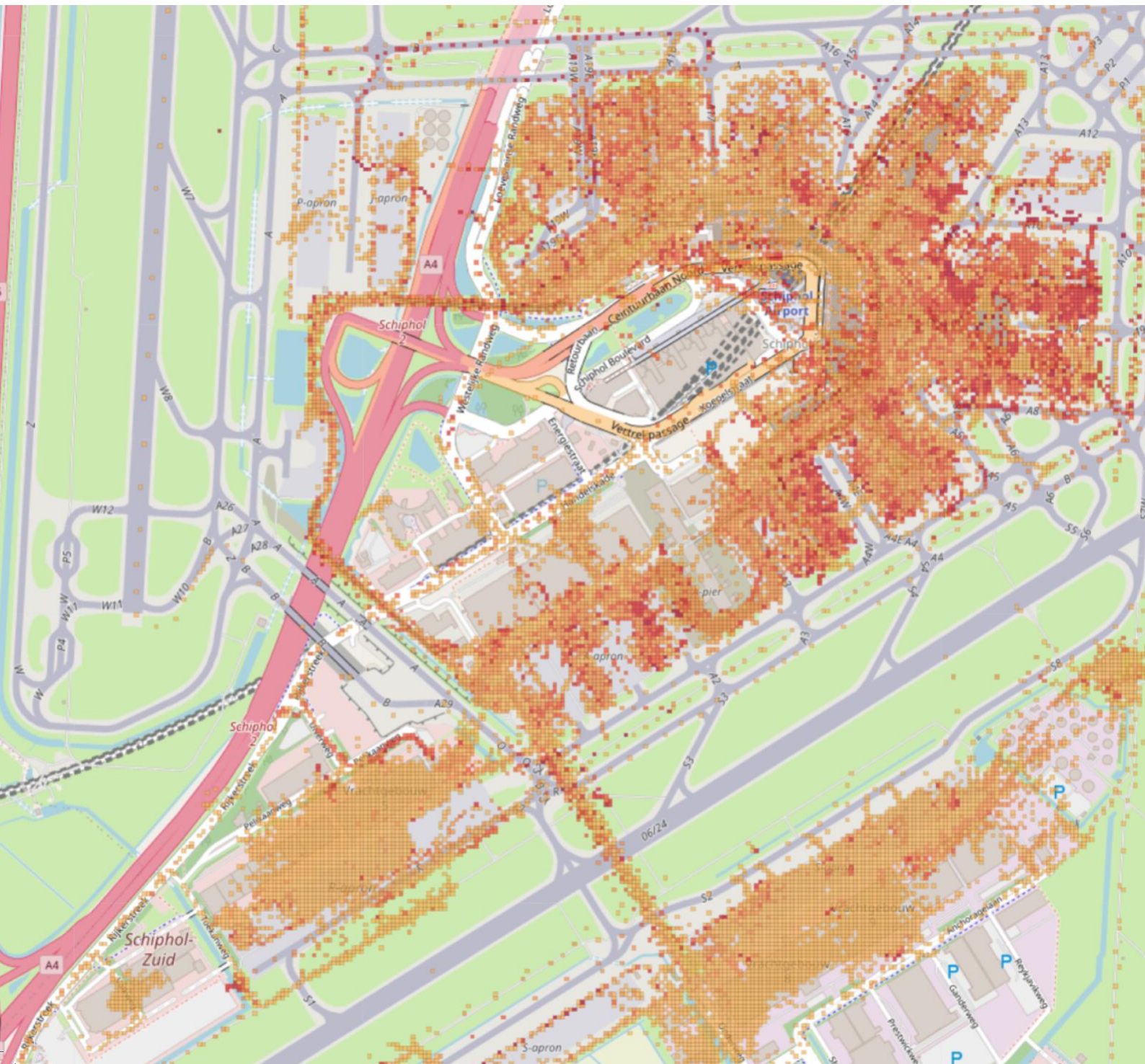




Universiteit  
Utrecht

Drs. Nettie van der Meer (NKAL)  
Dr. Ir. Remko Houba (NKAL)  
Tom Houba, BSc (TU/e)  
Prof. Dr. Ir. Hans Kromhout (UU)

# Blootstelling aan deeltjesvormige verontreiniging van medewerkers Schiphol Airside





# Blootstelling aan deeltjesvormige verontreiniging van medewerkers Schiphol Airside

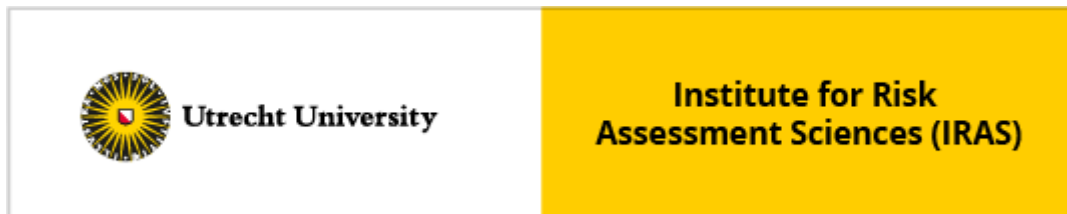
---

Drs. Nettie van der Meer (NKAL)

Dr. Ir. Remko Houba (NKAL)

Tom Houba, BSc (TU/e)

Prof. Dr. Ir. Hans Kromhout (UU)



©IRAS 2024

Eindrapport d.d. 8 april 2024

ISBN/EAN: 978-90-393-7677-5

## Voorwoord

Dit onderzoek is verricht in opdracht van Schiphol Nederland B.V. na goedkeuring van het onderzoeksvoorstel door het Vliegtuig en Diesel Motor Emissie (VDME) Samenwerkingsverband Schiphol. De concept-rapportage is voorgelegd aan een onafhankelijk Expert Panel, zoals ingesteld door de opdrachtgever, bestaande uit prof. dr. L. Burdorf (Erasmus MC), dr. J.P. Zock (RIVM) en dr. F. Krouwels (Spaarne Gasthuis). Tevens is het concept-rapport gecontroleerd op feitelijke onjuistheden door vier arbeidshygiënisten namens de sector-brede Werkgroep Blootstelling & Gezondheid. De definitieve rapportage is aangeboden aan de betrokken partijen en gepresenteerd aan deze partijen en hun ondernemingsraden.

Dit onderzoek is mede mogelijk geweest door de inzet van Dirk Visscher (RPS), Borre Verdoes en Mathijs van der Meer bij de uitvoering en verwerking van de metingen. Ook de werknemers van Security verdienen een woord van dank vanwege hun flexibele en constructieve medewerking. De deelnemende partijen willen we graag bedanken voor de prettige samenwerking bij het organiseren van de meetdagen. Een speciale vermelding verdient Schiphol afdeling HSE voor het regelen van onze uitvalsbasis en het snelle schakelen om een Naneos te vervangen. En uiteraard veel dank aan alle deelnemers voor hun bereidheid om gedurende de werkzaamheden de meetapparatuur te dragen, zonder jullie hadden we dit onderzoek niet kunnen realiseren.

## Samenvatting

Op Schiphol kunnen werknemers worden blootgesteld aan deeltjesvormige verontreinigingen afkomstig van meerdere bronnen, met name door emissies van verbrandingsmotoren (diesel, kerosine en benzine). Om de blootstelling te karakteriseren zijn in de periode augustus-september 2023 persoonlijke metingen uitgevoerd naar inhaleerbaar, respirabel en ultrafijn stof bij medewerkers werkzaam op Schiphol Airside. In het inhaleerbaar stof is een aantal metalen geanalyseerd en het respirabel stof is geanalyseerd op elementair en organisch koolstof.

Op basis van informatie van afhandelingsbedrijven en externe uitvoerders (main contractors) zijn relevante functies ingedeeld in tien functiegroepen naar functie-inhoud en locatie van de werkzaamheden. In totaal zijn 305 valide persoonlijke stofmetingen gerealiseerd verdeeld over 10 functiegroepen op 23 meetdagen. De gemiddelde meetduur bedroeg ruim 6 uur. Er zijn 88 inhaleerbaar stofmetingen, 103 respirabel stofmetingen en 114 ultrafijn stofmetingen uitgevoerd. Elke deelnemer was gedurende de meting tevens uitgerust met een GPS-logger. De concentratie inhaleerbaar en respirabel stof is gemeten als tijdgewogen gemiddelde. Het aantal deeltjes ultrafijn stof is momentaan gemeten en gekoppeld aan de GPS-locaties.

De metingen zijn uitgevoerd in de drukke maanden op Schiphol. De metingen hebben een brede dekking over alle functies met werkzaamheden aan Schiphol Airside en werkgevers op Schiphol. De GPS-informatie laat zien dat de metingen over het gehele Schiphol-terrein hebben plaatsgevonden. Zodoende is een representatief en compleet beeld verkregen van de blootstelling tijdens de dagdienst van elke functiegroep en de verschillende stoffracties en componenten op Schiphol Airside voor de periode augustus-september.

De persoonlijke blootstelling aan inhaleerbaar stof was laag ten opzichte van de geldende grenswaarde en verschilt weinig tussen de onderscheiden functiegroepen. Metalen in inhaleerbaar stof, merkers voor slijtage van verbrandingsmotoren en voor smeeroliën, zijn niet of nauwelijks aangetoond en lagen ver beneden de grenswaarden.

Het merendeel (86%) van de respirabel stofmetingen lag onder de detectielimiet. Slechts bij cargo medewerkers en bij de externe uitvoerders was een deel van de metingen boven de detectielimiet, echter, ook deze concentraties waren ver onder de grenswaarde. In 2/3 van de respirabel stofmetingen is elementair koolstof aangetoond. Toetsing aan de huidige grenswaarde toonde voor drie functiegroepen aan dat ze niet aan de grenswaarde van  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voldeden ("Pushback/Sleper", "VOP - Cargo" en "Personenvervoer"), gebaseerd op het beperkte aantal uitgevoerde metingen. Aanwezigheid op een vliegtuig opstelplaats (VOP) (factor 2 hoger) en windrichting (oostenwind een

factor 2 hoger en noordenwind een factor 2,5 lager) blijken statistisch significante determinanten van de elementair koolstof concentratie te zijn.

De ultrafijn stofmetingen laten grotere verschillen zien tussen de functiegroepen. Drie functiegroepen hebben de hoogste werkdaggemiddelde blootstellingen: “Actief op de VOP - Main contractors”, “Pushback/sleper” en “VOP - Passagiers vliegtuigen”, met een daggemiddelde blootstelling boven de 100K ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>. Voor werknemers van externe uitvoerders werkzaam op vliegtuig opstelplaatsen gold bovendien dat zij gemiddeld 52% van hun werktijd blootgesteld zijn aan piekblootstellingen boven de 100K ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>. Aanwezig zijn op een VOP voor passagiersvliegtuigen bleek een belangrijke determinant te zijn, die leidde tot een 2,5 maal hogere blootstelling aan ultrafijn stof. Dit werd bevestigd door de geografische analyse van de ultrafijn stofconcentraties met relatief hoge concentraties op de VOP's voor passagiersvliegtuigen. Concentraties ultrafijn stof op de VOP voor vrachtvliegtuigen zijn veel lager. De relatieve luchtvochtigheid op de meetdag bleek een sterk verhogend effect te hebben op de concentratie ultrafijn stof.

Naast aantallen deeltjes is ook de diameter van het ultrafijne stof geanalyseerd. Er zijn functiegroepen met een gemiddelde ultrafijn stof mediane diameter rond de 20 nm en functiegroepen met een mediane diameter van 40 nm. Het verschil in diameter en aantallen deeltjes tussen de functiegroepen kon worden verklaard door langduriger verblijf op de VOP's met ultrafijn stofblootstelling afkomstig van vliegtuigmotoremissies. De functiegroepen met grotere diameters zullen voornamelijk aan andere bronnen van ultrafijn stof zijn blootgesteld. Windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, westenwind en aanwezigheid op een VOP verklaarde de helft van de variatie in mediane deeltjesgrootte tussen de functiegroepen. Toenemende relatieve luchtvochtigheid en windsnelheid bleken de mediane deeltjesgrootte van het ultrafijne stof met een factor twee te verkleinen. De toename van de deeltjesgrootte bij westenwind zou kunnen wijzen op een bijdrage van ultrafijn zeezout in de lucht.

Voor epidemiologisch onderzoek naar gezondheidseffecten door blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen van medewerkers op Schiphol Airside zijn de persoonlijke inhaleerbaar en respirabel stofconcentraties niet informatief vanwege te weinig contrast tussen de functiegroepen. Een indeling van de functiegroepen voor wat betreft blootstelling aan elementair koolstof en ultrafijn stof is wel mogelijk gezien het aanmerkelijke contrast in blootstelling tussen de functiegroepen. Ook blijken deze blootstellingen (respirabel elementair koolstof en ultrafijn stof) niet gecorreleerd te zijn en kunnen daarom desgewenst in een multivariabele epidemiologische analyse worden gebruikt.

# Inhoudsopgave

<b>VOORWOORD</b> .....	<b>2</b>
<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>3</b>
<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>6</b>
<b>2. METHODE</b> .....	<b>7</b>
2.1 INVENTARISATIE VAN FUNCTIES SCHIPHOL AIRSIDE .....	7
2.2 MEETSTRATEGIE .....	8
2.3 MEETMETHODEN .....	12
2.3.1 <i>Inhaleerbaar stof en analyse van metalen</i> .....	12
2.3.2 <i>Respirabel stof en analyse van elementair en organisch koolstof</i> .....	12
2.3.3 <i>Ultrafijn stof</i> .....	13
2.3.4 <i>Grenswaarden</i> .....	13
2.4 STATISTISCHE ANALYSE VAN MEETGEGEVENS .....	15
2.4.1 <i>Beschrijvende statistiek</i> .....	15
2.4.2 <i>Analyse piekenpatroon ultrafijn stofmetingen</i> .....	15
2.4.3 <i>Lineaire mixed modellen</i> .....	15
2.4.4 <i>Koppelen UFP-metingen aan GPS-coördinaten</i> .....	16
<b>3. RESULTATEN</b> .....	<b>18</b>
3.1 ONDERZOEKSPOPULATIE EN INDELING VAN FUNCTIEGROEPEN.....	18
3.2 GEREALISEERDE MEETINSPANNING .....	19
3.3 CONTEXTUELE INFORMATIE TIJDENS DE MEETPERIODE.....	23
3.4 BLOOTSTELLING AAN DEELTJESVORMIGE VERONTREINIGINGEN .....	24
3.4.1 <i>Inhaleerbaar stof en metalen</i> .....	25
3.4.2 <i>Respirabel stof en elementair en organisch koolstof</i> .....	28
3.4.3 <i>Ultrafijn stof</i> .....	31
3.4.4 <i>Ultrafijn stof – geografische analyse</i> .....	37
3.4.5 <i>Blootstellingsgroepen voor epidemiologisch onderzoek</i> .....	42
<b>4. DISCUSSIE EN CONCLUSIES</b> .....	<b>45</b>
<b>REFERENTIES</b> .....	<b>50</b>
<b>BIJLAGE I DRIEDIMENSIONALE WEERGAVE MEDIANE BLOOTSTELLING ULTRAFIJN STOF PER FUNCTIEGROEP</b> .....	<b>52</b>
<b>BIJLAGE II DRIEDIMENSIONALE WEERGAVE PERCENTAGE WAARNEMINGEN &gt;100K DEELTJES/CM<sup>3</sup> PER FUNCTIEGROEP</b> .....	<b>63</b>

## 1. Inleiding

Op Schiphol kunnen werknemers worden blootgesteld aan deeltjesvormige verontreinigingen afkomstig van meerdere bronnen, met name door emissie van diesel-, vliegtuig- en andere verbrandingsmotoren. Blootstelling is relevant voor alle werknemers die werkzaam zijn aan Schiphol Airside. In opdracht van de Royal Schiphol Group NV heeft het Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS) van de Universiteit Utrecht in samenwerking met het Nederlands Kenniscentrum Arbeid en Longaandoeningen (NKAL) in 2023 een onderzoek uitgevoerd naar de persoonlijke blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen, waarbij de doelstellingen van het onderzoek als volgt zijn geformuleerd:

1. Inzichtelijk krijgen en karakteriseren van persoonlijke blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen (waaronder ultrafijne deeltjes) van medewerkers Schiphol Airside.
2. Risicobeoordeling op basis van grenswaarden voor de verschillende stoffracties (inhaleerbaar stof, respirabel stof en ultrafijn stof) en chemische bestanddelen van de blootstelling (elementair koolstof en metalen).
3. Het meten van persoonlijke blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen teneinde een informatieve indeling van functies te krijgen voor arbeidsgezondheidskundig onderzoek naar mogelijke respiratoire en cardiovasculaire gezondheidseffecten.



## 2. Methode

### 2.1 Inventarisatie van functies Schiphol Airside

De focus van het onderzoek betreft de blootstelling aan deeltjesvormige verontreiniging van medewerkers door vliegtuig-, diesel- en andere verbrandingsmotoren. Als uitgangspunt is gehanteerd om zoveel mogelijk functies met mogelijke blootstelling op Schiphol Airside mee te nemen in het onderzoek. Om vast te stellen welke functies relevant zijn, heeft een rondleiding plaatsgevonden op Schiphol Airside, zijn aangeleverde documenten bestudeerd en zijn interviews gehouden met contactpersonen van alle betrokken partijen. Door Schiphol was reeds een werkgroep samengesteld voor dit onderzoek met participatie van de afhandelaren en externe uitvoerders (main contractors) werkzaam op Schiphol (Tabel 2.1). Met deze partijen zijn zowel groeps gesprekken als individuele interviews gehouden om informatie te verzamelen voor de opzet van het meetplan. Per partij zijn alle relevante functies benoemd en zijn per functie de aard van de werkzaamheden, de werklocaties, aanwezige bronnen van verbrandingsmotoren-emissie alsmede een indicatie van de verblijftijd op Schiphol Airside uitgevraagd.

Tabel 2.1 Deelnemende bedrijven aan het onderzoek

Afhandelingsbedrijven	Externe uitvoerders
Aviapartner	BAM Bouw & Techniek
Axxicom	BAM Energie & Water
dnata CARGO	Heijmans Infra
dnata PAX	Heijmans Utilities
KLM CARGO	Vialis
KLM Ground Services	
Menzies Freighter Handling Team	
Menzies Ground Handling Ramp	
Swissport CARGO	
Swissport RAMP	
Viggo	
WFS CARGO	

De afhandelingsbedrijven zijn verantwoordelijk voor de afhandeling van bagage, vracht en passagiers. Zij laden, lossen en transporteren bagage en/of vracht, zorgen voor vervoer van passagiers (al dan niet met (mobiliteits)beperkingen), verzorgen brandstof, water en toilet van de vliegtuigen, en verplaatsen vliegtuigen van en naar opstelplaatsen (door slepen en pushback). Veel van de werkzaamheden vinden plaats op een vliegtuig opstelplaats (VOP). De VOP's bevinden zich op de diverse pieren en platformen (A, B, C, D, E, F, G, H, M, R en S) en zijn genummerd. De afhandelaren van cargo ontvangen daarnaast vracht van expediteurs, bouwen vrachteenheden op (vliegtuigplaten en containers) die in vliegtuigen worden geladen en breken ze af in en nabij loodsen en dragen zorg voor de overdracht van inkomende vracht aan expediteurs.

Op Schiphol zijn meerdere externe uitvoerders werkzaam, opgedeeld in percelen. Voor elk perceel zijn een of meer externe uitvoerders verantwoordelijk voor bepaalde werkzaamheden. Zo is perceel 1 gericht op vluchtafhandeling en omvat het werk alle start- en landingsbanen en daar omheen gelegen wegen en andere infrastructuur (Heijmans). Perceel 2 betreft de vliegtuigafhandeling, dat wil zeggen alle platformen en daarop gelegen infrastructuur (Vialis). Perceel 3 betreft alle infra aan de 'landside'. Perceel 4 betreft alle ondergrondse infrastructuur zoals drinkwater-, vuilwater-, gas- en elektriciteitsinfra op het terrein van Schiphol (BAM). Perceel 5 betreft alle bouwkundige objecten en elementen en installaties; perceel 5a behelst Terminal 1 en 2 (Heijmans Utiliteit) en perceel 5b Terminal 3, Plaza en operationele gebouwen (BAM). Voor dit onderzoek zijn met name de werkzaamheden op de percelen 1, 2 en 5 relevant.

Alle relevante functies zijn aangegeven door de deelnemende partijen en uitgevraagd door de onderzoekers. Deze zijn vervolgens op basis van hun werkzaamheden ingedeeld in functiegroepen.

## 2.2 Meetstrategie

### *Fracties en samenstelling van de deeltjesvormige verontreiniging*

Een belangrijk doel van het onderzoek is om de blootstellingsmetingen te kunnen gebruiken ten behoeve van arbeidsgezondheidskundig (epidemiologisch) onderzoek naar de relatie tussen ultrafijne deeltjes en respiratoire en cardiovasculaire gezondheidseffecten. Een dergelijke relatie kan alleen worden onderzocht wanneer andere, gelijktijdig voorkomende vormen van blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen in het onderzoek worden betrokken. Voor de indeling van de medewerkers in functiegroepen met verschillen in blootstelling ten behoeve van het onderzoek naar gezondheidseffecten is het van belang om inzicht te hebben in het totale spectrum van deeltjesvormige blootstelling.

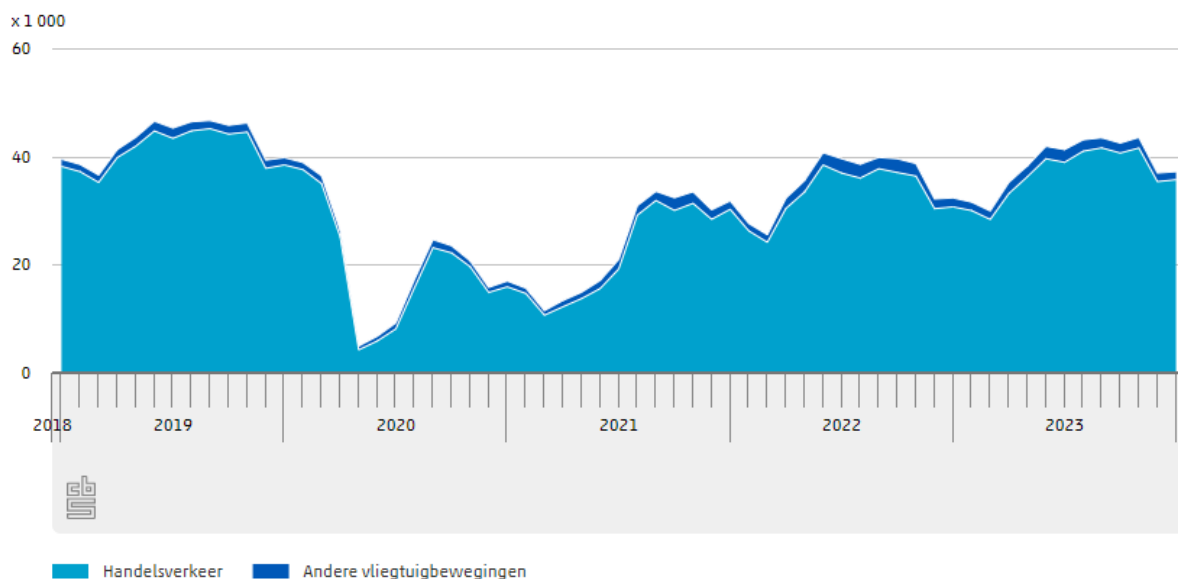
Er zijn drie deeltjesfracties gemeten, namelijk de inhaleerbare, respirabele en ultrafijne fractie. De inhaleerbare fractie is het deel van het in de lucht aanwezige stof dat door de neus en mond kan worden ingeademd ( $<100\ \mu\text{m}$ ). De respirabele fractie is het deel van het stof dat diep in de longen tot in de longblaasjes kan doordringen ( $<10\ \mu\text{m}$ ). De ultrafijne fractie bestaat uit stofdeeltjes van nanoschaal grootte (kleiner dan  $0,1\ \mu\text{m}$  of  $100\ \text{nm}$ ).

Het uitgangspunt was per blootstellingsgroep 10 metingen per stoffractie uit te voeren en per meetdag 15 personen te bemeten, evenredig verdeeld over de drie stoffracties. Elke meetdag is een veldblanco genomen. In paragraaf 2.4 volgt een detailbeschrijving van de meetmethoden. In het inhaleerbare stof zijn analyses uitgevoerd naar de volgende metalen: aluminium (Al), chroom (Cr), ijzer (Fe), nikkel (Ni), molybdeen (Mo), vanadium (V), zink (Zn) en zirkonium (Zr). De metalen zijn gekozen op basis van literatuuronderzoek naar metalen in emissies van

vliegtuigverbrandingsmotoren en brandstoffen. Het merendeel van de geselecteerde metalen is afkomstig van slijtage van motoronderdelen, smeeroliën (zink) of wel speciale thermische barrièrecoatings voor vliegtuigmotoren (zirkonium) (Abegglen *et al.* 2016, Bren *et al.* 2017). Naast emissie van vliegtuigen worden werknemers op Schiphol Airside ook blootgesteld aan emissies van andere verbrandingsmotoren. Er zijn op Schiphol Airside meerdere dieselbronnen aanwezig, waaronder een grote diversiteit aan voertuigen en dieselaggregaten, die vliegtuigen van stroom voorzien gedurende de periode dat ze op de platforms geparkeerd zijn en worden gebruikt bij bouwwerkzaamheden. Elementair koolstof is een merker voor blootstelling aan dieselmotor emissie (Gezondheidsraad, 2019) en is geanalyseerd in de respirabele deeltjesfractie.

### Meetperiode

De metingen zijn verricht in augustus en september 2023. Het aantal vliegtuigbewegingen op Schiphol varieert over een jaar, waarbij mei t/m oktober de drukste maanden zijn (zie Figuur 2.1). De externe uitvoerders gaven de voorkeur voor metingen in september na de bouwvakantie. In de drukke vakantieperiode wil Schiphol zo min mogelijk verstoringen door onderhoud en beheer.



Figuur 2.1 Vliegtuigbewegingen op Amsterdam Schiphol, per maand (bron: CBS [Hoeveel vliegbewegingen zijn er van en naar Nederland? | CBS](#))

### Inzet van GPS-loggers

Om inzicht te krijgen in het bewegingspatroon is elke medewerker gevraagd gedurende de meetdag een GPS-logger te dragen. Hierbij is gebruik gemaakt van GPS Data Logger GT-730FL-S van Renkforce. Metingen zijn gedaan met een log-interval van 5 seconden. Alle GPS-loggers zijn na de meting uitgelezen met CanWay free data-logger software, waarna het bewegingspatroon van elke

medewerker is geplot. Voor elke plot is een beoordeling uitgevoerd in hoeverre het bewegingspatroon paste bij de functie.

#### *Selectie van de deelnemers en informed consent*

De selectie van deelnemers is gedaan in nauwe samenwerking met de betrokken werkgevers op Schiphol. Gedurende de meetperiode is intensief overleg geweest met de werkgevers over de organisatie van de metingen, waarbij de onderzoekers aangaven welke functiegroepen en functies bij voorkeur op een meetdag zouden worden bemeten. De daadwerkelijke selectie van deelnemers is door de werkgevers gedaan op basis van aanwezigheid op de betreffende meetdag en vrijwilligheid. Voor de externe uitvoerders zijn door de onderzoekers bepaalde functies uitgesloten van deelname aan de metingen. Dit betreft functies die stof-genererende activiteiten uitvoeren (bijvoorbeeld boren, slijpen, frezen etc.). Dit om mogelijke verstoring van de meting naar blootstelling door emissie van (vliegtuig)motoren zoveel mogelijk te voorkomen. In Tabel 3.4 (overige functies, niet bemeten) is te zien welke functies niet bemeten zijn. Gezondheidsstatus van de medewerkers heeft geen rol gespeeld bij de selectie van deelnemers.

Voorafgaand aan de meetperiode is door zowel Schiphol als door elke individuele werkgever binnen de eigen organisatie gecommuniceerd over het meetprogramma. Op de meetdag zelf is door de onderzoekers een korte uitleg gegeven over het doel van de metingen en wat van elke deelnemer werd verwacht. Elke deelnemer heeft vervolgens een toestemmingsverklaring getekend en heeft ook zelf een exemplaar van het toestemmingsformulier ontvangen. Op dat toestemmingsformulier stond kort het doel van het onderzoek, wat van de deelnemer werd verwacht en een telefoonnummer om de onderzoekers te bereiken in geval van vragen tijdens de meetdag. Elke deelnemer werd uitgerust met één stof meetapparaat (voor inhaleerbaar of respirabel of ultrafijn stof) en een GPS-logger. De meetgegevens zijn geanonimiseerd verwerkt.

#### *Logboek*

Gedurende de meetdag is de deelnemers gevraagd een summier logboek bij te houden. In dit logboek moesten de deelnemers in grote lijn hun tijdsbesteding aangeven, waarbij werd gevraagd naar de locatie (bijvoorbeeld welke locatie/platform op het Schiphol-terrein), of men in de buitenlucht, in een gebouw of in een auto verbleef en eventuele bijzonderheden over hun blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen (bijvoorbeeld zelf verrichte werkzaamheden in de directe nabijheid van een dieselbron en/of in de blast van een vliegtuig). Daarnaast moest men aangeven of men gedurende de meetdag zelf een voertuig bestuurde met welke aandrijving (diesel/benzine/elektrisch), of men (passief) had gerookt, het een gangbare werkdag betrof en of men gebruik had gemaakt van ademhalingsbeschermingsmiddelen. Het logboek was functiegroep-

specifiek, maar de aard van de vragen was vergelijkbaar. Op elk logboek stond een invulvoorbeeld, aangepast aan de aard van de werkzaamheden van de betreffende functiegroep.

#### *Meteorologische omstandigheden*

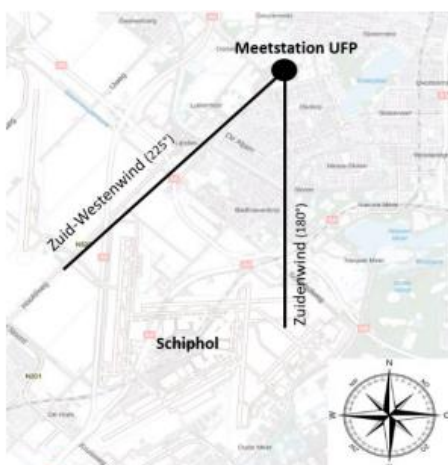
De mogelijke invloed van weersomstandigheden op de meetresultaten is onderzocht door gebruik te maken van gegevens van het KNMI voor de locatie Schiphol (station #240, longitude (east) 4.790, latitude (north) 52.318, alt (m) -3.30) (<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>).

#### *Vliegtuigbewegingen*

Door Schiphol is voor de meetperiode informatie aangeleverd over het aantal passagiers- en vrachtvluchten. Deze informatie is gebruikt om de representativiteit van de metingen te kunnen bepalen en om de mogelijke invloed van het aantal vluchten (start- en landingsbaan-specifiek) op de blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen te onderzoeken.

#### *Achtergrondconcentraties*

Door het landelijk meetnet van het RIVM worden op de locatie Sportpark Ookmeer in Osdorp continu ultrafijn stofmetingen verricht (TSI Incorporated type EPC-3783 particle counter, meet het aantal deeltjes met een diameter vanaf 7 nm tot  $>3 \mu\text{m}$ ). Dit meetstation bevindt zich in het westen van Amsterdam ([Luchtmeetnet.nl](http://Luchtmeetnet.nl)). Deze locatie ligt op circa 6 km van Schiphol (Figuur 2.2). De metingen van dit station zijn gebruikt om inzicht te krijgen in de achtergrondblootstelling van ultrafijn stof in de omgeving van Schiphol ter vergelijking met de meetresultaten op Schiphol Airside.



Figuur 2.2 Positie meetstation Ookmeer ten opzichte van Schiphol ([Jaarrapport Luchtkwaliteit Amsterdam 2022 \(openresearch.amsterdam\)](http://Jaarrapport Luchtkwaliteit Amsterdam 2022 (openresearch.amsterdam)))

## 2.3 Meetmethoden

### 2.3.1 Inhaleerbaar stof en analyse van metalen

Voor de inhaleerbaar stofmetingen is gebruik gemaakt van GilAir5 luchtbemonsteringspompen (aanzuigvolume 2,1 L per minuut) en PAS-6 monsternamekoppen. Het stof is opgevangen op een MCE filter (25 mm). De hoeveelheid verzameld stof is gravimetrisch bepaald door voor- en naweging van het filter op een analytische balans conform MDHS 14/4. Het inhaleerbare stof is vervolgens geanalyseerd op de aanwezigheid van metalen met behulp van ICP-MS conform ISO 30011. Alle wegingen (rapportagegrens: 0,05 mg) en analyses (rapportagegrens: 0,1 µg voor chroom, nikkel, vanadium, zirconium; 0,5 µg voor molybdeen; 1,0 µg voor zink; 2,0 µg voor aluminium; 3,0 µg voor ijzer) zijn uitgevoerd door RPS Analyse B.V. in Breda.

Conform NEN-EN-ISO 13137 mag de flow gedurende de meettijd niet meer dan 5% afwijken (verschil voor- en na-ijking). Hiertoe is de flow van de pompen voorafgaand aan en na iedere meetsessie gecontroleerd. Voor de berekening van de concentratie is de gemiddelde flow over de meetperiode gebruikt.

Tijdens de proefmetingen gedurende de eerste drie meetdagen is voor de metingen van inhaleerbaar stof gebruik gemaakt van GSP-koppen (JS Holdings) en 37 mm MCE filters en een aanzuigvolume van 3,5 L per minuut. Na deze proefperiode is overgeschakeld op PAS-6 koppen (zie ook paragraaf 3.2). De analyse van de inhaleerbaar stofmonsters is verder identiek geweest.

### 2.3.2 Respirabel stof en analyse van elementair en organisch koolstof

Voor de respirabel stofmetingen is gebruik gemaakt van GilAir5 luchtbemonsteringspompen (aanzuigvolume 2,2 L per minuut) en Higgins-Dewell cyclonen. Het stof is opgevangen op een kwartsvezelfilter (25 mm). De hoeveelheid verzameld stof is gravimetrisch bepaald door voor- en naweging van het filter op een analytische balans conform MDHS 14/4. Het stof is vervolgens geanalyseerd op de aanwezigheid van elementair koolstof met behulp van thermisch/optische analyse met vlamionisatie detectie (FID) conform NIOSH 5040. Alle wegingen (rapportagegrens: 0,05 mg) en analyses (rapportagegrens: 0,1 µg voor elementair en organisch koolstof) zijn uitgevoerd door RPS Analyse B.V. in Breda.

Conform NEN-EN-ISO 13137 mag de flow gedurende de meettijd niet meer dan 5% afwijken (verschil voor- en na-ijking). Hiertoe is de flow van de pompen voorafgaand aan en na iedere meetsessie gecontroleerd. Voor de berekening van de concentratie is de gemiddelde flow over de meetperiode gebruikt.

### 2.3.3 Ultrafijn stof

Voor de ultrafijn stofmetingen is gebruik gemaakt van een draagbare Naneos Partector 2 die gebruik maakt van het “diffusion charging” meetprincipe en deeltjes meet in het gebied tussen 10-300 nm met een meetbereik tot  $1 \cdot 10^6$  deeltjes/cm<sup>3</sup>. Om verstoringen door grotere deeltjes te voorkomen en ter bescherming van het meetinstrument is de Naneos tijdens de metingen aangesloten op een Higgins-Dewell cycloon, zodat de grovere deeltjesfractie eerst wordt afgescheiden. Deze cycloon wordt net als bij een reguliere stofmeting in de ademzone van de werknemer bevestigd.

Meetdata wordt gedurende de meting opgeslagen op een micro-SD kaartje, welke na afloop van elke meting is uitgelezen met de Naneos Partector Data analysis tool (een Java tool). De integratietijd is ingesteld op 5 seconden. Het resultaat is een meetserie met elke vijf seconden een gemiddelde meetwaarde die gebaseerd is op de afgelopen periode van 4 seconden. Voor dit onderzoek is het aantal ultrafijne deeltjes per kubieke centimeter geanalyseerd, het percentage van de meetduur boven 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> evenals de diameter van de deeltjes in nm. Elke meetdag is een controle van de meetapparatuur uitgevoerd met een HEPA-filter. De concentratie zoals aangegeven door elke Naneos was daarbij steeds lager dan 10 deeltjes/cm<sup>3</sup> zodat geen correctie van de meetdata is doorgevoerd. Tevens is een aantal parallele metingen gedaan met alle ingezette Naneos Partectors, die geen aanleiding gaven tot een correctiefactor tussen de apparaten.

### 2.3.4 Grenswaarden

Tabel 2.2 geeft een overzicht van de grenswaarden die relevant zijn voor de stoffracties en de componenten die in het kader van dit onderzoek zijn gemeten. In Nederland zijn maar voor een beperkt aantal stoffen wettelijke grenswaarden vastgelegd. In het huidige grenswaardestelsel worden werkgevers geacht zelf hun grenswaarden vast te stellen, waarbij deze gezondheidkundig onderbouwd moeten zijn. In de meeste gevallen wordt aansluiting gezocht bij buitenlandse (gezondheidkundige) grenswaarden. Per component is op basis van de actuele inzichten vastgesteld welke grenswaarde als uitgangspunt voor de toetsing wordt gebruikt.

Voor ultrafijn stof is momenteel geen grenswaarde beschikbaar, ook niet in het buitenland (Gezondheidsraad, 2021). Er zijn enkele fundamentele beperkingen die het afleiden van een gezondheidkundige grenswaarde momenteel beperken. Zo zijn er verschillende methoden voor het meten van ultrafijn stof, die aanzienlijk verschillen in de ondergrens en ook de bovengrens van de deeltjesgrootte (het meetbereik van apparatuur kan variëren van 2 nm tot ruim 3 µm). Met name de ondergrens van de meetmethode heeft grote invloed op de concentratie ultrafijn stof: hoe lager de ondergrens van de meetmethode, hoe hoger de concentratie ultrafijn stof in deeltjes per cm<sup>3</sup> zal zijn.

De grote verschillen in meetmethoden tussen studies maakt de vergelijkbaarheid tussen studies niet goed mogelijk. Een tweede element is dat ultrafijn stofmetingen afhankelijk is van de luchtvochtigheid en windsnelheid (Martins *et al.* 2010, Peng *et al.* 2018, Voogt *et al.* 2019, Gezondheidsraad, 2021). Verder is er nog vrijwel geen arbeidsepidemiologisch onderzoek uitgevoerd naar de relatie tussen blootstelling aan ultrafijn stof enerzijds en gezondheidseffecten anderzijds. In het werkprogramma van de Nederlandse Gezondheidsraad staat gepland opnieuw te kijken of een grenswaarde voor beroepsmatige blootstelling aan ultrafijn stof kan worden afgeleid, dit op verzoek van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. Zowel nationaal als internationaal zijn wel een aantal streefwaarden gesuggereerd, maar geen van deze waarden heeft een gezondheidkundige onderbouwing en zijn daarom niet gebruikt in dit onderzoek. Door het ontbreken van een gezondheidkundige grenswaarde voor ultrafijn stof kan daarom op dit moment niet getoetst worden aan een grenswaarde.

Tabel 2.2 Overzicht van gehanteerde grenswaarden (als 8-uurs tijdgewogen gemiddelde)

Component	Grenswaarde (mg/m <sup>3</sup> )	Toelichting
Inhaleerbaar stof <sup>1</sup>	4	Geen wettelijke grenswaarde beschikbaar. In Nederland momenteel meest gebruikte vuistregel in arbocatalogi
Respirabel stof <sup>1</sup>	1,25	Geen wettelijke grenswaarde beschikbaar. In Nederland momenteel meest gebruikte vuistregel in arbocatalogi
Aluminium	4	DFG MAK- und BAT-werte Liste 2023
Chroom (metallisch)	0,5	Wettelijk, Arbo-regeling art. 4.19 Bijlage XIII
IJzer <sup>2</sup>	4	Basis is de algemene grenswaarde voor inhaleerbaar stof
Nikkel	0,05	RAC 2018
Molybdeen <sup>3</sup>	4	Basis is de algemene grenswaarde voor inhaleerbaar stof
Vanadium	0,005	DFG MAK- und BAT-werte Liste 2023
Zink	2	DFG MAK- und BAT-werte Liste 2023
Zirkonium	5	REACH DNEL
Elementair koolstof	0,01	Wettelijk, Arbo-regeling art. 4.19 Bijlage XIII

<sup>1</sup> Voor inhaleerbaar stof en respirabel stof bestaan in Nederland momenteel geen wettelijke grenswaarden. Tot voor kort werd vaak nog een grenswaarde gehanteerd van respectievelijk 10 mg/m<sup>3</sup> en 5 mg/m<sup>3</sup>. Er is inmiddels brede consensus dat deze grenswaarden te hoog zijn en gezondheidsrisico's niet uitsluiten. De Nederlandse Gezondheidsraad heeft inhaleerbaar stof en respirabel stof op haar werkprogramma staan en zal vermoedelijk over enige tijd met een voorstel komen voor nieuwe grenswaarden in Nederland. In de ons omringende landen (Engeland, Frankrijk, Duitsland) zijn al wel nieuwe grenswaarden voorgesteld van 4-5 mg/m<sup>3</sup> (inhaleerbaar stof) en 0,9-1,25 mg/m<sup>3</sup> (respirabel stof). In veel arbocatalogi in Nederland worden inmiddels grenswaarden gehanteerd voor inhaleerbaar en respirabel stof van respectievelijk 4 mg/m<sup>3</sup> en 1,25 mg/m<sup>3</sup>, waarbij door ons wordt aangesloten

<sup>2</sup> In Nederland is geen wettelijke grenswaarde voor ijzer, maar wel een oud advies van de WGD van 5 mg/m<sup>3</sup> als inhaleerbaar stof. De grenswaarde kan echter nooit hoger zijn dan de algemene grenswaarde voor inhaleerbaar stof dus is ook voor ijzer gekozen voor een grenswaarde van 4 mg/m<sup>3</sup>. De meeste buitenlandse grenswaarden zijn 5 of 10 mg/m<sup>3</sup>

<sup>3</sup> In Nederland is geen wettelijke grenswaarde voor molybdeen. De meeste buitenlandse grenswaarden liggen tussen 5 en 10 mg/m<sup>3</sup>. De grenswaarde kan echter nooit hoger zijn dan de algemene grenswaarde voor inhaleerbaar stof dus is ook voor molybdeen gekozen voor een grenswaarde van 4 mg/m<sup>3</sup>



## 2.4 Statistische analyse van meetgegevens

De meetresultaten zijn statistisch verwerkt waarbij gebruik gemaakt is van verschillende statistische methoden en modellen. Hierbij is voornamelijk SAS versie 9.4 gebruikt.

### 2.4.1 Beschrijvende statistiek

Voor elk van de drie stoffracties zijn de verdelingen bekeken en zijn beschrijvende statistische parameters geschat. De concentratie is weergegeven als werkdaggemiddelde en betreft de duur van de meting, inclusief pauzes. Zo nodig zijn meetresultaten onder de detectielimiet geïmputeerd om vertekening (onderschatting van het gemiddelde van de blootstellingen en de variatie van de blootstellingen) te voorkomen (Helsel *et al.* 2010). De imputaties zijn uitgevoerd met behulp van een methode beschreven door Jin *et al.* 2011 en de macro LIFEREG in SAS. Als meer dan 40% van de meetresultaten onder de detectielimiet waren is niet geïmputeerd.

### 2.4.2 Analyse piekenpatroon ultrafijn stofmetingen

De continue ultrafijn stofmetingen zijn in eerste instantie geanalyseerd met een programma dat de patronen over een meetdag analyseert en beschrijvende parameters van het piekenpatroon genereert (Preller *et al.* 2004). Dit heeft onder andere geresulteerd in parameters als percentage van de werkdag boven een arbitrair gekozen waarde van 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (piekblootstelling), duur van de piek, aantal pieken en gemiddelde en absolute hoogte van de pieken. De keuze van 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> heeft geen gezondheidkundige betekenis, aangezien er momenteel nog geen gezondheidkundige grenswaarde is afgeleid (zie ook paragraaf 2.3.4).

### 2.4.3 Lineaire mixed modellen

Met behulp van zogenaamde lineaire mixed modellen is de variatie in blootstellingsconcentraties binnen en tussen de functiegroepen geanalyseerd en is vervolgens onderzocht welke determinanten van invloed zijn op de hoogte van de blootstellingsconcentraties. Hierbij is gekeken naar persoonskenmerken (roken), functie gerelateerde zaken als werken met voertuigen met een dieselmotor, aanwezigheid op een VOP, meteorologische kenmerken van de meetdag (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, windsnelheid, windrichting en neerslag), aantal vliegtuigbewegingen (in totaal en uitgesplitst naar landingsbaan) en achtergrondconcentraties (alleen voor ultrafijn stof).

#### 2.4.4 Koppelen UFP-metingen aan GPS-coördinaten

De Naneos-data en GPS-data zijn aan elkaar gekoppeld op basis van het tijdstip van de metingen. De Naneos produceerde elke vijf seconden output; dit signaal is voor alle metingen zeer constant geweest. Ook de GPS-logger produceerde elke vijf seconden een signaal, maar dit was niet altijd op exact hetzelfde tijdstip en kon voor elke waarneming tot maximaal 2,5 seconde afwijken van het signaal van de Naneos (bij continue output van beide loggers). De GPS-meting die in tijd het dichtst bij een Naneos-meting zit, zijn steeds aan elkaar gekoppeld. Het GPS-signaal was minder stabiel dan het signaal van de Naneos en is soms gedurende enige tijd uitgevallen, bijvoorbeeld omdat de bemeten persoon zich in een meer besloten omgeving bevond (zoals in een gebouw, een vliegtuig of een tunnel). In deze gevallen, waarbij de GPS-logger een periode geen data heeft verzameld, is de GPS-locatie net voor het data-gat en de eerste GPS-locatie na het data-gat, aan meerdere Naneos-datapunten toegekend (wederom steeds het in de tijd dichtstbijzijnde signaal). Als het gat tussen twee opeenvolgende GPS-data langer was dan 30 seconden én de afgelegde afstand tussen de twee locaties meer dan 10 meter was, is voor de locatie lineaire extrapolatie toegepast en is de afgelegde route gereconstrueerd. Alle extrapolaties zijn visueel beoordeeld en verwijderd indien twijfel was over de correctheid van de vermeende route.

Voor de visualisaties van de ultrafijn stofmetingen is het gebied van Schiphol onderverdeeld in vierkante cellen die samen een raster vormen. Het raster bedekt 100% van het Schiphol-terrein. Alle cellen hebben een lengte van 10,01 meter en een breedte van 10,24 meter. Elk datapunt van de Naneos is vervolgens toegekend aan de cel waar de werknemer zich op dat moment bevond. Indien een punt in meerdere cellen zou kunnen vallen omdat het zich exact op de grens tussen twee cellen bevindt, dan is het alleen toegekend aan de eerste cel die de code vindt. Alle programma's voor koppeling en visualisatie van de ultrafijn stofgegevens zijn gemaakt in Python.

Visualisatie van de ultrafijn stofgegevens is gedaan op drie manieren:

1. Een choropletenkaart, waarbij de kleur van een cel een indicatie is voor de mediane blootstelling aan ultrafijn stof in een cel. Hierbij is een indeling gemaakt in vijf categorieën met oplopende kleur van geel naar rood (met tussen haakjes de exacte kleurstelling volgens het RGB-kleurenstysteem (Red-Blue-Green; #Colour map YlOrRd)):
  - a.  $\leq 40\text{K}$  deeltjes/cm<sup>3</sup> (254,178,76)
  - b.  $>40\text{K}$  en  $\leq 100\text{K}$  deeltjes/cm<sup>3</sup> (253,141,60)
  - c.  $>100\text{K}$  en  $\leq 200$  deeltjes/cm<sup>3</sup> (252,78,42)
  - d.  $> 200\text{K}$  en  $\leq 500\text{K}$  deeltjes/cm<sup>3</sup> (227,26,28)
  - e.  $> 500\text{K}$  deeltjes/cm<sup>3</sup> (189,0,38)
2. Een driedimensionale weergave van de mediane blootstelling aan ultrafijn stof waarbij de hoogte van de balk een weergave is van het aantal metingen in elke cel als fractie van het totaal aantal metingen per functiegroep. De kleur van de balken is wederom een weergave

van de mediane blootstelling aan ultrafijn stof, waarbij de kleurstelling identiek is aan de choropletenkaart.

3. Een driedimensionale weergave van het percentage Naneos-waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De hoogte van elke balk is een weergave van het aantal metingen boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> in elke cel als fractie van het totaal aantal metingen per functiegroep. Ook hier is een indeling gemaakt in vijf categorieën met oplopende kleur, van lichtblauw naar donkerblauw (met tussen haakjes de exacte kleurstelling volgens het RGB-kleurensysteem (#Colour map Blues)):
  - a. ≤20% van de waarnemingen in de cel > 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (198,219,239)
  - b. >20 en ≤40% van de waarnemingen in de cel > 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (158,202,225)
  - c. >40 en ≤60% van de waarnemingen in de cel > 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (107,174,214)
  - d. >60 en ≤80% van de waarnemingen in de cel > 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (66,146,198)
  - e. >80% van de waarnemingen in de cel > 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (33,113,181)

### 3. Resultaten

#### 3.1 Onderzoekspopulatie en indeling van functiegroepen

Op basis van de verzamelde informatie van betrokken bedrijven zijn de functies ingedeeld in 10 functiegroepen op basis van de functie-inhoud en locatie van de werkzaamheden. In Tabel 3.1 zijn de groepen weergegeven met een beschrijving van de werkzaamheden. De betrokken partijen zijn voorafgaand aan de meetinspanning geïnformeerd over deze indeling en hebben hiermee ingestemd. Ook is overeengekomen dat per functiegroep het beoogde aantal metingen zal worden uitgevoerd, onafhankelijk van een evenredige vertegenwoordiging van de verschillende bedrijven.

Tabel 3.1 Overzicht indeling in functiegroepen

Groep	Functiegroep	Beschrijving werkzaamheden	Bedrijven
1	VOP - Passagiers	Platformmedewerker. Aansturing en uitvoering van alle platformwerkzaamheden bij passagiersvliegtuigen zoals lossen en laden (bagage, vracht en post), blokken plaatsen, cateringbevoorrading, betanken, water- en toiletservices, jetstarters, verwarming en schoonmaak. Verzorgen van praktijktrainingen. Klaarzetten en bedienen benodigd materieel voor afhandeling. Minder verblijftijd aan airside: Coördineren, leidinggeven en toezichhouden op turnaround en platformdiensten, correcte afhandeling van passage en bagage. Check-in en boarding: voornamelijk in terminal, kantoor en bagagekelder werkzaam, soms buiten aan airside	Aviapartner dnata PAX KLM Ground Services Menzies Ground Handling Ramp Swissport RAMP Viggo
2	Transport bagage - Passagiers	Transport van bagage van de bagagekelder naar passagiersvliegtuigen en vv. Ophalen en wegbrengen van bagage; niet laden en lossen van vliegtuigen, alleen van de karren. Grootste deel van de werkzaamheden vindt plaats in de bagagekelder. Transport o.a. met elektrisch voertuig (Charlatte)	Aviapartner dnata PAX KLM Ground Services Menzies Ground Handling Ramp Swissport RAMP Viggo
3	Transport - Cargo	Vrachtrijder. Afleveren en ophalen van cargo bij loods en vliegtuig. Doen alleen het transport, koppelt kar aan en af (laadt en lost niet). Komt op alle platforms, bij zowel personen- als vrachtvliegtuigen. Transport met Mulag (diesel). Minder verblijftijd aan airside: Toezicht houden op transportwerkzaamheden; werkt voornamelijk in kantoren, ook wel eens op het platform aanwezig. Transport van post (met elektrisch voertuig)	Aviapartner dnata CARGO KLM CARGO Swissport CARGO WFS CARGO
4	VOP - Cargo	Afhandelen van binnenkomende en uitgaande vrachtvliegtuigen, zoals laden/lossen van vracht en post, o.a. op R- en S-platforms. Aansturing en uitvoering van andere platformwerkzaamheden zoals cateringbevoorrading, betanken, water- en toiletservices, sleepdienst, jetstarters, verwarming, schoonmaak. Verzorgen van praktijktrainingen. Minder verblijftijd aan airside: Coördineren, leidinggeven en toezichhouden op turnaround en platformdiensten bij vrachtvliegtuigen, afhandeling van vrachtdocumenten	dnata CARGO Menzies Freighter Handling Team Swissport CARGO
5	In/rond loods - Cargo	Loodsmedewerker, werkzaam in de loods en op het achterterrein. Voorbereiden en afhandelen van vracht. Karren gereedmaken. Opbouw en afbraak van vracht. Gebruikt Charlatte (elektrisch), elektrische heftruck, Mulag-trekker/transporter (diesel). Minder verblijftijd nabij airside: Coördinatie, supervisie en controle van vrachttransport. Aanwezig op kantoor, rondom de loods	dnata CARGO KLM CARGO Swissport CARGO WFS CARGO

Groep	Functiegroep	Beschrijving werkzaamheden	Bedrijven
6	Pushback/sleper	Platformmedewerker met als hoofdtak het duwen (pushback chauffeur) of slepen van vliegtuigen. Vaak mede afhandelaar van passagiers- en vrachtluchten (laden en lossen bagage, vracht en post)	dnata CARGO dnata PAX KLM Ground Services Menzies Freighter Handling Team Menzies Ground Handling Ramp Swissport RAMP Viggo
7	Niet locatie gebonden werkzaamheden	Diverse voorkomende werkzaamheden passagiers- en vrachtvliegtuigen, zoals beheer van het materieel (fleet), supervisie, leidinggeven, authority, birdcontrol, preventietaken brandbestrijding, marshal, toezicht, maar ook onderhoudswerk aan infra. Betreft geen afhandeling-gebonden activiteiten, komt wel op de platformen. Veel in voertuig, ook wel kantoorwerk	Axxicom BAM Bouw & Techniek Heijmans Utilities Schiphol Swissport RAMP
8	Personenvervoer	Ophalen en wegbrengen van passagiers per bus (met name elektrisch) en van personen met een mobiliteitsbeperking met ambulift (Bolmar, schaarwagen; diesel) of rolstoelbus (elektrisch). Groot deel van het werk is binnen (in de terminal) en in het voertuig	Axxicom Menzies Ground Handling Ramp Schiphol Swissport CARGO
9	Actief op de VOP - Main contractors	Werkzaamheden aan en onderhoud van platformen en daarop aanwezige (ondergrondse) infrastructuur, bouwkundige objecten en elementen en installaties. Planmatig onderhoud aan elektrotechnische of mechanische installaties en aan gebouw-gebonden installaties (o.a. op de daken, in de pieren). Oplossen van (elektrotechnische) storingen aan/op de installaties, zoals lichtmasten, VDGS-systemen, passagiersbruggen, CSHI-trafoputten. Realiseren van elektrotechnische voorzieningen/installaties en civiele werkzaamheden op een project. Platformrenovatie. Graafwerkzaamheden. Begeleiden en aansturen van werkzaamheden op de platforms. Inspectiewerkzaamheden	BAM Bouw & Techniek Vialis
10	Actief niet op de VOP - Main contractors	Bouwwerkzaamheden. Onderhoud, renovatie en projecten aan gebouwen en/of gebouw-gebonden installaties. Begeleiden en aansturen van werkzaamheden op de bouwplaatsen. Inspectie en inbedrijfstellen van gebouw-gebonden installaties (o.a. technische ruimtes, op de daken, brandweerposten, doorlaatposten, parkeergarages). Graafwerk. Montage. Onderhoud aan start/landingsbanen, rijbanen	BAM Bouw & Techniek BAM Energie & Water Heijmans Infra Heijmans Utilities Vialis

### 3.2 Gerealiseerde meetinspanning

De stofmetingen zijn verricht in de maanden augustus en september 2023. De eerste 3 meetdagen, 25, 28 en 29 augustus, zijn gebruikt om de onderzoeksopzet uit te testen. Op basis van de bevindingen tijdens deze proefdagen is voor de rest van de meetdagen een aantal veranderingen doorgevoerd:

1. Voor de inhaleerbare stof fractie is gekozen voor andere meetapparatuur. Vanwege het geluid door de hoge aanzuig snelheid van de GSP-meetkop (3,5 L/min), werd de meetapparatuur als zodanig storend ervaren dat ze vroegtijdig werd afgedaan. Om de bereidheid om mee te werken aan het onderzoek te bevorderen, is daarom voor de rest van de onderzoeksperiode gekozen voor een alternatieve meetkop met een lagere flow (PAS-6 meetkop, 2,1 L/min) met als belangrijk voordeel minder geluidproductie.

2. Daarnaast bleek het invullen van het logboek uitdagingen op te leveren voor de deelnemers. De tijdregistratie werd slechts in beperkte mate ingevuld. Ter ondersteuning is de deelnemers daarom voor de resterende meetperiode gevraagd ook een GPS-logger te dragen gedurende de meting. Dat werd tijdens de proefdagen al gedaan voor de ultrafijn stofmetingen, maar is daarna ook ingevoerd bij alle metingen naar inhaleerbaar en respirabel stof.

Na doorvoering van deze wijzigingen zijn vervolgens metingen uitgevoerd gedurende 4 weken, in de periode 4-29 september 2023, 5 dagen per week, tijdens dagdiensten van maandag tot en met vrijdag. De gerealiseerde meetinspanning is weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Overzicht gerealiseerde meetinspanning

Deeltjesfractie	N <sup>1</sup>	# Afgekeurd	n <sup>2</sup>	Meetduur			
				Gemiddelde (minuten)	Range (minuten)	Aantal <6 uur	Aantal ≥6 uur
Alle fracties	314	9	305	371	104-576	126 (41,3%)	179 (48,7%)
Inhaleerbaar	93	5 <sup>3</sup>	88	357	104-553	43 (48,9%)	45 (51,1%)
Respirabel	106	3 <sup>4</sup>	103	369	107-564	43 (41,7%)	60 (58,3%)
Ultrafijn	115	1 <sup>5</sup>	114	384	130-576	40 (35,0%)	74 (65,0%)

<sup>1</sup>N=Aantal metingen uitgevoerd. <sup>2</sup>n=Aantal bruikbare metingen. <sup>3</sup>Redenen: pompuitval (2), afwijkende eindflow (>5%) (1), persoon wilde niet meer meewerken (2). <sup>4</sup>Redenen: pompuitval (1), afwijkende eindflow (>5%) (1), persoon wilde niet meer meewerken (1). <sup>5</sup>Reden: data was niet gelogd

Op elke meetdag waren twee security medewerkers met begeleidingsbevoegdheid beschikbaar gedurende maximaal negen uur voor begeleiding van de onderzoekers naar de diverse meetlocaties. Binnen deze periode van negen uur moest Schiphol Airside via de doorlaatpost worden betreden en ook weer zijn verlaten. Binnen dit tijdsbestek vielen ook de formaliteiten en security check voor toegang tot Schiphol Airside, het uitzetten, innemen en voorbereiden van meetapparatuur op de uitvalsbasis en het weer verlaten van Schiphol Airside, inclusief vervoer. Op meerdere meetdagen was verlies van meettijd door security gerelateerde zaken, waardoor de beoogde minimale meetduur van 6 uur niet altijd mogelijk was. De gemiddelde meetduur van alle metingen was desondanks boven de 6 uur (371 minuten). Het aantal metingen met een meetduur korter dan 4 uur was beperkt (17 metingen (5,5%)).

Voor elke functiegroep is de blootstelling aan inhaleerbaar, respirabel en ultrafijn stof gemeten. In Tabel 3.3 is het aantal gerealiseerde metingen weergegeven per functiegroep. Beoogd was per functiegroep 10 metingen per stoffractie uit te voeren. Vanwege geringe aantallen medewerkers in sommige functiegroepen is dit aantal niet altijd gehaald. De nadruk bij de meetinspanning lag op het realiseren van voldoende ultrafijn stofmetingen.

Tabel 3.3 Overzicht gerealiseerde meetinspanning per functiegroep

Groep	Functiegroep	Aantal bedrijven	Aantal meetdagen	Aantal stofmetingen		
				Inhaleerbaar	Respirabel	Ultrafijn
<i>Totaal</i>		<i>18<sup>1</sup></i>	<i>23<sup>1</sup></i>	<i>88</i>	<i>103</i>	<i>114</i>
1	VOP - Passagiers	6	8	17	20	14
2	Transport bagage - Passagiers	6	8	4	6	10
3	Transport - Cargo	5	7	8	10	10
4	VOP - Cargo	3	5	9	11	18
5	In/rond loods - Cargo	4	5	12	14	10
6	Pushback/sleper	7	9	4	4	10
7	Niet locatie gebonden werkzaamheden	5	6	11	11	13
8	Personenvervoer	4	6	6	5	7
9	Actief op de VOP - Main contractors	2	4	12	13	13
10	Actief niet op de VOP - Main contractors	3	5	5	9	9

<sup>1</sup> Totaal aantal bedrijven en totaal aantal meetdagen

Van de bemeten werknemers gaf 78% aan dat het een gangbare werkdag betrof, 8% gaf aan dat de meetdag rustiger was dan anders, 3% gaf aan dat de werkdag drukker was en 11% heeft dit niet aangegeven. Door 8 personen is op de meetdag gedurende enige tijd adembescherming gedragen (FFP2), dit betrof een vrachtrijder en 7 werknemers van een externe uitvoerder.

Binnen de verschillende functiegroepen zijn meerdere functies bemeten zoals weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Overzicht functies per functiegroep

Groep	Functiegroep	Bemeten functies	Overige functies, niet bemeten
1	VOP - Passagiers	Team lid, Team member, Team Coordinator, Water toilet, Loading supervisor, Voorman VOP, Voorman/loading supervisor, Operator, VOP afhandeling, Bagage afhandeling VOP, Teamleider Platform (VOP), Teamleider, VOP medewerker, Allround platform, Loader chauffeur VOP, Voorman, Ramp 3, FOAR (flight officer allround), Flight Officer in opleiding, Ramp 2 (loader), Loader, Flight Officer, Ramp 4 (loader), Flight Officer (trainer), Toiletwagen, Allround, Medewerker airside allround, VOP/platform (off) loader, Turnaround supervisor, Highloader/bediener, Airside ramp employee, WSU waterservice unit	Allround AHSU & De-icing Operator, Fuel Operator, Secure, Aircraft Control (trainer, team leader, specialist), Passenger Control (Flightwatcher, Specialist), TRC (turnround coordinator), Load Control, Floor coordinator baggage, Praktijktrainer, Catering, Schoonmaak
2	Transport bagage - Passagiers	Medewerker bagagetransport, Bagagekelder/transport, Bagagetransport, Transport bagage, Bagage kelder, Bagagerijder, Airside transport employee, Transport employee, Bagagerijder-allround	Supervisor Transport, Airside Bagage Coordinator
3	Transport - Cargo	Dierenhotel DHT (dierenhotel), Documentatie, Medewerker Special Cargo (waardezendingen), Vrachtrijder, Cargo driver, Medewerker transport, Medewerker cargo, Transporter, Vrachtrijder IFC, Transportcoördinator, Transportmedewerker	Mail Coordinator
4	VOP - Cargo	Allround medewerker VOP, Ramp loading team (medewerker VOP cargo), Waterwagen chauffeur, Ramp Agent B (toilet services), Flightwatcher, Ramp Agent A, Ramp Agent, Algemeen medewerker, Health and Safety Officer, Teamleider, VOP Cargo, Loading supervisor, Highloader maindeck, Lowerdeck loader, Afvoergroep, Bulkvracht laden/lossen, Maindeck systeem in vliegtuig, Highloader maindeck, Supervisor afhandeling, Allround VOP	Manager Airside, Operations Officer, Airside Ramp Employee, Freight Handler Coordinator, Trainer
5	In/rond loads - Cargo	Loodsmedewerker, Loodsmedewerker/kantoor, B&B (build-up & breakdown), B&B checker, Materiaalman (locker/rangeerder), Locker, Materiaalman, Loodsmedewerker Export (Doors, Bouwer, Loads deur), Bouwer Export, Loodsmedewerker deuren voorzijde Export, Bouwer loads 6 Export, Duty Manager Import, Senior afgifte Import, ETV chauffeur Import, Loodsmedewerker Import	ULD Agent, Duty Manager ULD, Duty Manager Warehouse
6	Pushback/sleper	Tug driver, Pushback, Pushback/sleper, Pushbacker, Team leader/pushbacker, Operator met pushback taken, Sleper, Trainer bagage en pushback, Pushback/towing, Cargo medewerker met pushback taken	Ramp Equipment Specialist, Towing Employee, Ramp Employee 1
7	Niet locatie gebonden werkzaamheden	Security, Verantwoordelijke CSHI, Bird controller, Authority Officer Airside, Aircraft Officer Airside, Duty manager, Platform supervisor, Uitvoerder, 24/7 Monteur, Elektrisch monteur, Bouwkundige, 1ste Monteur (toezichthouder), Technisch Specialist, Hoofduitvoerder, Technisch timmerman, Aircraft Support Employee (Begeleider, Marshaller), Trainer, Electromonteur	Airport Fire Officer, Bevelvoerder, Manschap A/B, Ploegchef, Instructeur, Werkverantwoordelijke HS/LS airside (hoogspanning/laagspanning), Toezichthouder Airside, Fleet team medewerker
8	Personenvervoer	Buschauffeur, Chauffeur, Bijrijder, Specialist Check-in agent, Crew driver	
9	Actief op de VOP - Main contractors	Wegmarkeerder, Service monteur, Service engineer, Kraanmachinist, Grondwerker, Beton timmerman, Uitvoerder, Milieukundig begeleider, Voorman, Machinist, Monteur	Onderhoudsmedewerker, Inspecteur, Uitvoerder, Verkeersregelaar
10	Actief niet op de VOP - Main contractors	Timmerman / bouwkundige, WTB monteur, Elektrisch monteur, Uitvoerder elektrotechniek, Werkvoorbereider, Monteur, Electromonteur, Allround medewerker, Uitvoerder, Tractor chauffeur, Kraanmachinist, Vakman GWW, Grondwerker, Maatvoerder, Voorman	Onderhoudsmedewerker, Bouwplaats medewerker (o.a. Landmeter, Toezichthouder, Inspecteur, Installatiedeskundige, Inbedrijfsteller, Kabelwerker, Stratenmaker, Buizenlegger, Sloper/saneerder, Bouw opruimer/schoonmaak, Engineer, 2 <sup>de</sup> -lijns Keurder, Projectleider, Veiligheidskundige)



### 3.3 Contextuele informatie tijdens de meetperiode

#### Meteorologische omstandigheden

De windrichting op de meetdagen kwam overwegend vanuit het zuidzuidwesten en het zuidoosten. Dit is passend bij de overheersende windrichting in Nederland (zuidwest). Op de meeste dagen was het droog en zonnig. Op slechts drie dagen was er sprake van enige neerslag (Tabel 3.5).

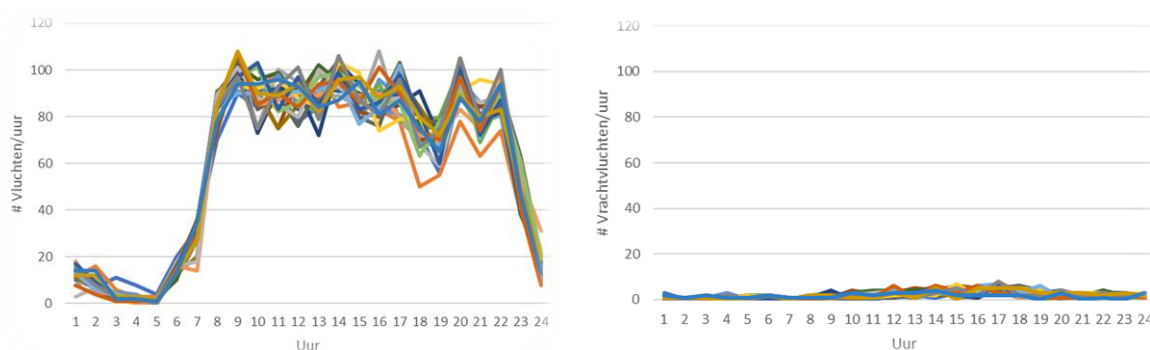
Tabel 3.5 Weersomstandigheden tijdens de meetperiode (25 augustus-29 september 2023)

Parameter	Beschrijving over de duur van de metingen
Windrichting (°)	Gemiddelde 180° (spreiding 26 - 305°) overwegend vanuit het zuidzuidwesten en het zuidoosten
Windsnelheid (m/s)	Gemiddelde 4,5 m/s (spreiding 2,2 - 9,8)
Temperatuur (°C)	Gemiddelde 19,7 °C (spreiding 15,1 - 25,1)
Neerslag (mm)	Neerslag alleen relevant op 3 meetdagen: <ul style="list-style-type: none"><li>• 29/8 (0,3 mm neerslag tussen 13:00-14:00 uur)</li><li>• 21/9 (gedurende de gehele periode enige neerslag (gemiddeld 0,56 mm, met het zwaartepunt tussen 10:00-12:00 uur: 2,8mm)</li><li>• 29/9 (2,1 mm neerslag tussen 10:00-12:00)</li></ul>
Relatieve luchtvochtigheid (%)	Gemiddelde 73% (spreiding 59 - 94)

#### Vliegtuigbewegingen

Per etmaal waren gedurende de meetdagen gemiddeld 1.436 vliegtuigbewegingen (spreiding 1.353-1.486). Het gros van de metingen vond plaats tussen 6:00 en 14:00 uur. Uitzonderingen daarop zijn 14 september (meetperiode 13:00-23:00 uur) en 29 september (10:00-17:00 uur).

Er is een verschil in vliegtuigbewegingen tussen passagiersvliegtuigen en vrachtvliegtuigen (zie Figuur 3.1). Voor passagiersvliegtuigen is de drukste periode tussen 8:00-17:00 uur waarbij afhandeling (dat wil zeggen zowel laden als lossen) van de vliegtuigen al start vanaf circa 6.00 uur in de ochtend. Voor vrachtvliegtuigen is het aantal afhandelingen veel geringer en gelijkmatiger, met een iets drukkere periode tussen 8:00 en 20:00 uur. De afhandeling van vrachtvliegtuigen neemt echter ruim meer tijd in beslag dan van passagiersvliegtuigen.



Figuur 3.1 Aantal vluchten per uur voor totaal aantal vliegtuigen (links) en vrachtvliegtuigen (rechts), met voor elke meetdag een aparte lijn

Het aantal vluchten van en naar Schiphol bedroeg in augustus 2023 in totaal 41.584. In september 2023 was het aantal vliegtuigbewegingen 40.625 ([Verkeer- en vervoercijfers augustus 2023 \(schiphol.nl\)](#); [Verkeer- en vervoercijfers september 2023 \(schiphol.nl\)](#)).

Mogelijke geluidsoverlast, wind, zicht en wolkenbasis bepalen de toewijzing van vertrek- en landingsbanen. De Kaagbaan en de Polderbaan werden tijdens de meetdagen het meest gebruikt voor landen en opstijgen (respectievelijk voor 29% en 30% van het aantal vluchten). De Aalsmeerbaan werd gemiddeld voor 24% van de vluchten gebruikt en de Buitenveldertbaan voor 4% (range 0-13%). Van 4 tot en met 12 september was de Kaagbaan buiten gebruik. Op die dagen werd meer gebruik gemaakt van de Zwanenburgbaan (voor 26-29% van de vluchten versus gemiddeld 16% op de andere meetdagen). Schiphol-Oost werd relatief weinig gebruikt (2-5%) en vanaf 18 september helemaal niet meer.

#### Achtergrondmetingen

De daggemiddelde (24-uurs) concentraties ultrafijn stof van het landelijk meetnet waren beschikbaar voor 21 van de 23 meetdagen voor de locatie Sportpark Ookmeer. Het daggemiddelde varieerde van 11.796 tot 27.694 deeltjes/cm<sup>3</sup> en was gemiddeld over de 21 meetdagen 16.526 deeltjes/cm<sup>3</sup>.

### 3.4 Blootstelling aan deeltjesvormige verontreinigingen

De resultaten van de persoonlijke metingen zijn samengevat in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Beschrijvende statistiek van de gemeten concentraties bij personeel aan Schiphol Airside

Deeltjesfractie	Aantal personen	Aantal metingen	<DL <sup>4</sup>	RG <sup>5</sup>	GG <sup>6</sup>	GSD <sup>7</sup>	Min <sup>8</sup>	Max <sup>9</sup>
Inhaleerbaar (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	88	88	4 (5%)	0,23	0,19	1,82	0,03	0,65
Respirabel (mg/m <sup>3</sup> )	101	103 <sup>11</sup>	88 (86%)	n.g. <sup>10</sup>	n.g. <sup>10</sup>	n.g. <sup>10</sup>	<0,04	0,19
Ultrafijn (1K #/cm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	112	114 <sup>11</sup>	0 (0%)	86	65	2,21	4	330
Ultrafijn (% T > 100K) <sup>3</sup>	112	114 <sup>11</sup>	0 (0%)		22%		0%	93%

<sup>1</sup>mg/m<sup>3</sup>=milligram per kubieke meter. <sup>2</sup>1K #/cm<sup>3</sup>=1.000 deeltjes per kubieke centimeter. <sup>3</sup>% T > 100K=percentage tijd boven 100.000 deeltjes per kubieke centimeter. <sup>4</sup>DL=detectielimiet. <sup>5</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>6</sup>GG=geometrisch gemiddelde. <sup>7</sup>GSD=geometrische standaarddeviatie. <sup>8</sup>Min=minimum concentratie c.q. percentage tijd. <sup>9</sup>Max=maximaal gemeten concentratie c.q. percentage tijd. <sup>10</sup>n.g.=niet geschat. <sup>11</sup>Twee medewerkers zijn tweemaal bemeaten

De gemeten werkdaggemiddelde inhaleerbaar stofconcentraties zijn laag en variëren nauwelijks over de gehele populatie. De rekenkundig gemiddelde concentratie inhaleerbaar stof bedroeg 0,23 mg/m<sup>3</sup>. De respirabele fractie was in het overgrote deel van de metingen (86%) niet detecteerbaar. De hoogst gemeten werkdaggemiddelde respirabel stofconcentratie was slechts 0,19 mg/m<sup>3</sup>, ruim

onder de grenswaarde. De rekenkundig werkdaggemiddelde blootstelling was 86K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De maximaal gemeten blootstelling lag daar een factor 4 boven (330K deeltjes/cm<sup>3</sup>). De mediane werktijd boven 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> besloeg bijna een kwart van de totale werktijd (22%) en varieerde sterk tussen niet en 93% van de totale werktijd.

In de volgende paragrafen worden de resultaten verder uitgesplitst naar functiegroepen en worden de gemeten concentraties van metalen in de inhaleerbare fractie en elementair en organisch koolstof in de respirabele fractie besproken. Ook worden de resultaten van de lineaire mixed modellen voor het opsporen van determinanten van de blootstellingen getoond (meteorologische gegevens, vliegtuigbewegingen, aanwezigheid van mogelijke specifieke bronnen).

### 3.4.1 Inhaleerbaar stof en metalen

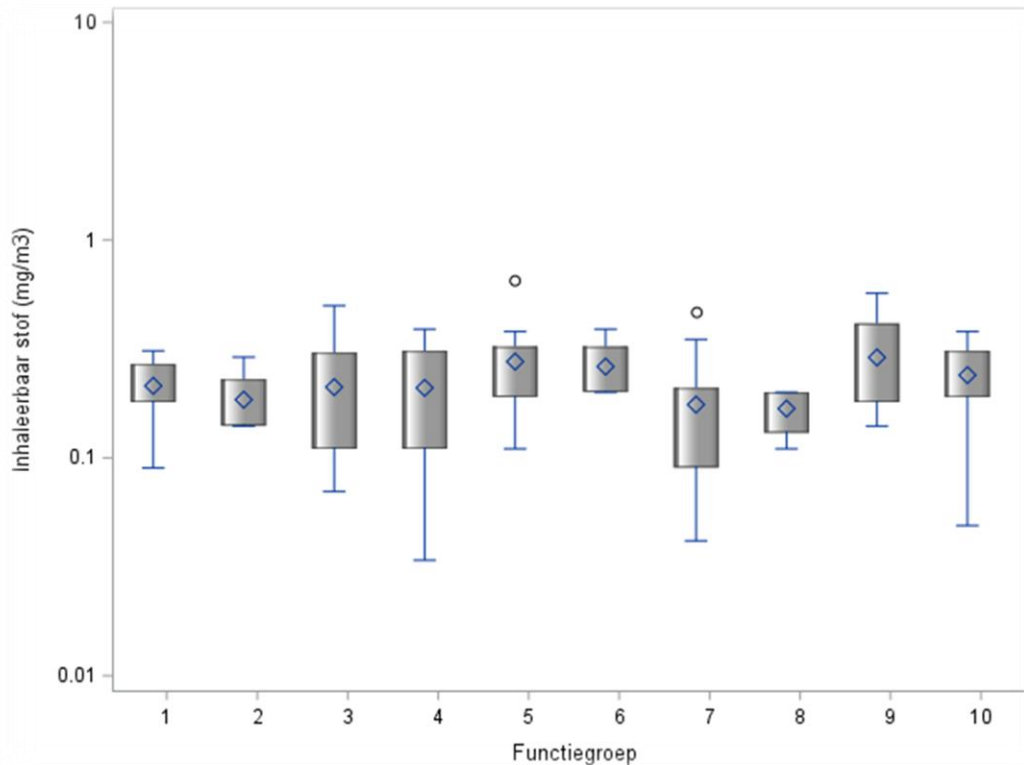
In Tabel 3.7 en Figuur 3.2 is de concentratie inhaleerbaar stof uitgesplitst naar functiegroepen. De werkdaggemiddelde inhaleerbaar stofconcentraties zijn opvallend vergelijkbaar tussen de verschillende functiegroepen. Werknemers van functiegroepen “In/rond loads - Cargo”, “Pushback/sleper” en “Actief op de VOP - Main contractors” hebben iets hogere daggemiddelde blootstellingen, maar ook deze zijn laag ten opzichte van de vigerende grenswaarde voor inhaleerbaar stof (4 mg/m<sup>3</sup>). Alle functiegroepen voldoen dan ook aan de grenswaarde (zie UTL<sub>95,70</sub> in Tabel 3.7).

Tabel 3.7 Werkdaggemiddelde concentratie inhaleerbaar stof per functiegroep met 4 geïmputeerde meetresultaten (mg/m<sup>3</sup>)

Functiegroep	Aantal	<DL <sup>1</sup>	RG <sup>2</sup>	GG <sup>3</sup>	GSD <sup>4</sup>	Min <sup>5</sup>	Max <sup>6</sup>	UTL <sub>95,70</sub> <sup>7</sup>
<i>Totaal</i>	88	4 (5%)	0,23	0,19	1,82	0,03	0,65	0,56
1. VOP - Passagiers	17	0	0,21	0,20	1,51	0,09	0,31	0,35
2. Transport bagage - Passagiers	4	0	0,19	0,18	1,41	0,14	0,29	0,36
3. Transport - Cargo	8	0	0,21	0,17	1,97	0,07	0,50	0,52
4. VOP - Cargo	9	2 (22%)	0,21	0,16	2,49	0,03	0,39	0,48
5. In/rond loads - Cargo	12	0	0,28	0,25	1,64	0,11	0,65	0,56
6. Pushback/sleper	4	0	0,26	0,25	1,37	0,20	0,39	0,48
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	11	1(9%)	0,18	0,14	2,11	0,04	0,46	0,43
8. Personenvervoer	6	0	0,17	0,16	1,29	0,11	0,20	0,25
9. Actief op de VOP - Main contractors	12	0	0,29	0,26	1,61	0,14	0,57	0,57
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	5	1 (20%)	0,24	0,20	2,27	0,05	0,38	0,53

<sup>1</sup>DL=detectielimiet. <sup>2</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>3</sup>GG=geometrisch gemiddelde. <sup>4</sup>GSD=geometrische standaarddeviatie.

<sup>5</sup>Min=minimum concentratie. <sup>6</sup>Max=maximaal gemeten concentratie. <sup>7</sup>UTL<sub>95,70</sub>=70% bovenste betrouwbaarheids grens van het 95<sup>e</sup> percentiel van de blootstellingsverdeling. Als UTL<sub>95,70</sub> lager is dan de grenswaarde (4 mg/m<sup>3</sup>) dan voldoet de situatie aan de grenswaarde (EN 689 - Annex F - 2018)



Figuur 3.2 Boxplot van werkdaggemiddelde concentratie inhaleerbaar stof per functiegroep (ruit=rekendkundig gemiddelde, verticale lijnen=25<sup>e</sup> en 75<sup>e</sup> percentiel (interkwartielafstand), snorharen=1,5 x interkwartielafstand en cirkel=uitschieters)

De resultaten van de metingen naar inhaleerbare metaalconcentraties staan in Tabel 3.8. Aluminium en ijzer werden in ongeveer 15% van de metingen aangetoond. Zink in 10% van de metingen en nikkel slechts in één meting (1%). Opvallend is dat detecteerbare metaalconcentraties slechts voorkwamen bij de cargo functiegroepen (functiegroep 3, 4 en 5) en bij de externe uitvoerders (functiegroepen 9 en 10). Inhaleerbaar chroom, molybdeen, vanadium en zirkonium werden niet aangetoond. Het aantal metingen boven de detectielimiet was per metaal dermate laag (<15%) dat geen formele toetsing van grenswaardeoverschrijding is uitgevoerd. Alle meetresultaten waren echter onder 10% van de grenswaarden.

Het lineaire mixed model voor inhaleerbaar stof liet zien dat functiegroep slechts 5% van de totale variantie verklaart en dat de daggemiddelde inhaleerbaar stofconcentraties per functiegroep minder dan een factor 2 van elkaar verschillen. Geen van de onderzochte mogelijke determinanten bleek van invloed op de daggemiddelde inhaleerbaar stofconcentratie.

Tabel 3.8 Werkdaggemiddelde concentratie inhaleerbaar metaalstof per functiegroep ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Functiegroep	Aantal	Aluminium ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Ijzer ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Nikkel ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			Zink ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
		>DL <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Max <sup>3</sup>	>DL <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Max <sup>3</sup>	>DL <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Max <sup>3</sup>	>DL <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Max <sup>3</sup>
<i>Totaal</i>	88	12 (14%)	2,38	14,60	13 (15%)	2,67	16,70	1 (1%)	0,14	0,14	9 (10%)	1,12	3,54
1. VOP - Passagiers	17	0			0			0			0		
2. Transport bagage - Passagiers	4	0			0			0			0		
3. Transport - Cargo	8	2 (25%)	3,20	4,04	1 (13%)	4,36	4,36	0			2 (25%)	1,12	1,72
4. VOP - Cargo	9	1 (11%)	4,22	4,22	1 (11%)	7,39	7,39	0			1 (11%)	1,44	1,44
5. In/rond loods - Cargo	12	5 (42%)	3,13	14,36	7 (58%)	2,67	16,70	0			6 (50%)	1,27	3,54
6. Pushback/sleper	4	0			0			0			0		
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	11	0			0			1 (9%)	0,14	0,14	0		
8. Personenvervoer	6	0			0			0			0		
9. Actief op de VOP - Main contractors	12	1 (8%)	5,15	5,15	1 (8%)	11,40	11,40	0			0		
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	5	3 (60%)	2,38	3,97	3 (60%)	5,26	6,97	0			0		

<sup>1</sup>DL=detectielimiet. <sup>2</sup>Min=minimum concentratie. <sup>3</sup>Max=maximaal gemeten concentratie

### 3.4.2 Respirabel stof en elementair en organisch koolstof

Uit Tabel 3.9 wordt duidelijk dat bij de functiegroepen actief bij passagiersvluchten (“VOP - passagiers” en “Transport bagage”) geen meetbare concentraties respirabel stof aanwezig waren. Metingen bij de functiegroepen “Transport - Cargo”, “VOP - Cargo”, “Pushback/sleper” en “Actief niet op de VOP - Main contractors” resulteerden in 20-27% van de metingen in detecteerbare concentraties respirabel stof. Bij de “Externe uitvoerders actief op de VOP” werd in bijna 40% van de metingen respirabel stof aangetoond. De hoogst gemeten concentratie respirabel stof bedroeg 0,19 mg/m<sup>3</sup>, ruim onder de grenswaarde van 1,25 mg/m<sup>3</sup>. Het aantal metingen boven de detectielimiet was dermate laag (14%) dat geen formele toetsing van grenswaardeoverschrijding is uitgevoerd.

Tabel 3.9 Werkdaggemiddelde concentratie respirabel stof per functiegroep (mg/m<sup>3</sup>)

Funcatiegroep	Aantal	<DL <sup>1</sup>	Min <sup>2</sup>	Max <sup>3</sup>
<i>Totaal</i>	103	88 (86%)	<0,04	0,19
1. VOP - Passagiers	20	20 (100%)	<0,04	<0,04
2. Transport bagage - Passagiers	6	6 (100%)	<0,04	<0,04
3. Transport - Cargo	10	8 (80%)	<0,04	0,11
4. VOP - Cargo	11	8 (73%)	<0,04	0,12
5. In/rond loods - Cargo	14	13 (93%)	<0,04	0,10
6. Pushback/sleper	4	3 (75%)	<0,04	0,06
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	11	10 (91%)	<0,04	0,19
8. Personenvervoer	5	5 (100%)	<0,04	<0,04
9. Actief op de VOP - Main contractors	13	8 (62%)	<0,04	0,16
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	9	7 (78%)	<0,04	0,12

<sup>1</sup>DL=detectielimiet. <sup>2</sup>Min=minimum concentratie. <sup>3</sup>Max=maximaal gemeten concentratie

In 2/3 van de respirabel stofmetingen werd elementair koolstof aangetoond (zie Tabel 3.10).

Organisch koolstof is in alle respirabel stofmetingen aangetoond (Tabel 3.11). In Figuur 3.3 is zowel de concentratie elementair als organisch koolstof per functiegroep weergegeven. De verschillen tussen de functiegroepen waren aanzienlijk groter voor elementair koolstof dan voor organisch koolstof. Bij de functiegroep “Pushback/Sleper” is de hoogste gemiddelde blootstelling aan elementair koolstof gemeten van bijna 5 µg/m<sup>3</sup>. Bij “VOP - Cargo” en “Transport - Cargo” waren de gemiddelde concentraties respectievelijk 3,5 en 2,4 µg/m<sup>3</sup>. Geen van de metingen liet een daggemiddelde concentratie zien boven de huidige grenswaarde van 10 µg/m<sup>3</sup>, maar voor de functiegroepen “Pushback/Sleper”, “VOP - Cargo”, en “Personenvervoer” werd niet voldaan aan de huidige grenswaarde omdat de kans op normoverschrijding te hoog is (zie UTL<sub>95,70</sub> in Tabel 3.10). Echter, voor de functiegroepen “Pushback/Sleper” en “Personenvervoer” was het aantal metingen minder dan zes (aantal benodigde metingen voor een betrouwbare risicobeoordeling conform NEN-EN689).

Tabel 3.10 Werkdaggemiddelde concentratie respirabel elementair koolstof per functiegroep met 34 geïmputeerde meetresultaten ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Funcatiegroep	Aantal	<DL <sup>1</sup>	RG <sup>2</sup>	GG <sup>3</sup>	GSD <sup>4</sup>	Min <sup>5</sup>	Max <sup>6</sup>	UTL <sub>95,70</sub> <sup>7</sup>
<i>Totaal</i>	103	34 (33%)	1,9	1,3	2,48	0,1	10,0	6,7
1. VOP - Passagiers	20	5 (25%)	1,9	1,5	2,40	0,1	5,2	7,6
2. Transport bagage - Passagiers	6	2 (33%)	1,5	1,1	2,58	0,2	2,6	8,7
3. Transport - Cargo	10	1 (10%)	2,4	2,0	1,96	0,5	4,7	7,9
4. VOP - Cargo	11	1 (9%)	3,5	2,5	2,87	0,2	8,3	20,4
5. In/rond loods - Cargo	14	8 (57%)	0,9	0,8	1,96	0,3	1,9	2,8
6. Pushback/sleper	4	0 (0%)	4,9	3,7	2,60	1,0	10,0	38,5
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	11	6 (55%)	1,0	0,8	2,11	0,2	1,9	3,5
8. Personenvervoer	5	1 (20%)	2,2	1,7	2,57	0,3	3,5	14,9
9. Actief op de VOP - Main contractors	13	5 (38%)	1,8	1,2	2,52	0,3	6,2	7,5
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	9	5 (56%)	0,9	0,8	1,69	0,3	1,7	2,5

<sup>1</sup>DL=detectielimiet. <sup>2</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>3</sup>GG=geometrisch gemiddelde. <sup>4</sup>GSD=geometrische standaarddeviatie.

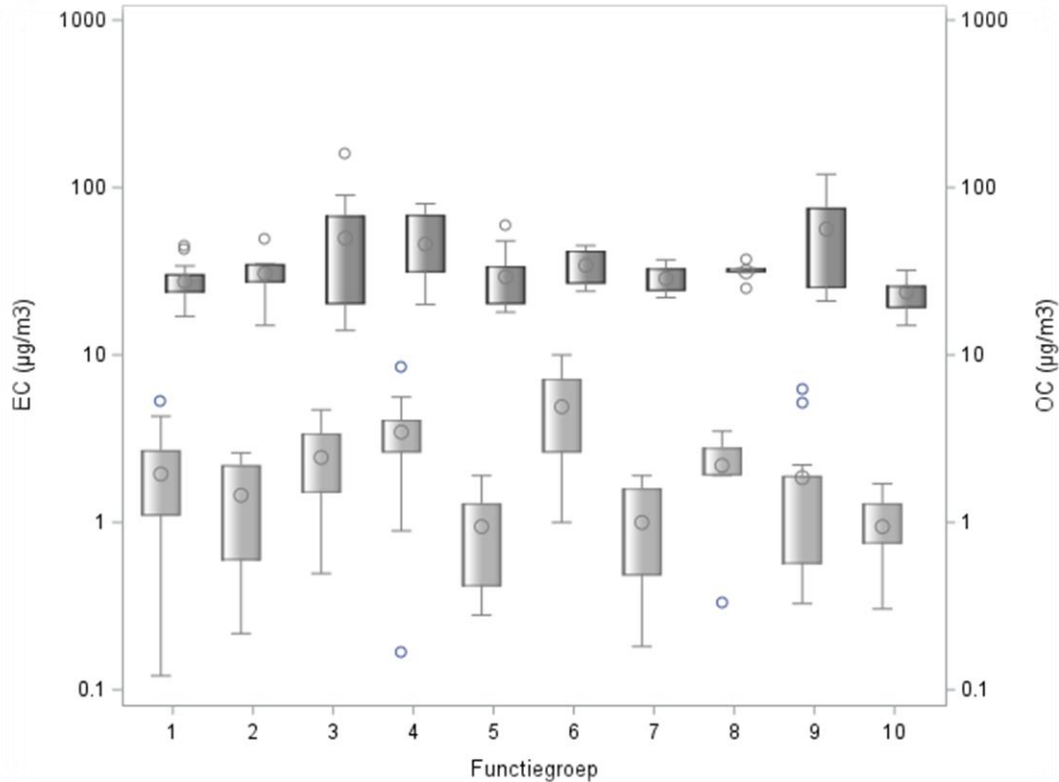
<sup>5</sup>Min=minimum concentratie. <sup>6</sup>Max=maximaal gemeten concentratie. <sup>7</sup>UTL<sub>95,70</sub>=70% bovenste betrouwbaarheidsgrens van het 95<sup>e</sup> percentiel van de blootstellingsverdeling. Als UTL<sub>95,70</sub> lager is dan de grenswaarde (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dan voldoet de situatie aan de grenswaarde (EN 689 - Annex F - 2018)

Tabel 3.11 Werkdaggemiddelde concentratie respirabel organisch koolstof per functiegroep ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Funcatiegroep	Aantal	RG <sup>1</sup>	GG <sup>2</sup>	GSD <sup>3</sup>	Min <sup>4</sup>	Max <sup>5</sup>
<i>Totaal</i>	103	36	32	1,60	14	160
1. VOP - Passagiers	20	27	27	1,29	17	45
2. Transport bagage - Passagiers	6	31	29	1,47	15	49
3. Transport - Cargo	10	50	37	2,20	14	160
4. VOP - Cargo	11	46	42	1,55	20	80
5. In/rond loods - Cargo	14	29	27	1,44	18	59
6. Pushback/sleper	4	34	33	1,33	24	45
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	11	29	28	1,19	22	37
8. Personenvervoer	5	31	31	1,15	25	37
9. Actief op de VOP - Main contractors	13	56	48	1,87	21	120
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	9	24	23	1,29	15	32

<sup>1</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>2</sup>GG=geometrisch gemiddelde. <sup>3</sup>GSD=geometrische standaarddeviatie. <sup>4</sup>Min=minimum concentratie. <sup>5</sup>Max=maximaal gemeten concentratie

De daggemiddelde organisch koolstof concentraties lieten een stuk minder variatie zien dan elementair koolstof en varieerden tussen 24 en 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De hoogste blootstellingen zijn gemeten bij de "Externe uitvoerders actief op de VOP" (functiegroep 9) en bij "Transport - Cargo" en "VOP - Cargo" (functiegroepen 3 en 4).



Figuur 3.3 Boxplot werkdaggemiddelde concentratie respirabel elementair (lichtgrijs) en organisch koolstof (donkergrijs) per functiegroep

De lineaire mixed modellen voor elementair en organisch koolstof lieten zien dat functiegroep respectievelijk 19% en 17% van de totale variantie verklaart. De daggemiddelde elementair koolstof concentratie per functiegroep verschilde maximaal een factor van bijna 5, terwijl dit voor organisch koolstof aanzienlijk minder was (maximaal een factor 3 verschil tussen de functiegroepen).

Univariabele modellen resulteerden in de volgende statistisch significante determinanten van de persoonlijke blootstelling aan elementair koolstof: werkzaam zijn op een VOP (factor 2 hoger), relatieve luchtvochtigheid (negatief geassocieerd, 60% lager bij hoge luchtvochtigheid (94%) versus lage luchtvochtigheid (59%)), windrichting (oostenwind factor 2 hoger, noordenwind factor 2,5 lager), aantal vrachtluchten (factor 2 hoger per 20 vluchten; range meetdagen 9-30 vluchten per dag). In een multivariabel model bleven alleen aanwezigheid op een VOP en windrichting over als statistisch significante determinanten. De verbanden met relatieve luchtvochtigheid en aantal vrachtluchten werden minder sterk en waren niet langer statistisch significant.

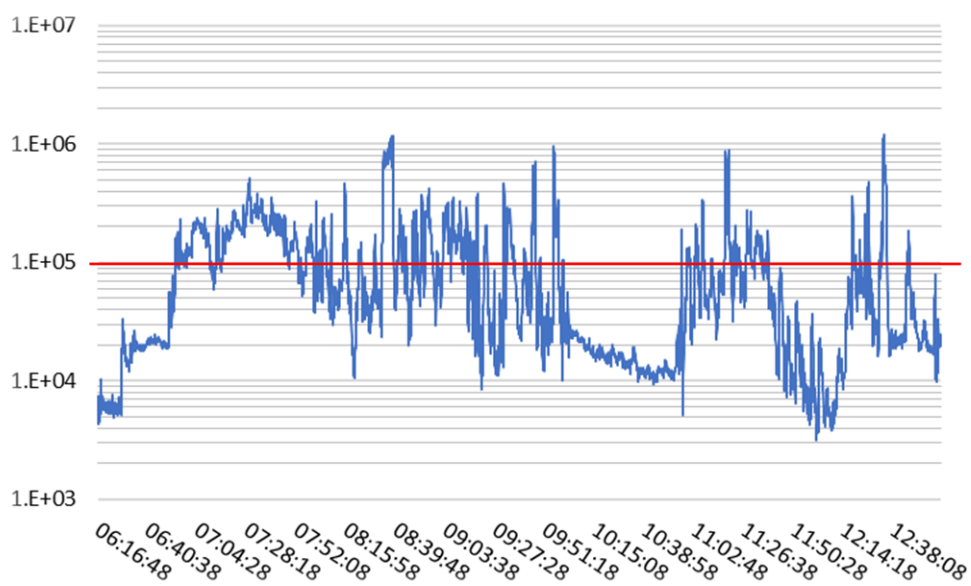
De univariabele modellen voor organisch koolstof lieten slechts enigszins vergelijkbare verbanden zien voor wat betreft de windrichting (oostenwind 30% hoger en noordenwind een factor 2,5 lager), maar daarnaast bleek roken tot statistisch significant hogere organisch koolstof concentraties te



leiden (40% hoger). Ook meetduur liet een statistisch significant verband zien, zelfs na het uitsluiten van metingen korter dan 3,5 uur (afname 10% per uur meetduur). In het multivariabele model bleven deze determinanten overeind.

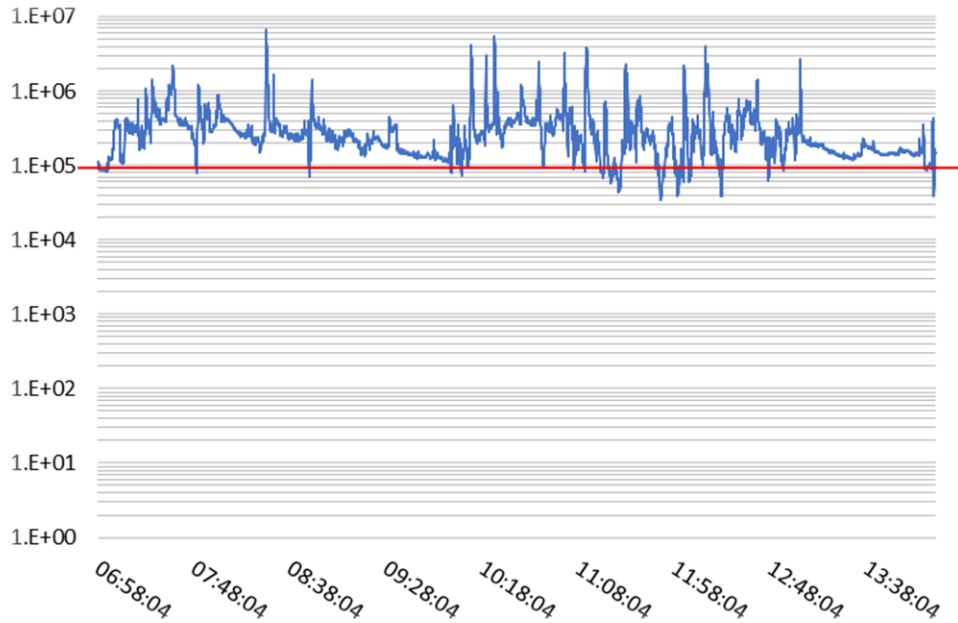
### 3.4.3 Ultrafijn stof

In Figuur 3.4 en 3.5 zijn twee voorbeeld metingen van ultrafijn stof weergegeven. Met behulp van het pieken analyse programma zijn diverse parameters voor elke ultrafijn stofmeting berekend, zoals weergegeven bij de voorbeelden. Een piek start zodra de Naneos concentratie 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> overschrijdt en eindigt als de concentratie weer lager wordt dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>.



Figuur 3.4 Voorbeeld piekenpatroon ultrafijn stofmeting 1

*Rekenkundig werkdag gemiddelde 97K #/cm<sup>3</sup>; 85 pieken; mediane duur van de pieken 45 sec; mediane gemiddelde piekhoogte 129K #/cm<sup>3</sup>; mediane maximale piekhoogte 171K #/cm<sup>3</sup>; 33% van de werktijd boven 100K #/cm<sup>3</sup>*



Figuur 3.5 Voorbeeld piekenpatroon ultrafijn stofmeting 2

*Rekenkundig werkdag gemiddelde 327K #/cm<sup>3</sup>; 37 pieken; mediane duur pieken 55 sec; mediane gemiddelde piekhoogte 136K #/cm<sup>3</sup>; mediane maximale piekhoogte 167K #/cm<sup>3</sup>; 93% van de werktijd boven 100K #/cm<sup>3</sup>*

In Tabel 3.12 en Figuren 3.6 en 3.7 zijn de resultaten van de ultrafijn stofmetingen per functiegroep weergegeven. De daggemiddelde ultrafijn stofconcentraties verschillen aanzienlijk tussen de groepen. Er zijn drie groepen met een daggemiddelde blootstelling boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (“Actief op de VOP - Main contractors”, “Pushback/sleper” en “VOP - Passagiers”). Voor de werknemers van de externe uitvoerders geldt dat zij gemiddeld 52% van hun werktijd blootgesteld zijn aan piekblootstellingen boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Voor de werknemers “VOP - Passagiers” en “Pushback/sleper” is dit een derde van hun werktijd. De werknemers “In/rond loods - Cargo”, “Actief niet op de VOP - Main contractors” en “VOP - Cargo” hebben een daggemiddelde blootstelling lager dan 50K deeltjes/cm<sup>3</sup> (respectievelijk 28K, 44K en 46K). De resterende groepen hebben een daggemiddelde blootstelling grofweg tussen de 60-80K deeltjes/cm<sup>3</sup>.

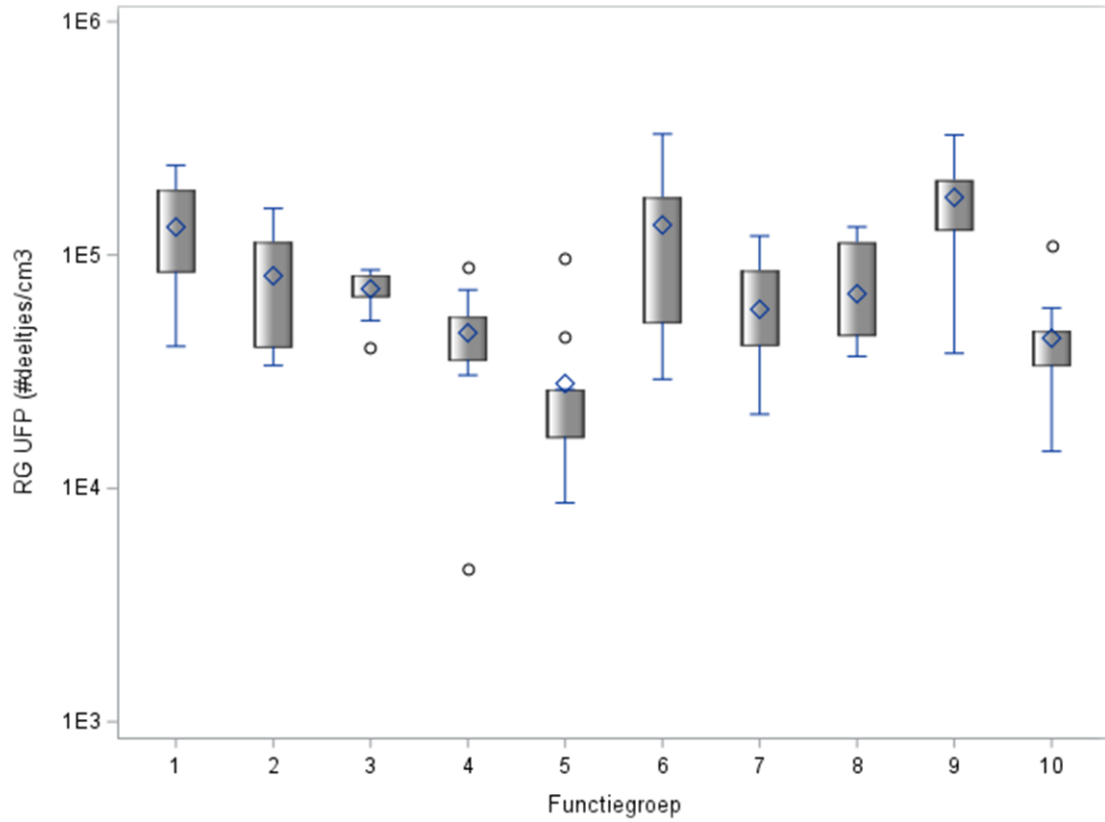
De lineaire mixed modellen voor het rekenkundig daggemiddelde aantal deeltjes/cm<sup>3</sup> en het percentage van de werktijd boven 100K laten zien dat functiegroep ongeveer 50% van de variatie in concentraties en percentage van de werktijd verklaart (respectievelijk 48% en 49%). Het verschil in daggemiddelde aantallen deeltjes/cm<sup>3</sup> tussen de groepen is maximaal een factor 9.

De univariabele lineaire mixed modellen voor het rekenkundig daggemiddelde aantal deeltjes/cm<sup>3</sup> laten associaties zien met het aanwezig zijn op een VOP (factor 2,5 hogere blootstelling) en meetduur (12% lager per uur meetduur). Opvallend zijn de negatieve verbanden met het aantal

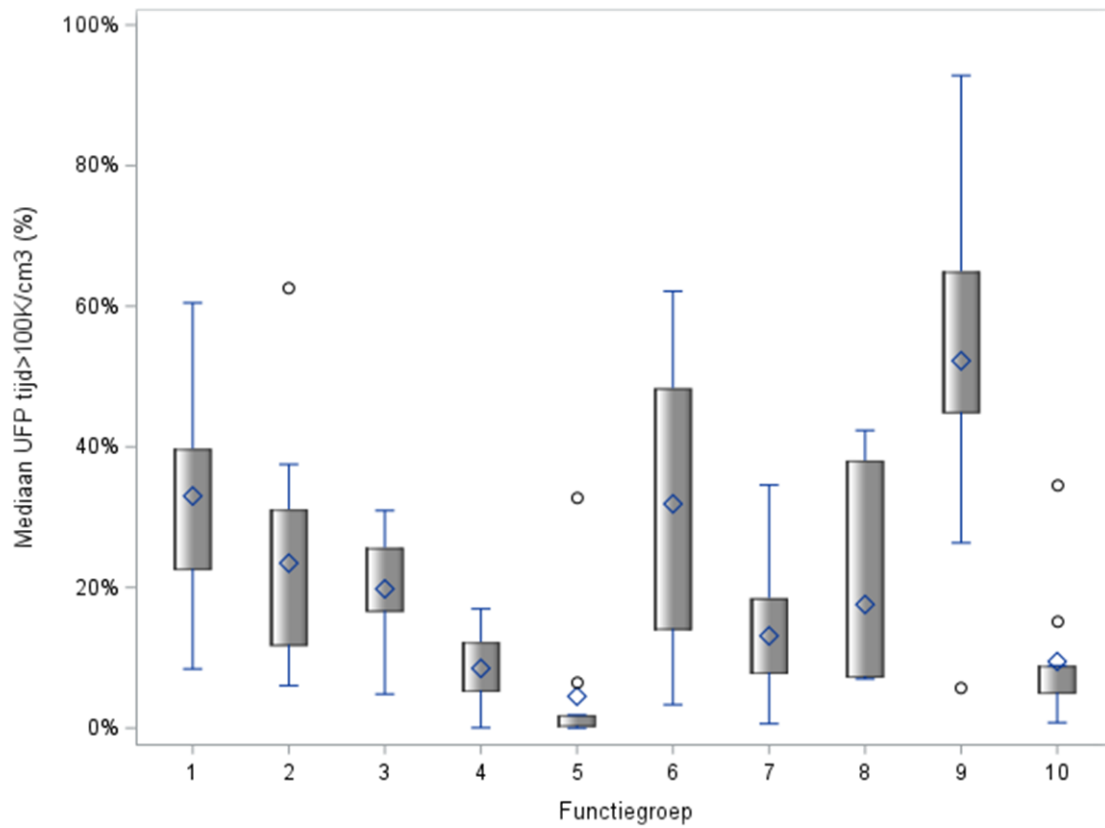
Tabel 3.12 Werkdaggemiddelde concentratie ultrafijn stof per functiegroep (aantal deeltjes/cm<sup>3</sup>)

Funcatiegroep	Aantal	RG <sup>1</sup>	GG <sup>2</sup>	GSD <sup>3</sup>	Min <sup>4</sup>	Max <sup>5</sup>	Mediaan %T>100K <sup>6</sup>	Min %T>100K	Max %T>100K
<i>Totaal</i>	114	86.143	64.515	2,21	4.484	330.109	22%	0%	93%
1. VOP - Passagiers	14	131.818	115.647	1,76	40.606	242.487	33%	8%	60%
2. Transport bagage - Passagiers	10	81.471	70.045	1,81	33.589	158.238	23%	6%	63%
3. Transport - Cargo	12	71.611	70.081	1,26	39.848	86.369	20%	5%	31%
4. VOP - Cargo	16	46.409	40.719	1,92	4.484	89.382	8%	0%	17%
5. In/rond loods - Cargo	10	28.152	22.113	1,94	8.662	96.584	5%	0%	33%
6. Pushback/sleper	10	134.502	105.675	2,18	29.362	330.109	32%	3%	62%
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	13	58.529	51.385	1,70	20.775	120.675	13%	1%	35%
8. Personenvervoer	7	68.245	60.938	1,64	36.808	131.945	18%	7%	42%
9. Actief op de VOP - Main contractors	13	176.680	155.024	1,78	37.903	327.266	52%	6%	93%
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	9	44.035	37.470	1,83	14.409	108.732	9%	1%	35%

<sup>1</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>2</sup>GG=geometrisch gemiddelde. <sup>3</sup>GSD=geometrische standaarddeviatie. <sup>4</sup>Min=minimum concentratie. <sup>5</sup>Max=maximaal gemeten concentratie. <sup>6</sup>T > 100K=percentage tijd boven 100.000 deeltjes per kubieke centimeter



Figuur 3.6 Boxplot werkdaggemiddelde concentratie ultrafijn stof per functiegroep



Figuur 3.7 Boxplot werkdaggemiddelde percentage >100K ultrafijn stof per functiegroep

passagiersvliegtuigen en het aantal vrachtluchten (factor 2 lager op de drukste dagen) en het sterk verhogende effect van de relatieve vochtigheid op het aantal deeltjes/cm<sup>3</sup> (factor 2 op de dag met de hoogste luchtvochtigheid). In het multivariabele model hielden alleen de determinanten aanwezigheid op een VOP en de relatieve vochtigheid stand.

Ook de mediane deeltjesgrootte van de ultrafijn stofmetingen is geanalyseerd. In Tabel 3.13 en Figuur 3.8 zijn de resultaten van de analyses van de deeltjesgrootte van ultrafijn stof weergegeven.

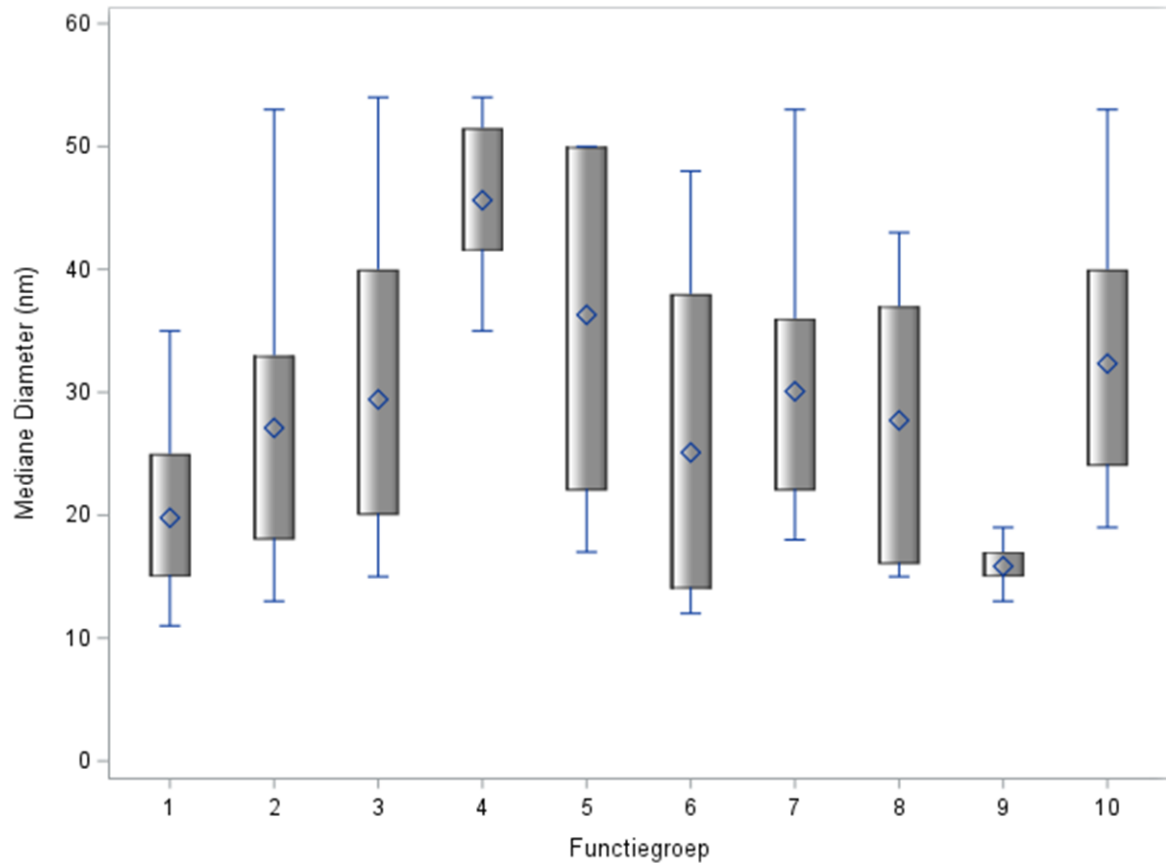
Tabel 3.13 Werkdaggemiddelde mediane deeltjesgrootte ultrafijn stof per functiegroep

<b>Functiegroep</b>	<b>Aantal</b>	<b>RG<sup>1</sup></b>	<b>SD<sup>2</sup></b>	<b>Min<sup>3</sup></b>	<b>Max<sup>4</sup></b>
<i>Totaal</i>	114	29	13	11	54
1. VOP - Passagiers	14	20	7	11	35
2. Transport bagage - Passagiers	10	27	13	13	53
3. Transport - Cargo	12	29	12	15	54
4. VOP - Cargo	16	46	6	35	54
5. In/rond loods - Cargo	10	36	14	17	50
6. Pushback/sleper	10	25	13	12	48
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	13	30	10	18	53
8. Personenvervoer	7	28	11	15	43
9. Actief op de VOP - Main contractors	13	16	2	13	19
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	9	32	11	19	53

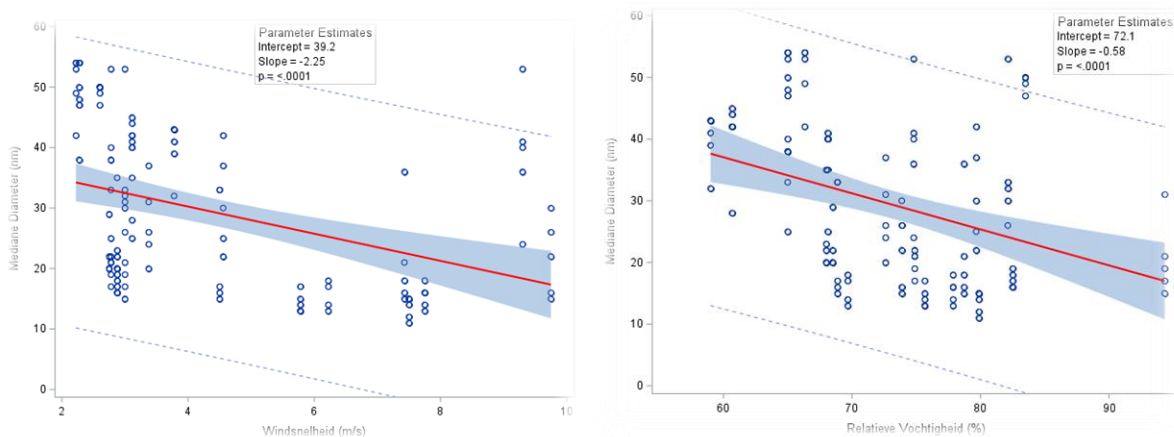
<sup>1</sup>RG=rekenkundig gemiddelde. <sup>2</sup>SD=standaard deviatie. <sup>3</sup>Min=minimum concentratie. <sup>4</sup>Max=maximaal gemeten concentratie

De rekenkundig gemiddelde mediane deeltjesgrootte van het ultrafijne stof bedroeg 29 nm. De functiegroep “VOP - Cargo” week hier het meest vanaf en liet een gemiddelde mediane deeltjesgrootte van 46 nm zien. De functiegroep “Actief op de VOP - Main contractors” had te maken met de kleinste gemiddelde mediane deeltjesgrootte van 16 nm. Opvallend was verder dat bij de andere functiegroep van de main contractors “Actief niet op de VOP” de mediane deeltjesgrootte twee keer zo hoog was.

Nadere analyse van de mediane deeltjesgrootte bracht aan het licht dat de meteorologische condities de deeltjesgrootte sterk beïnvloedde. Windsnelheid en relatieve luchtvochtigheid op de meetdag bleken sterk geassocieerd met de gemeten mediane diameter van het ultrafijn stof (Figuur 3.9). Zowel een hogere windsnelheid als een hogere luchtvochtigheid leiden tot kleinere mediane deeltjesgrootte. Ook de windrichting bleek sterk bepalend voor de mediane deeltjesgrootte. Bij westenwind en oostenwind was de mediane deeltjesgrootte respectievelijk 6 en 5 nm hoger, terwijl bij noordenwind de deeltjesgrootte 8 nm lager was, alles relatief ten opzichte van wind uit het zuiden.



Figuur 3.8 Boxplot werkdaggemiddelde mediane deeltjesdiameter van het ultrafijne stof per functiegroep



Figuur 3.9 Relatie windsnelheid (links) en relatieve luchtvochtigheid (rechts) en werkdaggemiddelde mediane deeltjesdiameter van het ultrafijne stof

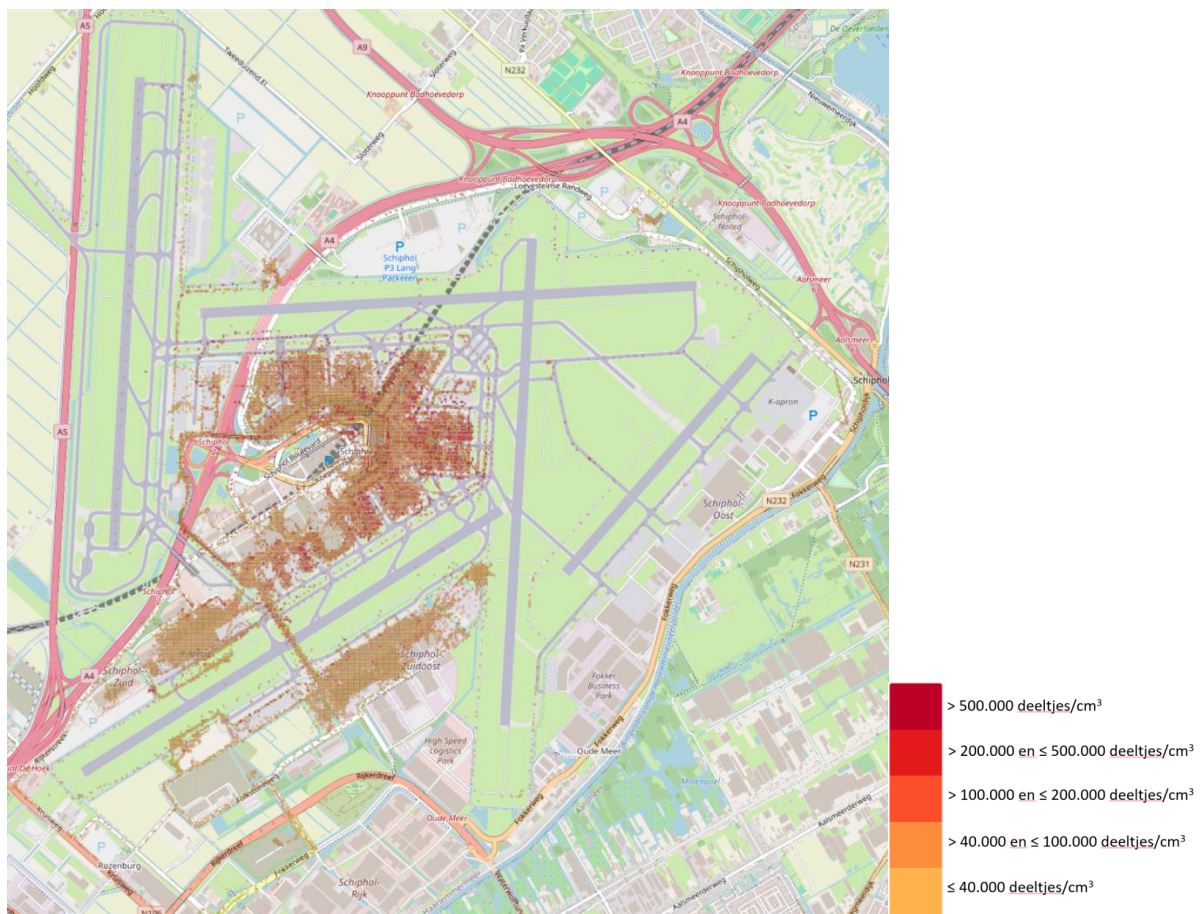
Naast de meteorologische factoren bleek aanwezigheid op een VOP en werken met een voertuig met een dieselmotor de mediane deeltjesgrootte te beïnvloeden (respectievelijk een daling van 11 nm en een stijging van 5 nm). In het multivariabele lineaire mixed model bleken windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, westenwind en aanwezigheid op een VOP bijna de helft van de variatie in mediane deeltjesgrootte tussen de functiegroepen te verklaren. De verbanden tussen windsnelheid en

relatieve luchtvochtigheid bleven even sterk negatief. Westenwind verhoogde de mediane diameter met 7 nm en aanwezigheid op een VOP verlaagde de mediane diameter met 10 nm.

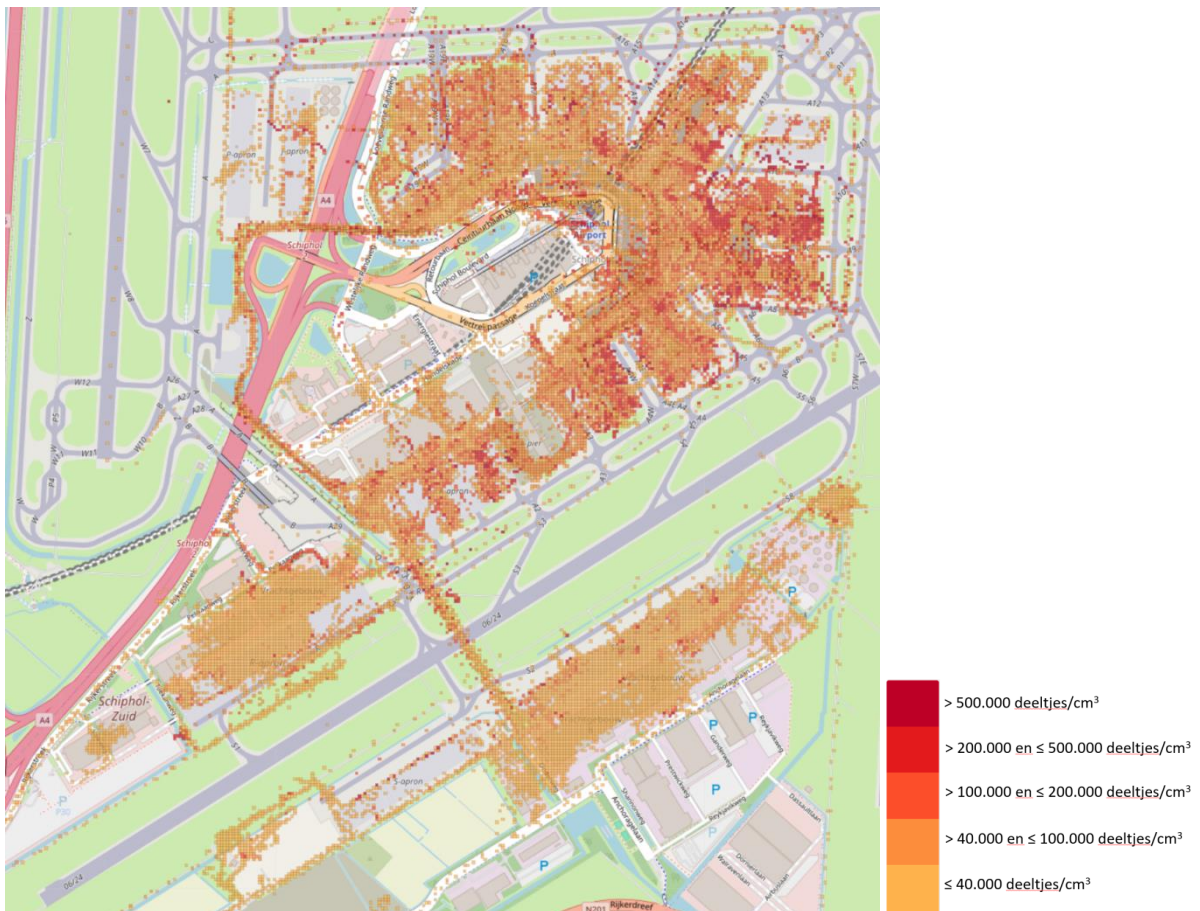
### 3.4.4 Ultrafijn stof – geografische analyse

Er zijn 114 persoonlijke ultrafijn stofmetingen uitgevoerd, met in totaal 457.582 meetwaarden van 5 seconden. De output van de Naneos was zeer stabiel. Het GPS-sigitaal is echter regelmatig weggevallen. In totaal zijn 24.289 meetwaarden uitgevallen (5,3%) en konden uiteindelijk 433.293 meetwaarden betrouwbaar worden toegekend aan elk cel van circa 10 bij 10 meter op het Schiphol-terrein.

Figuur 3.10 en 3.11 geven een visuele weergave van de geografische dekking van de metingen over het Schiphol-terrein. Beide figuren zijn choropletenkaarten waarbij de hoogte van de ultrafijn stofblootstelling als mediane concentratie in kleur is weergegeven per cel van circa 10 bij 10 meter. Figuur 3.10 geeft een totaaloverzicht van het Schiphol-terrein, waarbij alleen de Polderbaan niet zichtbaar is. Figuur 3.11 betreft dezelfde afbeelding maar nu meer ingezoomd op het gebied van Schiphol met de VOP's voor passagiers- en vrachtvliegtuigen.



Figuur 3.10 Choropletenkaart met het geografische dekkinggebied van alle ultrafijn stofmetingen op het Schiphol-terrein (alleen de Polderbaan valt hier buiten)



Figuur 3.11 Choropletenkaart ingezoomd op het gebied waar afhandeling plaatsvindt van passagiers- en vrachtvliegtuigen

Beide kaarten laten zien dat de ultrafijn stofmetingen een brede dekking geven over het Schiphol-terrein. In de figuren is te zien dat de hoogte van de ultrafijn stofblootstelling afhankelijk is van de locatie. Opvallend is het verschil tussen de VOP's voor afhandeling van passagiersvliegtuigen in vergelijking met de VOP's voor cargovliegtuigen. Bij passagiersvliegtuigen was de mediane blootstelling op veel plekken boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>, terwijl dat bij de cargo locaties maar incidenteel voorkwam. Binnen het gebied voor afhandeling van passagiersvliegtuigen was ook een duidelijke variatie te zien. Met name de D-pier lichtte op als locatie met een hoge mediane blootstelling verspreid over de pier, op veel locaties zelfs boven de 200K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Ook op de andere pieren was de mediane blootstelling op veel locaties regelmatig boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> met een aantal duidelijke hotspots op de VOP's op het A-platform en op de B- en E-pier. In het gebied van de cargo locaties (R- en S-platform) was de mediane blootstelling lager, meestal minder dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>.

Ook de (rand)wegen op Schiphol en de Kaagbaantunnel waren een bron van blootstelling aan ultrafijn stof. Op de wegen was de mediane blootstelling in de meeste gevallen tussen de 40K en 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>.



De blootstelling verschilde sterk per functiegroep (zie paragraaf 3.4.3). In de bijlage I & II zijn driedimensionale figuren voor elke functiegroep (respectievelijk als mediane blootstelling en als percentage waarnemingen boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>) weergegeven. Ook in die plaatjes is de mediane concentratie te zien per locatie, weergegeven in kleuren. Hoge balken geven een locatie weer waar werknemers van een functiegroep zich relatief veel bevonden. De combinatie van hoogte van de balk en kleur van de balk geeft aan welke locaties vooral de hoogte van de werkdaggemiddelde blootstelling bepalen voor een functiegroep. Hieronder worden de functiegroepen nader besproken.

#### *VOP-medewerkers*

In Bijlage I.2 en II.1 zijn de driedimensionale plots weergegeven van de VOP-medewerkers passagiersvliegtuigen en in Bijlage I.5 en II.4 die van de VOP-medewerkers van de vrachtvliegtuigen. De mediane ultrafijn stofblootstelling op de VOP's van de passagiersvliegtuigen was aanzienlijk hoger dan op de VOP's van de vrachtvliegtuigen. In de afbeeldingen is te zien dat er diverse locaties zijn op de VOP met lange verblijfstijd van VOP-medewerkers en een mediane ultrafijn stofblootstelling vaak tussen de 200K en 500K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Locaties met mediane blootstelling boven de 500K deeltjes/cm<sup>3</sup> zijn incidenteel zichtbaar. Met name op het A-platform en de B- en D-pier was de mediane blootstelling regelmatig boven de 200K deeltjes/cm<sup>3</sup> in combinatie met relatief lange verblijftijden van de VOP-medewerkers. Ook op de C- en G-pier werd door VOP-medewerkers relatief veel tijd doorgebracht gedurende de meetperiode, maar blootstelling was hier lager, meestal onder de 200K deeltjes/cm<sup>3</sup>.

VOP-medewerkers van de vrachtvliegtuigen brachten het grootste deel van de tijd door op het R- of S-platform en in mindere mate op de H/M-pier. De mediane blootstelling voor deze functiegroep was op de meeste locaties onder de 40K deeltjes/cm<sup>3</sup> en op sommige locaties tussen de 40K en 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Locaties waar de mediane blootstelling hoger was dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> zijn beperkt tot een paar plaatsen op de VOP.

#### *Transport*

In Bijlage I.3 en II.2 zijn driedimensionale plots weergegeven van de transportmedewerkers van de passagiersvliegtuigen en in Bijlage I.4 en II.3 die van de transportmedewerkers vrachtvliegtuigen. Ook hier was de blootstelling nabij de passagiersvliegtuigen duidelijk hoger dan bij de vrachtvliegtuigen. Transportmedewerkers van passagiersvliegtuigen brengen relatief veel tijd door op locaties waar de mediane blootstelling lager is dan 40K deeltjes/cm<sup>3</sup> (waaronder bagagekelders). Op de VOP's was de blootstelling duidelijk verhoogd en zijn er diverse locaties met mediane

blootstelling boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> waar deze medewerkers gedurende enige tijd verblijven. Ook voor de transportmedewerkers van de vrachtvliegtuigen waren de VOP's van passagiersvliegtuigen de locaties waar de hoogste mediane blootstelling is gemeten. De duur van het verblijf op deze locaties was echter relatief kort en deze groep heeft relatief veel tijd doorgebracht op het R- en S-platform, waar de mediane blootstelling veel lager was, vrijwel altijd onder de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>.

#### *Pushback/sleper*

In Bijlage I.7 en II.6 zijn de driedimensionale plots weergegeven voor de medewerkers pushback/sleper. Veel tijd is doorgebracht op de VOP's, met name de C-, D- en G-pier en de platformen voor vrachtvliegtuigen (R- en S-platform). Op de VOP's van de passagiersvliegtuigen varieerde de blootstelling per locatie. Ook hier is de D-pier een locatie met relatief hoge mediane blootstelling, vaak tussen de 100K en 500K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Op de platformen voor de vrachtvliegtuigen was de mediane blootstelling meestal lager dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Wat verder opvalt is dat de mediane blootstelling op de (rand)wegen voor deze groep hoger was dan voor andere functiegroepen; op de wegen vaak hoger dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> terwijl de blootstelling op de wegen voor de andere functiegroepen vaak lager was dan 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De verblijftijd op deze wegen was voor deze groep echter zeer beperkt ten opzichte van de verblijftijd op de VOP's.

#### *Personenvervoer*

In Bijlage I.9 en II.8 zijn de driedimensionale plots weergegeven voor de medewerkers personenvervoer. Veel tijd wordt doorgebracht op de remises en op de (rand)wegen waar de blootstelling tussen de 40K en 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> was. Een deel van de tijd verbleef men op de VOP's en op deze locaties was de mediane blootstelling geregeld tussen de 100K en 200K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De duur van het verblijf op deze locaties was echter relatief kort.

#### *Externe uitvoerders (main contractors)*

In Bijlage I.10 en II.9 en I.11 en II.10 zijn de driedimensionale 3D plots weergegeven van de externe uitvoerders. Er is een groot verschil in blootstelling aan ultrafijn stof tussen werkzaamheden die bij en op de VOP's werden verricht en werkzaamheden die elders op het Schiphol-terrein werden verricht. Op alle VOP's waar externe uitvoerders werkzaamheden uitvoeren was de mediane blootstelling relatief hoog (tussen de 100K en 500K deeltjes/cm<sup>3</sup>). Dit betreft een tweetal typen van werkzaamheden. Externe uitvoerders kunnen werkzaamheden hebben uitgevoerd op een VOP (aanpassingen van bekabelingen, bestrating en belijningen), waarbij die specifieke VOP voor de duur

van de werkzaamheden buiten gebruik was gesteld, maar aangrenzende VOP's wel in gebruik waren. Of het betreft werkzaamheden in de directe nabijheid van in gebruik zijnde VOP's, zoals inspectie, instructie, onderhoud- en schoonmaakwerkzaamheden aan de buitenzijde van gebouwen langs een VOP of aan passagiersbruggen.

Voor de andere groep externe uitvoerders was het bewegingspatroon over het Schiphol-terrein veel gevarieerder. Op de meeste locaties was de blootstelling lager dan 40K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Een deel van de werkzaamheden betrof de uitbreiding van de cargo platformen rondom de Kaagbaan waar tijdens de metingen elke paar minuten een vliegtuig opsteeg.

#### *In/rond loodsen*

In bijlage I.6 en II.5 zijn de driedimensionale plots weergegeven van de medewerkers die werkzaam waren in de loodsen van de cargo bedrijven. Deze medewerkers verbleven het overgrote deel van de tijd in de loodsen en waren een beperkt deel van de tijd buiten, maar komen niet aan Schiphol Airside. Blootstelling aan ultrafijn stof voor deze groep was op vrijwel alle locaties onder de 40K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De blootstelling op de cargo locatie die zich in de nabijheid van het A-platform bevindt was hoger (tussen de 40K en 200K deeltjes/cm<sup>3</sup>) in vergelijking met de cargo locaties die zich bevinden op het R- en S-platform (onder de 40K deeltjes/cm<sup>3</sup>). Het aantal afhandelingen van passagiersvliegtuigen op het A-platform was veel groter dan van vrachtvliegtuigen op het R- en S-platform.

#### *Niet locatie gebonden werkzaamheden*

Deze groep had een duidelijk gevarieerder bewegingspatroon over het Schiphol-terrein in vergelijking met alle andere functiegroepen (Bijlage I.8 en II.7). De mediane concentraties op locaties rondom de start- en landingsbanen lagen over het algemeen onder de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Het aantal metingen op elk van deze locaties was echter zeer gering.

Medewerkers die in deze functiegroep zijn bemeten, bewogen zich vooral in de nabijheid van de VOP's voor passagiersvliegtuigen en waren daar vaak in of rondom de directe nabijheid van de Schiphol gebouwen. Aanwezigheid op de cargo locaties en op de VOP's voor passagiersvliegtuigen was voor deze groep beperkt. Er zijn kleine clusters waarneembaar waar de mediane blootstelling hoger was (>100K deeltjes/cm<sup>3</sup>), maar de verblijftijd was relatief kort.

#### *Overall beeld van de geografische analyse*

Op basis van de analyse van de daggemiddelde ultrafijn stofconcentraties zijn grofweg drie groepen te onderscheiden (zie paragraaf 3.4.3): een groep met een daggemiddelde blootstelling boven de

100K deeltjes/cm<sup>3</sup>, een tussengroep met een daggemiddelde blootstelling tussen de 60K-80K deeltjes/cm<sup>3</sup> en een groep met een daggemiddelde blootstelling onder de 50K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De eerste groep (“VOP - Passagiers”, “Pushback/sleper” en “Externe uitvoerders actief op de VOP”) betreft functies die een groot deel van de tijd daadwerkelijk op de VOP’s van passagiersvliegtuigen werkzaam waren en functies waarbij handelingen en gebruikt materieel eveneens tot ultrafijn stofblootstelling kunnen leiden (voertuigen, werktuigen). De externe uitvoerders hebben de hoogste blootstelling. Deze medewerkers waren gedurende de gehele dag werkzaam op de VOP, terwijl de andere functiegroepen met een ultrafijn stofblootstelling boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> een deel van hun tijd niet op de VOP’s verbleven (bijvoorbeeld in wachtruimten binnen).

De middengroep betreft functies waarbij de verblijftijd op de VOP’s van passagiersvliegtuigen wel relevant is, maar gedurende een kleiner deel van hun werktijd gedurende een werkdag. Dit betreft de functiegroepen “Transport bagage - Passagiers”, “Transport - Cargo”, “Personenvervoer” en “Niet locatie gebonden werkzaamheden”. De groep met de laagste ultrafijn stofblootstellingen kwam nauwelijks op de VOP’s voor passagiersvliegtuigen. Het betreft de functiegroepen “Actief niet op de VOP - Main contractor”, “VOP - Cargo” en “In/rond loads - Cargo”. Een deel van deze groep kwam wel op de VOP’s voor vrachtvliegtuigen, maar de blootstelling aan ultrafijn stof was op deze locaties aanzienlijk lager.

#### 3.4.5 Blootstellingsgroepen voor epidemiologisch onderzoek

Op basis van de uitgevoerde persoonlijke metingen naar deeltjesvormige verontreinigingen bij medewerkers aan Schiphol Airside kan een relatieve rangschikking van de functiegroepen worden afgeleid. In Tabel 3.14 zijn de resultaten voor de verschillende deeltjesfracties en de daarin bepaalde componenten samengevat en van hoog naar laag gerangschikt op basis van de gemeten deeltjesvormige blootstellingen.

Tabel 3.14 Relatieve rangschikking van de functiegroepen voor verschillende deeltjesfracties en componenten (functiegroepen gesorteerd op %werktijd >100K/cm<sup>3</sup> ultrafijn stof)

Functiegroep	Deeltjesfractie		Respirabel		Ultrafijn		RG mediane diameter <sup>7</sup>
	GG inh <sup>1</sup>	Metalen <sup>2</sup>	Resp <sup>3</sup>	GG EK <sup>4</sup>	GG UFP <sup>5</sup>	%T>100K <sup>6</sup>	
9. Actief op de VOP - Main contractors	0,26	0	1	1,2	155.024	52%	26
1. VOP - Passagiers	0,19	0	0	1,5	115.647	33%	23
6. Pushback/sleper	0,25	0	0	3,7	105.675	32%	32
3. Transport - Cargo	0,18	0	1	2,0	70.081	20%	32
2. Transport bagage - Passagiers	0,19	0	0	1,1	70.045	23%	31
8. Personenvervoer	0,16	0	0	1,7	60.938	18%	32
7. Niet locatie gebonden werkzaamheden	0,14	0	0	0,8	51.385	13%	34
4. VOP - Cargo	0,16	0	1	2,5	40.719	8%	43
10. Actief niet op de VOP - Main contractors	0,20	1	1	0,8	37.470	9%	43
5. In/rond loads - Cargo	0,25	1	0	0,8	22.113	5%	40

<sup>1</sup>GG inh=geometrisch werkdaggemiddelde concentratie inhaleerbaar stof (mg/m<sup>3</sup>). <sup>2</sup>Metaal aangetoond in inhaleerbaar stof (1=ja, 0=nee). <sup>3</sup>Respirabel stof meetbaar (1=ja, 0=nee). <sup>4</sup>GG EK=geometrisch werkdaggemiddelde concentratie elementair koolstof (µg/m<sup>3</sup>). <sup>5</sup>GG UFP=geometrisch werkdaggemiddelde aantal ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup> bij 75% relatieve luchtvochtigheid. <sup>6</sup>%T>100K=percentage van de werktijd met een aantal ultrafijne deeltjes boven de 100K per cm<sup>3</sup>. <sup>7</sup>RG mediane diameter=rekenkundig gemiddelde mediane diameter in nm bij 75% relatieve luchtvochtigheid, 5 m/s windsnelheid en niet-westenwind

In Tabel 3.15 is het correlatiepatroon tussen de verschillende deeltjesvormige blootstellingen gepresenteerd. Een sterke negatieve correlatie wordt gezien tussen de mediane diameter van het ultrafijn stof en de aantallen ultrafijne deeltjes en percentage ultrafijne deeltjes boven de 100K. De aangetoonde aanwezigheid van metalen is negatief gecorreleerd met elementair koolstof en ultrafijn stof, maar positief gecorreleerd met de mediane diameter van het ultrafijn stof.

Tabel 3.15 Correlatiematrix voor verschillende deeltjesfracties en componenten

	GG inh <sup>1</sup>	Metalen <sup>2</sup>	Resp <sup>3</sup>	GG EK <sup>4</sup>	GG UFP <sup>5</sup>	%T>100K <sup>6</sup>
Metalen <sup>2</sup>	0,34					
Resp <sup>3</sup>	0,04	0,10				
GG EK <sup>4</sup>	0,13	-0,46	0,01			
GG UFP <sup>5</sup>	0,43	-0,55	0,06	0,26		
%T>100K <sup>6</sup>	0,48	-0,52	0,06	0,21	0,99	
RG diam <sup>7</sup>	-0,15	0,62	0,31	-0,06	-0,84	-0,83

<sup>1</sup>GG inh=geometrisch werkdaggemiddelde concentratie inhaleerbaar stof (mg/m<sup>3</sup>). <sup>2</sup>Metaal aangetoond in inhaleerbaar stof (1=ja, 0=nee). <sup>3</sup>Respirabel stof meetbaar (1=ja, 0=nee). <sup>4</sup>GG EK=geometrisch werkdaggemiddelde concentratie elementair koolstof (µg/m<sup>3</sup>). <sup>5</sup>GG UFP=geometrisch werkdaggemiddelde aantal ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>. <sup>6</sup>%T>100K=percentage van de werktijd met een aantal ultrafijne deeltjes boven de 100K per cm<sup>3</sup>. <sup>7</sup>RG diam=rekenkundig gemiddelde mediane diameter

De functiegroepen “Actief op de VOP - Main contractors”, “VOP - Passagiers”, “Pushback/sleper” hebben overduidelijk de hoogste blootstelling aan ultrafijn stof. De blootstelling aan elementair koolstof is matig gecorreleerd met de ultrafijn stofblootstelling (r=0,26-0,36) en niet gecorreleerd met de diameter van het ultrafijne stof (r=-0,06). De blootstelling aan inhaleerbaar stof is matig gecorreleerd met zowel respirabel stof, elementair koolstof als ultrafijn stof. De daggemiddelde

concentraties ultrafijn stof zijn zoals verwacht zeer sterk gecorreleerd met het percentage van de werktijd boven 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> (zonder pieken geen hoog gemiddelde).

## 4. Discussie en conclusies

### *Representativiteit*

In totaal zijn 305 valide stofmetingen gerealiseerd (88 inhaleerbaar, 103 respirabel en 114 ultrafijn) verdeeld over 10 functiegroepen en 23 meetdagen. De gemiddelde meetduur bedroeg ruim 6 uur; 17 (5,5%) metingen waren korter dan 4 uur. Voor elke functiegroep zijn per stoffractie minimaal 4 en maximaal 20 metingen verricht op minimaal 4 verschillende meetdagen. Het grootste deel van de voorkomende functies binnen een functiegroep is bemeten, waarbij de focus lag op functies met een groot aandeel van hun werktijd op Schiphol Airside.

De metingen hebben plaatsgevonden in augustus en september 2023, van maandag tot en met vrijdag. Deze maanden vallen in de drukste periode van het jaar (mei-oktober) qua aantallen vliegtuigbewegingen. De metingen hebben voor het overgrote deel plaatsgevonden tussen 6.00 en 14.00 uur. Dit besloeg een groot deel van de drukste periode in een etmaal (8.00-17.00 uur). Voor vrachtvliegtuigen was het aantal vliegtuigbewegingen veel geringer dan van passagiersvliegtuigen (gemiddeld 15 versus 615 vluchten/meetdag gedurende de meetduur).

De verwerkte GPS-gegevens laten zien dat de metingen het gehele Schiphol-terrein dekken. Met de meetinspanning is een representatief beeld verkregen van elke functiegroep werkzaam aan Schiphol Airside voor de verschillende stoffracties gedurende de dagdiensten in de maanden augustus-september.

### *Voornaamste resultaten*

De persoonlijke blootstelling aan inhaleerbaar stof was laag ten opzichte van geldende grenswaarden en verschilde weinig tussen de onderscheiden functiegroepen. Metalen in het inhaleerbare stof, merkers voor slijtage van verbrandingsmotoren (vliegtuigmotoren, dieselmotoren, benzinemotoren en andere verbrandingsmotoren) en voor smeeroliën, zijn niet of nauwelijks aangetoond. Bij functiegroepen met positieve metaal metingen ging het waarschijnlijk om metaalbewerkingen (onderhoudswerk aan metaal), slijtage van materieel en andere metaalbronnen als het railsysteem bij cargo. Concentraties lagen ver beneden de grenswaarden.

Het merendeel (86%) van de respirabel stof metingen lag onder de rapportagegrens van 0,05 mg. Slechts bij cargo medewerkers en bij de externe uitvoerders was een deel van de metingen boven de detectielimiet, echter, ook deze concentraties waren ver verwijderd van de grenswaarde voor respirabel stof. Wel is in 2/3 van de respirabel stofmetingen elementair koolstof aangetoond. Alhoewel slechts één meting een concentratie van 10 µg/m<sup>3</sup> (huidige grenswaarde) liet zien, voldeden na een formele toetsing van grenswaardeoverschrijding (NEN-EN 689) een drietal functiegroepen niet aan de huidige wettelijke grenswaarde ("VOP - Cargo", "Personenvervoer",

“Pushback/Sleper”). Voor de functiegroepen “Pushback/Sleper” en “Personenvervoer” was het aantal metingen echter te gering om een definitieve uitspraak te doen. Aanwezigheid op een VOP van medewerkers (factor 2 hoger) en windrichting (oostenwind een factor 2 hoger en noordenwind een factor 2,5 lager) bleken de enige statistisch significante determinanten van de elementaire koolstof concentraties te zijn.

De ultrafijn stofmetingen laten relatief grote verschillen zien tussen de functiegroepen. De koppeling met de GPS-gegevens geven een gedetailleerd beeld van locaties waar de bemeeten werknemers zich hebben bevonden en hoe hoog het aantal ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup> op deze plekken was. De resultaten laten zien dat een drietal groepen een aanzienlijk hogere blootstelling heeft dan de rest. Het gaat daarbij om de functiegroepen “Actief op de VOP - Main contractors”, “Pushback/sleper” en “VOP - Passagiers” met een daggemiddelde blootstelling boven de 100K ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>. Voor de werknemers van de externe uitvoerders werkzaam op de VOP geldt bovendien dat zij gemiddeld 52% van hun werktijd blootgesteld zijn aan piekblootstellingen boven de 100K ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>. Als determinant van de blootstelling aan ultrafijn stof blijkt het aanwezig zijn op een VOP van passagiersvliegtuigen een sterke determinant (2,5 maal hoger) te zijn. Dit blijkt ook uit de geografische analyse van de ultrafijn stofconcentraties, die laten zien dat met name hoge concentraties worden gemeten op de VOP's voor passagiersvliegtuigen. Concentraties op de VOP's voor vrachtvliegtuigen zijn veel lager. Het aantal vliegtuigbewegingen leek aanvankelijk belangrijk te zijn (des te meer bewegingen hoe lager het aantal ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup>), maar het sterk verhogende effect van de relatieve vochtigheid op het aantal ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup> (factor 2 op een dag met zeer hoge luchtvochtigheid) bleek statistisch gezien veel sterker. Uit de literatuur is dit fenomeen bekend (Martins *et al.* 2010, Peng *et al.* 2018).

Naast aantallen deeltjes ultrafijn stof is ook de diameter van het ultrafijne stof geanalyseerd. Het verschil in diameter tussen de functiegroepen met een gemiddelde ultrafijn stof mediane diameter van rond de 20 nm en de functiegroepen met een mediane diameter van 40 nm kan worden verklaard door langduriger verblijf op de VOP's voor passagiersvluchten en een ultrafijn stofblootstelling voornamelijk afkomstig van vliegtuigmotoremissies (Gezondheidsraad, 2021). De groepen met de hogere diameters zullen voornamelijk aan andere bronnen zijn blootgesteld (zoals motoremissie van diesel- en benzinevoertuigen en -installaties) (Voogt *et al.* 2019). Windsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, westenwind en aanwezigheid op een VOP verklaarde de helft van de variatie in mediane deeltjesgrootte tussen de functiegroepen. Zowel toenemende windsnelheid als toenemende relatieve luchtvochtigheid bleken de mediane deeltjesgrootte van het ultrafijn stof met een factor twee te verkleinen. De toename van de mediane diameter (7 nm) bij westenwind zou



kunnen wijzen op ultrafijn zeezout in de lucht. Uit de literatuur is bekend dat zeezoutdeeltjes een diameter van ongeveer 10 nm tot meer dan 5  $\mu\text{m}$  kunnen hebben, waarbij het merendeel van de deeltjes een diameter van ongeveer 200 nm heeft (Collins *et al.* 2019).

### *Vergelijking met andere studies*

Een vergelijking met andere studies is slechts in beperkte mate mogelijk. Dat heeft verschillende oorzaken. In de eerste plaats is verschillende apparatuur ingezet voor het meten van ultrafijn stof in deze studies, waarbij het meetbereik sterk varieert en soms deeltjes zijn gemeten tot 2,5  $\mu\text{m}$ . Ook het meetinterval waarover het ultrafijn stof meetsignaal is gemiddeld verschilt tussen studies, evenals de periode waarover de metingen zijn weergegeven (bijvoorbeeld taakgemiddelde, werkdaggemiddelde, of etmaalgemiddelde concentratie). Ook luchtvochtigheid en windsnelheid zijn factoren, die in de vergelijking tussen de studies moet worden meegenomen. Informatie die vaak ontbreekt in de beschikbare studies. Een andere beperking is dat de meetstrategie tussen studies sterk kan verschillen (bijvoorbeeld stationaire metingen versus persoonsgebonden metingen). In 2021 heeft TNO op Schiphol metingen uitgevoerd naar blootstelling aan ultrafijn stof. Dit zijn stationaire metingen op verschillende locaties op Schiphol en metingen met een bewegend voertuig. Vergelijking met de persoonsgebonden meetresultaten van het huidige onderzoek is niet mogelijk vanwege de grote verschillen in meetstrategie. Echter, ook het TNO-onderzoek laat zien dat blootstelling het hoogst is bij de terminals, pieren en VOP's met concentraties boven de 100K ultrafijne deeltjes/cm<sup>3</sup> (Tromp *et al.* 2021).

Persoonsgebonden metingen naar ultrafijn stof zijn tot op heden slechts in zeer beperkte mate uitgevoerd. In twee oriënterende onderzoeken door KLM zijn persoonlijke daggemiddelde ultrafijn stofmetingen uitgevoerd bij een aantal functies (Agterberg & Thuis 2023; KLM 2023). Daarbij is gebruik gemaakt van dezelfde apparatuur. De hoogste werkdaggemiddelde blootstelling werd gemeten op de D- en E-pier (>100K deeltjes/cm<sup>3</sup>). Blootstelling bij cargo (functiegroep "Transport-Cargo") en marshallers (functiegroep "Niet locatie gebonden werkzaamheden") was lager (tussen 50K-100K deeltjes/cm<sup>3</sup> en blootstelling in de bagagehallen was nog veel lager: 5K deeltjes/cm<sup>3</sup>). Blootstelling bij vervoer van personen met een (mobiliteits)beperking was in het KLM onderzoek hoger dan in ons onderzoek (>100K deeltjes/cm<sup>3</sup> versus 68K deeltjes/cm<sup>3</sup>).

Op de luchthaven van Kopenhagen zijn in oktober 2012 (Møller *et al.* 2014) persoonlijke metingen verricht naar blootstelling aan ultrafijn stof. Daarbij is gebruik gemaakt van andere meetapparatuur (Phillips NanoTracer), wel met hetzelfde meetbereik als de Naneos (10-300 nm). Een gedetailleerde vergelijking van concentratieniveaus is beperkt mogelijk, omdat de ingestelde middelingstijd verschillend is (16 seconde versus 4 seconde in ons onderzoek), het aantal vliegbewegingen in

Kopenhagen in 2012 veel kleiner was dan op Schiphol in 2023 (250.000 versus 465.000 handelsvluchten en andere vliegtuigbewegingen op Schiphol, CBS) en belangrijke factoren, waaronder luchtvochtigheid, niet gegeven worden. Vergelijking van de meetresultaten kan daarom alleen in orde van grootte worden gedaan. In het Deense onderzoek zijn in totaal 30 persoonsgebonden werkdaggemiddelde metingen uitgevoerd bij een vijftal functies (bagage afhandelaren, verzorgen catering van vliegtuigen, schoonmaakpersoneel vliegtuigen, beveiligingsmedewerkers airside en beveiligingsmedewerkers landside). De meest vergelijkbare groep zijn de bagagemedewerkers. Bij die groep bedroeg de geometrisch gemiddelde concentratie ultrafijn stof 37K deeltjes/cm<sup>3</sup>, dit is bijna een factor 2 lager dan de geometrisch gemiddelde concentratie ultrafijn stof van 70K deeltje/cm<sup>3</sup> bij de bagage afhandelaren op Schiphol. Ook de metingen bij de andere vier groepen (geometrisch gemiddelde blootstellingen van 12K-20K deeltjes/cm<sup>3</sup>) suggereren een lagere blootstelling dan op Schiphol.

Ook de vergelijking met andere beroepsmatig blootgestelde groepen wordt beperkt door de verschillen in onderzoeksopzet, middelingstijden van de metingen en gebruik van andere meetapparatuur met verschillend meetbereik. Viitanen *et al.* (2017) hebben in een literatuurstudie een overzicht gemaakt van de tot dan toe beschikbare meetgegevens in verschillende beroepen. Eén van die groepen betreft situaties waarbij blootstelling afkomstig is van emissie van verbrandingsmotoren, hoewel geen metingen op vliegvelden zijn uitgevoerd. In die groep zijn in totaal 40 meetresultaten beschikbaar in de range van 10K-700K deeltjes/cm<sup>3</sup>. Slechts een beperkt aantal van deze metingen (N=9) is gemeten als daggemiddelde over een werkdag én met een ultrafijn stofmonitor met hetzelfde meetbereik van 10-300 nm. Dit zijn metingen bij onderhoudswerkzaamheden aan snelwegen, waarbij de blootstelling varieerde van 9K-700K deeltjes/cm<sup>3</sup>. De blootstelling is vergelijkbaar met de range gemeten op Schiphol in het huidige onderzoek (4K-330K deeltjes/cm<sup>3</sup>).

#### *Sterke en zwakke punten van het onderzoek*

Het onderzoek heeft een brede dekking over alle functies met werkzaamheden aan Schiphol Airside en alle werkgevers op Schiphol. De GPS-loggers gedragen tijdens de metingen laten ook een brede geografische dekking over het hele Schiphol-terrein zien. Een ander voordeel van de GPS-logger is dat voor de ultrafijne stofblootstelling inzicht is verkregen op welke locaties de medewerkers vooral (hoge en frequente) blootstelling hebben aan ultrafijn stof. Andere sterke punten zijn dat de metingen persoonsgebonden zijn uitgevoerd gedurende een groot deel van de werkdag en een betrouwbare schatting zijn van de blootstelling aan de verschillende deeltjesfracties (inhaleerbaar, respirabel en ultrafijn) en componenten daarin (metalen en elementair koolstof).

Zwak punt is dat slechts een klein aantal herhaalde metingen is gerealiseerd. Daardoor is nog maar beperkt inzicht in de verdeling van de gemiddelde blootstelling van werknemers binnen de functiegroepen en de dag-tot-dag variatie in de blootstelling. Voor de ultrafijn stofmetingen geldt dat het gebruikte meetinstrument (Naneos Partector 2) boven het concentratieniveau van  $1.10^6$  deeltjes/cm<sup>3</sup> minder betrouwbaar is, terwijl kortstondige pieken boven dit niveau wel voorkwamen. Een ander zwak punt betreft signaalverlies van de GPS-logger, bijvoorbeeld in besloten binnenruimtes. Hierdoor ontbreken stukjes van afgelegde routes die echter met behulp van extrapolaties grotendeels konden worden ingevuld. Verder geeft dit onderzoek de blootstelling aan deeltjesvormige verontreiniging weer in de periode augustus-september. Blootstelling in andere periodes van het jaar kunnen afwijkend zijn. De meetresultaten in dit onderzoek zijn een weergave van blootstelling aan deeltjesvormige verontreiniging in de zomer van 2023 bij medewerkers op Schiphol Airside in dagdienst. Blootstellingen in het verleden en tijdens andere werktijden zijn anders door verschillende factoren (o.a. aantal vliegtuigbewegingen, organisatie van de werkzaamheden, type vliegtuigen, vliegtuigmotoren en brandstof, lopende transitie om dieselbronnen te vervangen door elektrische stroombronnen). Het blootstellingsonderzoek biedt daarom geen interpretatiemogelijkheden voor blootstelling in andere tijdsperiodes en werktijden.

#### *Epidemiologisch onderzoek*

Voor epidemiologisch onderzoek naar de relatie tussen deeltjesvormige blootstelling enerzijds en gezondheidseffecten anderzijds is het belangrijk om in de onderzoekspopulatie voldoende contrast in blootstelling te hebben. Blootstelling aan inhaleerbaar stof, metalen in de inhaleerbare stoffractie en respirabel stof is laag voor alle functiegroepen en bovendien is voor deze blootstellingsmaten weinig contrast in blootstelling tussen de groepen. Voor elementair koolstof en ultrafijn stof zijn wel duidelijke verschillen tussen functiegroepen waarneembaar. Ook zijn de gemiddelde concentraties elementair koolstof in respirabel stof en ultrafijn stof per functiegroep matig gecorreleerd.

Concluderend kan voor een epidemiologisch onderzoek naar gezondheidseffecten van deeltjesvormige verontreinigingen voor medewerkers op Schiphol Airside worden gesteld:

- te weinig contrast in persoonlijke inhaleerbaar en respirabel stofconcentraties tussen functiegroepen en daardoor niet bruikbaar in epidemiologisch onderzoek
- indeling van de functiegroepen voor wat betreft de blootstelling aan elementair koolstof en ultrafijn stof is mogelijk, met een groter contrast tussen de functiegroepen voor ultrafijn stof (factor 7) dan voor elementair koolstof (factor 5)
- blootstelling aan respirabel elementair koolstof en ultrafijn stof kunnen in een multivariabele epidemiologische analyse worden toegepast

## Referenties

- Abegglen M, Brem BT, Ellenrieder M, Durdina L, Rindlisbacher T, Wang J, Lohmann U, Sierau B (2016). Chemical characterization of freshly emitted particulate matter from aircraft exhaust using single particle mass spectrometry. *Atm Environ* 134: 181-197. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.051
- Agterberg H & Thuis H (2023). Oriënterend blootstellingsonderzoek vliegtuigmotoremissie (VME) 2022. Rapport nummer SIRA DS-x, februari 2023
- Brem BJ, Schreiner C, Figi R, Durdina L, Setyan A, Elser M, Schönenberger D, Wang J. (2017) Metallic elements in aero gas turbine exhaust. Conference Paper, August 2017
- Collins DB, Grassian VH (2018) Gas–Liquid Interfaces in the Atmosphere. In: *Physical Chemistry of Gas-Liquid Interfaces*, Editors: Jennifer A. Faust, James E. House. Elsevier.
- Gezondheidsraad. Diesel Engine Exhaust – health-based recommended occupational exposure limit. Rapport No. 2019/02, Den Haag, 13 maart 2019  
<https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2019/03/13/dieselmotoremissie>
- Gezondheidsraad. Blootstelling aan ultrafijnstof. Rapport No. 2021/38-A2. Den Haag, 15 september 2021 (Achtergronddocument bij: Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht, rapport No. 2021/38).  
<https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2021/09/15/risicos-van-ultrafijnstof-in-de-buitenlucht>
- Helsel D (2010). Much ado about next to nothing: incorporating nondetects in science. *Ann Occup Hyg.* 54:257-62. doi: 10.1093/annhyg/mep092
- Jin Y, Hein MJ, Deddens JA, Hines CJ (2011). Analysis of lognormally distributed exposure data with repeated measures and values below the limit of detection using SAS. *Ann Occup Hyg.* 55:97-112. doi: 10.1093/annhyg/meq061
- KLM (2023). SIRA UFP deel2: Blootstellingsonderzoek vliegtuigmotoremissie (VME) 2022/23. Rapport nummer SIRA DS-238, mei 2023
- Martins LD, Martins JA, Freitas ED, Mazzoli CR, Gonçalves FL, Ynoue RY, Hallak R, Albuquerque TT, Andrade MD (2010). Potential health impact of ultrafine particles under clean and polluted urban atmospheric conditions: a model-based study. *Air Qual Atmos Health* 3:29-39. doi: 10.1007/s11869-009-0048-9
- Møller KL, Thygesen LC, Schipperijn J, Loft S, Bonde JP, Mikkelsen S, Brauer C. (2014). Occupational exposure to ultrafine particles among airport employees--combining personal monitoring and global positioning system. *PLoS One* 9:e106671. doi: 10.1371/journal.pone.0106671
- NEN-EN-689 (2019). Blootstelling op de werkplek - Meting van de inhalatieblootstelling aan chemische stoffen - Strategie om te voldoen aan de arbeidshygiënische blootstellingsgrenswaarden. Engelse titel: Workplace exposure - Measurement of exposure by inhalation to chemical agents - Strategy for testing compliance with occupational exposure limit values. April 2019 NEN-EN 689+C1

Peng Y, Sui Z, Zhang Y, Wang T, Norris P, Pan WP (2018). The effect of moisture on particulate matter measurements in an ultra-low emission power plant. *Fuel* Volume 238 : 430-439.  
doi.org/10.1016/j.fuel.2018.10.140

Preller L, Burstyn I, De Pater N, Kromhout H (2004). Characteristics of peaks of inhalation exposure to organic solvents. *Ann Occup Hyg.* 48:643-652. doi: 10.1093/annhyg/meh045

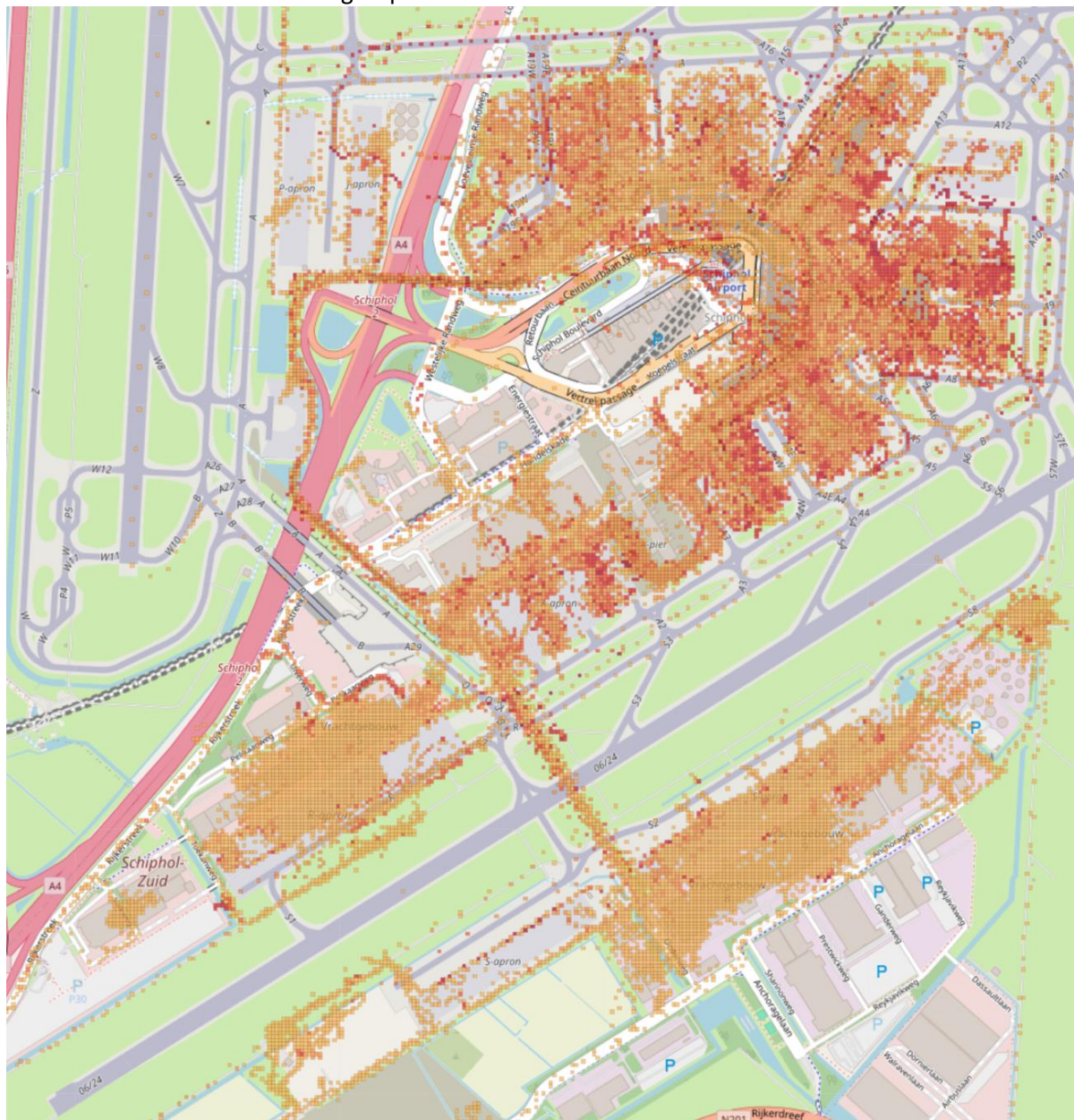
Tromp PC, van Dinther D, de Bie SE, Duyzer J, Lollinga JP, Moerman MM & Henke SJ (2021). Verkennend onderzoek ultrafijnstof op het Schiphol terrein met behulp van mobiele metingen. TNO-rapport nummer R11745, 29 september 2021

Viitanen AK, Uuksulainen S, Koivisto AJ, Hämeri K, Kauppinen T (2017). Workplace Measurements of Ultrafine Particles-A Literature Review. *Ann Work Expo Health* 61:749-758.  
doi:10.1093/annweh/wxx049

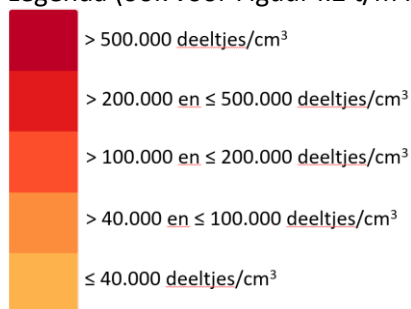
Voogt M, Zandveld P, Wesseling J, Janssen N (2019). Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol [Measurements and calculations of ultrafine particles originating from air traffic around Schiphol : For research into the health of local residents] RIVM rapport 2019-0074

# Bijlage I Driedimensionale weergave mediane blootstelling ultrafijn stof per functiegroep

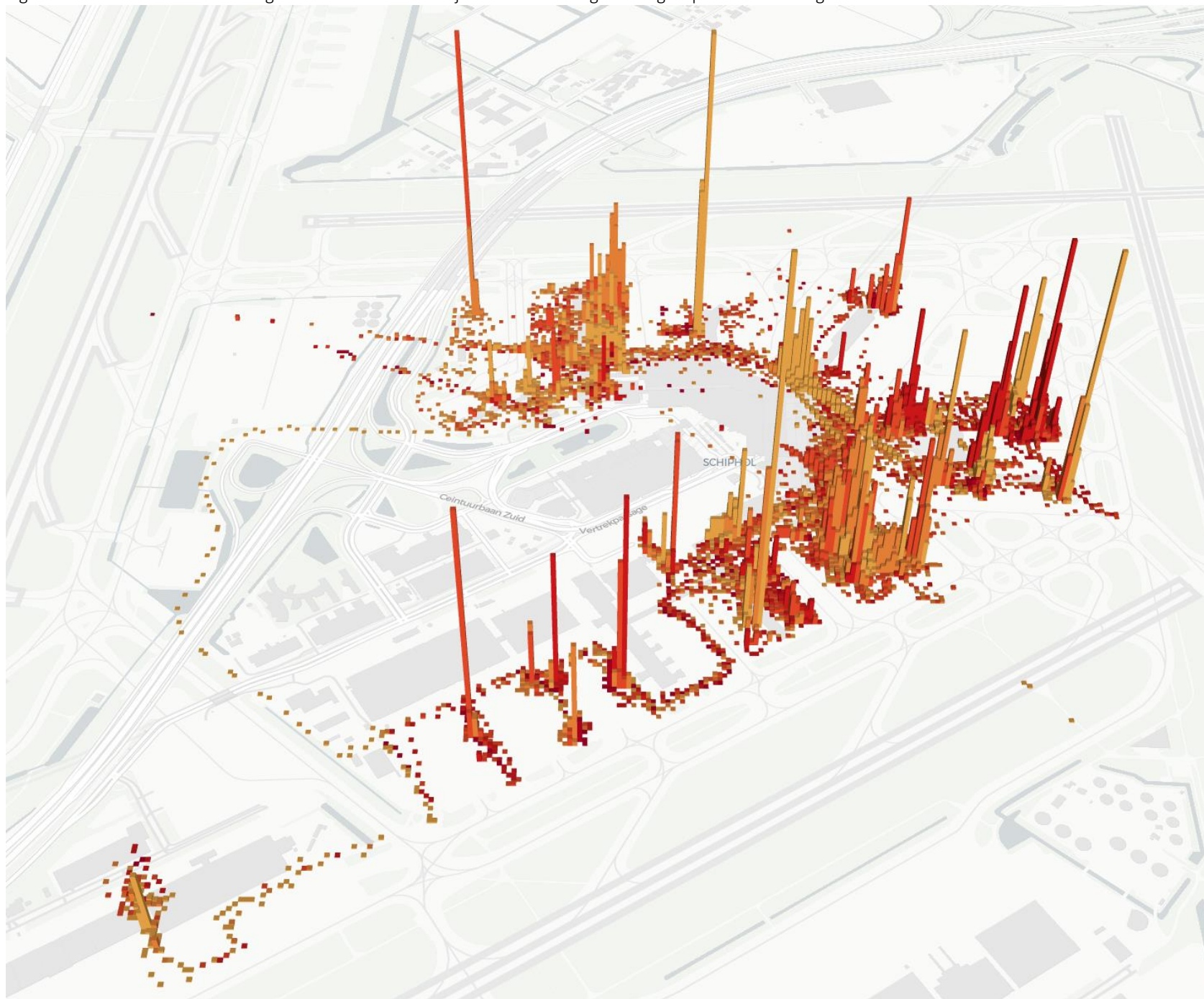
Figuur I.1 Choropletenkaart met mediane blootstelling per locatie voor ultrafijn stofmetingen van alle functiegroepen



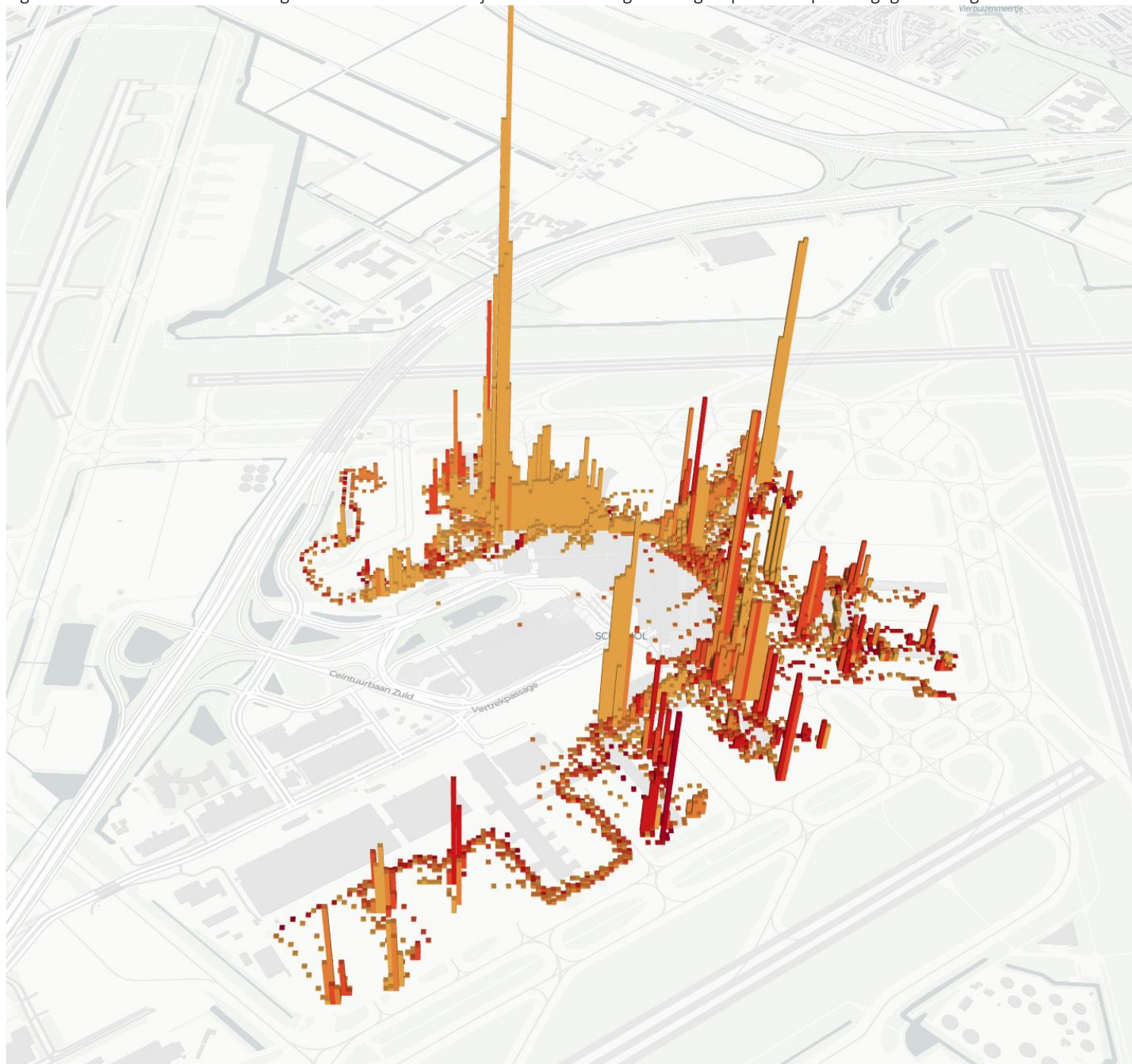
Legenda (ook voor Figuur I.2 t/m I.11):



Figuur I.2 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 1: VOP - Passagiers

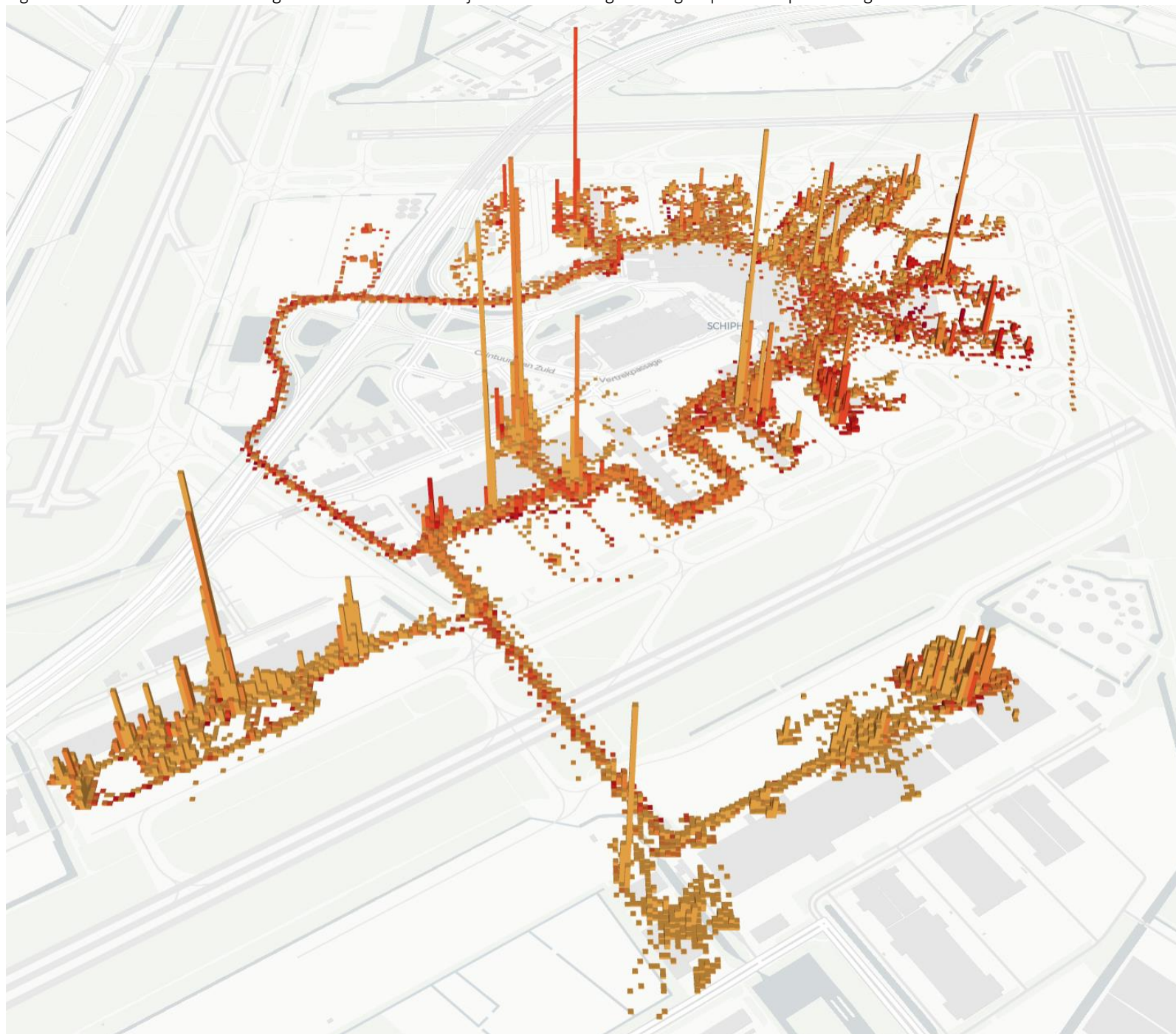


Figuur I.3 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 2: Transport Bagage - Passagiers

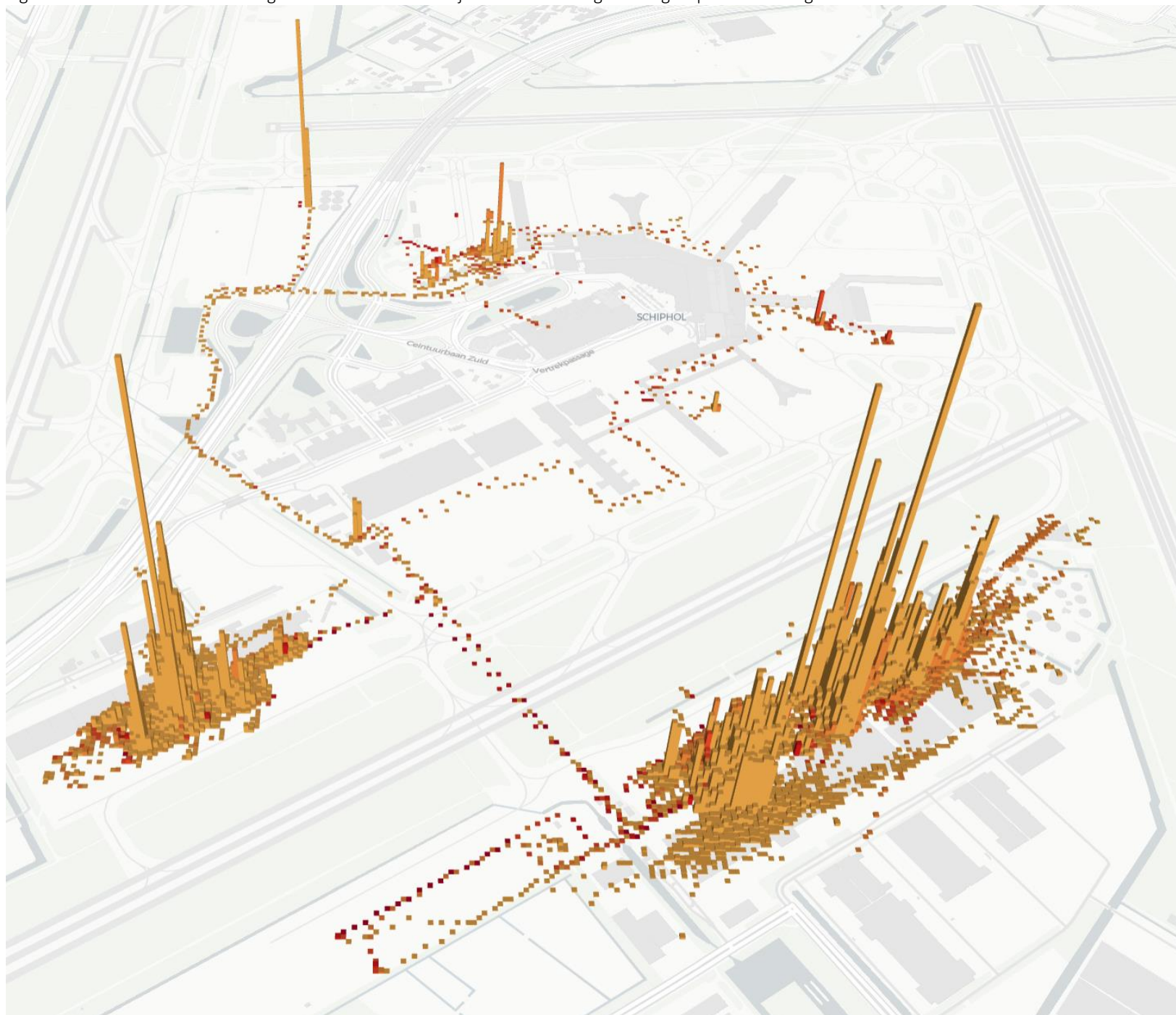




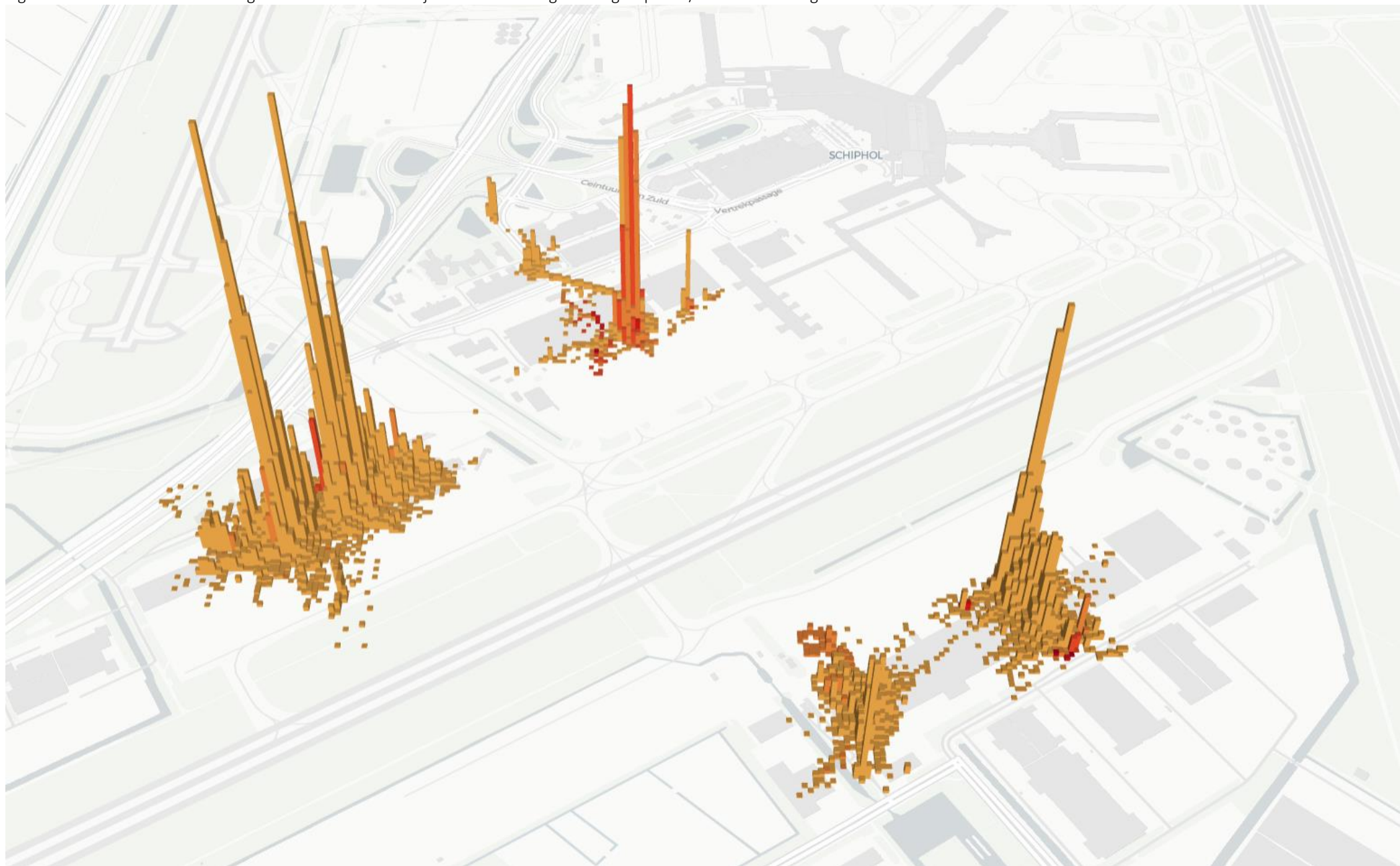
Figuur I.4 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 3: Transport - Cargo



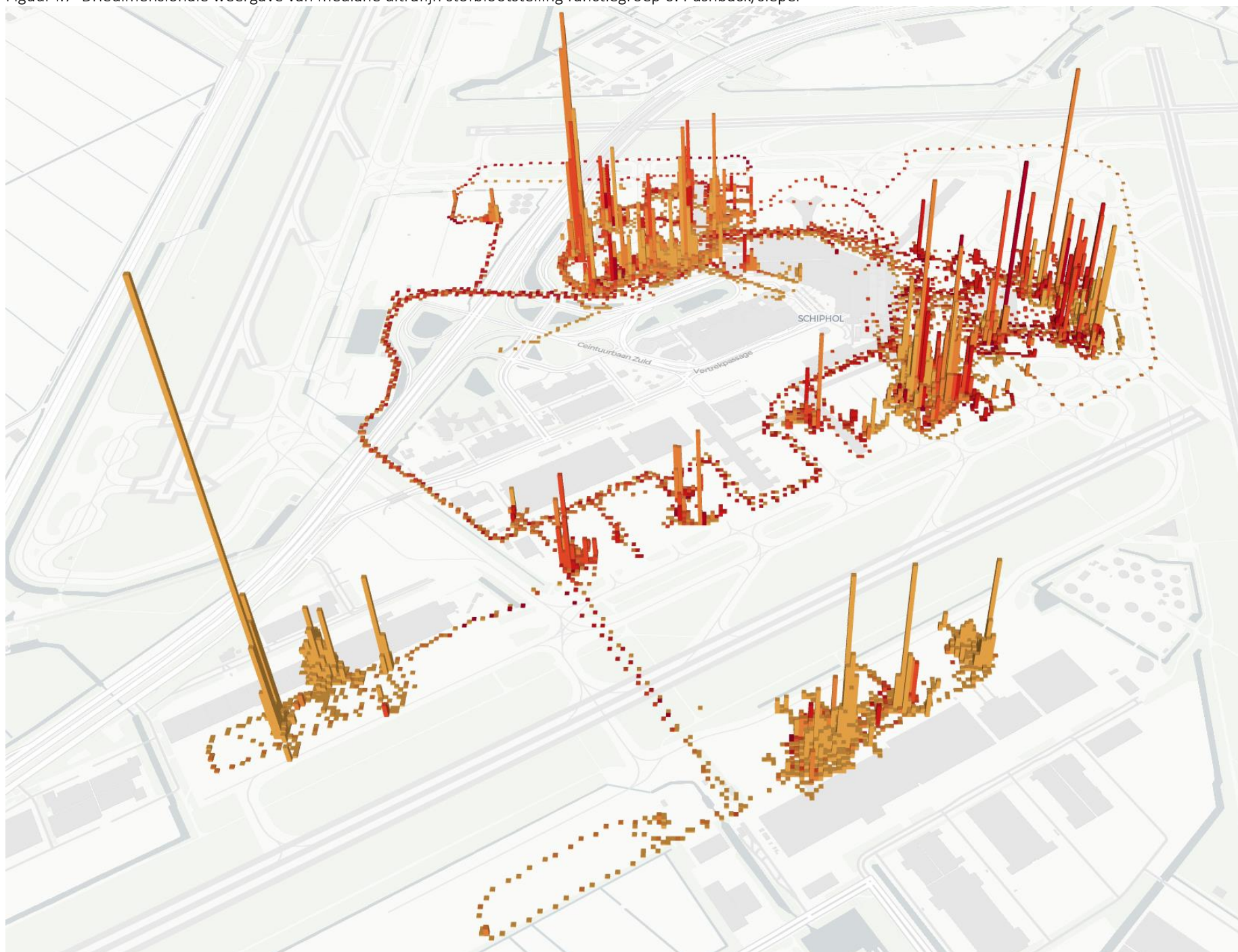
Figuur I.5 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 4: VOP - Cargo



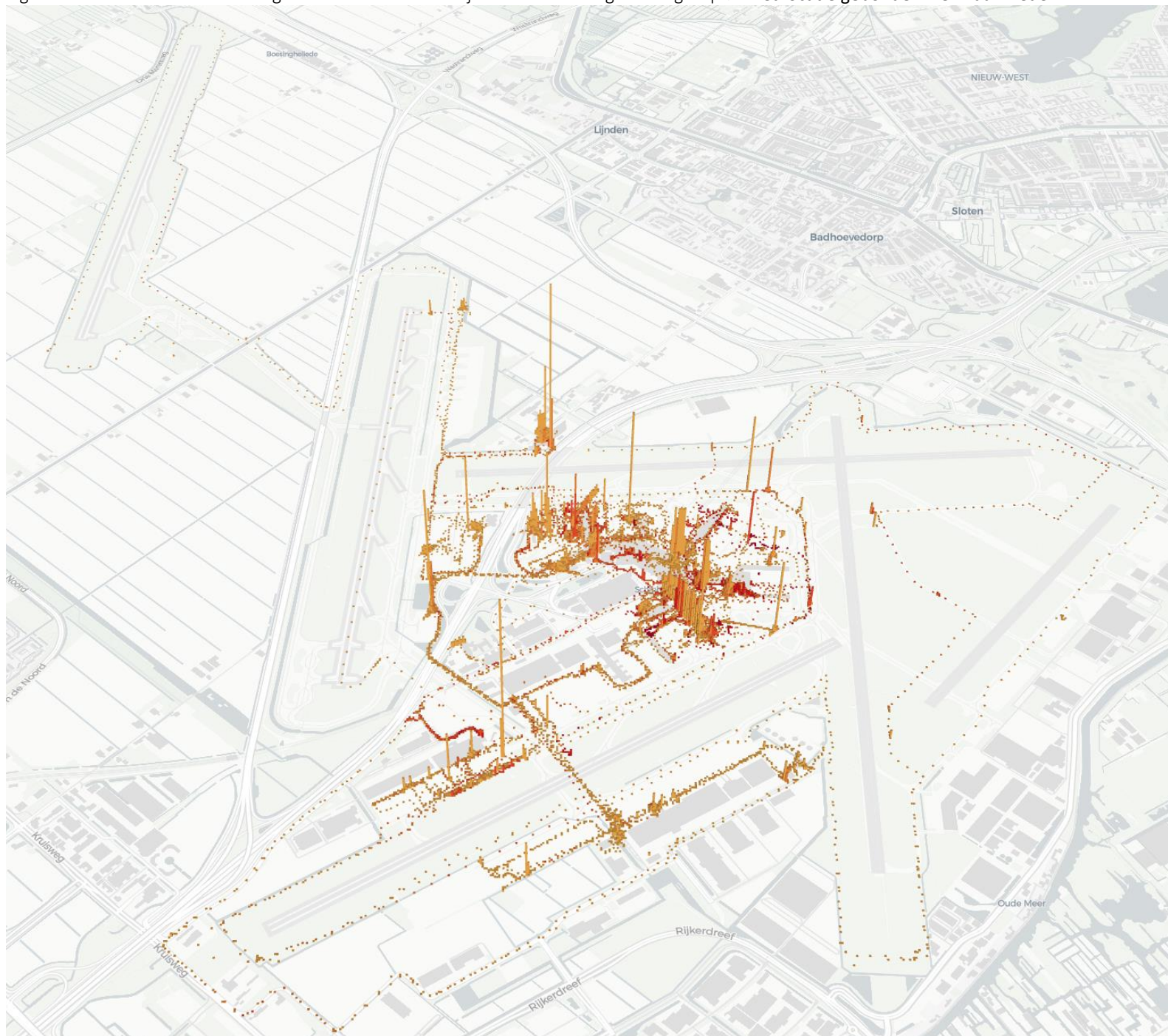
Figuur I.6 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 5: In/rond loods - Cargo



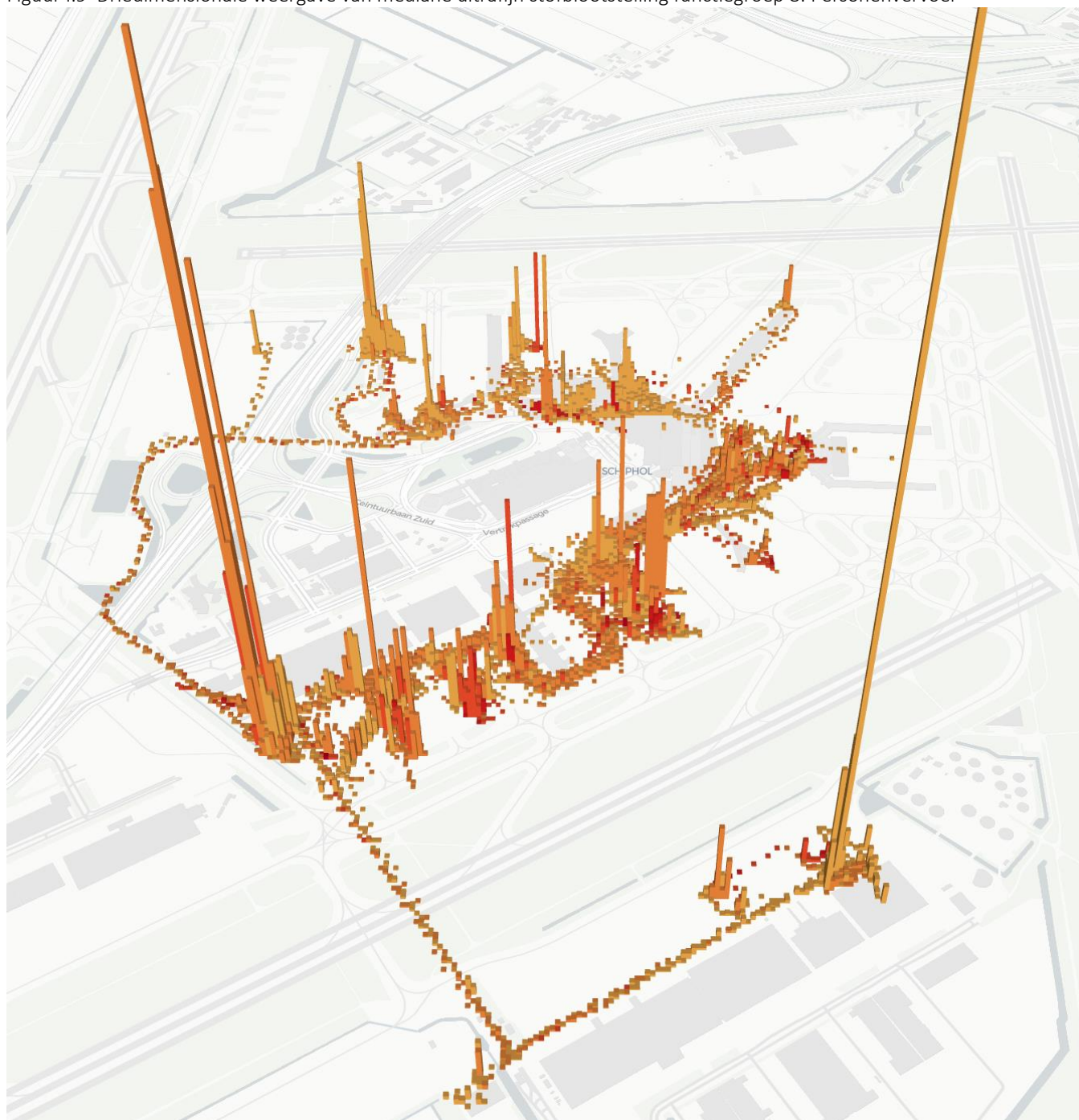
Figuur I.7 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 6: Pushback/sleper



Figuur I.8 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 7: Niet locatie gebonden werkzaamheden



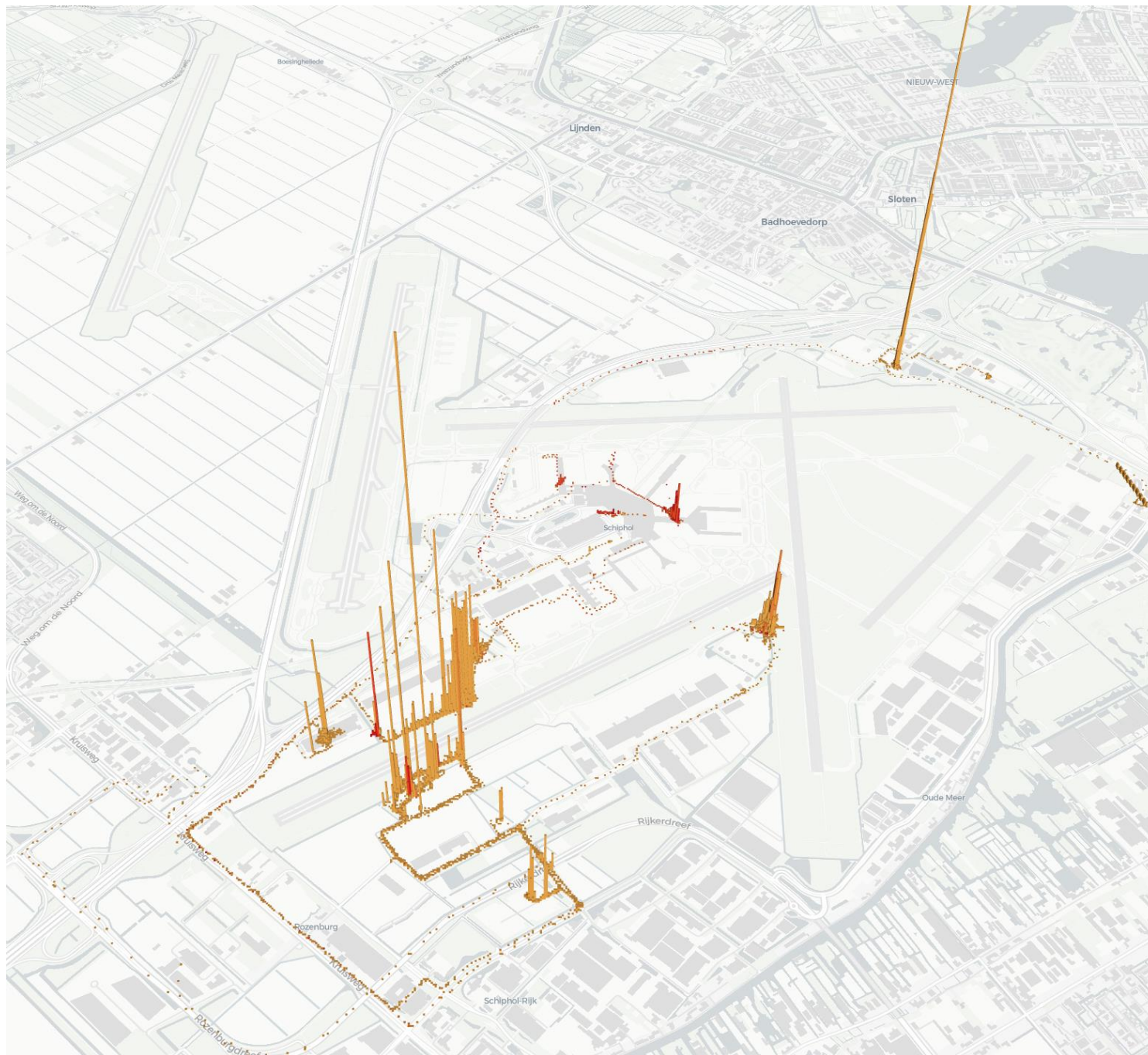
Figuur I.9 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 8: Personenvervoer



Figuur I.10 Driedimensionale weergave van mediane ultrafijn stof functiegroep 9: Main contractors - Actief op de VOP



Figuur I.11 Driedimensionale weergave van met mediane ultrafijn stofblootstelling functiegroep 10: Main contractors - Actief niet op de VOP

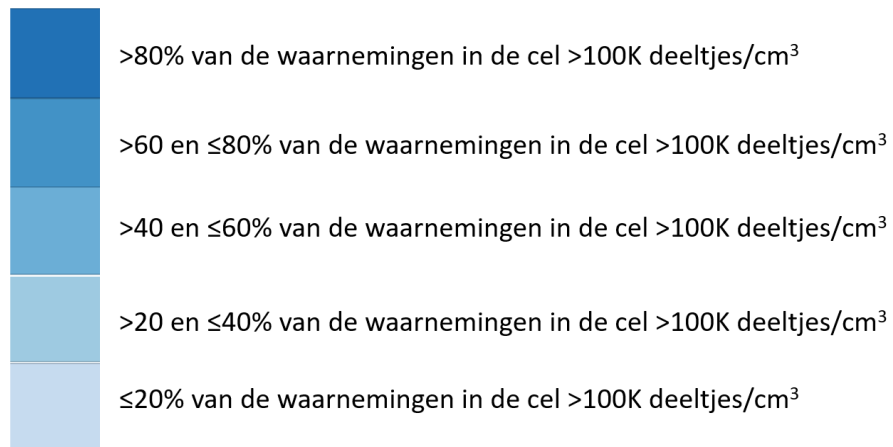




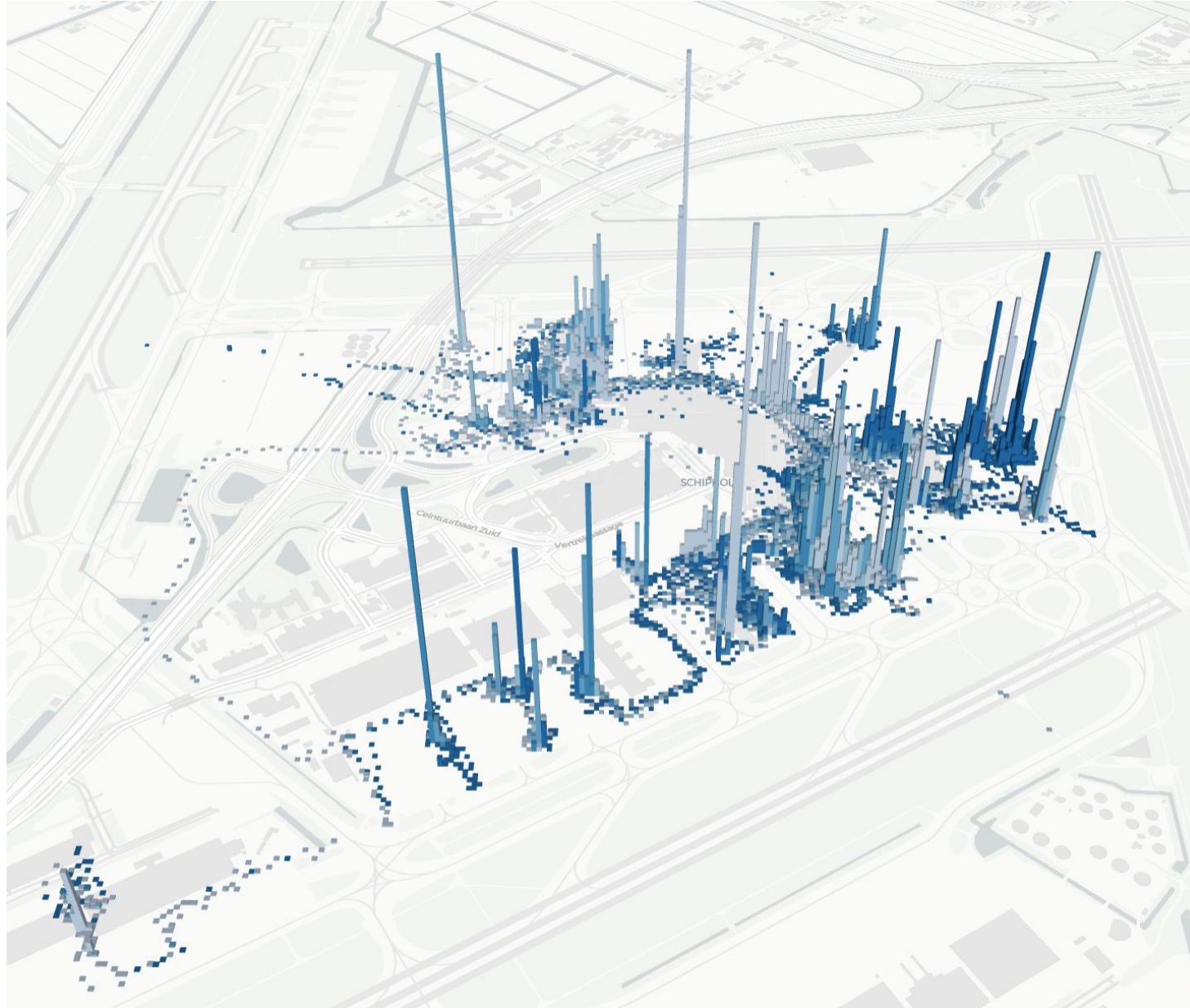
## Bijlage II Driedimensionale weergave percentage waarnemingen >100K deeltjes/cm<sup>3</sup> per functiegroep

Figuur II.1 t/m II.10 zijn driedimensionale weergaven van het percentage waarnemingen van aantallen ultrafijn stof deeltjes boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup>, weergegeven per cel van circa 10 bij 10 meter.

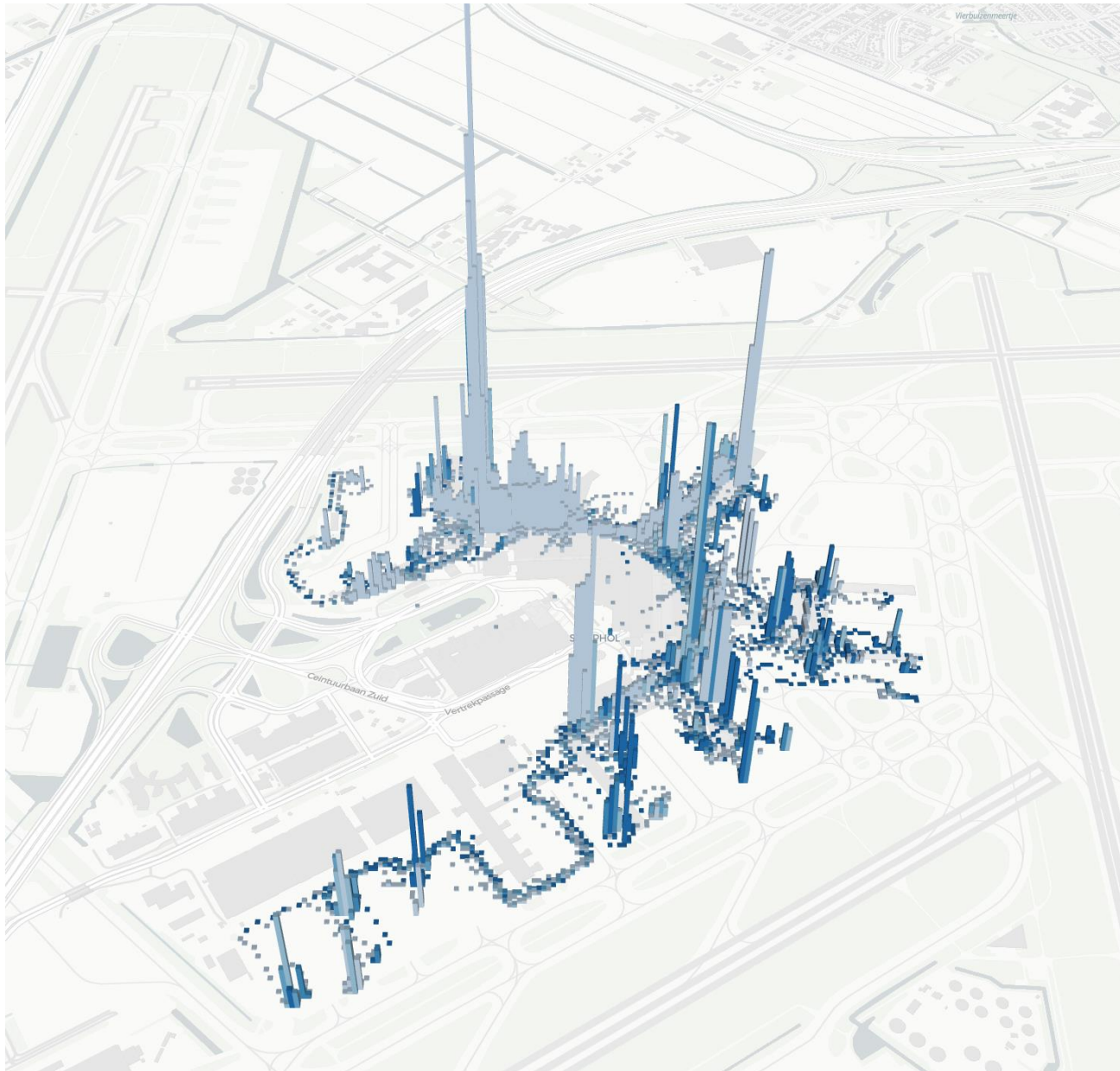
Legenda voor Figuur II.1 t/m II.10:



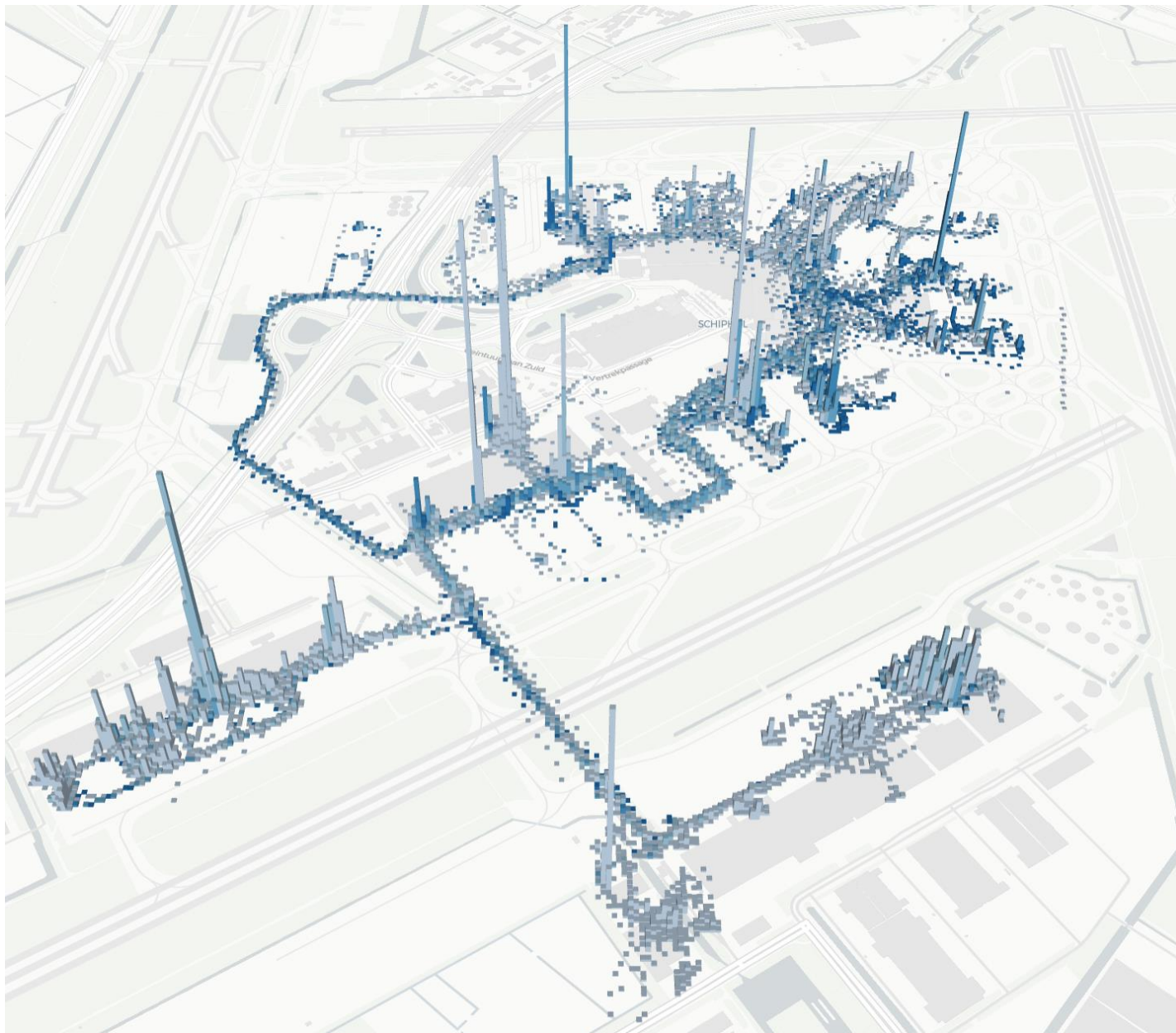
Figuur II.1 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 1: VOP - Passagiers



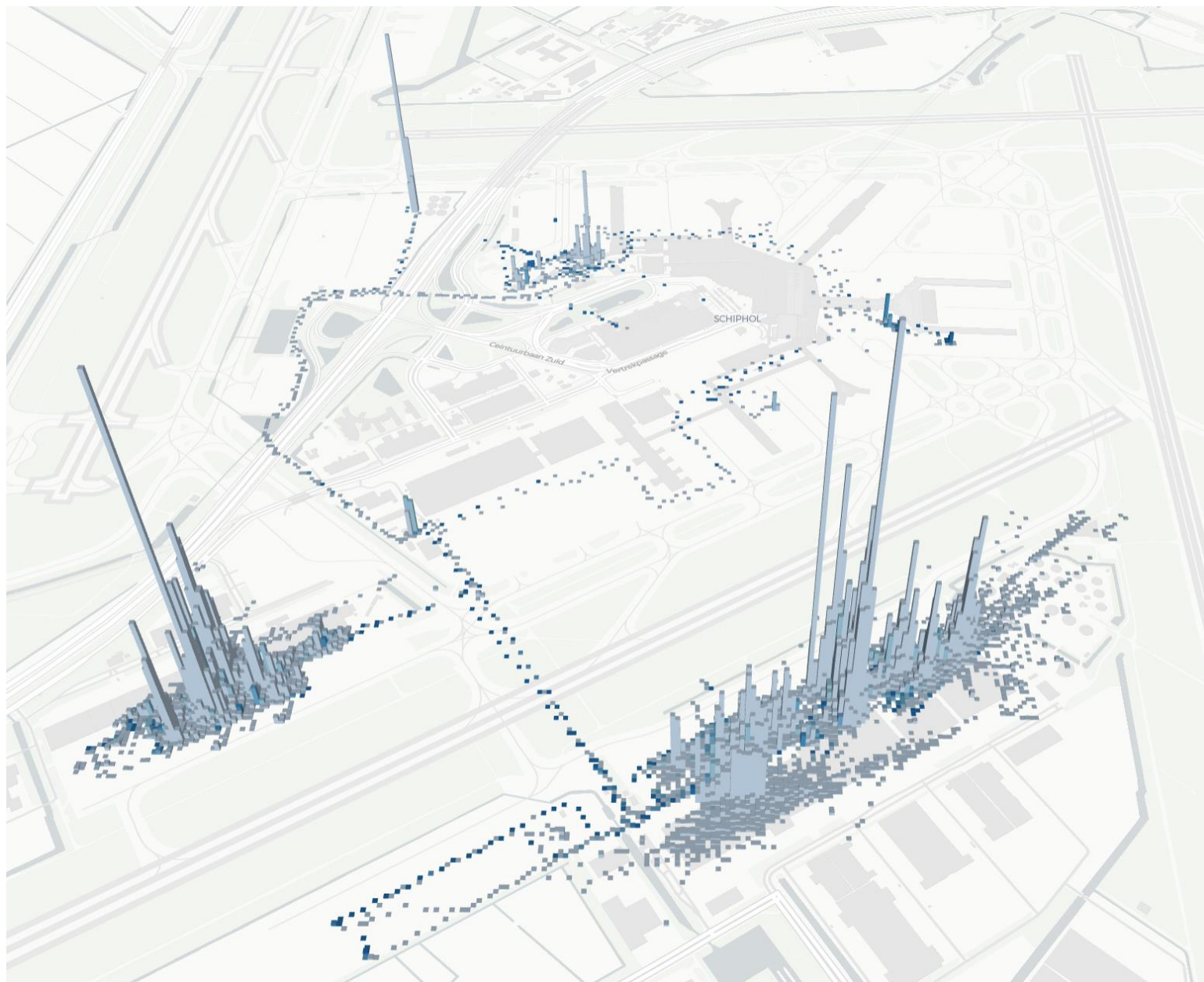
Figuur II.2 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 2: Transport Bagage - Passagiers



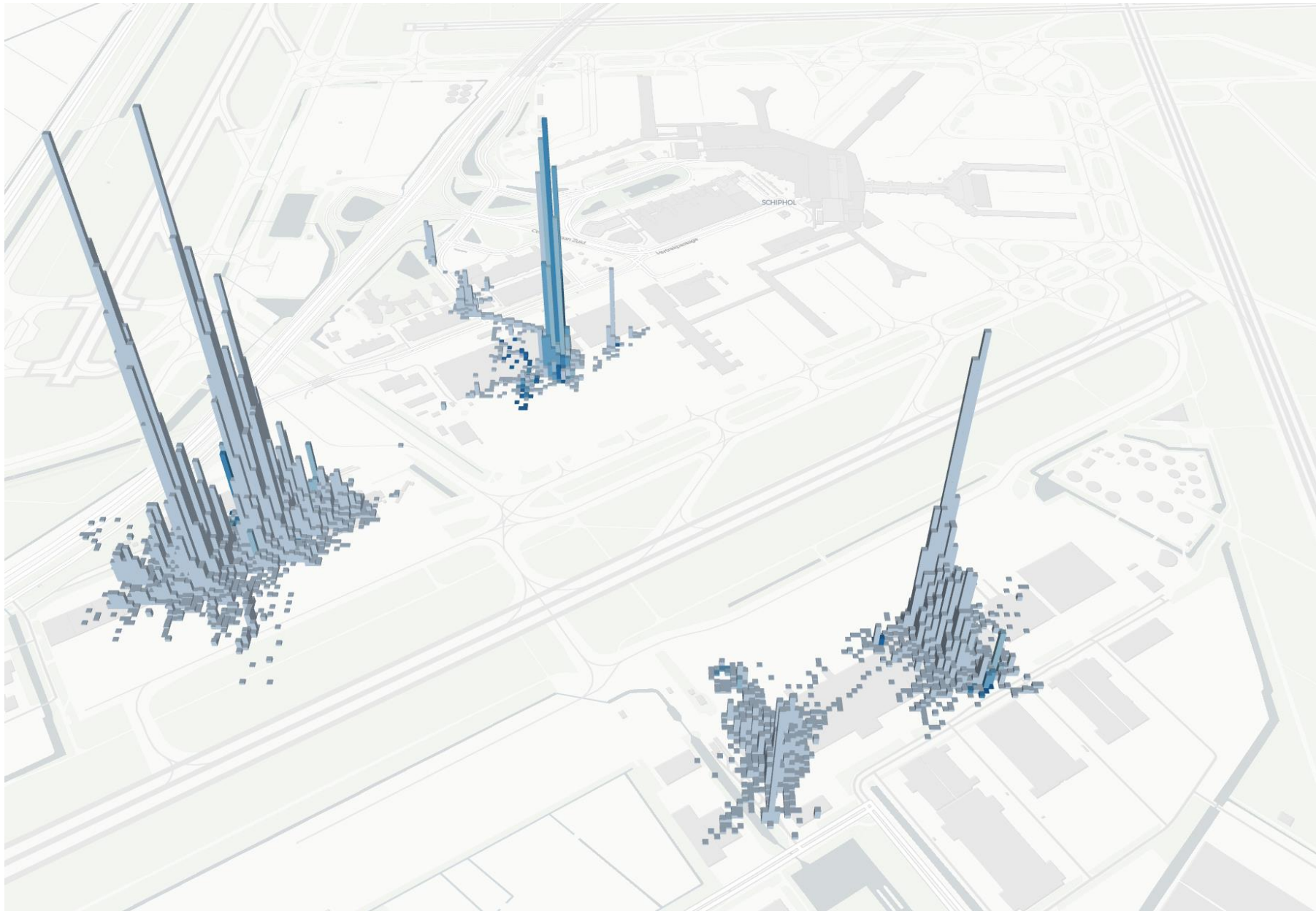
Figuur II.3 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 3: Transport - Cargo



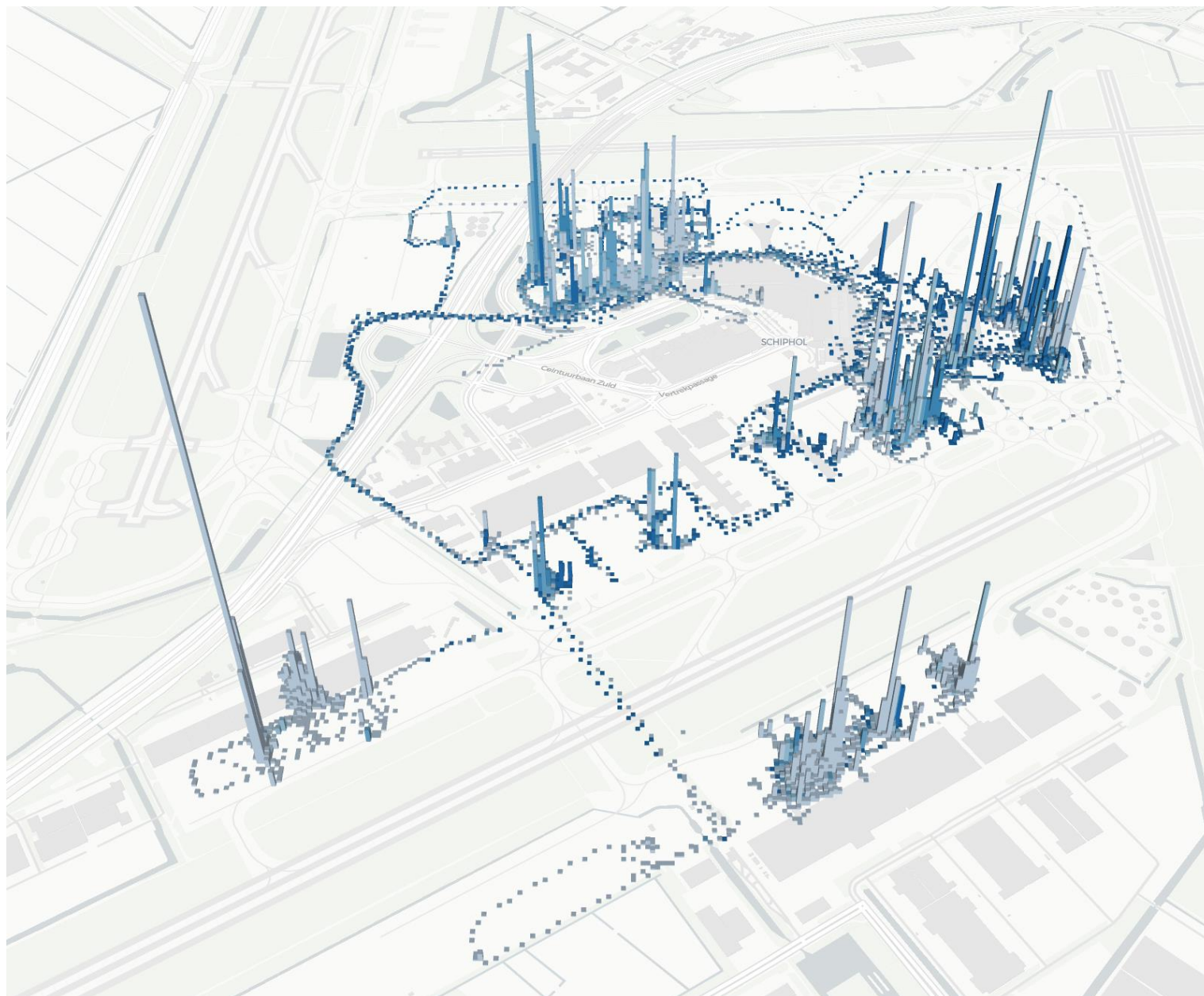
Figuur II.4 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 4: VOP - Cargo



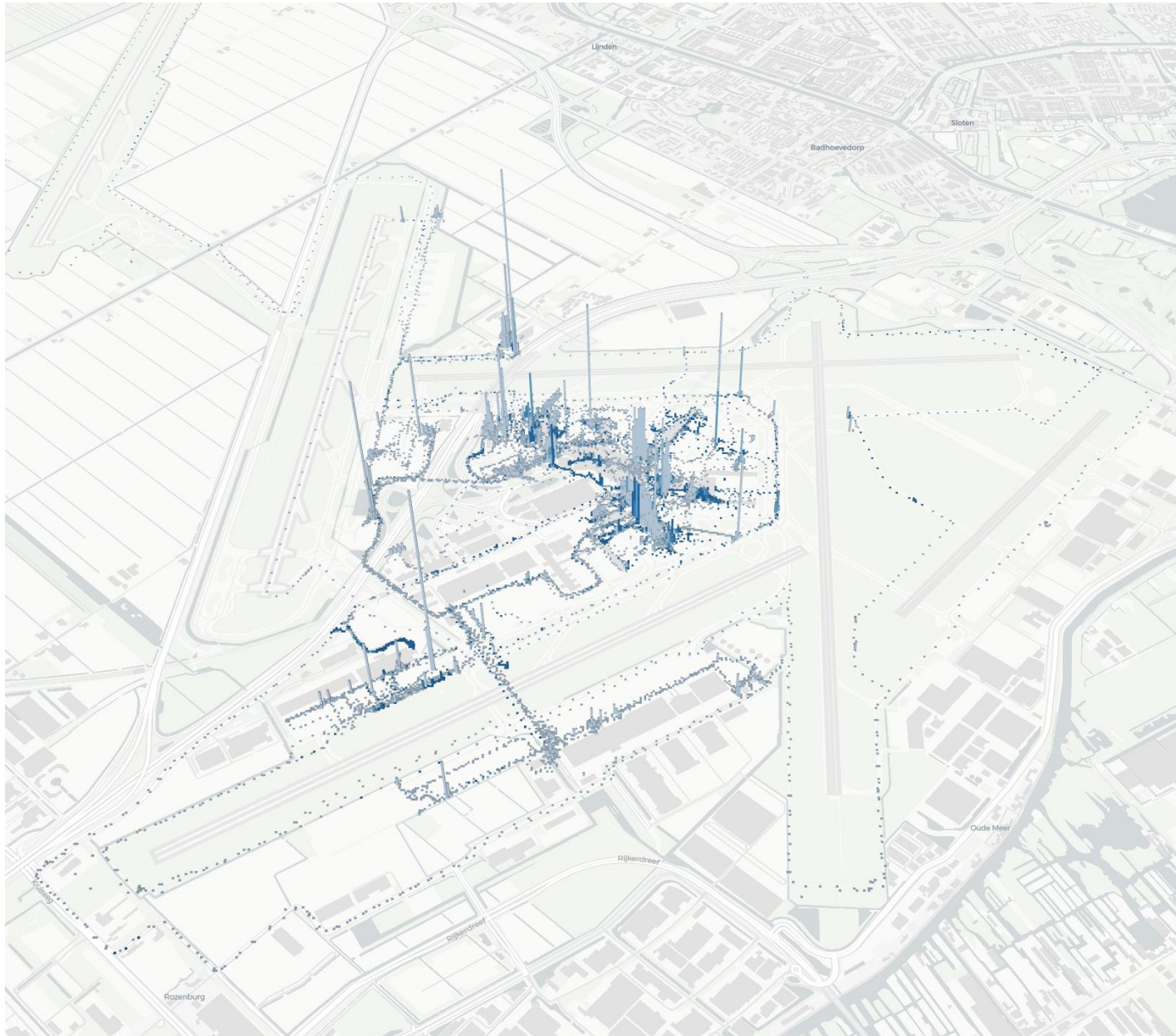
Figuur II.5 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 5: In/rond loods - Cargo



Figuur II.6 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 6: Pushback/sleper

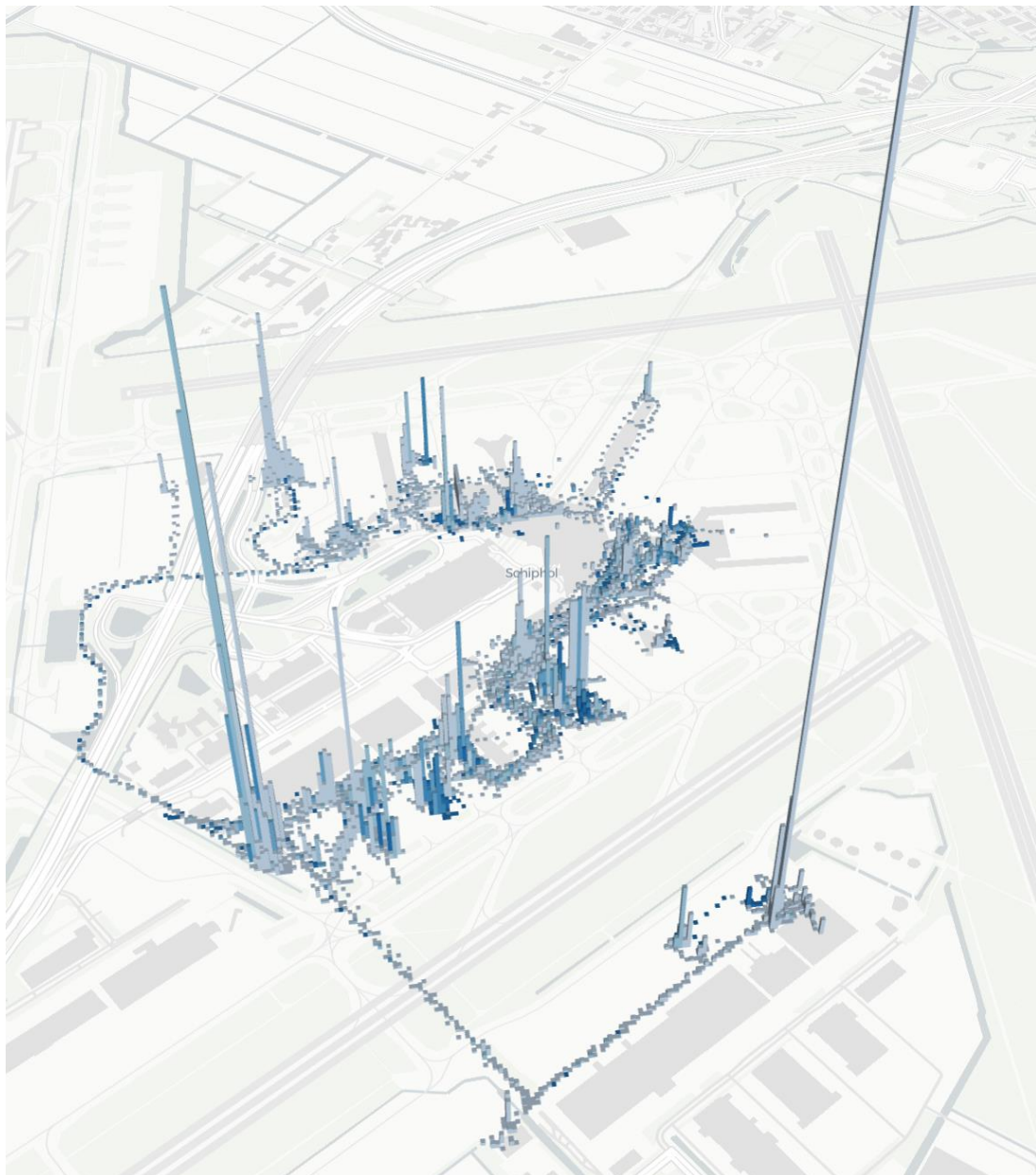


Figuur II.7 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 7: Niet locatie gebonden werkzaamheden

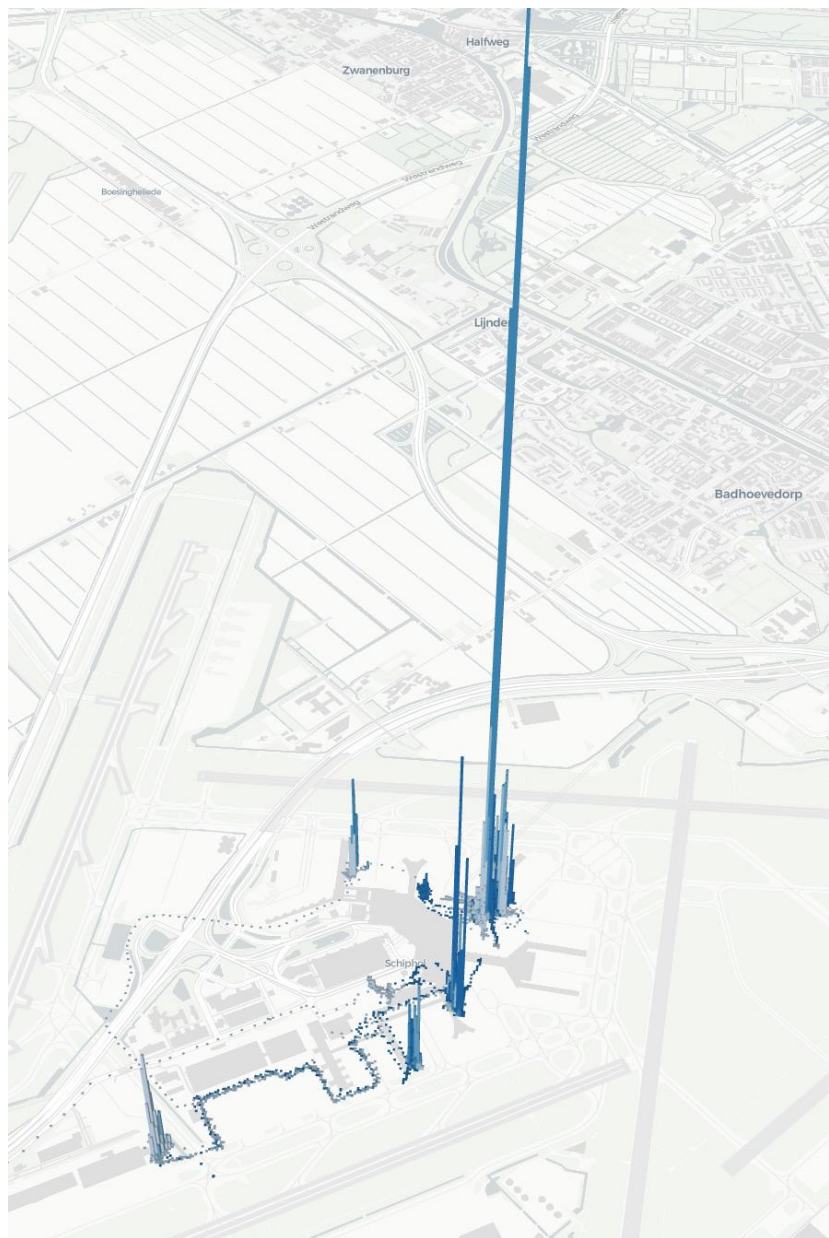




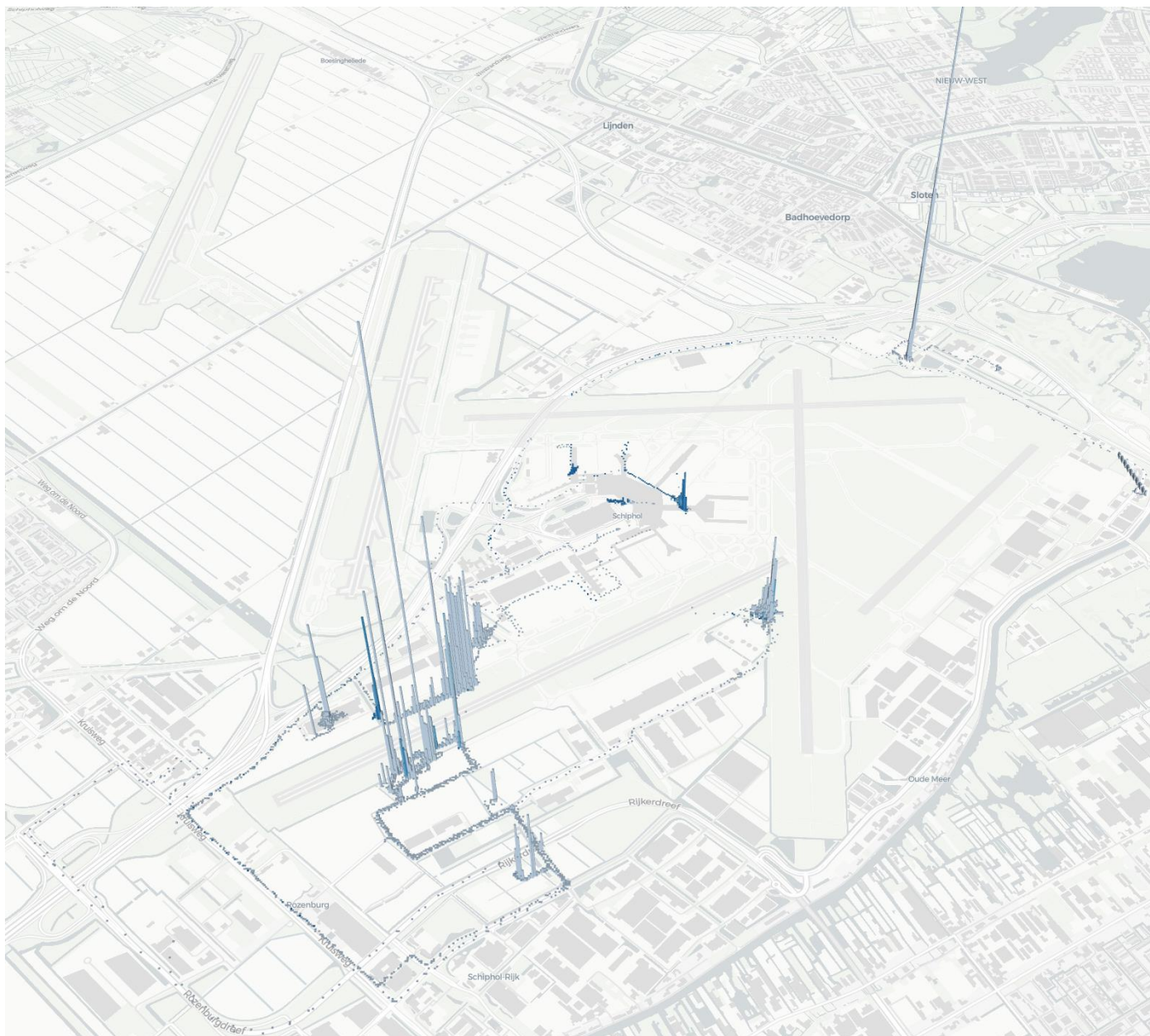
Figuur II.8 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 8: Personenvervoer



Figuur II.9 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 9: Main contractors - Actief op de VOP



Figuur II.10 Driedimensionale weergave van percentage waarnemingen per cel boven de 100K deeltjes/cm<sup>3</sup> - functiegroep 10: Main contractors - Actief niet op de VOP





IRAS 2024

Eindrapport d.d. 8 april 2024

ISBN/EAN: 978-90-393-7677-5

Universiteit Utrecht

Institute for Risk Assessment Sciences



Universiteit  
Utrecht