV sensordata als maatgevend beschouwd omdat deze data accurater is dan de observaties. 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. In deze gevallen zijn observaties en/of GPS data gebruikt om de situatie te identificeren.

Voor de locatie- en situatiegerelateerde blootstelling wordt 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} 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.

4.2.5.1 Airport Operations Manager

De UFP-blootstellingen en contextdata (UV-B en observaties) van de bemeten personen uit de SEG 'Airport Operations Manager' gedurende de werkdag zijn weergegeven in Bijlage F. In Tabel 4.5 is de gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale blootstelling (op 5 sec basis) en de totale tijdsduur per situatie en/of activiteit (optelsom van alle bemeten personen) weergegeven op basis van sensordata (UV-B en GPS) en observaties. Hoe langer de tijdsduur hoe betrouwbaarder de UFP-blootstelling. Bij een korte tijdsduur spelen toevalligheden (zoals een sporadische hoge piekblootstelling) namelijk een grotere rol. Dit kan het geval zijn bij de gemeten blootstelling op landside, aangezien daar de tijdsduur zeer beperkt is (< 0,5 uur) geweest. Bij deze SEG is vooral de GPS en UV-B data gebruikt om onderscheid te maken in binnen- en buitensituaties, aangezien bij de observaties die door de bemeten personen zelf zijn uitgevoerd niet alle tijden consequent zijn genoteerd.

Op basis van de data blijkt dat verhoogde UFP-blootstellingen vooral buiten optreden, waarbij de blootstelling op airside zoals verwacht hoger is dan op landside. Opvallend is dat de UFP-blootstelling in de auto het hoogst was. Dit komt waarschijnlijk doordat de auto op airside stond in combinatie met openstaande ramen en/of deuren. Gezien de concentratie op basis van de contextsensoren hier circa 7x lager is, is het ook aannemelijk dat de observatie hier niet klopt. Dit blijkt ook uit de vergelijking met de UFP-blootstelling in een rijdende auto (geïdentificeerd op basis van GPS snelheid), die veel lager is.

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 Manager, 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)	
Airside buiten ¹⁾	37 000 [21 000]	13 000 [8 000]	1 425 000 [669 000]	3 [3,5]
Airside buiten, in auto	75 000 [10 000]	13 000 [3 000]	2 926 000 [2 926 000]	0,5 [11,5]
Airside buiten, in rijdende auto	[8 000]	[4 000]	[159 000]	[1,5]
Landside buiten ²⁾	11 000 [4 000]	5 000 [2 000]	247 000 [24 000]	0,5 [0,1]
Binnen	[3 000]	[2 000]	[538 000]	[17,5]
Totale dataset				39

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data

1) rondom het platform en de noordzijde van airside tussen platform en parkeerterrein P5 (rondom hoofddoorlaatpost)

2) voorkant van de terminal, bij Airport boulevard en Luchthavenweg

4.2.5.2 Medewerker Hoofddoorlaatpost

Voor de SEG 'Medewerker Hoofddoorlaatpost' zijn de gemiddelde concentraties verspreid over de locaties weergegeven in Tabel 4.6. De bemeeten personen binnen SEG 'Medewerker Hoofddoorlaatpost' hebben hun situaties/activiteiten over het algemeen goed bijgehouden, zoals ook blijkt uit de UV sensor data die goed overeenkomt met de observaties. In de binnensituatie zijn op sommige momenten wel verhoogde blootstellingen gemeten, echter op basis van de UV sensordata blijkt dat op die momenten de medewerker even naar buiten ging, of dat deuren tijdelijk open stonden. Hierdoor kunnen de blootstellingsniveau's per situatie en/of activiteit als betrouwbaar gezien worden.

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

Situatie / activiteit	UFP-blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Airside buiten, te voet en in auto	49 000	18 000	7 151 000	10,5
Airside buiten, in auto	[32 000]	[16 000]	[1 658 000]	[6]
Airside buiten, in rijdende auto	[44 000]	[15 000]	[1 872 000]	[3]
Airside buiten, te voet	58 000 [56 000]	21 000 [18 000]	7 151 000 [7 151 000]	23,5 [7]
Binnen	36 000 [29 000]	16 000 [14 000]	2 622 000 [1 016 000]	18,5 [4]
Totale dataset				42

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data

1) rondom het platform en de noordzijde van airside tussen platform en parkeerterrein P5 (rondom hoofddoorlaatpost)

Op basis van de data blijkt dat de UFP-blootstelling op het platform het hoogst is. Met de UV-B data is onderscheid gemaakt in de blootstelling van medewerkers die te voet surveilleren of met de auto. Op basis van de GPS snelheid is vervolgens ook aangegeven hoe hoog de blootstelling was in een rijdende auto. Hierbij moet rekening worden gehouden dat een selectie op basis van de GPS snelheid de momenten waarop de auto stilstaat niet worden meegenomen. In de praktijk komt het vaak voor dat de medewerker in de auto blijft zitten om de afhandeling van een vliegtuig in de gaten te houden. De blootstelling te voet ligt volgens verwachting hoger dan de blootstelling in de auto. Dat het verschil niet heel groot is komt waarschijnlijk doordat de ramen van de auto's vaak open staan tijdens het surveilleren. Verder lijkt de blootstelling in een rijdende auto hoger dan in een stilstaande auto. Dit was bij de 'Airport Operations Manager' juist andersom. Omdat dit alleen tot uitdrukking komt in het rekenkundig gemiddelde en de tijdsduur in de rijdende auto kort is, is dit waarschijnlijk het effect van enkele hoge piek blootstellingen. Opvallend is dat voor airside buiten, te voet de dataselectie op basis van contextsensoren kleiner is dan op basis van observaties (respectievelijk 7 en 23,5 van de in totaal 42 blootstellingsuren) waardoor een directe vergelijking niet mogelijk is.

4.2.5.3 Flight Officer

In Tabel 4.7 zijn de gemiddelde concentraties per locatie en situatie weergegeven van de SEG 'Flight Officer'. De 'Flight Officer' bevindt zich (op basis van de GPS) circa 78% van de werkdag op het platform (dit is geen compleet beeld, sommige datapunten gaan verloren vanwege slecht signaal GPS), dichtbij de vliegtuigen (op en tussen de vliegtuig opstelplaatsen) en is nauw betrokken bij de activiteiten rondom het vliegtuig. Dit is ook te zien in Bijlage F, waar bij de 'Flight Officer' gedurende de gehele werkdag hoge piekblootstellingen zijn gemeten. Ook liggen de gemiddelde blootstellingen op het platform voor de 'Flight Officer' veel hoger dan voor de 'Airport Operations Manager' en 'Medewerker Hoofddoorlaatpost', aangezien de 'Flight Officer' zich veel dichtbij de vliegtuigen begeeft. De berekende gemiddelde blootstelling op het platform met behulp van GPS en UV-B data ligt hoger dan op basis van de observaties. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de verschillen in signalering van de tijdschaal, waarbij de sensordata accurater is dan de observaties.

Op basis van de data blijkt dat vertrekkende en aankomende (passerende) vliegtuigen een duidelijk verhoogde UFP-blootstelling veroorzaken. Bij deze kortdurende 'events' is de blootstelling ca. 2x hoger dan de gemiddelde blootstelling op het platform. Niet alle passerende en aankomende vliegtuigen leiden tot een verhoogde blootstelling, dit komt door de heersende windrichting op dat moment in combinatie met de positie van de 'Flight Officer' ten opzichte van het vliegtuig (benedenwinds of bovenwinds van het toestel). Enkele keren is tijdens het tanken met de 'Tankwagen' gedurende korte tijd een hoge UFP-blootstelling gemeten, die meer dan 2x hoger was dan gemiddeld genomen bij passerende vliegtuigen optrad. Hierbij heeft de tankwagen dichtbij de 'Flight Officer' gestaan. Aangezien ook enkele passerende vliegtuigen zijn geregistreerd is het onduidelijk wat de exacte bron is van deze verhoogde blootstelling. Op basis van de geometrisch gemiddelde blootstelling (die ook hoog is ten opzichte van de andere geometrische gemiddelden) lijkt de 'Tankwagen' als hoofdbron het meest waarschijnlijk, omdat bij passerende vliegtuigen de geometrisch gemiddelde blootstelling ruim 5x lager is dan de rekenkundig gemiddelde UFP-blootstelling.

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

Situatie / activiteit	UFP-blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Buiten op platform (VOPs)	111 000 [116 000]	27 000 [33 000]	10 388 000 [10 388 000]	12,5 [15]
GPU aan	73 000	37 000	922 000	1,5
APU aan	89 000	24 000	10 388 000	1,5
Tankwagen	483 000	156 000	3 815 000	0,5
Binnen in ruim	49 000 [73 000]	35 000 [31 000]	357 000 [3 355 000]	0,5 [4]
Passerend vliegtuig	222 000	41 000	10 388 000	2
Totale dataset				42

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data

Op basis van de geometrisch gemiddelde blootstelling leidt het gebruik van de APU niet tot een constante verhoging van de UFP-blootstelling bij de 'Flight Officer' (het GM_{meting} ligt lager dan het GM_{meting} buiten op het platform. Bij de diesel-aangedreven GPUs wordt wel een hogere UFP-blootstelling gemeten dan buiten op het platform; vooral de geometrisch gemiddelde (GM_{meting}) blootstelling is ca. 30-400% hoger dan de gemiddelde blootstelling op het platform. Deze dieselemissies leiden tot een meer continue UFP belasting, waarbij de emissie meer wordt uitgesmeerd, en minder piekconcentraties (zoals bij taxiënd vliegverkeer) optreden. Hierdoor wordt het GM_{meting} ook beïnvloed. De APU bevindt zich achterin het toestel. Omdat de 'Flight Officer' zich vooral begeeft aan de voorkant van het toestel zal dit minder vaak leiden tot een verhoging in de UFP-blootstelling. De GPUs bevinden zich juist aan de voorkant van het platform, waardoor dit ten opzichte van het APU gebruik wel vaak resulteert in een verhoging van het GM_{meting} bij de 'Flight Officer'. Net zoals bij de aankomende en passerende vliegtuigen is de windrichting hier ook van belang.

De 'Flight Officer' is enkele keren in het ruim van het vliegtuig geweest. Hierbij is vooral de geometrisch gemiddelde (GM_{meting}) blootstelling verhoogd (ca. 50% hoger dan op het platform), maar de rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}) blootstelling is juist lager dan gemiddeld op het platform. In het binnenruim is de UFP-blootstelling naar verwachting meer continu en wordt veel minder gedomineerd door piekblootstellingen dan op het platform, maar juist door ophoping; dit blijkt ook op basis van de maximaal gemeten piekblootstelling die een factor 30 lager is dan op het platform. De berekende UFP-blootstelling in het ruim op basis van GPS en UV-B sensordata ligt hoger dan op basis van de observaties. Dit komt zeer waarschijnlijk doordat in de dataselectie ook data is meegenomen waarbij de 'Flight Officer' in een bagagewagen naast het vliegtuig zit. Op basis van contextsensor data is dit onderscheid niet goed te maken.

4.2.5.4 Platform Employee 4/3

In Tabel 4.8 zijn de gemiddelde concentraties op de verschillende locaties op de luchthaven gemeten bij de SEG 'Platform Employee 4/3' weergegeven. De 'Platform Employee 4/3' bevindt zich (op basis van de GPS data) 68% van de werkdag op het platform (Dit is geen compleet beeld, sommige datapunten gaan verloren vanwege slecht signaal GPS), en heeft daar diverse taken: o.a. aansluiten GPU, plaatsen van trappen, in- en uitladen van bagage,

transport bagage naar bagagehal. Daarnaast is de ‘Platform Employee 4/3’ ook een deel van de werkdag binnen in de bagagehal voor het sorteren van de bagage. Op basis van de data blijkt dat voor de ‘Platform Employee 4/3’ de hoogste blootstelling optreedt bij activiteiten op het platform, bij de vliegtuigopstelplaatsen. Bij het transport van bagage van- en naar de bagagehal is de blootstelling ca. 10-30% lager en bij activiteiten in de bagagehal is de blootstelling nog lager (factor 3-4).

Tabel 4.8 Gemiddelde (AM_{meting} en GM_{meting}) en maximale UFP-blootstellingen ($\# \text{ cm}^{-3}$) tijdens verschillende situaties en activiteiten voor de Platform Employee 4/3, op basis van de observaties. De waarden tussen haakjes [] zijn de concentraties op basis van de contextsensoren (UV-B en GPS data).

Situatie / activiteit	UFP-blootstelling ($\# \text{ cm}^{-3}$)			Tijdsduur (uur)
	AM_{meting}	GM_{meting}	Maximum (5 sec)	
Buiten op platform (VOPs)	125 000 [121 000]	26 000 [37 000]	5 289 000 [7 381 000]	5,5 [8,5]
Buiten rondrijden bagage	113 000 [80 000]	21 000 [29 000]	1 941 000 [2 610 000]	0,5 [1,5]
Binnen in bagagehal	54 000 [33 000]	25 000 [9 000]	1 155 000 [1 032 000]	4,5 [5,5]
GPU aan	144 000	29 000	3 358 000	1
APU aan	90 000	25 000	3 358 000	1,5
Toiletwagen	120 000	23 000	5 070 000	1
Tankwagen	64 000	30 000	319 000	0,5
Binnen in ruim	288 000 [117 000]	35 000 [29 000]	4 177 000 [4 177 000]	1 [4]
Passerend vliegtuig	308 000	72 000	5 289 000	1,5
Totale dataset				42

[] data gebaseerd op UV-B en GPS data

Net zoals voor de ‘Flight Officer’ blijkt dat vertrekkende en aankomende (passerende) vliegtuigen ook voor ‘Platform Employee 4/3’ tot een verhoogde UFP-blootstelling leidt. Bij deze kortdurende ‘events’ is de blootstelling ca. 2,5x hoger dan de gemiddelde blootstelling op het platform. Op basis van de observaties leiden de activiteiten in het ruim van de vliegtuigen ook voor de ‘Platform Employee 4/3’ tot een verhoogde blootstelling, die op basis van GM_{meting} en AM_{meting} , respectievelijk 30 en 130% hoger is dan de gemiddelde blootstelling op het platform. Echter, op basis van UV-B en GPS sensordata zijn de UFP-blootstellingen in het ruim van een vergelijkbaar niveau als op het platform. De reden voor deze discrepantie is tweeledig: enerzijds was de ‘Platform Employee 4/3’ niet altijd even goed te volgen, waardoor een aantal observaties ontbreken, anderzijds zijn bij het gebruik van GPS en UV-B data, UFP waarden meegenomen waarbij de medewerker zich niet in het ruim bevond, maar onder of dichtbij het vliegtuig waardoor de UV sensor werd afgeschermd. Het is onduidelijk welk van de twee genoemde factoren het meest heeft bijgedragen aan het verschil, maar het is waarschijnlijk dat de werkelijke UFP-blootstelling in het ruim tussen beide UFP waarden ligt.

De UFP-blootstelling in de bagagehal is lager dan op het platform. In tegenstelling tot de observaties is dit verschil met de contextsensoren goed te zien omdat de momenten dat de ‘Platform Employee 4/3’ even naar buiten gaat of bij de openstaande deuren staat goed worden herkend en eruit worden gefilterd.

Net zoals bij de 'Flight Officer' leidt alleen het gebruik van diesel-aangedreven GPUs tot een verhoogde UFP-blootstelling voor de 'Platform Employee 4/3' ten opzichte van overige gebeurtenissen op het platform. Ondanks dat deze personen actief zijn op verschillende plekken rond het vliegtuig, en dus ook achter het vliegtuig komen wanneer de APU aan staat, wordt geen duidelijke verhoging van de UFP-blootstelling gemeten ten opzichte van overige gebeurtenissen op het platform. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de APU zich boven de werknemers bevindt, waardoor geen directe blootstelling optreedt aan de uitlaat. Tijdens GPU gebruik is de rekenkundig gemiddelde (AM_{meting}) blootstelling van de 'Platform Employee' duidelijk (2x) hoger dan die van de 'Flight Officer'. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de activiteiten en de posities van de 'Platform Employee 4/3' ten opzichte van het vliegtuig en GPU.

Op basis van observaties zijn ook twee 'events' geïdentificeerd met dieselvoertuigen in de buurt van het vliegtuig, het gaat om een tankwagen en activiteiten met een toiletwagen (op 27 juni). In beide gevallen is er ten opzichte van de al hoge UFP-blootstelling op het platform geen extra verhoging in de blootstelling van de 'Platform Employee 4/3' gemeten. Het feit dat voor de 'Flight Officer' wel een verhoging (ten opzichte van de heersende UFP-concentraties op het platform) in de UFP-blootstelling is gemeten tijdens het tanken, heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat deze persoon dicht bij de dieseluitlaat van de tankwagen heeft gestaan.

4.2.5.5 Locaties, activiteiten en omstandigheden

Op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP, UV en GPS sensoren en observaties kan een aantal conclusies worden getrokken over individuele SEGs, maar ook over specifieke omstandigheden, activiteiten en locaties die van toepassing zijn op alle bemeeten SEGs:

- De blootstelling van alle functiegroepen wordt voor het grootste deel bepaald door de verblijftijd buiten op airside. De blootstelling buiten op airside is veel hoger dan buiten op landside.
- Op airside variëren de blootstellingen sterk al naar gelang de plaats waar medewerkers zich bevinden. In het algemeen kan gesteld worden dat de blootstellingen het hoogst zijn bij medewerkers op de vliegtuigopstelplaatsen (VOPs) en afnemen naar mate de afstand tot het vliegtuig groter wordt. Van hoge naar lagere blootstelling gaat dat dan om de volgende locaties: op de VOPs, op het platform rondom de VOPs, rondom het platform (buitenrand), rondom de hoofddoorlaatpost (tussen platform en parkeerplaats P5). Bij de VOPs is de blootstelling het hoogst en 2 - 3 keer hoger dan aan de rand van het platform en rondom de hoofddoorlaatpost. Het stationaire meetpunt geeft een gemiddelde concentratie voor het centrale gedeelte van het platform.
- De blootstelling van medewerkers op airside wordt daarnaast bepaald door hun positie ten opzichte van de vliegtuigen in combinatie met de heersende windrichting. Medewerkers die zich dichtbij en benedenwinds bevinden van bronnen (dit kunnen ook andere bronnen zijn zoals bijvoorbeeld een tankwagen) worden hoog blootgesteld.
- Op airside is de blootstelling afhankelijk van de activiteiten en omstandigheden. Voor de 'Airport Operations Manager' en de 'Medewerker HDLP' geven de activiteiten te voet een 10 - 30% hogere blootstelling dan in de auto. Dit verschil is kleiner dan verwacht en wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt doordat ramen (en deuren) van de auto veelvuldig open staan.
- Vertrekkende en aankomende (passerende) vliegtuigen geven een duidelijke verhoging in UFP-blootstelling. Bij de 'Flight Officer' en 'Platform Employee' is de

blootstelling op die momenten gemiddeld 2 keer hoger (ca. 264 000 # cm⁻³). De verhoging is afhankelijk van de positie van de medewerker ten opzichte van de vliegtuigen in relatie tot de heersende windrichting.

- Ook diesel-aangedreven UFP-bronnen (bijvoorbeeld de tankauto en GPU) kunnen een vergelijkbare verhoging in de blootstelling geven. Gezien de kleinere omvang (lagere emissie) van deze bronnen is de positie van de medewerker hier nog belangrijker. Alleen in de buurt en benedenwinds van deze bronnen is het effect duidelijk meetbaar.
- Bij de 'Flight Officer' en 'Platform Employee' is geen verhoging in UFP-blootstelling geconstateerd tijdens het gebruik van de APU. Dit kan ermee te maken hebben dat de uitlaat zich hoger bevindt, boven de ademzone van medewerkers op de VOPs.
- Opvallend is dat de blootstelling in het ruim van vliegtuigen hoog is (vergelijkbaar met het niveau buiten op de VOPs). Bij de 'Platform Employee' is de blootstelling in het ruim ca. 2 keer hoger dan bij de 'Flight Officer'. Dit heeft waarschijnlijk te maken met andere emissies vanaf het platform.
- De blootstelling in de bagagehal is lager dan op het platform maar veel hoger dan in het naastgelegen kantoorgebouw; dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de deuren in de richting van het platform vaak open staan. Opvallend is verder dat de blootstelling in de hoofddoorlaatpost relatief hoog is. Ook hier spelen openstaande deuren en ramen waarschijnlijk een rol, maar kunnen ook andere bronnen (bijvoorbeeld roken, printer) een bijdrage hebben geleverd aan de verhoging.

4.2.5.6 Ruimtelijke concentratiekaarten van UFP-concentraties

Om inzicht te krijgen in de ruimtelijke verdeling van de gemeten UFP-concentraties zijn de locatiegegevens op basis van GPS en UV-B (binnen/buiten) gekoppeld aan de UFP data, wat resulteert in concentratiekaarten. Hierbij zijn de datapunten van alle persoonlijke SEG metingen op alle meetdagen samengevoegd, wat betekent dat geen verdere onderverdeling in activiteiten per locatie mogelijk is. De concentratiekaarten zijn opgebouwd uit 'grids' waarbij de rekenkundig gemiddelde UFP-concentratie op ieder gridpunt is berekend en in de kaart is weergegeven. Voor de locatie 'Bagagehal' is enkel gebruik gemaakt van de GPS coördinaten aangezien deze locatie ook voor een gedeelte verbonden is met de buitenlucht, en dus UV-B gemeten kan worden wanneer de medewerkers zich op deze locatie bevinden. Het kan hierdoor voorkomen dat de gemiddelde concentratie afwijkt van de eerder berekende concentraties bij de SEGs. Voor de locatie 'Platform' wordt specifiek gekeken naar de buitenluchtconcentraties, dus worden alleen datapunten gebruikt waarbij de UV-B meting groter is dan '0'. Voor de locaties 'HDLP' en 'Kantoor' zijn alleen de datapunten waarop de UV-B meting '0' aangeeft gebruikt, aangezien we hier specifiek op zoek zijn naar de concentraties wanneer medewerkers zich binnen bevinden. In Figuur 4.5 tot en met Figuur 4.8 zijn concentratieprofielkaarten geplot voor de locaties hoofddoorlaatpost, kantoorgebouw, bagagehal en het platform. Aanvullend zijn in bijlage G concentratieprofielkaarten weergegeven voor de individuele SEGs.

Hoofddoorlaatpost

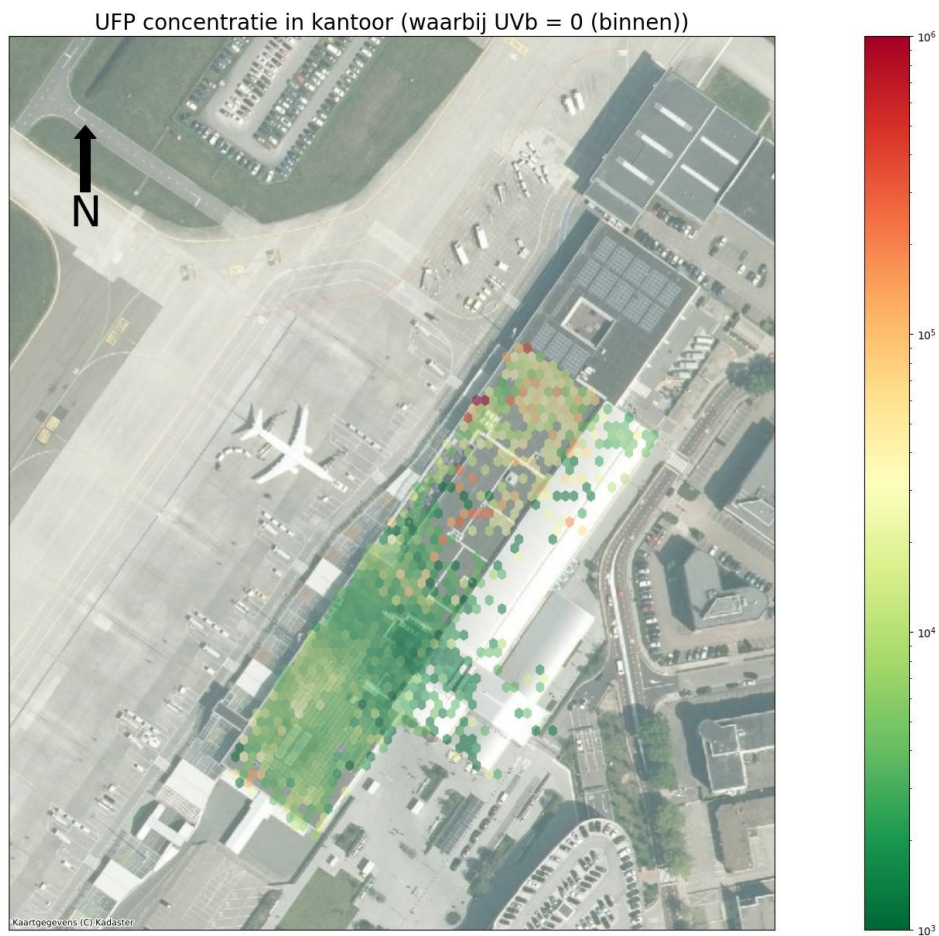
De gemiddelde UFP-concentraties op de hoofddoorlaatpost zijn 23 000 (AM_{meting}) en 14 000 # cm⁻³ (GM_{meting}). Op veel plaatsen binnen de hoofddoorlaatpost ligt de UFP-concentratie lager; er zijn wel meerdere plaatsen met een hogere UFP-concentratie; deze plekken zitten vooral aan de randen van het gebouw waardoor het waarschijnlijk is dat deze verhogingen zijn veroorzaakt door openstaande deuren of ramen. Echter, er zijn ook verhogingen midden in het gebouw te zien waarvan de bron niet duidelijk is, het kan hier bijvoorbeeld gaan om een printer of een situatie waarin een deur of raam gedurende lange tijd open staat en de wind naar binnen waait.



Figuur 4.5 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) op de hoofddoorlaatpost, op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.

Kantoorgebouw

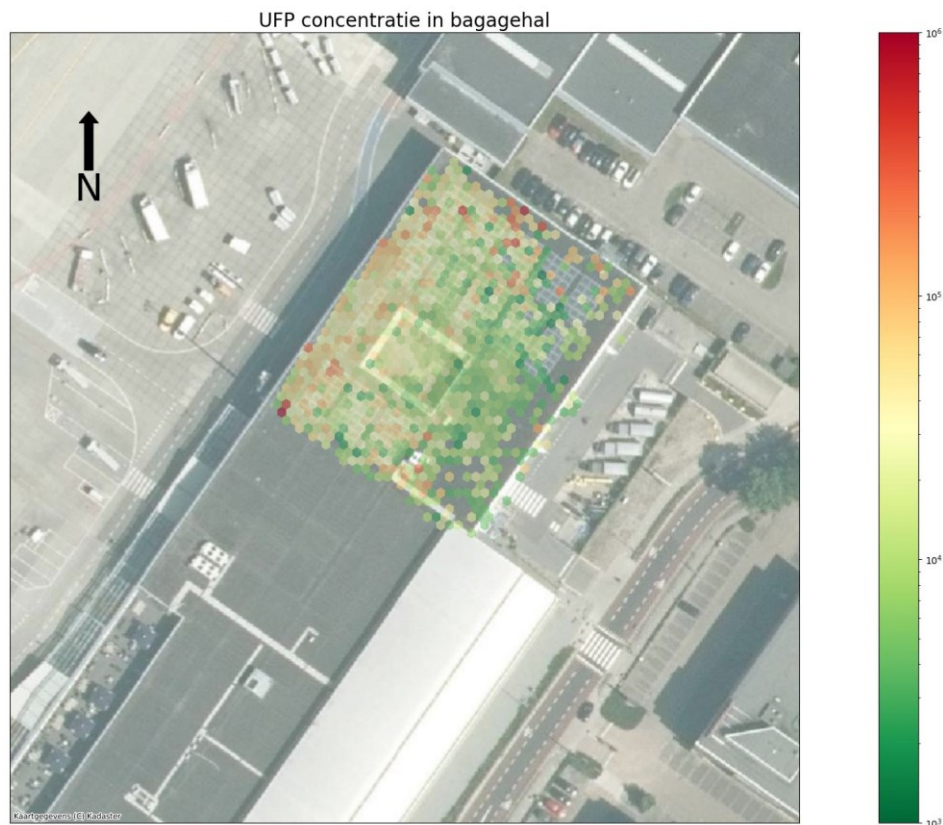
De gemiddelde UFP-concentraties in het kantoorgebouw zijn 8 000 (AM_{meting}) en 3 000 $\# \text{ cm}^{-3}$ (GM_{meting}). De UFP-concentratie in het kantoorgebouw is relatief laag en vergelijkbaar met het achtergrondniveau buiten. Aan de noordoostzijde van het gebouw zijn de UFP-concentraties hoger ($> 10\,000 \# \text{ cm}^{-3}$). Deze zijde van het kantoorgebouw is echter niet in gebruik als kantoor, maar hier komen medewerkers vanaf het platform, zoals de 'Flight Officer' en de 'Platform Employee 4/3' het kantoorgebouw binnen. Dit kan ook de verklaring zijn voor de verhoogde UFP-concentraties; door het openen van de deur(en) komt lucht vanaf het platform in het kantoorgebouw. De verhoging zal waarschijnlijk tijdelijk zijn en zal bij het sluiten van de deur(en) geleidelijk afnemen; dit kan echter niet worden geverifieerd doordat de UFP-concentraties zijn gebaseerd op de persoonlijke meetdata van de 'Flight Officer' en de 'Platform Employee 4/3', waardoor de meetdata meer beïnvloed is door de situatie met open deur(en).



Figuur 4.6 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) in het kantoorgebouw, op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.

Bagagehal

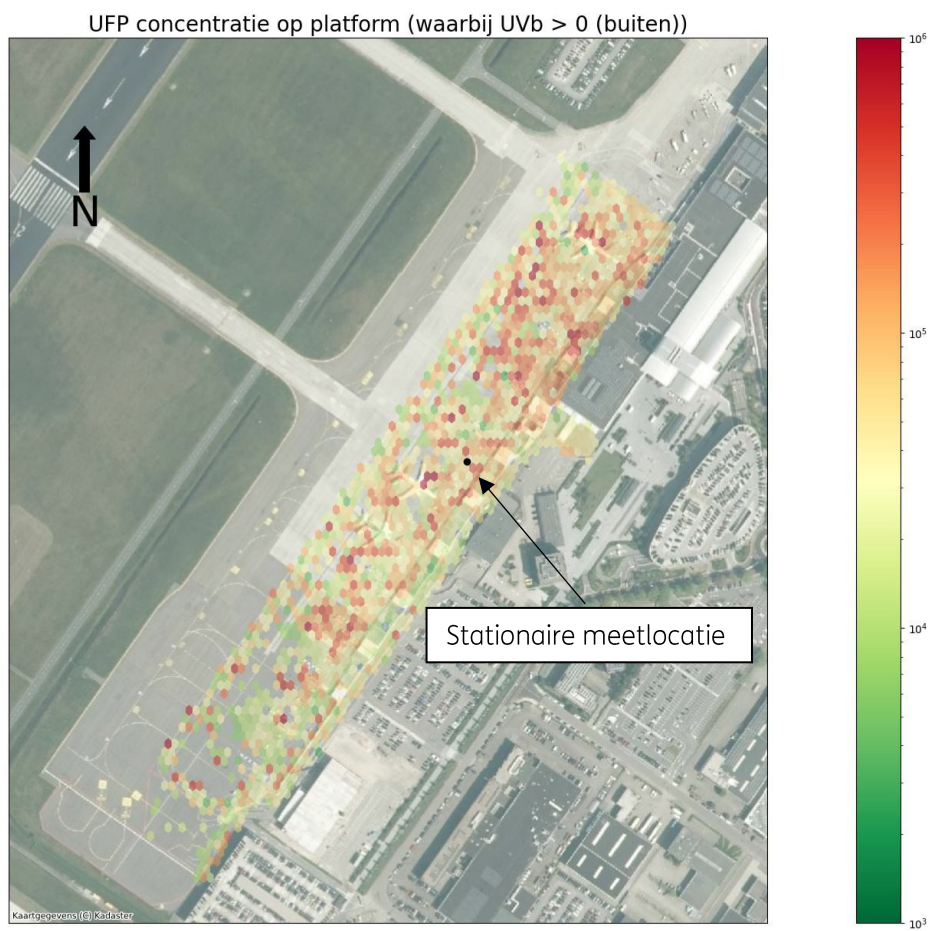
De gemiddelde UFP-concentraties in de bagagehal zijn 31 000 (AM_{meting}) en 8 000 # cm^{-3} (GM_{meting}). De UFP-concentratie is afhankelijk van de plaats in de hal. Aan de zuidoostzijde, het verst weg van het platform is de gemiddelde UFP-concentratie vergelijkbaar met het kantoorgebouw en de hoofddoorlaatpost maar aan de noordwest zijde (platformzijde) is te zien dat de gemiddelde UFP-concentratie hoger is. De deuren van de bagagehal staan vaak open (vooral bij mooi weer), waardoor de buitenlucht vanaf het platform zich vermengt met de binnenlucht en zo voor een verhoogde UFP-concentratie in de bagagehal zorgt. Ook aan de zijkanten van de hal zijn kleine verhogingen in de UFP-concentratie te zien; ook hier gaat het waarschijnlijk om deuren en/of ramen die openstaan.



Figuur 4.7 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM) in de bagagehal, op basis van GPS coördinaten.

Platform

In algemene zin is de UFP-concentratie op het gehele platform duidelijk hoger dan de binnenlocaties (AM_{meting} : $104\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$ en GM_{meting} : $29\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$). Het lijkt erop dat de hoogste concentraties zich vooral voordoen rondom de vliegtuigopstelplaatsen. De hoogste UFP-concentraties worden gevonden op het platform tussen de beide intersecties; waarschijnlijk omdat hier de meeste vliegtuigbewegingen plaatsvinden. Op het platform ter hoogte van de meest zuidelijke taxistroom bevindt zich het stationaire meetstation (in Figuur 4.8 aangegeven door een cirkel). De gemiddelde UFP-concentratie (AM_{meting}) op deze plaats, gebaseerd op de persoonlijke metingen, ligt rond de $80\ 000 - 100\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$. Dit komt goed overeen met de gemiddelde UFP-concentratie gemeten tijdens dezelfde periode op het stationaire meetstation van $94\ 000\ \# \text{ cm}^{-3}$. Dit bevestigt dat met de persoonlijke UFP-sensoren eenzelfde beeld wordt verkregen van de UFP-concentratie als de stationaire UFP-sensor op een bepaalde locatie.



Figuur 4.8 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) op het platform, op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata. De locatie van het stationaire meetstation is aangegeven met de zwarte stip.

4.2.6 Overige functiegroepen

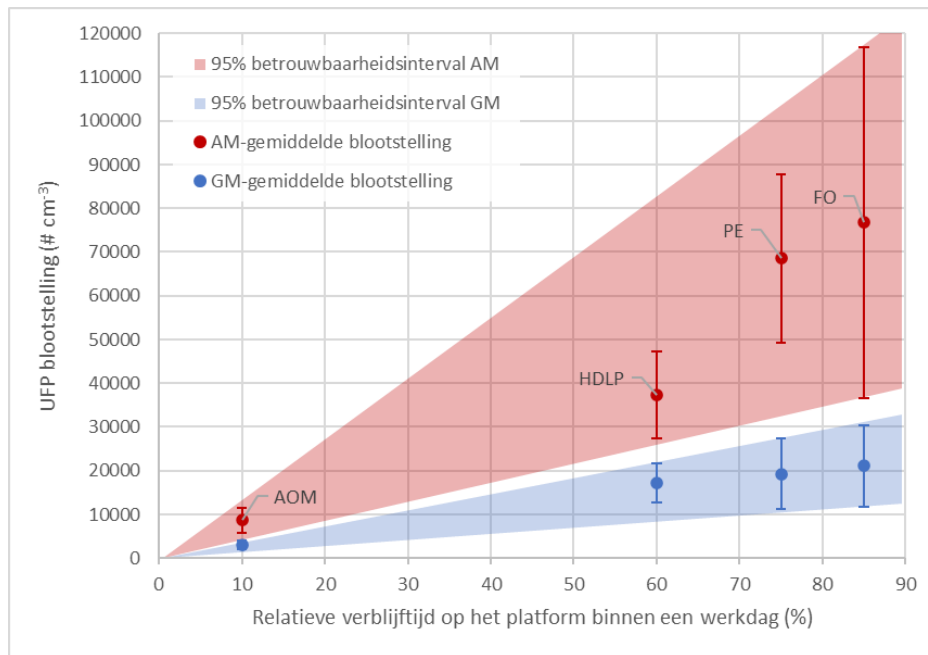
In de huidige blootstellingsstudie is voor 4 van de 14 functiegroepen op Eindhoven Airport de blootstelling aan UFP onderzocht. Voor de overige functiegroepen op de luchthaven is aan de hand van de ingevulde vragenlijsten en observaties een globale kwalitatieve inschatting van de blootstelling gemaakt op basis van de categorieën: Laag, Middel, Hoog (zie Tabel 4.3). Voor de 'Hoog' ingeschatte functiegroepen 'Flight Officer' en 'Platform Employee' is het GM_{SEG} van de zes gemeten daggemiddelde (AM_{meting}) blootstellingen respectievelijk 77 000 en 69 000 $\# \text{ cm}^{-3}$. Voor de 'Middel-Hoog' ingeschatte functiegroep 'Medewerker HDLP' en de 'Laag' ingeschatte functiegroep 'Airport Operations Manager' zijn de GM_{SEG} van de zes gemeten daggemiddelde (AM_{meting}) blootstellingen respectievelijk 37 000 en 8 700 $\# \text{ cm}^{-3}$. De gemeten blootstellingen voor de bemeeten functiegroepen komen dus goed overeen met de ingeschatte blootstellingscategorieën voor diezelfde functiegroepen, die voornamelijk tot stand zijn gekomen op basis van verblijftijden op het platform in combinatie met activiteiten en omstandigheden. Om voor de overige functiegroepen te komen tot een schatting van blootstellingsniveaus kunnen de resultaten van de vier bemeeten functiegroepen op twee manieren worden gebruikt:

- op basis van de correlatie tussen verblijftijd op het platform en gemeten blootstellingsconcentratie,
- via het opsplitsen van de blootstellingsconcentraties in locaties, activiteiten en omstandigheden op basis van contextsensoren en observaties.

4.2.6.1 Blootstellingindicatie op basis van verblijftijd op het platform

De correlatie tussen UFP-blootstelling en verblijftijd op het platform kan worden gebruikt voor een indicatieve schatting van de blootstelling voor de overige functiegroepen, op voorwaarde dat de verblijftijd op het platform goed kan worden ingeschat. Op basis van observaties en contextsensoren zijn daarom eerst de verblijftijden van de vier bemeeten SEGs nauwkeuriger ingeschat: 'Airport Operations Manager': 10%, 'Medewerker HDLP': 60%, 'Platform Employee': 75% en 'Flight Officer': 85%. In Figuur 4.9 is vervolgens de UFP-blootstelling tegen de relatieve verblijftijd op het platform uitgezet.

Bepalend voor de uiteindelijke blootstelling is niet alleen de verblijftijd maar ook de plek op het platform. In het voorgaande onderzoek in 2022 op Eindhoven Airport is al geconstateerd dat de gemiddelde concentratie (AM) op de noordzijde en zuidzijde van het platform verschillend was, met gemeten gemiddelde concentraties van respectievelijk 33 000 en 76 000 $\# \text{ cm}^{-3}$ (van Dinther et al., 2022). Ook bij de huidige persoonlijke metingen blijkt dat de plek op het platform waar medewerkers zich bevinden belangrijk is; dit blijkt onder meer uit Figuur 4.9 waar een duidelijk lineair verband tussen de AM blootstelling en verblijftijd ontbreekt. Deze plek op het platform is afhankelijk van de functiegroep met bijbehorend takenpakket. De 'Airport Operations Manager' en 'Medewerker HDLP' voeren geen activiteiten uit nabij de vliegtuigopstelplaatsen waardoor de UFP-blootstelling op het platform relatief laag is. Daarentegen bevinden de 'Platform Employee' en de 'Flight Officer' zich juist wel in de nabijheid van de vliegtuigopstelplaatsen, waardoor de blootstelling aan UFP relatief hoger uitvalt.



Figuur 4.9 Gemiddelde UFP-blootstelling per SEG uitgezet tegen de verblijftijd op het platform (in procenten van de totale werkdag), op basis van observaties en contextsensoren. De gearceerde gebieden geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen van de blootstelling weer.

Omdat voor de overige functiegroepen de precieze locatie van werknemers op het platform niet bekend is, kan de blootstelling op basis van alleen de verblijftijd op het platform niet worden bepaald. Wel kan op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de gemeten blootstellingen per SEG een onder- en bovengrens worden gegeven waarbinnen de UFP-blootstelling voor de overige functiegroepen zich waarschijnlijk bevindt (zie Figuur 4.9). Hierbij dient rekening te worden gehouden dat de werkelijke verblijftijden anders kunnen zijn dan de geschatte verblijftijden op basis van de ingevulde vragenlijsten. De op basis van Figuur 4.9 geschatte blootstellingen kunnen onder andere gebruikt worden voor het prioriteren van functiegroepen voor bijvoorbeeld het nemen van mitigerende maatregelen en/of aanvullende blootstellingsmetingen. Op basis van de in Figuur 4.9 aangegeven bovengrens blijkt dat alleen voor de functiegroepen ‘Koninklijke Marechaussee’, ‘Medewerkers horeca en retail partners’ en ‘Bouw- en onderhoudspartner’ het waarschijnlijk is dat de blootstelling onder de voorlopige nano-referentiewaarde blijft.

4.2.6.2 Blootstellingschatting op basis van activiteiten, locaties en verblijftijden

Op basis van de activiteiten en daarmee samenhangende locaties en verblijftijden kan een nauwkeurigere schatting worden gemaakt van de blootstelling van de overige functiegroepen, dan op basis van de verblijftijd op het platform alleen. Hiervoor dienen wel de verblijftijden van de medewerkers en de UFP-concentraties op deze locaties bekend te zijn. Op basis van de blootstellingsmetingen bij de vier functiegroepen zijn met behulp van de contextsensoren en observaties de UFP-concentraties opgedeeld in activiteiten, omstandigheden en locaties (zie paragraaf 4.2.5). In Tabel 4.9 zijn de gemiddeld gemeten concentraties (AM_{meting} en GM_{meting}) op de locaties samengevat. Bij de blootstelling op airside worden de gebieden rondom het platform en de hoofddoorlaatpost bedoeld, exclusief de vliegtuigopstelplaatsen.

Hierbij wordt tevens onderscheid gemaakt in activiteiten te voet en in een auto. Zoals eerder opgemerkt is het verschil in blootstelling niet heel groot omdat ramen en deuren regelmatig openstaan. Bij de blootstelling op het platform wordt onderscheid gemaakt in de vliegtuigopstelplaatsen en de gemiddelde blootstelling op het gehele platform. In het laatste geval is zowel het gemiddelde van de persoonlijke blootstellingen en de stationaire metingen op het platform gegeven.

Tabel 4.9 Gemiddelde UFP-concentraties (inclusief standaard deviatie voor verschillen tussen SEGs) op diverse locaties op Eindhoven Airport, op basis van de persoonlijke metingen van de vier SEGs (AOM, HDLP, FO en PE) in combinatie met contextsensoren en observaties en het stationaire meetstation

Locatie	UFP-concentratie (# cm ⁻³)	
	AM _{meting}	GM _{meting}
Airside buiten: rondom het platform en hoofddoorlaatpost ¹⁻⁴⁾	algemeen: 71 000 ± 12 000 te voet: 89 000 ± 19 000 in auto: 55 000 ± 13 000	algemeen : 22 000 ± 4 000 te voet: 27 000 ± 5 000 in auto: 20 000 ± 4 000
Platform gemiddeld	106 000 ± 13 000 ¹⁻⁴⁾ 94 000 ⁵⁾ 104 000 ⁶⁾	29 000 ± 4 000 ¹⁻⁴⁾ 29 000 ⁵⁾ 29 000 ⁶⁾
Vliegtuigopstelplaatsen (VOPs) ^{3,4)}	110 000 ± 19 000	30 000 ± 6 000
In ruim vliegtuigen ^{3,4)}	108 000 ± 18 000	31 000 ± 6 000
Landside buiten; rondom de hoofdingang ¹⁾	11 000 ± 7 000	5 000 ± 3 000
Bagagehal	38 000 ± 7 000 ¹⁻⁴⁾ 31 000 ⁶⁾	13 000 ± 3 000 ¹⁻⁴⁾ 8 000 ⁶⁾
Hoofddoorlaatpost	36 000 ± 16 000 ²⁾ 23 000 ⁶⁾	15 000 ± 6 000 ²⁾ 14 000 ⁶⁾
Kantoorgebouw Kantoor	3 000 ¹⁾ 8 000 ⁶⁾	2 000 ¹⁾ 3 000 ⁶⁾

Locatie gerelateerde UFP-concentraties zijn gebaseerd op blootstellingsmetingen bij AOM (1), HDLP (2), FO (3), PE (4), stationair metingen op het platform ten tijde van persoonlijke blootstellingsmetingen (5) en op basis van de ruimtelijke concentratiekaarten (6).

Op basis van de optelsom van UFP-concentraties op de locaties vermenigvuldigd met de verblijftijden op deze locaties, in relatieve procenten, kan inzicht worden verkregen in de daggemiddelde blootstelling van de overige functiegroepen. Hierbij is het wel belangrijk om per functiegroep een goede inschatting te maken van de activiteiten, locaties en verblijftijden. Omdat voor veel locaties op Eindhoven Airport nog geen goede UFP meetdata beschikbaar is, zoals in het vliegtuig, in de aankomst- en vertrekhal, in de hangar en op de DAR, kan voor de meeste functiegroepen geen goede inschatting van de blootstelling gemaakt worden. Daarnaast is nog geen goed beeld van de verblijftijden op de diverse locaties. Dit houdt in dat op dit moment alleen voor vergelijkbare functiegroepen als één van de vier bemeten SEGs een globale schatting kan worden afgegeven. Dit geldt in principe alleen voor de ‘Platform Employee 1’ die vergelijkbare werkzaamheden uitvoert als ‘Platform Employee 4/3’, maar waarbij alleen de verblijftijd op het platform hoger is.

5 Conclusie

In de periode van 1 mei tot 30 juni 2023 is door TNO een onderzoek uitgevoerd naar de persoonlijke blootstelling aan UFP van medewerkers uit vier geselecteerde functiegroepen werkzaam op Eindhoven Airport. Dit onderzoek is een vervolg op het onderzoek naar stationaire UFP-concentraties op het platform dat heeft plaatsgevonden in de periode van 7 april tot 9 mei 2022 en waaruit UFP-concentraties op het platform hoger dan de voorlopige nano-referentiewaarden zijn gemeten. 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 als referentie is een accuraat en gedetailleerd inzicht verkregen in de persoonlijke UFP-blootstelling en het blootstellingsprofiel van medewerkers uit de 4 functiegroepen op Eindhoven Airport.

Aangezien uit het eerdere onderzoek in 2022 op Eindhoven Airport is gebleken dat de UFP-concentraties op het platform erg afhankelijk zijn van de weersomstandigheden zijn de persoonlijke metingen uitgevoerd onder worst case weersomstandigheden, dat wil zeggen voornamelijk bij wind uit het noordwesten tot noorden. De gemiddeld gemeten UFP-concentratie op het platform over de gehele meetperiode (49 000 # cm⁻³) lag 40% lager dan over de meetperiode in 2022 (76 000 # cm⁻³). Omdat de windomstandigheden vergelijkbaar waren is het waarschijnlijk dat de grotere hoeveelheid neerslag in 2023 en veranderingen in de bedrijfsvoering op Eindhoven Airport hier de belangrijkste oorzaken van zijn. Op de dagen dat de persoonlijke metingen zijn uitgevoerd waren de daggemiddelde UFP-concentraties op het platform, door de worst case weersomstandigheden, wel vergelijkbaar met de gemiddelde niveaus uit 2022.

In analogie met de NEN-EN 689 zijn de daggemiddelde UFP-blootstellingen (8-uurs TGG) van 6 bemeeten personen per functiegroep als blootstellingsgroep (Similar Exposure Group) afgezet tegen de voorlopige nano-referentiewaarden (NRW) van 40 000 en (verhoogd met de achtergrondconcentratie) 50 000 # cm⁻³. Omdat er (nog) geen gezondheidskundig onderbouwde publieke of private grenswaarde voorhanden is voor UFP, is de NRW gebruikt, zoals voorgeschreven door het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. De resultaten zijn in onderstaand overzicht gegeven.

Blootstellingsgroep	Daggemiddelde blootstelling (# cm ⁻³) ¹⁾	Vergelijking met voorlopige nano-referentiewaarden conform NEN-EN 689
Airport Operations Manager	8 700	Voldoet
Medewerker Hoofddoorlaatpost	37 000 ²⁾	Voldoet niet
Flight Officer	77 000	Voldoet niet
Platform Employee 4/3	69 000	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 aan de benodigde zekerheid van 70% kan worden voldaan.

Alleen voor de medewerkers van de functiegroep 'Airport Operations Manager' geldt dat met voldoende zekerheid gesteld kan worden dat de 8 uren TGG blootstelling aan UFP lager is dan de voorlopige nano-referentiewaarde. Omdat de NRW niet gezondheidskundig is onderbouwd betekent dit echter niet dat gesteld kan worden dat er binnen deze groep geen gezondheidsrisico is. Ook in geval van blootstellingen onder de NRW wordt uitdrukkelijk aanbevolen toch het ALARA principe te hanteren om blootstelling aan UFP zover als mogelijk te reduceren. De NRW kan wel gebruikt worden om situaties te prioriteren voor het nemen van beheersmaatregelen om de blootstelling te verlagen. Uit de huidige metingen komt naar voren dat in ieder geval voor medewerkers uit de functiegroepen 'Platform Employee', 'Flight Officer' en 'Medewerker HDLP' maatregelen getroffen moeten worden waarmee hun blootstelling wordt verminderd.

Op basis van de gesynchroniseerde data van de UFP- en contextsensoren in combinatie met observaties zijn de volgende conclusies te trekken over blootstellingsniveaus in relatie tot omstandigheden, activiteiten en locaties:

- De persoonlijke blootstelling wordt voor het grootste deel bepaald door de plaats en verblijftijd buiten op airside. Buiten variëren de concentraties sterk al naar gelang de positie van de medewerker ten opzichte van de vliegtuigen. Op het platform bij de vliegtuigopstelplaatsen is de blootstelling het hoogst (ca. 110 000 # cm⁻³). De gemiddelde UFP-blootstelling op het platform bedraagt ca. 104 000 # cm⁻³; dit is vergelijkbaar met de UFP-concentratie gemeten op het stationaire meetstation (94 000 # cm⁻³). De blootstelling buiten op airside wordt in lichte mate bepaald door het transportmiddel; de blootstelling is hoger indien men te voet is dan met de auto. Het beschermende effect van de auto (binnen deze studie 30-40%) lijkt echter afhankelijk van open ramen/deuren.
- Vertrekkende en aankomende vliegtuigen geven een duidelijke verhoging in UFP-blootstelling op de VOPs. Op deze momenten is de blootstelling gemiddeld 2 keer hoger (ca. 264 000 # cm⁻³). Het blootstellingsniveau is wel afhankelijk van de positie van de medewerker ten opzichte van de passerende vliegtuigen in relatie tot de heersende windrichting. Ook diesel-aangedreven UFP-bronnen zoals een tankauto en GPU kunnen een vergelijkbare tijdelijke verhoging in de blootstelling geven. Door de kleinere bronsterkte is alleen in de buurt en benedenwinds van deze bronnen het effect duidelijk meetbaar. Opvallend is dat geen verhoging in UFP-blootstelling is geconstateerd tijdens het gebruik van de APU. Dit kan ermee te maken hebben dat de uitlaat zich hoger bevindt, boven de ademzone van medewerkers op de VOPs.
- In een aantal binnenruimten is de blootstelling (AM_{meting}) opvallend hoog ten opzichte van de kantooruimte (8 000 # cm⁻³):
 - bagageruim van vliegtuigen (ca. 108 000 # cm⁻³); dit is, naar verwachting, mede afhankelijk van de positie van de medewerker in het ruim en activiteiten op het platform (zoals passerende vliegtuigen).
 - bagagehal (ca. 31 000 # cm⁻³); dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de deuren in de richting van het platform vaak open staan.
 - hoofddoorlaatpost (ca. 23 000 # cm⁻³); ook hier spelen openstaande deuren en ramen waarschijnlijk een rol, maar kunnen ook andere bronnen (bijvoorbeeld roken, printer) een bijdrage hebben geleverd aan de verhoging

Op basis van de meetresultaten van de bemeten functiegroepen en de interpretatie daarvan kunnen de voornaamste oorzaken van blootstelling worden benoemd. Zo zijn de blootstellingsniveaus van de vier bemeten functiegroepen voor een belangrijk deel gerelateerd aan de verblijftijd op het platform. Op basis van deze verblijftijd blijkt dat vrijwel alle functiegroepen risico lopen op een blootstelling aan UFP die hoger ligt dan de voorlopige nano-referentiewaarde, met uitzondering van de functiegroepen 'Airport Operations

Manager' (bemeten), 'Koninklijke Marechaussee', 'Medewerkers horeca en retail partners' en 'Bouw- en onderhoudspartner'.

6 Aanbevelingen

6.1 Beheersing van de blootstelling

Voor de SEGs 'Flight Officer', 'Platform Employee 4/3' en 'Medewerker HDLP' 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 gezondheidkundig onderbouwd is, is er geen niveau aan te geven tot waar de blootstelling moet worden teruggedrongen en geldt hierbij het ALARA principe.

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. Pas als dit niet haalbaar is mag een maatregel van één niveau lager genomen 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, pushback) 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 verlagings van de blootstelling zouden de vliegtuigmotoren zo ver mogelijk 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.
 - Tijdens de metingen werd meermaals geobserveerd dat de vliegtuigmotoren werden opgestart terwijl de pushback nog bezig was. In de praktijk betekent dit dat de UFP-emissie dichtbij het platform plaatsvindt, en daarmee de blootstelling op het platform hoger is. Door betere naleving en handhaving zou dit voorkomen kunnen worden.
- Minder gebruik van de APU
 - Tijdens de metingen is meermaals geobserveerd dat de APU langdurig (>10 min) aan stond. Ondanks dat op de VOPs geen directe verhoging in blootstelling is geconstateerd bij de 'Flight Officer' en 'Platform Employee' tijdens gebruik van de APU, draagt dit wel bij aan de algehele UFP belasting op het platform. Het beperken van het gebruik van de APU zorgt voor het verder verminderen van de UFP-concentratie op het platform.

- 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 enkele binnenruimten zoals de hoofddoorlaatpost en de bagagehal 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 Eindhoven Airport 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.
 - Ook het zoveel mogelijk sluiten van ramen en deuren in binnenruimten, zoals de bagagehal en de hoofddoorlaatpost helpen mee om de UFP-blootstelling in deze ruimten te verminderen.
 - Cabines van voertuigen en binnenruimtes sluiten (geen open ramen/deuren) en van schone lucht (HEPA filter) onder lichte overdruk voorzien
3. Individuele organisatorische maatregelen
- Anders inrichten van werktijden/activiteiten
 - De werkzaamheden van de Flight Officer en Platform Employee zijn nu vooral op het platform. Om de algemene blootstelling te verlagen is het aan te bevelen om de tijd dat medewerkers op de platforms zijn te beperken. Hier is vooral veel winst te behalen door te voorkomen dat medewerkers op de platforms zijn tijdens perioden met veel taxiënd vliegverkeer.
4. Persoonlijke beschermingsmiddelen
- Het dragen van adembescherming met ultrafijnstof filter
 - Op de vliegtuigopstelplaatsen is de blootstelling het hoogst. Verschillende functiegroepen, waaronder de 'Flight Officer' en 'Platform Employee' 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

Op basis van de correlatie tussen verblijftijd op het platform en UFP-blootstelling wordt geschat dat de meeste functiegroepen risico lopen op een overschrijding van de voorlopige nano-referentiewaarde. Een deel van de in 6.1 voorgestelde maatregelen zal effect hebben op de blootstelling van meerdere functiegroepen; hoe hoger de maatregel in de hiërarchie (genummerd van 1 t/m 4 in de paragraaf hierboven), hoe groter ook het effect voor andere functiegroepen. Desalniettemin kan het wenselijk zijn om op basis van deze indicatieve blootstelling een prioritering te maken van functiegroepen waarvoor direct maatregelen nodig zijn of waarvoor aanvullend blootstellingsonderzoek noodzakelijk is.

Voor een beter inschatting van blootstellingsniveaus van de overige functiegroepen is inzicht nodig in activiteiten, locaties en verblijftijden op Eindhoven Airport. Echter, voor veel locaties op Eindhoven Airport zijn op dit moment nog geen UFP-concentraties beschikbaar en verblijftijden op deze locaties door de verschillende functiegroepen zijn onvoldoende bekend. Ook blijkt uit observaties dat de verblijftijd op het platform voor sommige functiegroepen afwijkt van wat op grond van de vragenlijst werd verwacht. Om een betere indicatie te krijgen van de blootstelling van de niet-bemeten groepen wordt aanbevolen om aanvullend onderzoek uit te voeren naar verblijftijden van deze functiegroepen op de diverse locaties en UFP-concentraties in binnenruimten. 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. Aanvullende blootstellingsmetingen bij een select aantal functiegroepen (bijvoorbeeld medewerker schoonmaakbedrijven, technische dienst en ground operations) kan vervolgens informatie geven over de blootstellingsniveaus in de diverse nog niet bemeten binnenruimten, zoals o.a. cabines vliegtuigen, aankomst- en vertrekhal en hangars.

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>
- 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.
- NEN. (2019). *NEN-EN 689+C1. Blootstelling op de werkplek - Meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen - Strategie om te voldoen aan de arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden*.
- SER. (2012, 23 maart). *Voorlopige nanoreferentiewaarden voor synthetische nanomaterialen*. (12.00596/avdb/ipw)
- 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, 6 maart 2024

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

J.C. Esveld MSc.
Auteur

Bijlage A: Inventarisatie functiegroepen

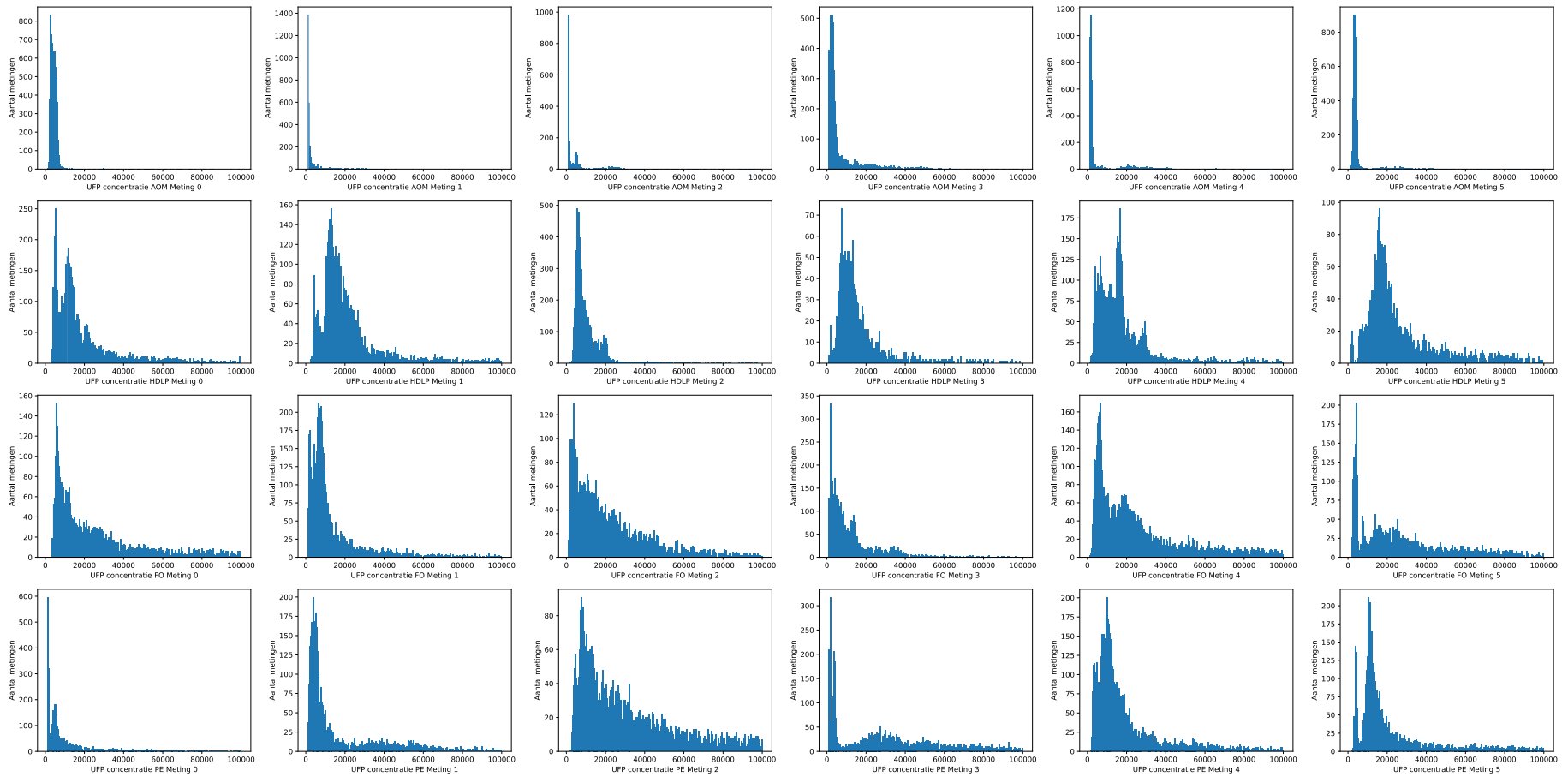
Tabel A.1 Vragenlijsten functiegroepen met betrekking tot algemene informatie, taken en werkzaamheden en locaties binnen en buiten

Algemene informatie per functiegroep													
Nr.	Bedrijf	Functiegroep	Aantal werknemers in functiegroep	Aantal diensten / shifts 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				
	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>Beschrijving van hoe werknemers verdeeld over de dag aanwezig zijn op luchthaven</i>		<i>gemiddeld</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>Waar bevinden de werknemers zich tijdens downtime (bijv. kantine / binnen)</i>	<i>Typische verdeling van taken over werkdag / dienst</i>	<i>Locatie waar de taken (hoofdzakelijk) worden uitgevoerd</i>	<i>% van werkdag / dienst buiten op platform aan het werk</i>	<i>Mogelijke variatie per werkdag / dienst m.b.t. uitvoering taken (bijv. overdag versus avond/nacht)</i>
Voorbeeld	Viggo	Platform Employee 4/3	15	3	10	Ochtend: 12, Middag: 15, Avond: 8	8	1	Kantine	Baggage uit vliegtuig halen, baggage inladen in vliegtuig, ...	Buiten, rondom vliegtuig	50%	s ochtends meer vliegtuigen inladen, pas later in de ochtend meer arrivals, ...
1													
2													
Informatie over taken / werkzaamheden per functiegroep													
	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		Persoonlijke beschermingsmiddelen	Is er sprake van fysieke inspanning tijdens het uitvoeren van de taak?	
	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>Elke taak op een nieuwe regel</i>			<i>Gemiddeld</i>	<i>Gemiddeld</i>	<i>Gemiddeld</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>Indien anders:</i>	<i>(bijv. gehoorbescherming, adembescherming)</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	
Voorbeeld	Platform Employee 4/3	Baggage afhandelen	ophalen baggage, rijden naar vliegtuig, inladen van baggage uit vliegtuig, rijden naar bagagehal, afgeven baggage		7	0,5	4	Allemaal	Meerdere locaties, namelijk:	Binnen, buiten, in open voertuig	gehoorbescherming	Zware inspanning	
1													
2													
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. tijdens werkzaamheden (kan ook parkeerplaats zijn) (in meters)	Eigen vervoer tijdens werkzaamheden buiten op platform / terrein luchthaven		
			<i>Gemiddeld</i>	<i>min-max</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>gemiddeld</i>	<i>Kies uit de mogelijkheden</i>	<i>min-max</i>	<i>min-max</i>	<i>min-max</i>	<i>Type (bijv. in open of gesloten voertuig, te voet)</i>	<i>% van de tijd in voertuig tijdens uitvoering taak</i>	<i>Brandstof voertuig (bijv. benzine, diesel, elektrisch)</i>
Voorbeeld	Bagage afhandelen	50%	10	0-100	Afhandelkant	4	Wisselend	40-150	10-150	15-150	open	25%	diesel
1													
2													

Locatiegerichte vragen indien taak binnen wordt uitgevoerd							
Regel	Taak	% van de tijd binnen in gebouwen/vliegtuigen gedurende uitvoering taak	Grootte ruimte <i>Schatting oppervlakte en volume</i>	Algemene beschrijving ruimte <i>Denk aan open deuren/ramen etc. Is de ruimte verbonden met de buitenlucht?</i>	Soort ventilatiesysteem in ruimte <i>Kies uit de mogelijkheden</i>	Mate van ventilatie in de ruimte <i>Aantal luchtverversingen per uur</i>	Zijn er verbrandingsmotoren aanwezig in de ruimte die aan staan? (denk aan auto in garage, vliegtuig in loods etc.) Zo ja: waarvan?
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							
2							

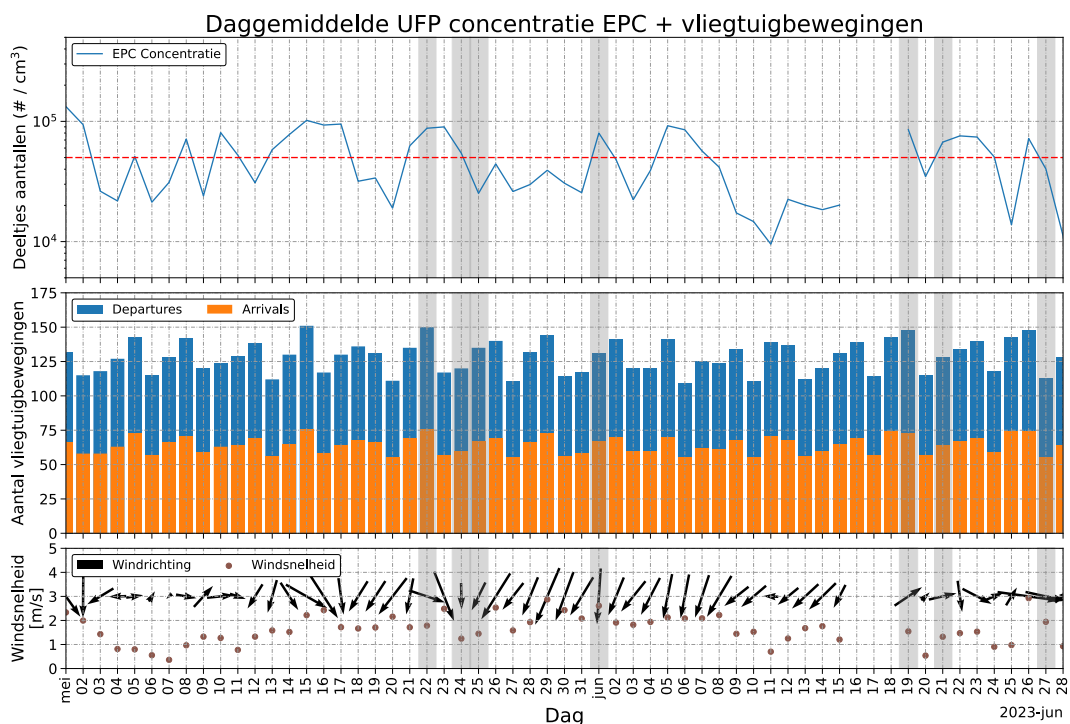
Bijlage B: Verdeling UFP-meetdata

Figuur B.1 Verdeling van de meetdata in relatie tot de UFP-concentratie



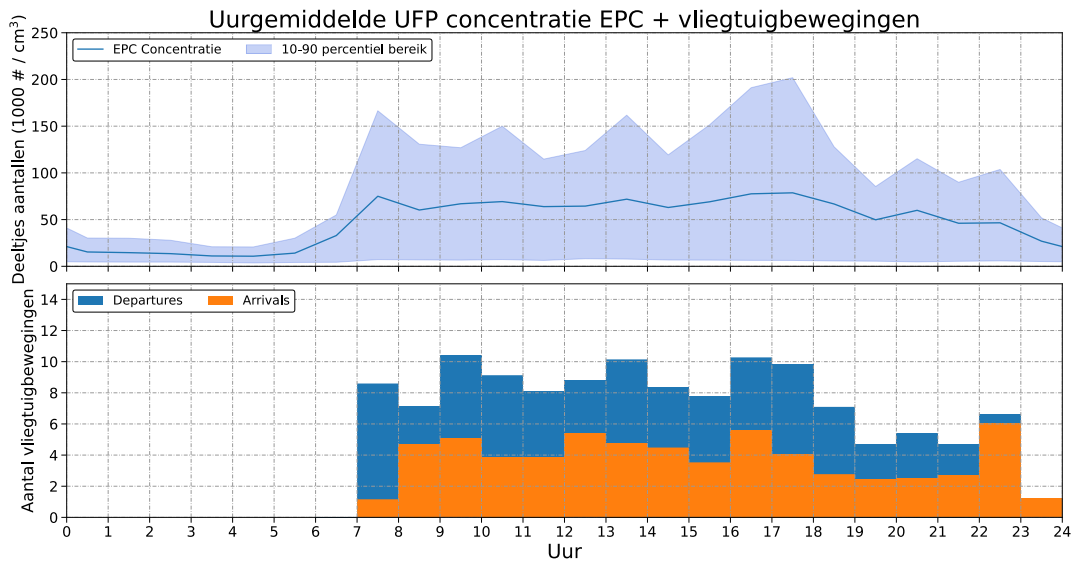
Bijlage C: Stationaire meetlocatie + operationele gegevens Eindhoven Airport

De UFP-concentratie wordt sterk beïnvloed door het aantal vliegbewegingen en de meteorologische omstandigheden (vooral windrichting). Uit Figuur C.1 wordt deze afhankelijkheid ook duidelijk. In de week van 8 juni t/m 15 juni was het aantal vliegtuigbewegingen vergelijkbaar met de andere weken, maar kwam de wind meer uit oostelijke richting, met als gevolg lagere UFP-concentraties ten opzichte van de perioden met een noordelijke windrichting.



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 # cm⁻³ weer. De periode van 16 t/m 18 juni zijn geen stationaire metingen uitgevoerd vanwege een stroomstoring. 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.

Het aantal vliegtuigbewegingen varieert niet alleen van dag tot dag, maar ook van uur tot uur, en dus valt ook te verwachten dat dit voor de UFP-concentratie het geval is. In Figuur C.2 is de dagelijkse gang van de UFP-concentratie weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat de gemiddelde UFP-concentratie toeneemt zodra het aantal vliegtuigbewegingen toeneemt.



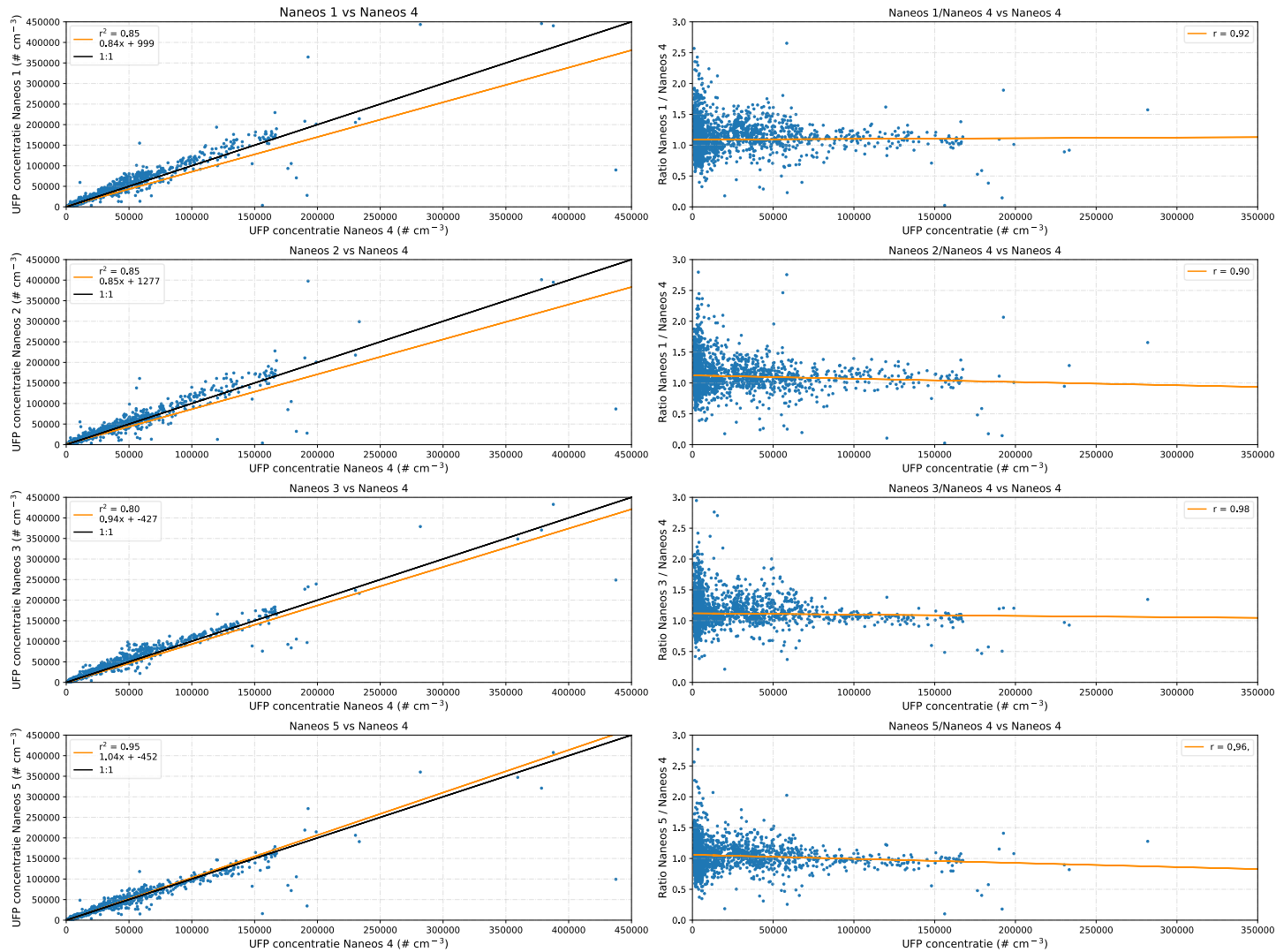
Figuur C.1 Dagelijkse gang UFP-concentratie en vliegtuigbewegingen. Het gearceerde blauwe deel in de bovenste grafiek geeft het 10^e percentiel tot het 90^e percentiel van de UFP-concentratie weer.

De gemiddelde UFP-concentratie over de gehele meetperiode was 46 000 # cm⁻³ met 8-uurs gemiddelde waarden tussen de 4 000 en 176 000 # cm⁻³. Dit is ca. 40% lager dan de gemeten concentraties in 2022, waarvan de gemiddelde UFP-concentratie 76 000 cm⁻³ was met 8-uurs gemiddelden tussen de 10 000 en 450 000 # cm⁻³ (van Dinther et al., 2022). Ten opzichte van de meetperiode in 2022 liggen ook de piekwaarden lager; het huidige 90 percentiel van 99 000 # cm⁻³ ligt ook ca. 40% lager dan in 2022, met een 90 percentiel van 171 000 # cm⁻³. Tijdens de huidige meetperiode was het aantal vliegtuigbewegingen vergelijkbaar met het vorige onderzoek. Ook de windrichting en snelheid was vergelijkbaar, met ca. 50% wind uit het noordoosten, ca. 10% uit het zuidoosten, ca. 15% uit het zuidwesten en ca. 25% uit het noordwesten en een gemiddelde windsnelheid van ca. 3,5 m s⁻¹ met een 90 percentiel van 6,0 m s⁻¹. Wel is in de huidige periode aanmerkelijk meer regen gevallen (1,8 mm ten opzicht van 0,3 mm in 24 uur), waarbij ook het aantal uren dat het regende hoger lag (51 minuten ten opzichte van 17 minuten per 24 uur). Daarnaast was de gemiddelde temperatuur hoger dan in 2022 (17 °C in plaats van 11 °C). Vooral de neerslag kan een effect hebben gehad op de verspreiding van de UFP-emissies over het platform, met als gevolg dat minder hoge concentraties zijn gemeten op het stationaire meetstation.

Het is mogelijk dat ook veranderingen in de bedrijfsvoering (minder lang motoren aan laten staan, meer gebruik van elektrische pushback etc.) hebben geleid tot een verlaging van de gemiddelde UFP-concentratie op het stationaire meetstation op het platform. Eindhoven Airport heeft aangegeven dat meer aandacht is gekomen voor vermindering van APU gebruik, en taxiën op 1 motor. Hiernaast is aangegeven dat het percentage schonere toestellen is toegenomen in de afgelopen periode, wat ook een effect kan hebben op de gemeten concentraties.

Bijlage D: Vergelijking Partector sensoren

Figuur D.1 Onderlinge vergelijking van de gebruikte UFP-sensoren (type Partector), met als referentie de meest recent gekalibreerde sensor (Naneos 4).

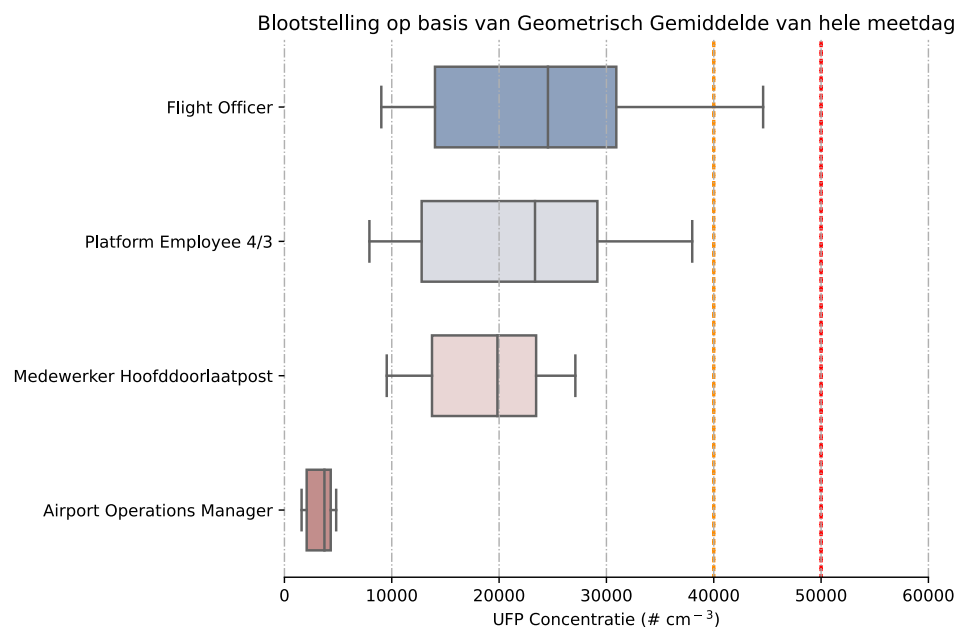


Bijlage E: Persoonlijke blootstellingsresultaten

Tabel E.1 Resultaten persoonlijke blootstellingsmetingen en stationaire metingen

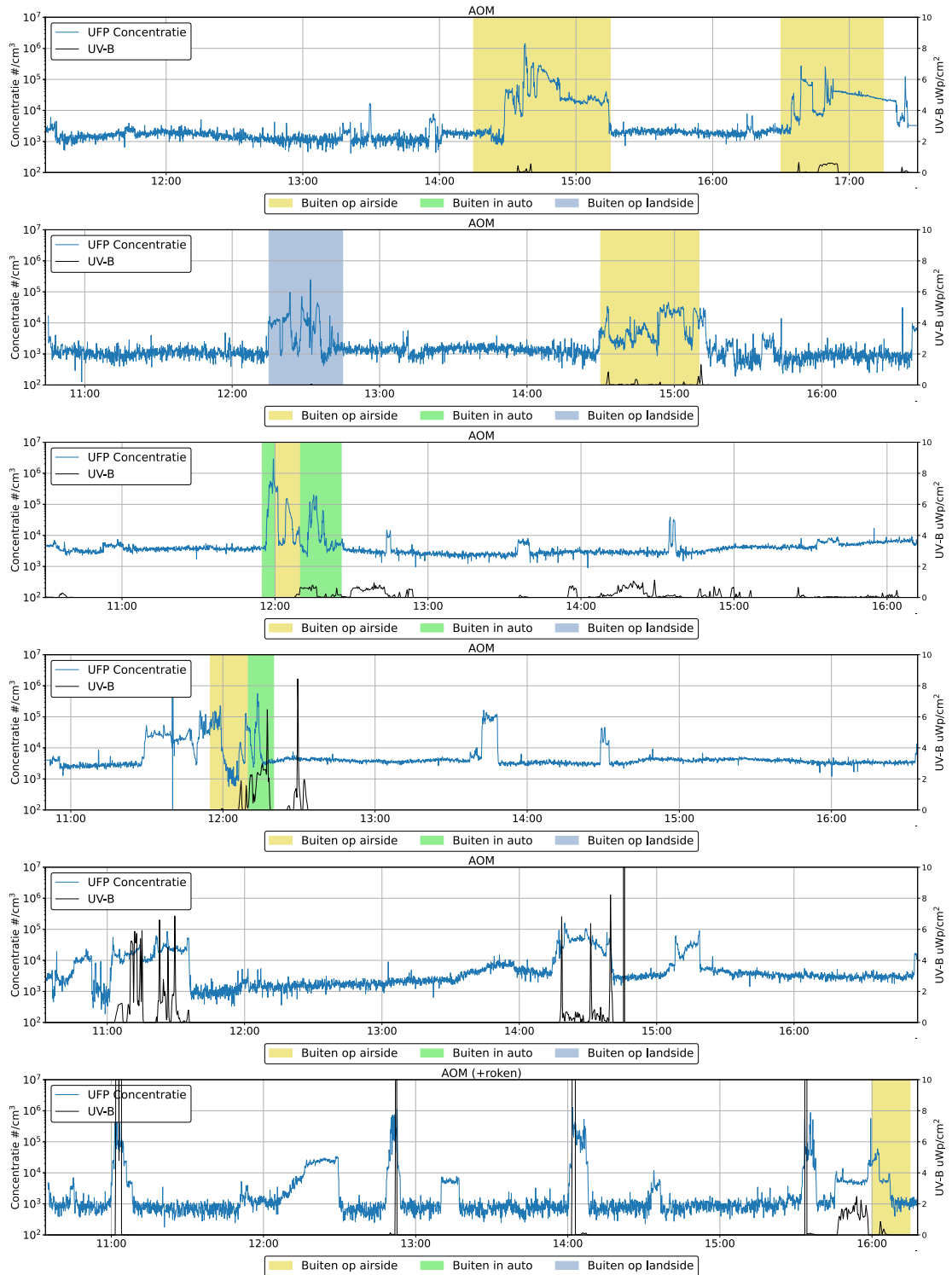
Func-tie-groep	Datum	Meetduur (uren)	8-uurs gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddelde (GM _{meting}) (# cm ⁻³)	Standaard deviatie (GSD) (# cm ⁻³)	10e percentiel (# cm ⁻³)	90e percentiel (# cm ⁻³)	Maximale concentratie (# cm ⁻³)	Maximaal 1-uur gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Maximaal 15-min gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Tijd boven 100K # cm ⁻³ (minuten)	Rekenkundig gemiddelde stationair (# cm ⁻³)	Geometrisch gemiddelde stationair (# cm ⁻³)	Maximale concentratie stationair (# cm ⁻³)
AOM	22-5-2023	08:09	10 000	4 000	1,91	3 000	6 000	2 926 000	46 000	148 000	6	140 000	35 000	5 166 000
AOM	24-5-2023	05:55	3 000	2 000	2,56	1 000	6 000	247 000	8 000	20 000	0	69 000	22 000	2 506 000
AOM	25-5-2023	06:14	11 000	2 000	4,01	1 000	16 000	1 289 000	24 000	81 000	9	14 000	12 000	88 000
AOM	1-6-2023	06:21	8 000	4 000	2,90	1 000	23 000	159 000	23 000	53 000	1	123 000	70 000	1 958 000
AOM	19-6-2023	06:18	15 000	3 000	4,04	1 000	31 000	1 425 000	61 000	192 000	10	112 000	41 000	5 168 000
AOM	21-6-2023	05:44	10 000	5 000	2,37	3 000	20 000	995 000	29 000	49 000	6	107 000	43 000	3 284 000
HDLP	22-5-2023	07:40	63 000	22 000	3,37	6 000	158 000	2 622 000	206 000	494 000	63	148 000	38 000	5 166 000
HDLP	22-5-2023	06:59	55 000	24 000	2,88	9 000	124 000	1 963 000	134 000	266 000	50	131 000	31 000	5 166 000
HDLP	24-5-2023	07:30	15 000	10 000	1,97	5 000	20 000	1 931 000	36 000	110 000	6	81 000	27 000	2 506 000
HDLP	24-5-2023	02:16	33 000	16 000	2,61	7 000	52 000	1 273 000	54 000	129 000	7	59 000	22 000	2 506 000
HDLP	25-5-2023	06:45	40 000	18 000	2,83	5 000	83 000	2 221 000	89 000	181 000	33	32 000	17 000	902 000
HDLP	21-6-2023	04:20	48 000	27 000	2,55	11 000	94 000	817 000	74 000	118 000	25	91 000	41 000	3 270 000
HDLP	27-6-2023	06:21	34 000	23 000	2,47	5 000	32 000	7 151 000	148 000	406 000	14	49 000	13 000	1 015 000
FO	22-5-2023	07:03	200 000	45 000	5,13	6 000	508 000	9 673 000	617 000	1 145 000	126	130 000	31 000	5 166 000
FO	24-5-2023	06:59	47 000	12 000	3,75	3 000	78 000	3 806 000	98 000	235 000	34	81 000	27 000	2 358 000
FO	1-6-2023	06:20	61 000	19 000	3,93	4 000	98 000	5 713 000	159 000	320 000	38	83 000	51 000	853 000
FO	1-6-2023	06:23	48 000	9 000	3,74	2 000	38 000	10 388 000	127 000	444 000	15	97 000	59 000	1 485 000
FO	19-6-2023	09:04	87 000	30 000	3,86	6 000	186 000	3 806 000	165 000	299 000	109	111 000	38 000	5 102 000
FO	21-6-2023	06:15	87 000	31 000	4,09	4 000	204 000	2 333 000	176 000	300 000	74	94 000	40 000	3 284 000

Funcie-groep	Datum	Meetduur (uren)	8-uurs gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	8-uurs gemiddelde (GM _{meting}) (# cm ⁻³)	Standaard deviatie (GSD) (# cm ⁻³)	10e percentiel (# cm ⁻³)	90e percentiel (# cm ⁻³)	Maximale concentratie (# cm ⁻³)	Maximaal 1-uur gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Maximaal 15-min gemiddelde (AM _{meting}) (# cm ⁻³)	Tijd boven 100K # cm ⁻³ (minuten)	Rekenkundig gemiddelde stationair (# cm ⁻³)	Geometrisch gemiddelde stationair (# cm ⁻³)	Maximale concentratie stationair (# cm ⁻³)
PE	25-5-2023	05:30	41 000	8 000	5,02	1 000	78 000	2 110 000	124 000	291 000	27	35 000 2)	17 000	902 000
PE	1-6-2023	05:57	57 000	11 000	5,65	2 000	106 000	3 131 000	182 000	328 000	37	76 000	49 000	592 000
PE	19-6-2023	07:20	91 000	38 000	3,45	8 000	185 000	7 381 000	172 000	379 000	104	101 000	37 000	2 798 000
PE	19-6-2023	07:20	78 000	28 000	4,99	2 000	193 000	2 321 000	176 000	305 000	84	101 000	37 000	2 798 000
PE	27-6-2023	08:25	59 000	19 000	3,24	5 000	99 000	5 070 000	151 000	250 000	50	52 000	15 000	1 015 000
PE	27-6-2023	07:15	110 000	30 000	4,04	8 000	225 000	5 289 000	380 000	731 000	94	50 000	14 000	1 015 000

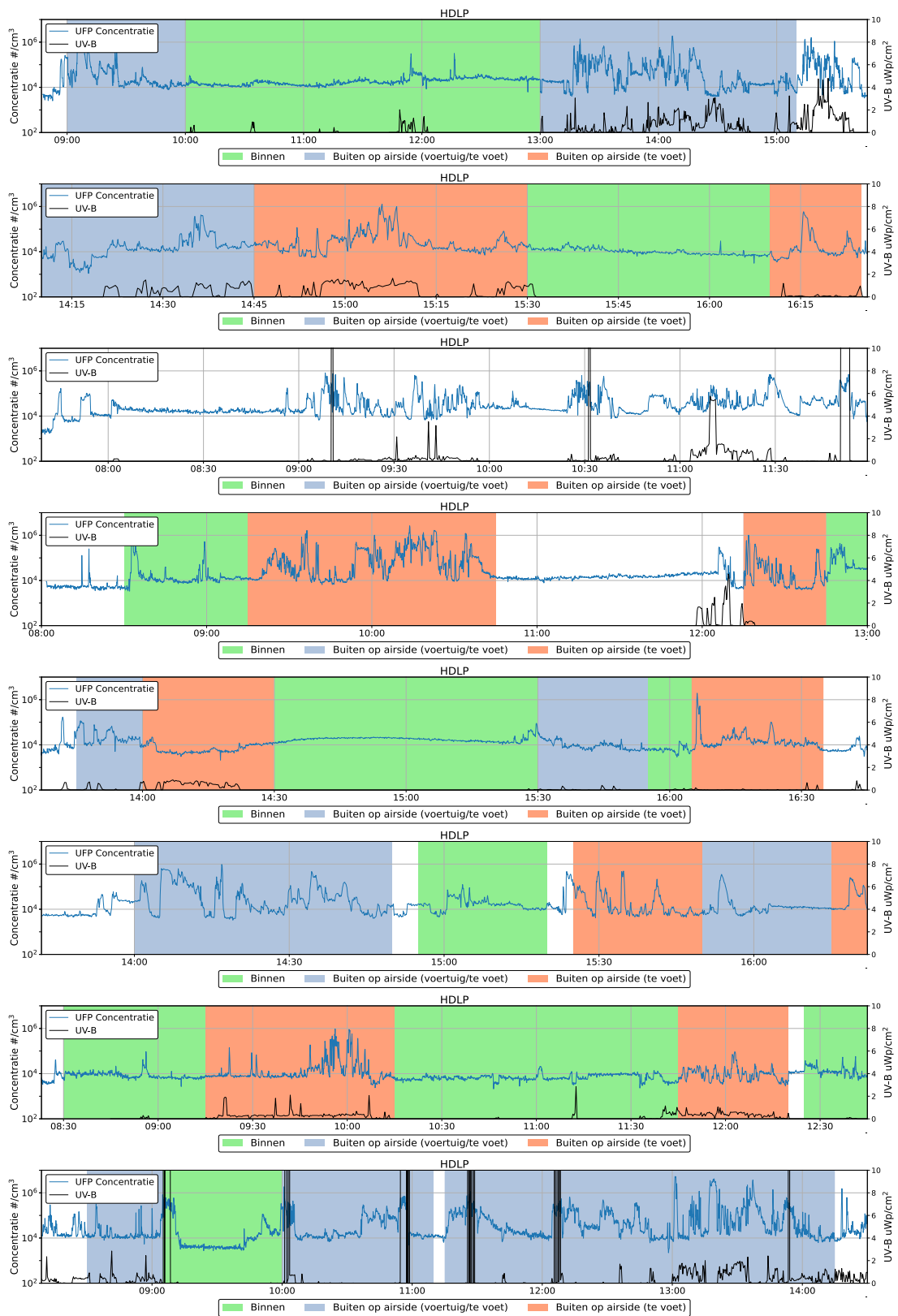


Figuur E.1 Boxplot geometrisch gemiddelde blootstelling van 6 bemeten medewerkers per SEG. Oranje en rode stippellijnen geven de gehanteerde referentiewaarden weer van 40 000 en 50 000 # cm⁻³.

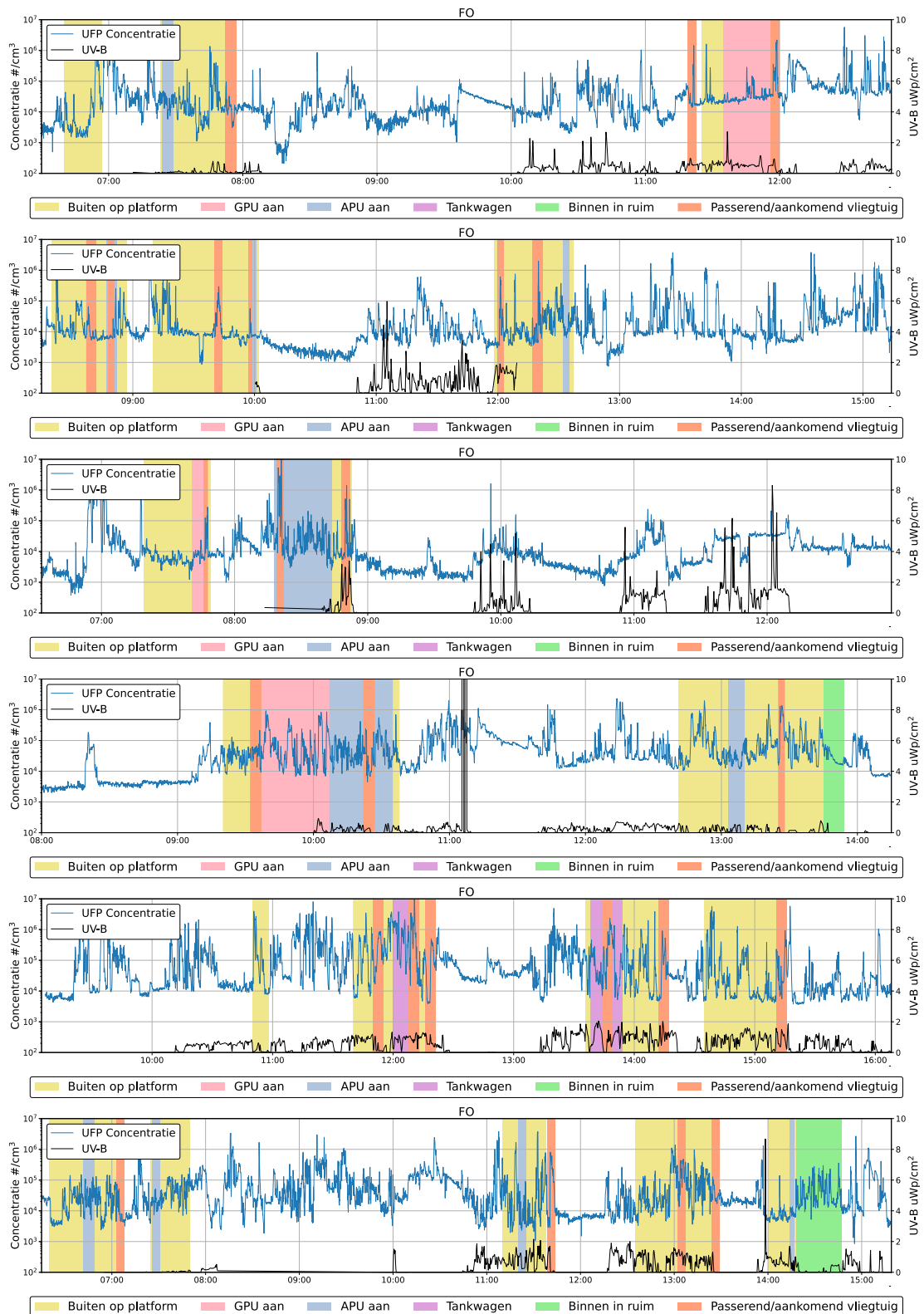
Bijlage F: Concentraties met observaties en context



Figuur F.1 UFP-concentratie verloop (blauwe lijn) van de bemeten personen binnen de SEG 'Airport Operation Manager' samen met de UV sensordata (zwarte lijn) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door de bemeten medewerkers zelf.



Figuur F.2 UFP-concentratie verloop (blauwe lijn) van de bemeten personen binnen de SEG 'Medewerker Hoofddoorlaatpost' samen met de UV sensordata (zwarte lijn) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door de bemeten medewerkers zelf.

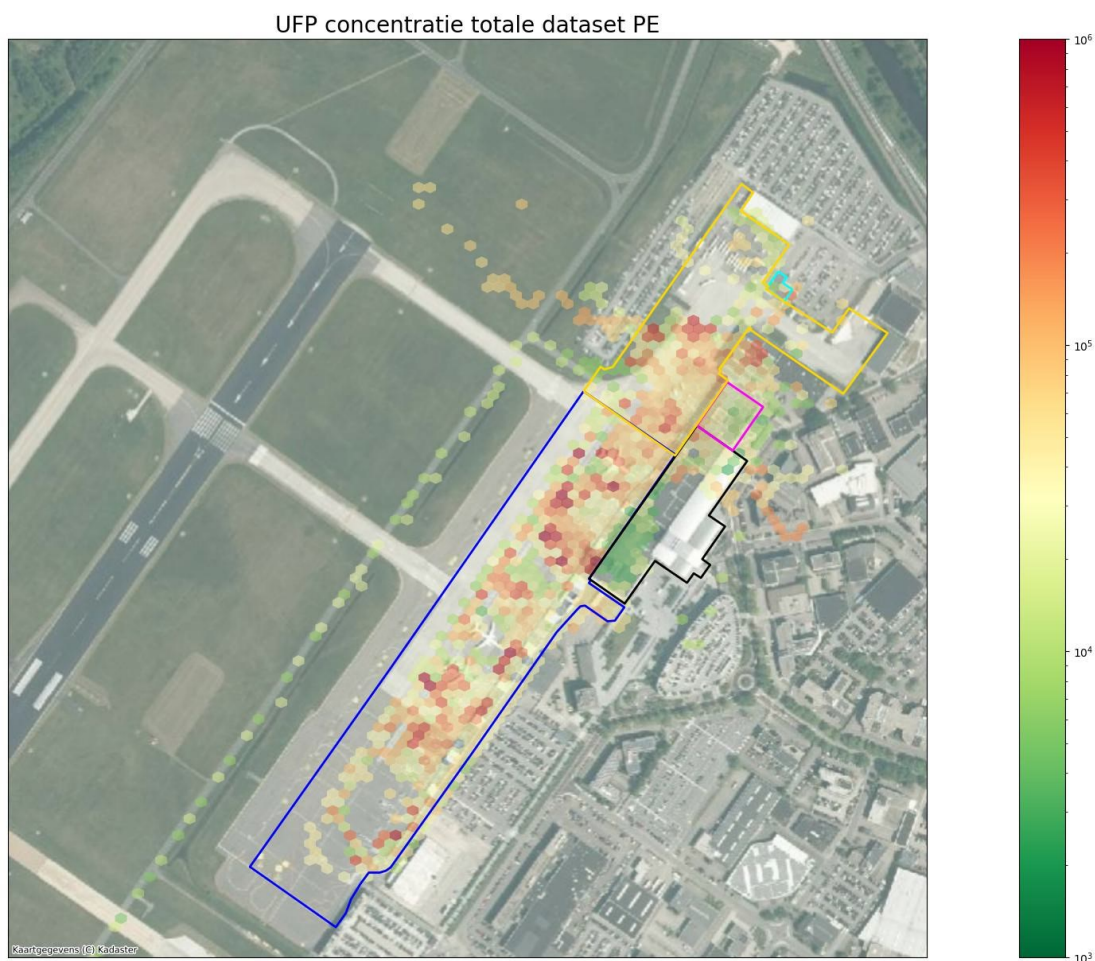


Figuur F.3 UFP-concentratie verloop (blauwe lijn) van de bemeten personen binnen de SEG 'Flight Officer' samen met de UV sensordata (zwarte lijn) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door TNO medewerkers.

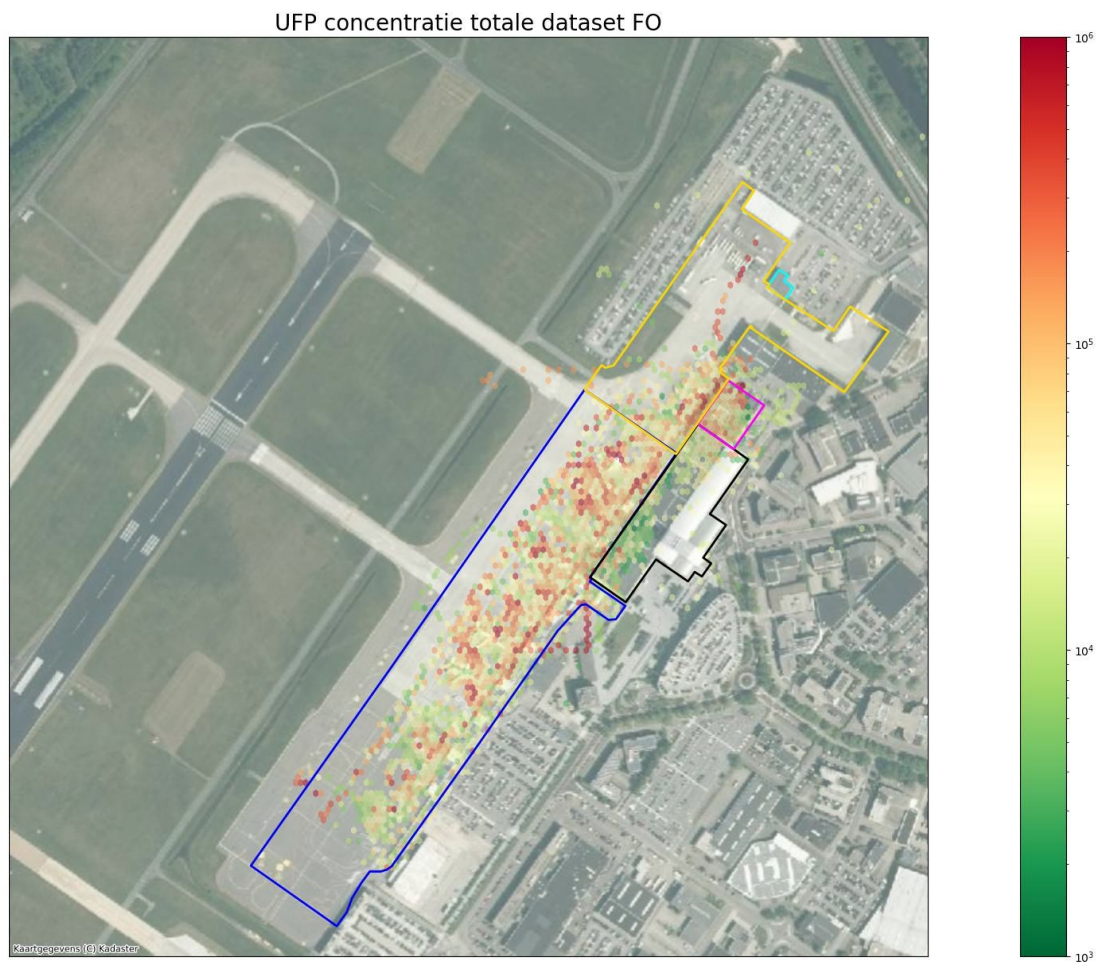


Figuur F.4 UFP-concentratie verloop (blauwe lijn) van de bemeeten personen binnen de SEG 'Flight Officer' samen met de UV sensordata (zwarte lijn) en de observaties (in kleur gearceerde blokken). De observaties zijn uitgevoerd door TNO medewerkers.

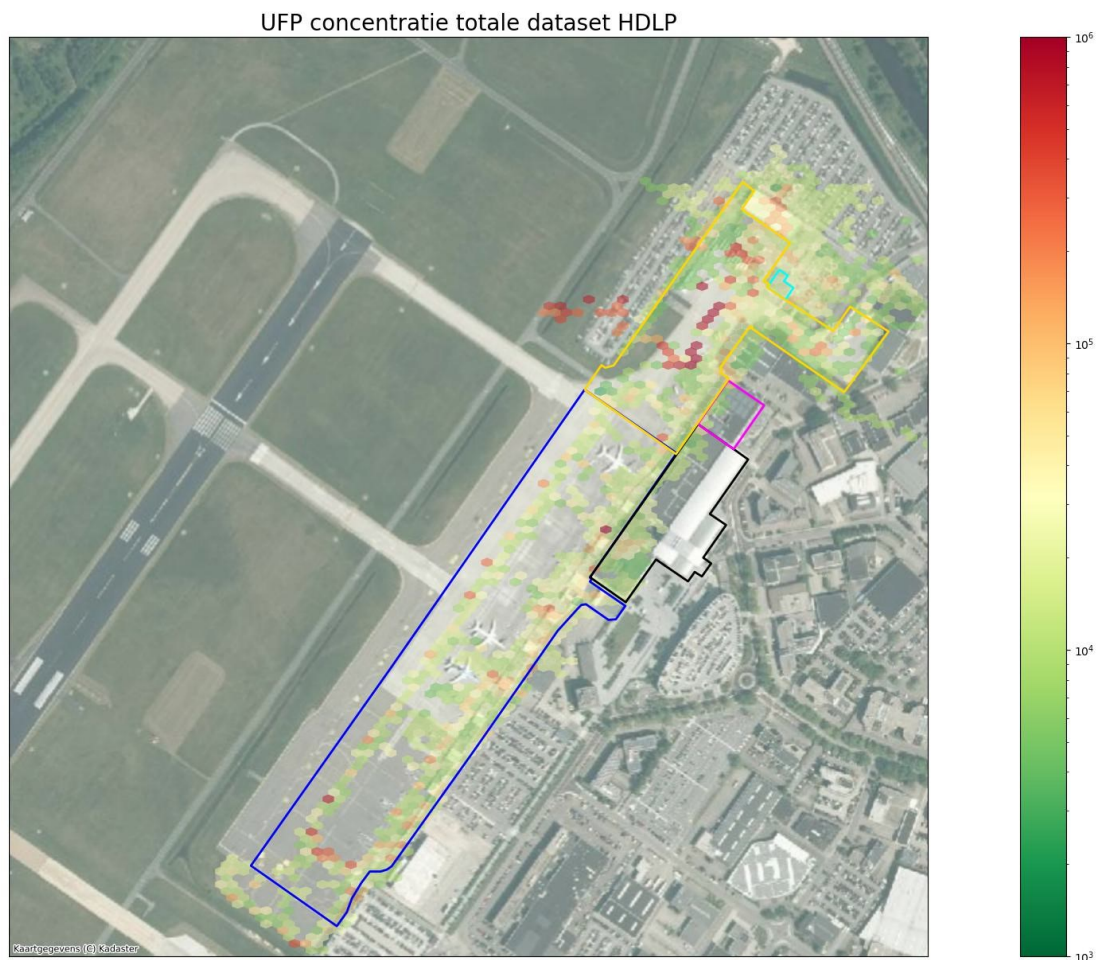
Bijlage G: UFP-concentratie profielkaarten per SEG



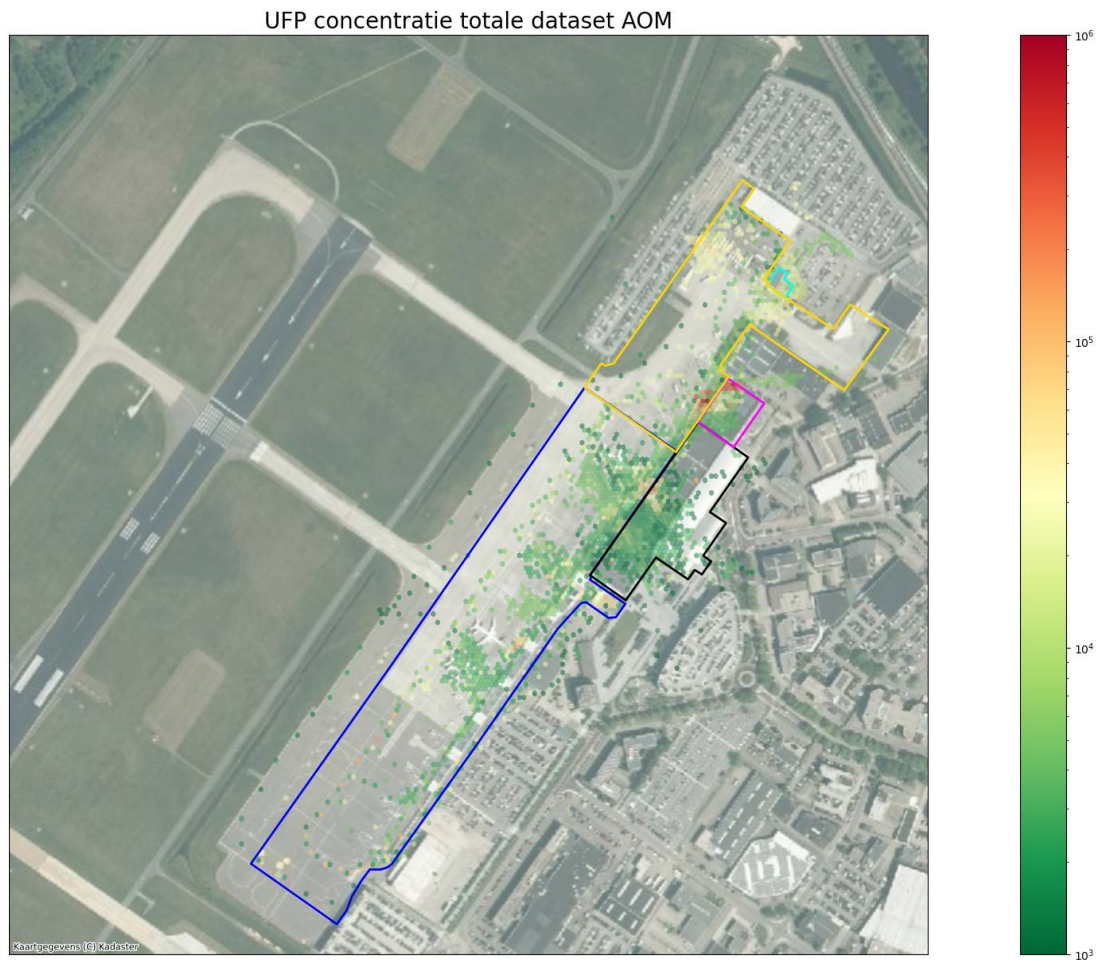
Figuur G.1 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) van de SEG 'Platform Employee 4/3', op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.



Figuur G.2 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) van de SEG 'Flight Officer', op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.



Figuur G.3 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) van de SEG 'Medewerker Hoofddoorlaatpost', op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.



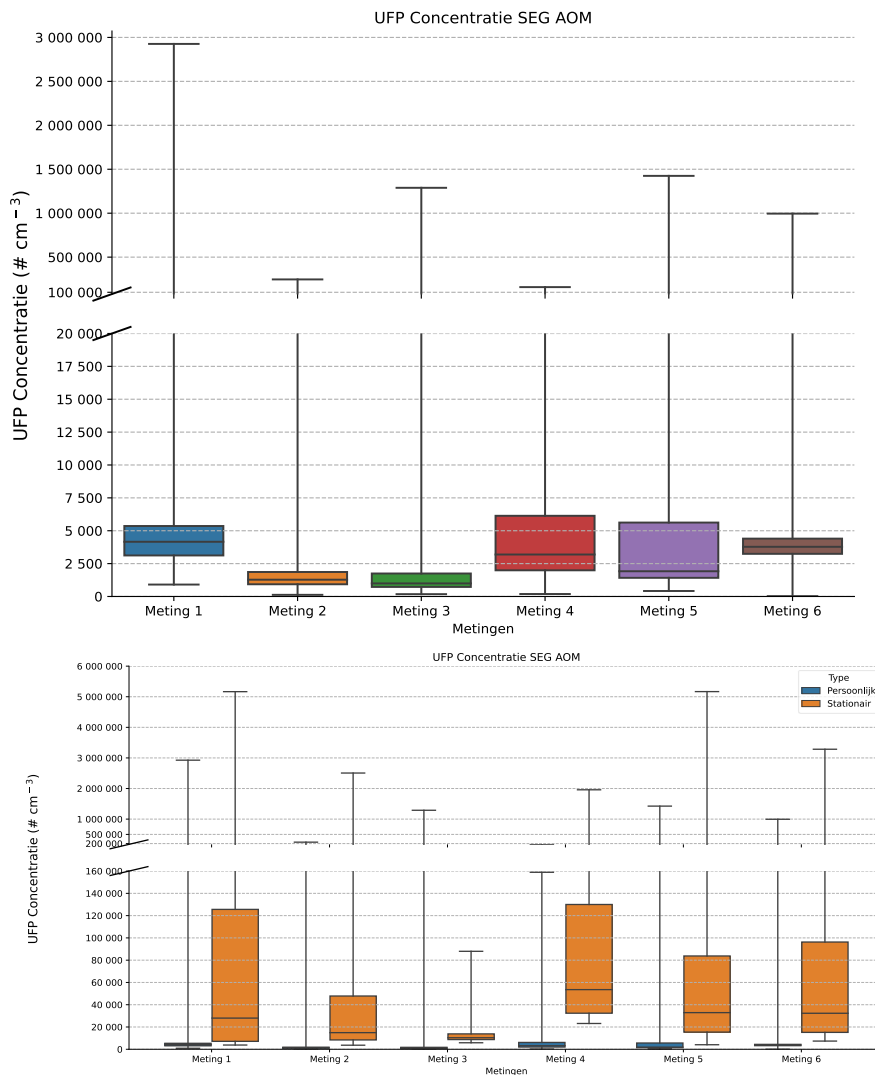
Figuur G.4 Ruimtelijke verdeling UFP-concentratie (AM_{meting}) van de SEG 'Airport Operations Manager', op basis van GPS coördinaten en UV-B sensordata.

Bijlage H: Variantie in blootstellingconcentraties

Hieronder wordt per functiegroep de variantie (spreiding) van de individuele blootstellingswaarden beschreven. De variantie in gemeten blootstellingconcentraties per functiegroep zijn inzichtelijk gemaakt aan de hand van boxplots (Figuur H.1 t/m H.4). De box zelf geeft de 25^e en 75^e percentielwaarden aan, de lijn in de box geeft de mediaan (middelste gemeten waarde) weer, en de uiterste lijnen geven de maximale en minimale waarden weer. Per functiegroep is ook de variatiecoëfficiënt (coëfficiënt 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 Operation Manager'

In Figuur H.1 is een boxplot weergegeven van de individuele meetresultaten binnen de functiegroep AOM.

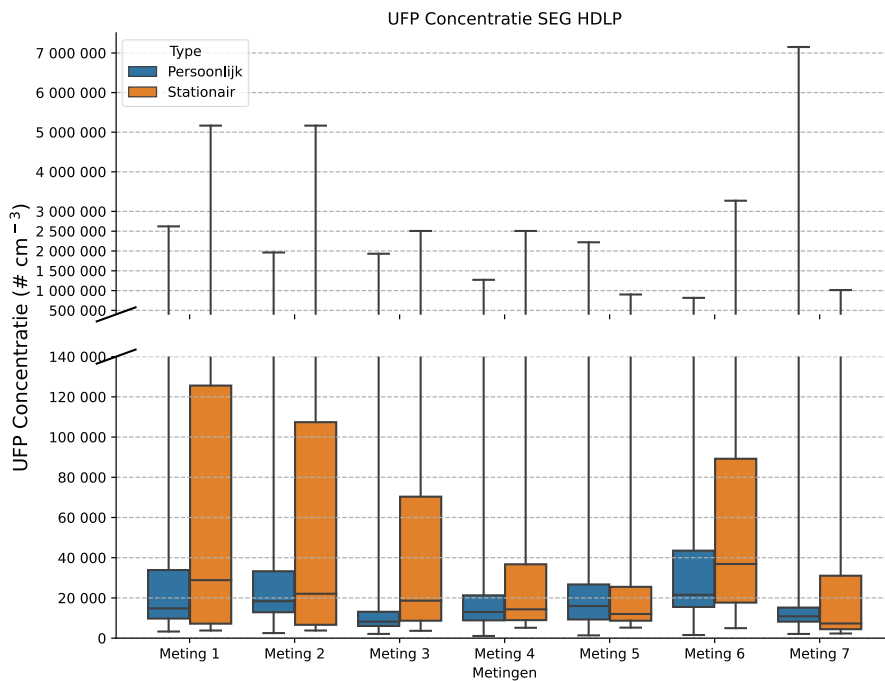


Figuur H.1 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep AOM (bovenste figuur, en onderste figuur in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (onderste figuur in oranje).

Uit Figuur H.1 blijkt dat de blootstellingen relatief laag zijn en dat de variantie tussen de verschillende meetdagen beperkt is (COV = 39%). De maxima liggen wel verder uiteen, maar zijn van korte duur en hebben weinig effect op de daggemiddelden. De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke metingen zijn veel lager (< 10%) dan de concentraties gemeten met de stationaire meetopstelling op het platform; dit is ook te verwachten gezien het feit dat de 'Airport Operations Manager' weinig (ca. 10%) op het platform aanwezig is. De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke en stationaire metingen vertonen dan ook geen goede correlatie ($R^2 = 0.29$).

Functiegroep 'Medewerker HDLP'

In Figuur H.2 is de boxplot weergegeven van de individuele meetresultaten binnen de functiegroep 'Medewerker HDLP'.



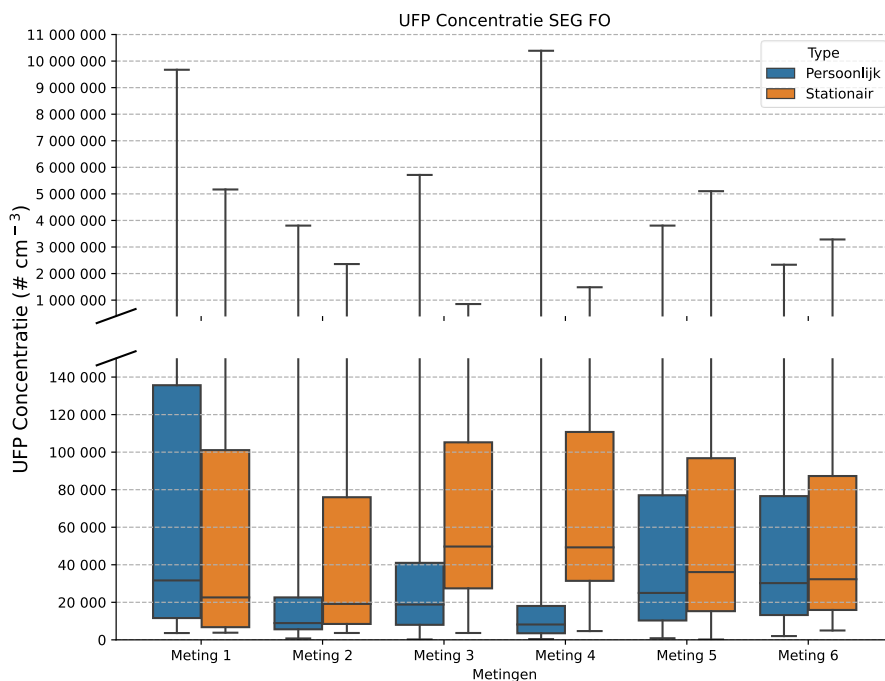
Figuur H.2 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep HDLP (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje)

Binnen deze functiegroep is er net zoals bij functiegroep AOM weinig variantie tussen de verschillende meetdagen (COV = 34%). Uit de observaties bleek dat medewerkers uit deze groep vaker te voet surveilleren dan op basis van de vragenlijst werd verwacht; dit kan een oorzaak zijn van de grotere variantie. De variantie in de persoonlijke metingen lijkt voor de meeste metingen gecorreleerd aan de variantie in de stationaire metingen, met uitzondering van meting 3 en 5. Voor meting 5 geldt dat de stationaire meting is uitgevallen om 11:30, waardoor de meting niet representatief is voor de gehele werkdag. Bij meting 3 zijn twee personen na elkaar gemeten. Op basis van observaties en meetdata blijkt dat beide personen langer binnen zijn geweest dan de andere medewerkers en dat de tweede bemeeten medewerker deels te voet en deels vanuit de auto heeft gesurveilleerd waarbij geen noemenswaardige verhoging in blootstelling is gemeten.

De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke metingen zijn ca. de helft lager (respectievelijk 44 en 71% op basis van GM_{meting} en AM_{meting}) dan de concentraties gemeten op het stationaire meetstation. Dit is in lijn met de verblijftijd op de platforms van ca. 60%, op basis van observaties. De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke en stationaire metingen vertonen een redelijke correlatie ($R^2 = 0.59$). Hieruit kan worden afgeleid dat voor de functiegroep ‘Medewerker HDLP’ de verblijftijd op het platform de belangrijkste factor is geweest voor de hoogte van de persoonlijke blootstelling en dat weersomstandigheden een duidelijke rol spelen. Een andere factor voor variantie in de metingen heeft te maken met de manier van surveilleren (vanuit de auto of te voet), die voor alle medewerkers verschillend is geweest. Desalniettemin blijft de variantie binnen de functiegroep ‘Medewerker HDLP’ beperkt.

Functiegroep ‘Flight Officer’

In Figuur H.3 is een boxplot weergegeven van de individuele meetresultaten binnen de functiegroep ‘Flight Officer’.



Figuur H.3 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep FO (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje)

Binnen de functiegroep ‘Flight Officer’ is er veel variantie tussen de verschillende meetdagen (COV = 60%). De gemiddelde blootstellingconcentraties bij meting 2 – 4 zijn lager dan bij de overige drie metingen, maar de piekconcentraties zijn van vergelijkbare orde grootte. Ook de variantie in gemeten concentraties binnen een werkdag is bij meting 2 - 4 kleiner, en kleiner dan de variantie in gemeten concentraties op het stationaire meetstation. Meting 2 is op 24 mei 2023 uitgevoerd en meting 3 en 4 zijn een week later op dezelfde dag (1 juni 2024) uitgevoerd. Op deze dagen zijn ook de functiegroepen ‘Airport Operation Manager’, ‘Medewerker HDLP’ en ‘Platform Employee’ bemeaten. Binnen deze functiegroepen zijn op deze meetdagen ook de laagste blootstellingconcentraties gemeten. Op 24 mei 2023 is dit sterk gerelateerd aan de lage concentratie op het stationaire meetstation op het platform; hierbij hebben waarschijnlijk de weerscondities een rol gespeeld.

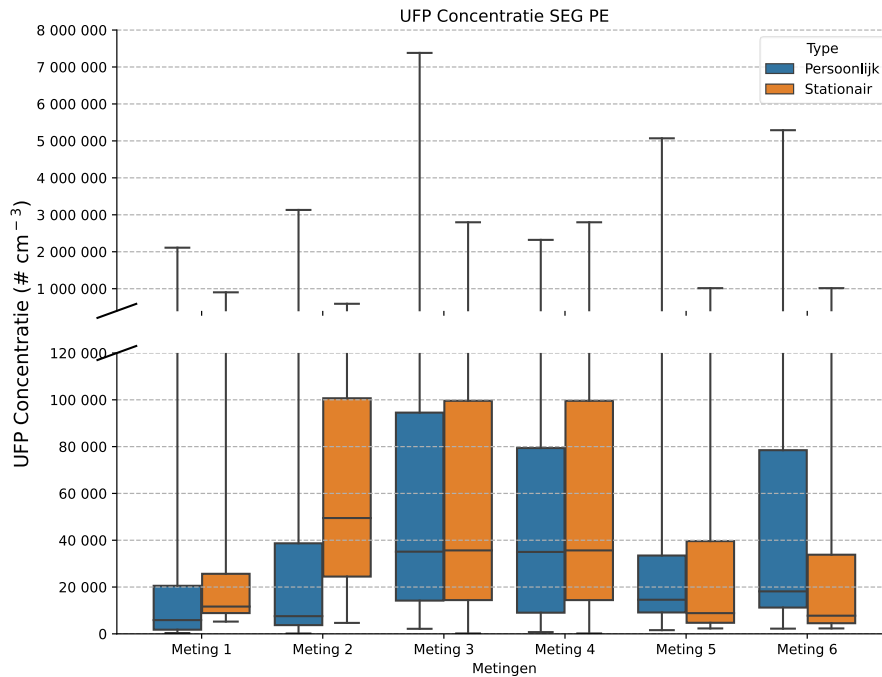
Op 1 juni 2023 liggen de concentraties gemeten op het stationaire meetstation in vergelijking met de andere meetdagen juist iets hoger. Dit betekent dat de relatieve ‘worst case’ weersomstandigheden (noordenwind) de persoonlijke metingen niet sterk hebben beïnvloed. Wat verder opvalt is dat het verschil tussen het rekenkundig gemiddelde en geometrisch gemiddelde op het stationaire meetstation relatief laag is (c.a. 1,6) en bij de persoonlijke metingen juist hoog (ca. 4.3); dit betekent dat de persoonlijke metingen meer beïnvloed zijn door hoge piekconcentraties dan de stationaire metingen. Dit blijkt ook uit de maximaal gemeten concentraties, die bij de persoonlijke metingen ca. 7 keer hoger zijn dan bij de stationaire meting. Dit effect is ook zichtbaar op de andere meetdagen. Uit observaties blijkt dat de ‘Flight Officer’ zich over het algemeen aan de voorkant van het vliegtuig bevindt (niet direct in de jet air), maar bij het taxiën en bij passerende vliegtuigen wel gedurende korte perioden in de directe luchtstroom van de jet engine komt te staan (wat bepalend is voor de hogere AM_{meting} waarden).

De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke metingen zijn ca. een kwart lager (respectievelijk 59 en 89% op basis van GM_{meting} en AM_{meting}) dan de concentraties gemeten op het stationaire meetstation. Dit is in lijn met de verblijftijd op de platforms van ca. 85%, op basis van observaties. Op basis van het geometrisch gemiddelde vertonen de daggemiddelde concentraties van de persoonlijke en stationaire metingen geen goede correlatie ($R^2 = 0,22$), maar op basis van het rekenkundig gemiddelde is er juist wel een correlatie ($R^2 = 0,78$). Dit betekent dat voor de functiegroep ‘Flight Officer’ de verblijftijd op het platform een belangrijke factor is geweest voor de hoogte van de persoonlijke blootstelling. Vooral het taxiën van de vliegtuigen heeft tot verhoogde piekconcentraties geleid, waarbij ook de weersomstandigheden een duidelijke rol hebben gespeeld. Ondanks de relatief grote variantie binnen de functiegroep ‘Flight Officer’, zijn op basis van observaties geen afwijkingen gevonden ten opzichte van de vragenlijst, met uitzondering van de verblijftijd die iets langer is (85% in plaats van 80%). De verschillen in persoonlijke blootstelling zijn te verklaren door het aantal taxiënde en passerende vliegtuigen in combinatie met de weersomstandigheden.

Functiegroep ‘Platform Employee’

In Figuur H.4 is een boxplot weergegeven van de individuele meetresultaten binnen de functiegroep ‘Platform Employee’. Binnen deze functiegroep is er een beperkte variantie tussen de verschillende meetdagen ($COV = 44\%$). De gemiddelde blootstellingconcentraties bij meting 1, 2 en 5 liggen lager dan bij de overige metingen en ook de variantie in gemeten concentraties binnen een werkdag is bij deze metingen kleiner. Op basis van observaties blijkt dat deze bemeten personen gedurende een langere periode binnen in de bagagehal hebben gewerkt. De variantie binnen een werkdag bij de persoonlijke metingen komt in de meeste gevallen (meting 1, 3, 4, 5) overeen met die van de stationaire metingen en dit geldt ook voor de daggemiddelde concentraties (AM_{meting} en GM_{meting}). Meting 2, uitgevoerd op 1 juni 2023, is hierin afwijkend, met een lagere persoonlijke concentratie dan gemeten op het stationaire meetstation. Dit kan deels worden verklaard doordat de bemeten persoon relatief veel in de bagagehal heeft gewerkt. Daarnaast is de lagere persoonlijke concentratie ten opzichte van de stationaire concentratie ook bij de andere functiegroepen op 1 juni 2023 geconstateerd. Blijkbaar hebben de relatief ‘worst case’ weersomstandigheden (noordenwind) op die dag de persoonlijke metingen niet sterk beïnvloed. Een verklaring kan niet direct worden gegeven.

Bij meting 6, uitgevoerd op 27 juni 2023 is de persoonlijke blootstelling (inclusief de variantie) juist hoger dan de gemeten waarden op het stationaire meetstation. Bij bestudering van de observaties en meetdata blijkt dat de betreffende medewerker in verhouding tot de andere bemeten medewerkers meer op het platform heeft gestaan en tijdens passerende en aankomende vliegtuigen gedurende langere perioden in de nabijheid van de straalmotoren heeft gestaan. Dit heeft geresulteerd in tijdelijk sterk verhoogde blootstellingsconcentraties ($> 10^6 \text{ # cm}^{-3}$).



Figuur H.4 Boxplot van de afzonderlijke metingen binnen de functiegroep PE (in blauw), samen met de stationaire meetdata op dezelfde werkdag (in oranje)

De daggemiddelde concentraties van de persoonlijke metingen zijn vergelijkbaar (respectievelijk 83 en 104% op basis van GM_{meting} en AM_{meting}) met de concentraties gemeten op het stationaire meetstation. Dit is in lijn met de verblijftijd op de platforms van ca. 75%, op basis van observaties, waaruit kan worden afgeleid dat voor de functiegroep 'Platform Employee' de verblijftijd op het platform een belangrijke factor is. Ondanks de vergelijkbare daggemiddelde concentraties (GM_{meting} en AM_{meting}) voor de persoonlijke en stationaire metingen is de correlatie slecht ($R^2 = 0,13$). Echter, zonder meting 6, waarvan de medewerker in tegenstelling tot de andere medewerkers gedurende een langere tijd direct in de jet air heeft gestaan, vertonen de rekenkundige daggemiddelde concentraties van de persoonlijke en stationaire metingen wel een goede correlatie ($R^2 = 0,85$). Dit betekent dat voor de functiegroep 'Platform Employee' de weersomstandigheden ook een rol spelen bij de persoonlijke blootstelling. Op basis van observaties zijn geen afwijkingen gevonden ten opzichte van de vragenlijst, met uitzondering van de verblijftijd op het platform die iets korter is (75% in plaats van 80%). De verschillen in persoonlijke blootstelling zijn voor het grootste deel te verklaren door de weersomstandigheden en de verdeling van de tijd op het platform en in de bagagehal. Daardoor kunnen de metingen conform de richtlijnen in NEN-EN 689 als representatief worden beschouwd voor de overige medewerkers binnen deze functiegroep.

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life