

**Circular Economy &
Environment**

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

TNO-rapport**R11315****Concentraties ultrafijnstof op het platform van
Eindhoven Airport**

Datum	19 september 2022
Auteur(s)	D. van Dinther, M.M. Moerman, J.P. Lollinga, L.B. van Doorn, T.J. Korstanje
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	27 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Eindhoven Airport
Projectnaam	UFP Eindhoven Airport
Projectnummer	060.51026

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2022 TNO

Samenvatting

Ultrafijnstof (UFP) is een verzamelnaam voor deeltjes met een diameter kleiner dan 100 nm. Door een mogelijk nadelig effect op de gezondheid is er de laatste jaren toenemende aandacht voor UFP. Tevens is bekend dat UFP wordt geëmitteerd door vliegtuigen (onder andere Hu *et al.*, 2009). Doel van dit onderzoek is te onderzoeken welke UFP-concentraties op Eindhoven Airport op de platforms voorkomen. Dit om een indicatie te krijgen aan welke UFP-concentraties medewerkers blootgesteld kunnen worden. Het betreft hierbij een indicatie, daadwerkelijk blootstellingsonderzoek waarbij medewerkers tijdens werkzaamheden gevolgd worden is *niet* uitgevoerd.

Ten behoeve van dit onderzoek zijn twee meetlocaties ingericht waar de UFP-concentratie gedurende één maand gemeten is (van 7 april 2022 tot en met 9 mei 2022). De meetlocaties (genaamd LIMA-1 en LIMA-2) zijn ingericht tussen de platforms waar vliegtuigen opgesteld staan nabij de taxibaan richting de startbaan. De verwachting is dat zich op deze locaties de hoogste UFP-concentraties voordoen (worst case). Op de meest noordelijk meetlocatie (LIMA-1) werd naast de UFP-concentratie ook roet gemeten volgens een worst-case benadering met op deze locatie naar verwachting de hoogste roetconcentraties.

De UFP-concentraties zijn zeer sterk verhoogd wanneer de wind vanaf de platforms en startbaan naar de opstellingen waait (zuidwesten – noordwesten wind). De concentraties lopen op tot enkele miljoenen deeltjes per cm^3 . De hoogste UFP-concentraties werden gemeten bij harde wind, vermoedelijk veroorzaakt door het feit dat de geëmitteerde pluim zich sneller verplaatst naar de meetopstelling en er weinig tijd is voor ruimtelijke verspreiding (en verdunning) van de pluim. Op LIMA-2 werd gemiddeld $76.000 \# \text{cm}^{-3}$ gemeten ten opzichte van $33.000 \# \text{cm}^{-3}$ op LIMA-1 (zie Tabel 1). Dit wordt mede veroorzaakt doordat LIMA-2 centraler ligt op de platforms waardoor ook bij noordenwind hogere UFP-concentraties gemeten worden (terwijl tegelijkertijd op LIMA-1 vanwege de ligging geen duidelijk UFP verhoging zichtbaar is). Het lopend 8-uurlijks gemiddelde laat UFP concentraties zien oplopend tot 450.000 (LIMA-2) en 250.000 (LIMA-1) $\# \text{cm}^{-3}$, waarbij dit gemiddelde mogelijk onderschat is vanwege beperkingen van de meetapparatuur (vanwege piekconcentraties boven het maximum meetbereik van de apparatuur). De dagelijkse gang laat zien dat de UFP-concentratie in de ochtend snel oploopt met een maximum rond 8 uur 's ochtends. Ook aan het eind van de middag is er een piek te zien, waarna de UFP-concentratie in de avond langzaam afneemt. Het patroon in UFP komt overeen met het patroon van het totaal aantal vluchten (start en landingen samen).

De roetconcentratie gemeten op Eindhoven Airport is vergelijkbaar met die op een verkeersbelaste locatie in Eindhoven aan de Noord Brabantlaan. Uit de tijdreeks valt op te maken dat de roetconcentratie regelmatig hetzelfde patroon volgt als de gemeten UFP-concentratie. Een strikt onderscheid tussen UFP vanuit vliegverkeer en andere bronnen is op basis van roet lastig te maken. Hoewel een één op één vergelijking met de UFP-concentratiemetingen op Schiphol Airport van Tromp *et al.* (2021) niet zonder meer te maken is vanwege een andere meetopzet, is het algemene beeld dat de UFP-concentraties op Eindhoven Airport over het algemeen lager zijn dan op Schiphol Airport (met een factor 1,5 tot 4).

Concluderend kunnen we stellen dat de UFP-concentraties sterk verhoogd zijn op de platforms op Eindhoven Airport, het meest op LIMA-2. De 8-uursgemiddelde waarden variëren van 5.000 tot 450.000 # cm⁻³, en liggen voor een belangrijk deel boven de tijdelijke nano-referentiewaarde van 50.000 # cm⁻³ en de UFP-bedrijfs grenswaarde van 60.000 # cm⁻³ gehanteerd door Rijkswaterstaat. Om meer inzicht te krijgen in de UFP-concentraties waaraan werknemers werkelijk blootgesteld worden, wordt aangeraden persoonsgebonden metingen uit te voeren. Mitigerende maatregelen om de blootstelling van medewerkers aan UFP te reduceren zijn o.a. het wegslepen van vliegtuigen en het starten van motoren buiten de platforms en verdere elektrificatie van zowel verkeer als diesel-aangedreven apparatuur.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	5
2	Meetopzet	7
3	Resultaten	9
3.1	Ultrafijnstof	9
3.2	Roet	15
3.3	Gebeurtenissen met hoge UFP-concentraties	16
3.4	Vergelijking met Schiphol Airport.....	18
4	Conclusies.....	20
5	Aanbevelingen	22
6	Referenties	23
7	Ondertekening	25

Bijlage(n)

A UFP-concentratie en vliegtuigbewegingen in de nabijheid van het meetpunt

1 Inleiding

Ultrafijnstof (UFP) is een verzamelnaam voor deeltjes met een diameter onder de 100 nm. Doordat de massa van deze deeltjes zeer klein is wordt UFP uitgedrukt in aantal deeltjes per cm^3 ($\# \text{ cm}^{-3}$). Vanwege de zeer kleine afmetingen van UFP dringen deze zeer diep door in de longen en worden deze ook opgenomen in de bloedbaan (Gezondheidsraad 2021). Daarom zijn er zorgen over nadelige effecten op de gezondheid. De invloed van UFP op gezondheid is echter nog niet éénduidig vastgesteld. Zo heeft Ohlwein et al. (2019) tien verschillende studies naar gezondheidseffecten van UFP met elkaar vergeleken; hieruit kon géén eenduidig beeld worden vastgesteld van de effecten van UFP op de langere termijn. De Gezondheidsraad stelt wel dat er aanwijzingen zijn voor een vergroot risico op hart- en vaatandoeningen en voor een negatieve invloed op de groei van de foetus bij langdurige blootstelling aan UFP (Gezondheidsraad, 2021).

Op dit moment bestaan er voor UFP nog geen wettelijke normen waaraan voldaan moet worden. Dit komt mede doordat het effect op de gezondheid nog onvoldoende bekend is. Hierdoor is er door de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) op dit moment ook nog geen advies gegeven over veilige concentraties. In afwezigheid van gezondheidkundige grenswaarden, bieden de tijdelijke nano-referentiewaarden (Dekkers en de Heer, RIVM, 2010) richtwaarden voor blootstelling van werknemers. Op basis van de richtlijnen hierin is een tijdelijke nano-referentiewaarde van $40.000 \# \text{ cm}^{-3}$ te hanteren. Uitgaande van een achtergrondconcentratie van $10.000 \# \text{ cm}^{-3}$ komt dit op een daadwerkelijke richtwaarde van $50.000 \# \text{ cm}^{-3}$ uit. Een andere mogelijkheid is het opstellen van bedrijfsgrenswaarden. Veel bedrijven (waaronder Eindhoven Airport) hebben (nog) geen bedrijfsgrenswaarden opgesteld, maar Rijkswaterstaat heeft wel bedrijfsgrenswaarden afgeleid die dienen als richtgetal voor het toetsen van UFP-blootstelling, deze zijn voor een daggemiddelde (8-uur tijdgewogen gemiddelde) $60.000 \# \text{ cm}^{-3}$ en voor een weekgemiddelde $50.000 \# \text{ cm}^{-3}$ (Wander en Verbist, 2016).

In recente jaren is er steeds meer aandacht voor verhoogde UFP-concentraties op en rondom vliegvelden, zowel in het buitenland (onder andere Westerdahl et al., 2008 en Stacey 2019) als in Nederland (onder andere Keuken et al., 2015 en van Dinther et al., 2019a). In Nederland zijn met name de nodige onderzoeken uitgevoerd rond de grootste luchthaven Schiphol Airport (onder andere Keuken et al., 2015 en Tromp et al., 2021). Het RIVM is, in samenwerking met TNO, GGD Amsterdam en IRAS, een onderzoek gestart naar de gezondheidseffecten van UFP bij omwonenden rond Schiphol Airport (Janssen et al., 2022). Hiertoe zijn er UFP-metingen in de omgeving van Schiphol verricht, waarbij verhoogde UFP-concentraties werden waargenomen, ook op grotere afstand van de luchthaven (van Dinther et al., 2019a). In een recent uitgebracht rapport van het RIVM (Janssen et al., 2022) naar de gezondheidseffecten van ultrafijnstof van vliegverkeer rond Schiphol blijkt dat langdurige blootstelling een mogelijk effect heeft op het hart- en vaatstelsel. Ook heeft blootstelling aan ultrafijnstof bij zwangeren mogelijk een nadelig effect op de ontwikkeling van ongeboren kinderen. Verder vonden zij geen aanwijzingen dat langdurige blootstelling aan ultrafijnstof van vliegverkeer de oorzaak is van aandoeningen aan de luchtwegen. Wel kan een

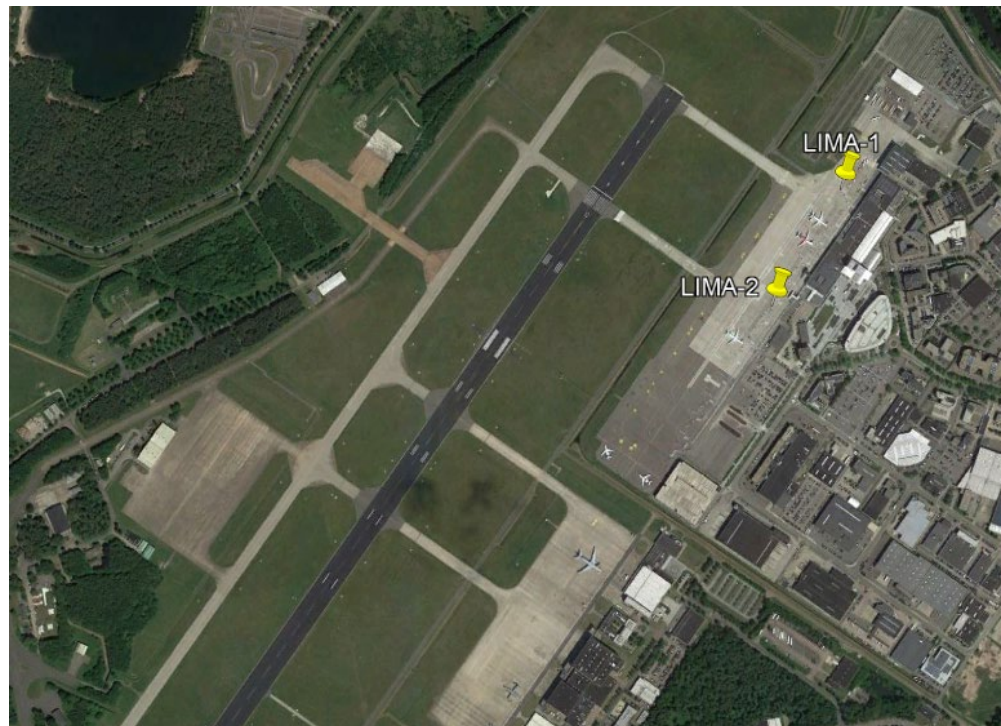
kortdurende blootstelling bestaande aandoeningen aan de luchtwegen verergeren (Janssen *et al.*, 2022).

Het grondpersoneel op Schiphol maakte geen onderdeel uit van het bovengenoemde onderzoek van het RIVM naar de gezondheidseffecten van ultrafijnstof. Het RIVM heeft de UFP-metingen in de omgeving gebruikt ter validatie van een rekenmodel om de UFP-concentratie rondom Schiphol te bepalen. Hierbij werd opgemerkt dat het rekenmodel niet in staat is de UFP-concentratie op de luchthaven zelf te berekenen (Voogt *et al.*, 2019). Door deze ontwikkelingen zijn er zorgen ontstaan bij het personeel op Schiphol Airport, wat ertoe heeft geleid dat er in 2021 een mobiele meetcampagne is uitgevoerd door TNO, waarbij de UFP-concentratie is gemeten op het terrein van Schiphol Airport (Tromp *et al.*, 2021). Deze studie toonde aan dat de gemeten UFP-concentraties op het vliegveld sterk kunnen variëren, afhankelijk van de specifieke locatie en tijdsperiode. De gemiddeld gemeten concentratie op de terminals en pieren bedroeg $100.000 - 120.000 \text{ \# cm}^{-3}$, echter, per dagdeel (6 uur) varieerde de concentratie van 10.000 tot meer dan $200.000 \text{ \# cm}^{-3}$. De hoogste UFP-concentraties werden daarbij in de ochtend en middag gemeten; dit was gerelateerd aan het hoge aantal vliegbewegingen in die periodes. Kortstondig zijn piekconcentraties opgetreden van meer dan $500.000 \text{ \# cm}^{-3}$. Deze pieken worden in verband gebracht met zogenaamde 'jet blast events' van vliegtuigen en zijn het gevolg van het opstarten van vliegtuigmotoren nabij de pieren en terminals en van taxiënde en opstijgende vliegtuigen op en langs start- en landingsbanen

Eindhoven Airport heeft TNO gevraagd onderzoek uit te voeren naar de UFP-concentraties op de platforms van de luchthaven in Eindhoven. Uitgangspunt hierbij is meer inzicht te krijgen in de UFP-concentratieniveaus waaraan werknemers mogelijk blootgesteld worden. Belangrijk is om te vermelden dat het hierbij *niet* gaat om daadwerkelijke blootstellingsmetingen. Om dat in kaart te brengen moeten medewerkers tijdens werkzaamheden gevolgd worden, wat geen onderdeel was van deze studie. Aangezien Eindhoven Airport qua omvang veel compacter is dan Schiphol Airport, waren mobiele metingen zoals op Schiphol niet noodzakelijk, en kon worden volstaan met stationaire metingen op vaste meetpunten. De meetlocaties zijn ingericht op of nabij plaatsen waar de hoogste UFP-concentraties werden verwacht: de platforms waar vliegtuigen hun motoren starten en locaties waar vliegtuigen langskomen bij het taxiën naar de startbaan (zogenaamde intersecties). Het meten van de UFP-concentraties op een stationaire locatie heeft als voordeel dat er tevens gekeken kan worden naar het concentratieverloop gedurende de dag.

2 Meetopzet

De meetstrategie is gebaseerd op vaste meetpunten met een realistische worst-case benadering; daar meten waar de hoogste UFP-concentratie verwacht wordt en waar medewerkers zich mogelijk begeven. Op basis hiervan was de meetapparatuur geplaatst op twee locaties op de platforms nabij de toegangsbanen naar de startbaan. De exacte locaties van de meetpunten LIMA-1 en LIMA-2 zijn weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Locaties van de twee meetpunten (LIMA-1 en LIMA-2) op Eindhoven Airport.

Op beide meetlocaties is gebruik gemaakt van een Environmental Particle Counter (EPC, type 3783 van TSI). Deze EPC meet het aantal deeltjes per cm^3 , met een grootte van 7 nm tot en met $3 \mu\text{m}^1$. Dit is dezelfde apparatuur die is gebruikt in eerdere studies naar UFP nabij en op vliegvelden (onder andere van Dinther *et al.*, 2019a en Tromp *et al.*, 2021). Naast de EPC, is op de locatie LIMA-1 ook de roetconcentratie gemeten met een aethalometer (type AE33 van Magee Scientific). Ook dit apparaat is voor eerdere studies gebruikt om de roetconcentratie te meten nabij en op vliegvelden (van Dinther *et al.*, 2019b en Tromp *et al.*, 2021). De aethalometer meet de optische absorptie van deeltjes, waarbij de gebruikte golflengte van 880 nm overeenkomt met black carbon (roet). De roetconcentratie wordt gemeten in $\mu\text{g m}^{-3}$.

¹ Deze bovengrens is hoger dan de 100 nm welke als bovengrens voor UFP deeltjes wordt gehanteerd. De bijdrage van het aantal deeltjes boven de 100 nm op de gemeten deeltjesaantallen is echter klein. Waardoor de EPC geschikt is voor het meten van UFP.

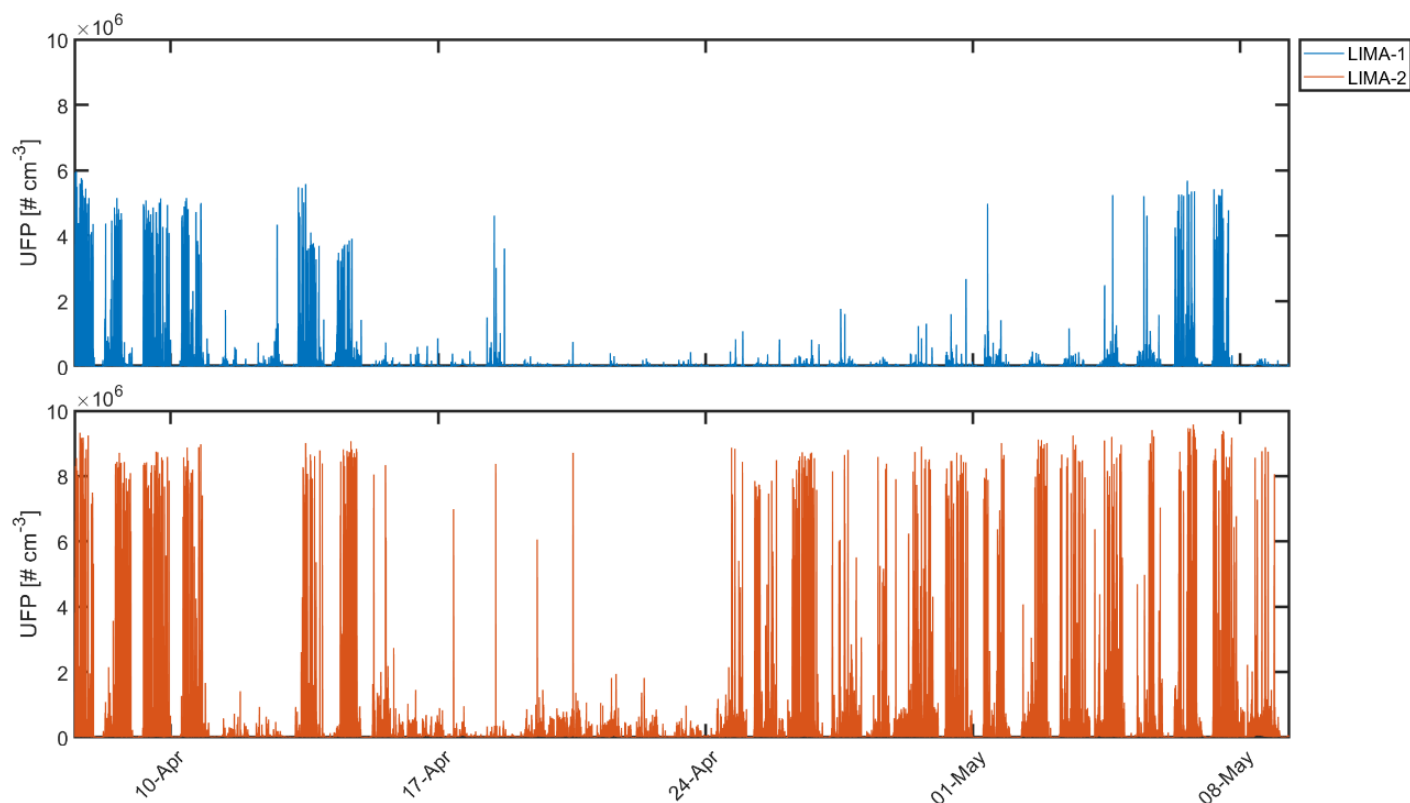
De metingen zijn uitgevoerd van 7 april 2022 tot en met 9 mei 2022. Tijdens deze meetperiode heeft twee maal onderhoud plaatsgevonden, op 13 en 25 april 2022, waarbij de apparatuur is gereinigd en gecontroleerd op goed functioneren. Alle data, zowel van de EPCs als de aethalometer, zijn verzameld op 1 seconde basis. Van de aethalometer is bekend dat er bij een tijdsresolutie van 1 seconde ruis aanwezig is in het signaal. Daarom is van de metingen van de aethalometer een 10 seconde lopend gemiddelde genomen bij de dataverwerking. Na afloop van de meetcampagne zijn alle data op kwaliteit gecontroleerd; hierbij bleek meer dan 99% van de meetdata van voldoende kwaliteit te zijn. De meteorologische omstandigheden zijn niet door TNO zelf bemeten. Hiervoor werden de gegevens van het KNMI gebruikt op het weerstation Eindhoven. Dit weerstation is gelegen op slechts circa 2 km van Eindhoven Airport (locatie 51.45N, 5.4167E). De meethoogte op dit KNMI station is circa 22 m. De data is beschikbaar op 1 uur tijdsbasis. De roetconcentraties van de Aethalometer zijn vergeleken met de gemeten concentraties op het meetstation in Eindhoven (met stationscode NL10237), als onderdeel van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Deze metingen vinden plaats op 1-uursbasis aan de Noord Brabantlaan. Binnen het LML netwerk wordt deze locatie geclassificeerd als een stad verkeerstation.

3 Resultaten

3.1 Ultrafijnstof

3.1.1 Gemeten concentraties

In Figuur 2 is de tijdreeks weergegeven van de gemeten UFP-concentraties op Eindhoven Airport; het gaat hierbij om 1 seconde UFP-concentraties. Het is duidelijk dat gedurende de meetperiode UFP-concentraties enorm fluctueren met pieken rond de 8 miljoen $\# \text{ cm}^{-3}$. Deze zeer hoge pieken worden waargenomen gedurende een kort tijdsbestek van typisch enkele tientallen seconden. In de productspecificatie van de apparatuur wordt een meetbereik opgegeven tot maximaal 1 miljoen $\# \text{ cm}^{-3}$; de gemeten piekconcentraties vallen buiten dit meetbereik waardoor er mogelijk sprake is van een meetfout. Daarnaast blijkt uit een nadere analyse van de data dat de gemeten concentraties verzadigd raken bij circa 3 en 9 miljoen $\# \text{ cm}^{-3}$, afhankelijk van de apparatuur en moment van meten. We spreken van verzadiging wanneer het voor de EPC niet mogelijk is de afzonderlijke deeltjes te tellen, omdat er te veel deeltjes tegelijkertijd langskomen. Dit betekent dat de daadwerkelijke piekconcentraties waarschijnlijk nog hoger liggen. Er zijn dagen waar de UFP-concentraties duidelijk lager liggen dan op andere dagen, dit geldt vooral voor de dagen 12 en 13 april en de periode tussen 16 en 24 april. Dit hangt waarschijnlijk samen met de meteorologische condities op die dagen, hieronder wordt hier in meer detail op ingegaan.



Figuur 2: Tijdreeks van de UFP-concentratie op 1 s basis, gedurende de gehele meetperiode op Eindhoven Airport.

De statistiek van de UFP-concentraties is weergegeven in Tabel 1. Hierin is duidelijk zichtbaar dat in de meetperiode van 7 april tot en met 9 mei 2022 op locatie LIMA-2 hogere UFP-concentraties zijn gemeten dan op LIMA-1; de gemiddelde concentratie op LIMA-2 (76.000 # cm⁻³) is ruim twee keer zo hoog dan op LIMA-1 (33.000 # cm⁻³). Op beide locaties is de standaard deviatie² heel hoog en is de middelste waarde (mediaan) veel lager dan het rekenkundig gemiddelde. Het 10e percentiel kan gezien worden als een achtergrondniveau dat voorkomt op de locatie. De 90e percentiel waarde geeft goed inzicht in voorkomende hoge (piek) concentraties. Deze percentiel waarden geven aan dat 10% van het aantal meetpunten onder (het 10e percentiel) en boven (het 90e percentiel) deze waarde uitkomt.

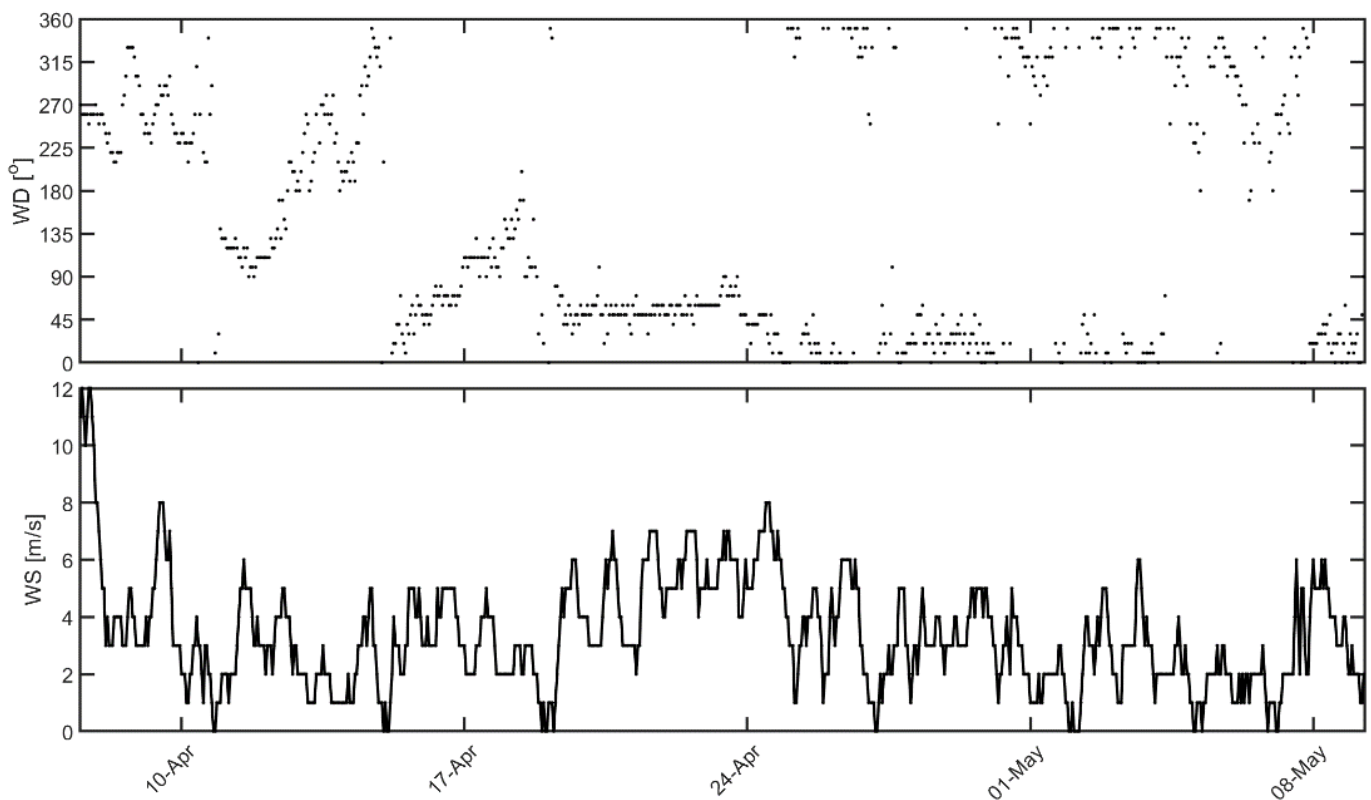
Tabel 1: Statistiek van de gemeten UFP-concentraties (in # cm⁻³) in de meetperiode van 7 april tot en met 9 mei 2022 voor de meetlocaties LIMA-1 en LIMA-2.

Locatie	Rekenkundig gemiddelde	Standaard deviatie	Mediaan	10e percentiel	90e percentiel
LIMA-1	33.000	151.000	11.000	5.000	38.000
LIMA-2	76.000	389.000	15.000	6.000	111.000

3.1.2 *Invloed van wind*

De windrichting (WD) en windsnelheid (WS) tijdens de meetperiode, gemeten door het KNMI, zijn weergegeven in Figuur 3. Gedurende de meetperiode zijn verschillende windrichtingen bemeten. Voor de dagen 12 en 13 april en de periode 16 april tot 24 april, waar de UFP-concentraties veel lager zijn dan andere meetdagen, komt de wind vanuit de hoek noordoost tot zuid (45-180°). Bij deze windhoek bevinden beide meetlocaties zich bovenwinds van de vliegtuigen (met andere woorden: de wind staat van het meetpunt richting de vliegtuigen); de UFP emissies verspreiden zich dan niet in de richting van de meetpunten. De windsnelheid is tijdens de meetperiode over het algemeen matig tot laag (<6 m/s), gezien de door het KNMI op dit meetpunt gekozen meethoogte van 22 meter. Lagere windsnelheden zorgen voor minder menging (oftewel er vindt minder verdunning plaats), waardoor concentraties van luchtverontreinigingen over het algemeen langere tijd verhoogd blijven. De metingen op Eindhoven Airport vinden echter zeer dichtbij de bron plaats waardoor met name pluimverspreiding een rol speelt. Bij hoge windsnelheid zal de pluim zeer smal blijven, waardoor de concentratie in het centrum van de pluim hoog zal blijven.

² Een maat voor de spreiding in de metingen.



Figuur 3: Tijdreeks van de KNMI wind data in Eindhoven (1 uur basis), met boven windrichting (WD, 0° en 360° = noordenwind, 90° = oostenwind, 180° = zuidenwind en 270° = westenwind) en onder windsnelheid (WS).

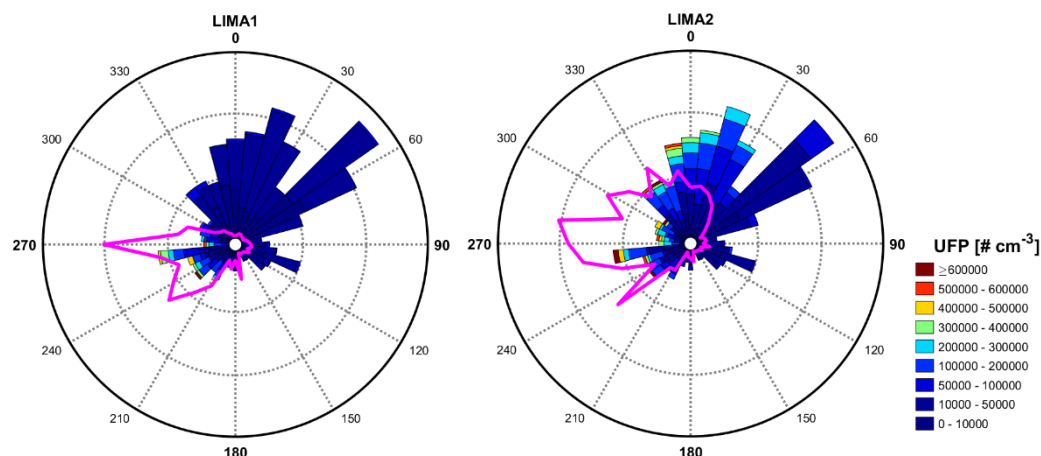
Een andere manier om te kijken naar de windafhankelijkheid van de UFP-concentraties is door windrozen te maken. In Figuur 4 zijn windrozen gemaakt op basis van uurwaarden, bijbehorende statistiek is zichtbaar in Tabel 2.

Windroos uitleg

Een windroos maakt inzichtelijk welke concentratieniveaus (in ons geval van UFP) gemeten worden gegeven een bepaalde windrichting. De volgende informatie wordt in een windroos weergegeven:

- Hoe vaak bepaalde windrichtingen tijdens de metingen voorkwamen. Dit wordt weergegeven doormiddel van de lengte van het staafje (hoe vaker voorkomend hoe langer).
- Welke concentraties van een bepaalde grootheid worden gemeten gegeven een bepaalde windrichting. Dit wordt weergegeven door middel van kleuren, hierbij geldt ook hoe langer het staafje van een bepaalde kleur hoe vaker voorkomend.

Hiernaast wordt in de windroos de gemiddelde UFP-concentratie per windrichting aangegeven in magenta.



Figuur 4: Windroos van de UFP-concentratie voor LIMA-1 (links) en LIMA-2 (rechts), met in kleur de histogram en in magenta overlay de gemiddelde UFP-concentratie.

Wat opvalt in Figuur 4 voor LIMA-1 is dat er met name een verhoging in de UFP-concentratie gemeten wordt met wind vanuit het westen en zuidwesten. Dit is in de richting van de startbaan en opstelplaatsen van de vliegtuigen (zie Figuur 1). Bij de overige windrichtingen worden geen sterk verhoogde UFP-concentraties gemeten (allen beneden de 50.000 # cm^{-3})³. Ook vanuit het noorden, waar wegverkeer een mogelijke bron is van UFP (zowel van de A2 als richting en op de luchthaven zelf, hier valt geen onderscheid in te maken), worden geen duidelijke verhogingen gezien op uurbasis. Op LIMA-2 worden de hoogste UFP-concentraties gemeten vanuit de windhoek west tot noord. Naast invloed van de startbaan spelen hier ook de opstelplaatsen van vliegtuigen en de taxibaan richting de startbaan een rol.

Tabel 2: Statistiek van de gemeten UFP-concentraties (in # cm^{-3}) op basis van de 1 uursgemiddeldes in de meetperiode van 7 april tot en met 9 mei 2022 voor de meetlocaties LIMA-1 en LIMA-2 gegeven de windkwadranten noordoost ($WD < 90^\circ$), zuidoost ($90^\circ \leq WD < 180^\circ$), zuidwest ($180^\circ \leq WD < 270^\circ$) en noordwest ($WD \geq 270^\circ$).

Locatie	Wind kwadrant	Aantal metingen	Rekenkundig gemiddelde	Standaard deviatie	Mediaan	10e percentiel	90e percentiel
LIMA-1	Noordoost	350	15.000	10.000	13.000	6.000	26.000
	Zuidoost	90	22.000	20.000	17.000	9.000	37.000
	Zuidwest	122	89.000	123.000	37.000	6.000	244.000
	Noordwest	167	39.000	64.000	15.000	5.000	97.000
LIMA-2	Noordoost	350	57.000	61.000	34.000	11.000	133.000
	Zuidoost	90	21.000	19.000	18.000	10.000	31.000
	Zuidwest	122	100.000	211.000	33.000	7.000	190.000
	Noordwest	167	132.000	143.000	80.000	8.000	312.000

³ Deze 50.000 # cm^{-3} is vergelijkbaar met de 40.000 # cm^{-3} plus achtergrondwaarde gegeven in Dekkers en de Heer (2010) voor tijdelijke nano-referentiewaarden volgens het IFA-voorstel.

Aangezien uit de analyse blijkt dat de windrichting van invloed is op de UFP-concentratie is gekeken naar het voorkomen van een bepaalde windrichting in het verleden. Per windkwadrant⁴ is in Tabel 3 weergegeven hoe vaak deze windrichting in de afgelopen 10 jaar in Eindhoven is voorgekomen. Hierbij valt op dat de windrichting zuidwest verreweg het vaakst voorkomt (47% van de tijd). Dit is het windkwadrant waar de UFP concentratie voor LIMA-1 het sterkst verhoogd is (gemiddeld 89.000 # cm⁻³) en ook LIMA-2 hoog is (gemiddeld 100.000 # cm⁻³).

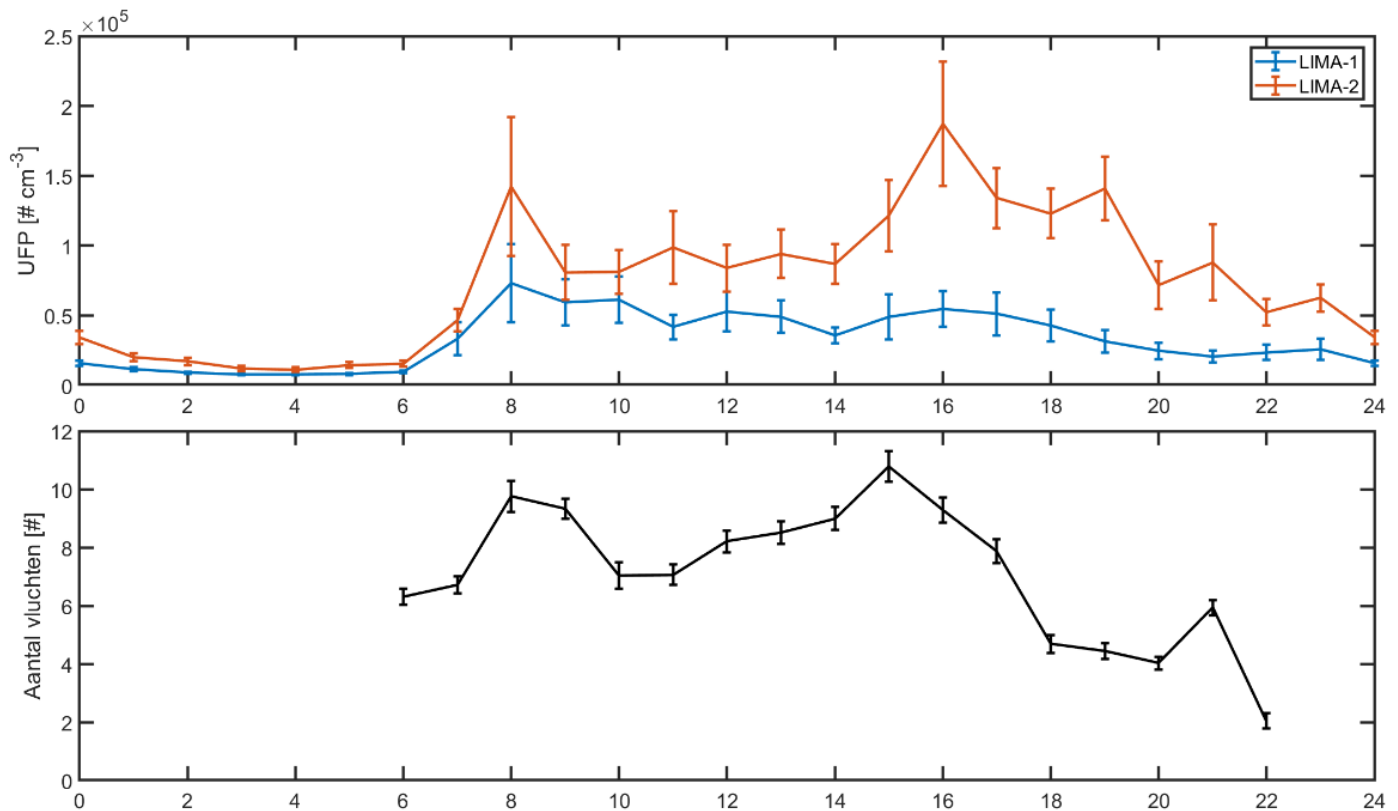
Tabel 3: Aantal maal en percentage van het voorkomen van windkwadranten op het KNMI station in Eindhoven van 2011 tot 2021.

Windkwadrant	Aantal Metingen	Percentage
Noordoost	15827	19
Zuidoost	15088	18
Zuidwest	39698	47
Noordwest	15827	19

3.1.3 *Dagelijkse gang*

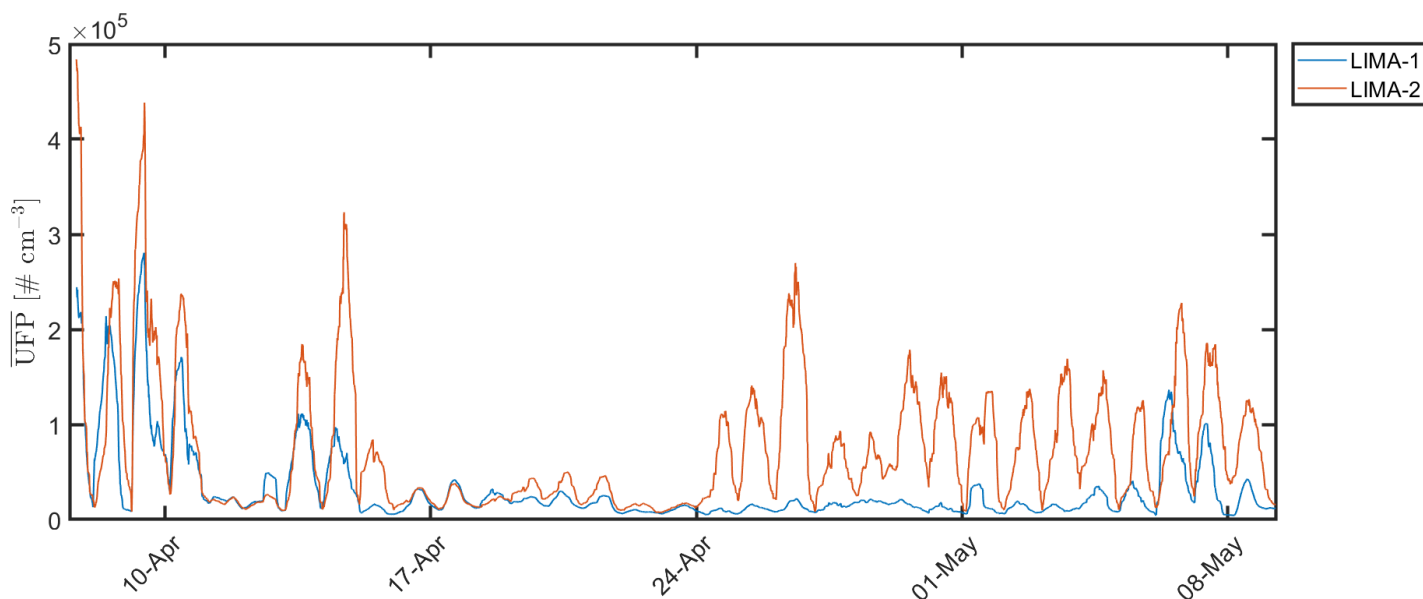
Om te kijken naar het verloop gedurende de dag is in Figuur 5 de dagelijkse gang van zowel UFP-concentratie als aantal vluchten op uurbasis weergegeven. Hierbij is per uur de gemiddelde UFP-concentratie en het totaal aantal vluchten weergegeven over de gehele meetperiode. In Figuur 5 is duidelijk zichtbaar dat de UFP-concentratie vanaf 6 uur 's ochtends oploopt (datapunt om 7 uur correspondeert met gemiddelde UFP-concentratie tussen 6 en 7 uur). Vanaf 19 uur in de avond begint de UFP-concentratie geleidelijk af te nemen. Dit patroon is het duidelijkst zichtbaar voor LIMA-2. Voor deze locatie zijn twee pieken zichtbaar: om 8 uur 's ochtends (corresponderend met data tussen 7 en 8 uur) en om 16 uur. In de ochtend valt dit ook samen met de piek in het aantal vluchten (gemiddeld 10 per uur voor deze meetperiode). In de middag is de piek in UFP één uur na de piek in vluchten (16 uur UFP piek en 15 uur piek in aantal vluchten). Het algehele patroon van de UFP-concentratie komt goed overeen met het patroon van het aantal vluchten. Wat wel opvalt is dat de UFP-concentratie iets achterloopt op het aantal vliegbewegingen en minder snel daalt. Dit komt waarschijnlijk doordat de UFP emissies deels blijven hangen, mogelijk mede veroorzaakt door lagere windsnelheden en minder menging in de atmosfeer in de avond en nacht.

⁴ Windhoeken verdeeld in vier kwadranten. Met Noordoost tussen 0 en 90°, Zuidoost tussen 90 en 180°, Zuidwest tussen 180 en 270° en Noordwest tussen 270 en 360°.



Figuur 5: Dagelijkse gang van UFP-concentratie (boven) en aantal vluchten (onder) op 1 uur basis inclusief foutmarge op Eindhoven Airport.

Grenswaarden voor bedrijven worden meestal opgesteld op 8-uurs-basis. In Figuur 6 is daarom het 8-uurs lopende gemiddelde weergegeven. Hierbij moet opgemerkt worden dat de daadwerkelijke 8-uurs lopende gemiddelden mogelijk hoger liggen, gezien de verzadiging van de meetapparatuur beschreven in hoofdstuk 3.1.1.. Voor deze meetperiode ligt de maximale 8-uurs tijd gewogen gemiddelde (8-uurs TGG) UFP-concentratie op LIMA-2 tot 450.000 # cm⁻³ en voor LIMA-1 tot 250.000 # cm⁻³, en de minimale waarden op 5.000 (LIMA-1) en 10.000 # cm⁻³ (LIMA-2). Wanneer er specifiek gekeken wordt naar het 8-uurs tijdsblok tussen 9 en 17 uur ligt deze voor LIMA-1 en LIMA-2 respectievelijk 19% en 63% van de tijd boven de 60.000 # cm⁻³. Tot 24 april zijn de patronen van LIMA-1 en LIMA-2 vergelijkbaar (ook al worden er op LIMA-2 overwegend hogere UFP-concentraties gemeten). Van 24 april tot ongeveer 4 mei is er op LIMA-2 meer variatie in UFP dan op LIMA-1. Dit wordt veroorzaakt door de windrichting, die voor deze tweede periode overwegend uit het noordoosten komt. Bij noordoostenwind wordt lucht vanaf de platforms S1 tot en met S6 richting LIMA-2 geblazen, terwijl voor LIMA-1 er geen platforms ten noordoosten liggen.



Figuur 6: Tijdreeks van UFP-concentraties voor het 8-uurs lopende gemiddelde op Eindhoven Airport.

3.1.4 Effect van vliegbasis Eindhoven

Ten zuidwesten van de platform van Eindhoven Airport ligt het platform van vliegbasis Eindhoven. Door Defensie wordt gebruik gemaakt van dezelfde start- en landingsbaan van Eindhoven Airport. Ten tijde van het uitvoeren van de metingen op Eindhoven Airport zijn tegelijkertijd metingen uitgevoerd op het platform van vliegbasis Eindhoven. Eenzelfde meetstrategie is gevolgd als op Eindhoven Airport; inzetten van twee meetstations met een worst-case benadering.

Resultaten van de meetcampagne op vliegbasis Eindhoven zijn beschreven in van Dinther *et al.* (2022). In deze paragraaf gaan we kort in op mogelijk effecten op de UFP-concentraties van vliegbasis Eindhoven op Eindhoven Airport. De gevonden UFP-concentraties lagen op vliegbasis Eindhoven lager dan op Eindhoven Airport (met een factor 1.5 tot 3). Windroosanalyse liet zien dat op vliegbasis Eindhoven een verhoging in UFP zichtbaar is bij wind vanuit het noorden. Uit het zuidwesten, waar een verhoging zichtbaar is op Eindhoven Airport, is daar geen verhoging zichtbaar. Dit duidt erop dat vliegbasis Eindhoven geen grote bijdrage levert aan UFP concentraties op het platform van Eindhoven Airport. Andersom lijkt het wel het geval dat UFP uitgestoten op Eindhoven Airport de UFP-concentratie op vliegbasis Eindhoven verhoogt. Gezien het verschil in aantal vluchten tijdens de meetcampagne (circa 7 per uur op Eindhoven Airport en circa 1 per uur op vliegbasis Eindhoven) is dit ook verklaarbaar.

3.2 Roet

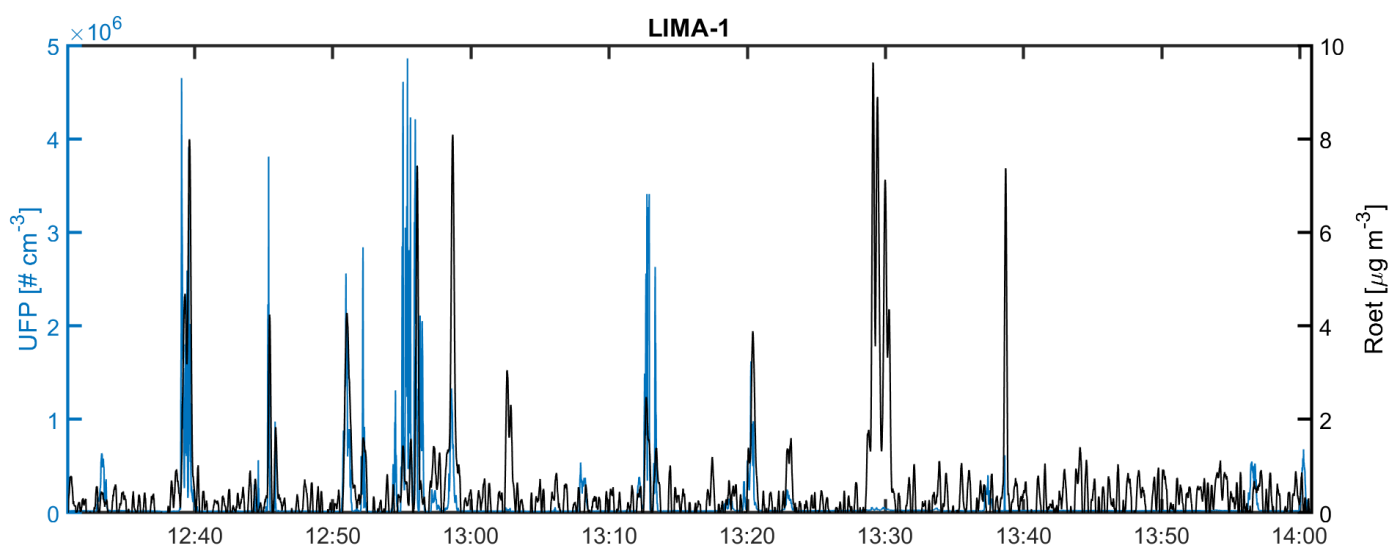
Naast UFP is bij LIMA-1 ook roet bemeten. De statistiek voor roet is zichtbaar in Tabel 4. Naast de roetconcentratie gemeten op Eindhoven Airport is ter vergelijking ook die van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML) station in Eindhoven toegevoegd (gelegen aan de Noord Brabantlaan). Bij het LML-station wordt op 1 uur-basis gemeten, terwijl op Eindhoven Airport het 10 seconde lopend gemiddelde berekend is. Voor de gemiddelde waarde heeft dit verschil in tijdsgemiddelde geen invloed. De standaard deviatie zal hoger zijn bij snellere metingen, evenals de 90e percentiel. De 10e percentiel zal juist lager uitvallen bij een hogere tijdsresolutie.

Wat opvalt is dat de roetconcentraties op Eindhoven Airport vergelijkbaar zijn met de verkeersbelaste LML locatie in Eindhoven.

Tabel 4: Statistiek van de gemeten roetconcentratie (allen in $\mu\text{g m}^{-3}$) voor LIMA-1 en LML-station.

Locatie	Gemiddeld	Standaard deviatie	Mediaan	10e percentiel	90e percentiel
LIMA-1	0,82	2,21	0,58	0,14	1,47
LML	0,95	0,72	0,80	0,40	1,55

In Figuur 7 staat een tijdreeks van zowel de UFP- als de roetconcentratie. Er zijn pieken waarbij met name alleen UFP verhoogd is en roet geen duidelijke piek laat zien; dit is het gevolg van emissies vanuit vliegtuigen. Aan de andere kant, zijn er piekconcentraties voor roet te zien zonder noemenswaardige verhogingen in de UFP-concentraties; dit is het gevolg van de emissies vanuit wegverkeer⁵ en diesel aangedreven apparatuur. Als de piekconcentraties voor UFP en roet overlappen is niet meteen duidelijk welke bronnen hiervoor verantwoordelijke zijn; het kan gaan om vliegtuigemissies en/of emissies vanuit wegverkeer en diesel-aangedreven apparatuur.



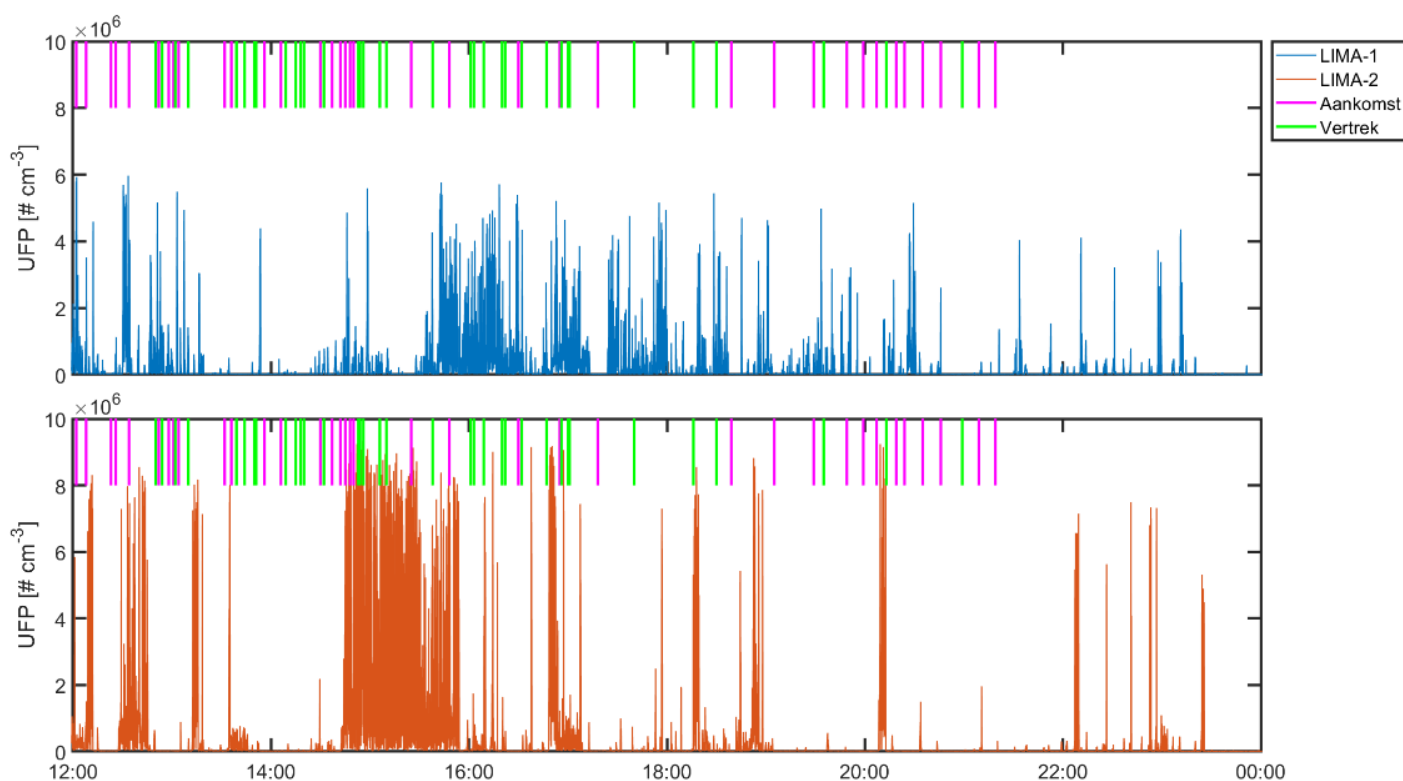
Figuur 7: Tijdreeks van de UFP-concentraties (blauw, linker y-as) en roetconcentraties (zwart, rechter y-as) op LIMA-1 op 9 april 2022.

3.3 Gebeurtenissen met hoge UFP-concentraties

Emissies van UFP vinden plaats bij startende (Hu *et al.*, 2009) en taxiënde vliegtuigen (Voogt *et al.*, 2019). In hoeverre de vaste meetlocaties deze emissies registreren is afhankelijk van de afstand van het meetpunt tot het vliegtuig (hoe groter deze afstand, hoe meer verdunning van de UFP-concentratie), de windrichting (staat het meetpunt beneden- of bovenwinds van het vliegtuig) en de

⁵ Er valt vanuit de metingen niet direct met zekerheid vast te stellen of dit wegverkeer is op of nabij Eindhoven Airport dan wel op de nabij gelegen snelweg A2. Wel zullen zeer scherpe pieken hoogstwaarschijnlijk van bronnen nabij het meetpunt en daarmee vanaf wegverkeer op of nabij Eindhoven Airport.

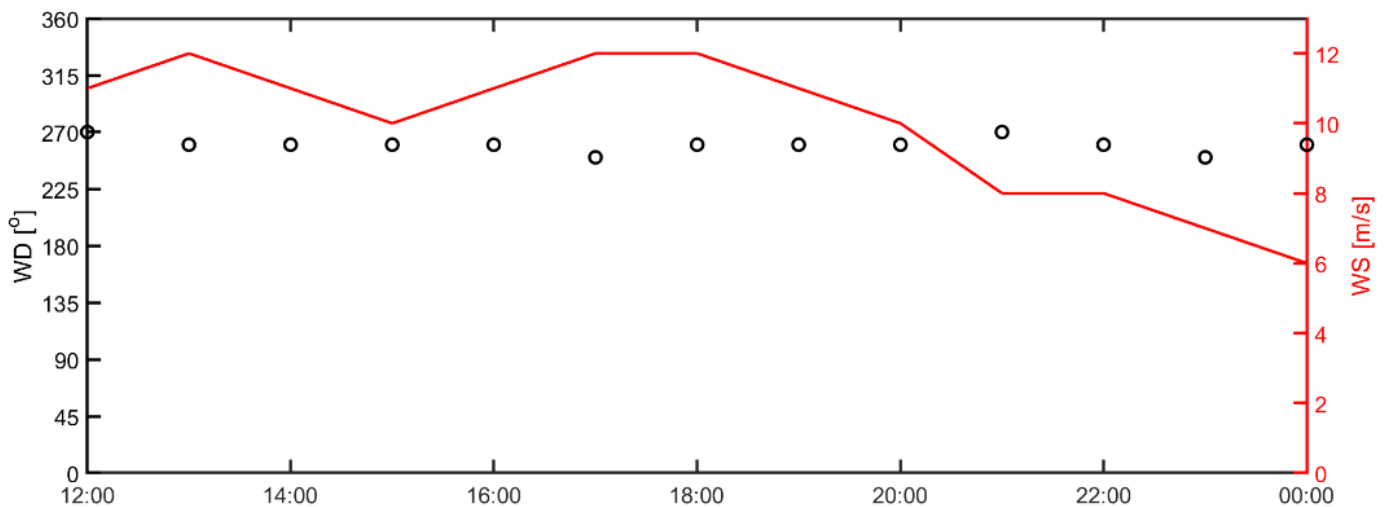
windsnelheid (hoe harder de wind hoe sneller de pluim het meetpunt bereikt en hoe hoger de UFP-concentratie). De hoogste UFP concentraties zijn gemeten op de eerste dag van de meetcampagne op 7 april. In Figuur 8 is daarom de tijdreeks van de UFP-concentratie op 7 april in detail weergegeven waarbij is ingezoomd op de periode tussen 12 uur 's middags en 12 uur 's nachts (arbitrair gekozen). Wat opvalt is dat met name tussen 12:00 en 17:00 er veel vliegtuigen aankomen en vertrekken (in totaal 52), in de periode van 17:00 tot 22:00 zijn dit er minder (in totaal 19). Dit zien we ook terug in de UFP-concentraties die in de periode tussen 12:00 en 17:00 over het algemeen hoger zijn dan tussen 17:00 en 22:00. Hiernaast kunnen de hoge UFP-piekconcentraties tussen 14:45 en 15:30 deels worden verklaard door het hoge aantal vluchten in deze periode (9 in totaal). Ook speelt de specifieke opstelplaats en de route die de vliegtuigen afleggen ten opzichte van de specifieke meetlocatie en de heersende windrichting een rol bij de gemeten UFP-concentraties.



Figuur 8: Tijdreeks van de UFP-concentratie op 1 s basis, voor 7 april 2022 op Eindhoven Airport, met tevens aangegeven wanneer vliegtuigen aankomen en vertrekken.

Zoals al bleek in hoofdstuk 3.1 heeft de windrichting een sterke invloed op de gemeten UFP-concentraties. In Figuur 9 staan de windcondities voor 7 april 2022 weergegeven. De windrichting was gedurende de dag zuidwest tot west (tussen de 250° en 270°). Dit betekent dat de wind vanaf het platform en de start/landingsbaan richting het meetstation staat. De windsnelheid is in vergelijking met de andere meetdagen het hoogst, overdag boven de 10 m/s. Een hogere windsnelheid zorgt ervoor dat uitgestoten UFP snel vanuit de bron richting het meetpunt waait.

Hierdoor is er niet veel tijd voor verspreiding (en verdunning) en zal de piekconcentratie in het midden van de pluim relatief hoog blijven. Dit is een verklaring voor de kortstondig hoge UFP-concentraties op 7 april 2022.



Figuur 9: Tijdreeks van de KNMI wind data in Eindhoven (1 uur basis) op 7 april 2022, windrichting (WD) in zwart op de linker y-as (0° en 360° = noordenwind, 90° = oostenwind, 180° = zuidenwind en 270° = westenwind) en windsnelheid (WS) in rood op de rechter y-as.

In bijlage A is gekeken of vliegtuigbewegingen nabij het meetpunt LIMA-2 te koppelen zijn aan verhoogde UFP-concentraties. Hieruit is gebleken dat deze koppeling niet direct te maken is. Dit is een indicatie dat de UFP pluimen redelijk smal zijn en de gemeten UFP-concentratie sterk afhankelijk is van de positie van de meetopstelling ten opzichte van het vliegtuig. Ook de op dat moment heersende windrichting speelt hierbij een cruciale rol.

3.4 Vergelijking met Schiphol Airport

De hier beschreven UFP-concentraties kunnen niet zonder meer één op één vergeleken worden met de studie van Tromp *et al.* (2021), waar op Schiphol ook op 1 seconde basis UFP-concentraties gemeten zijn met dezelfde apparatuur. Op Eindhoven Airport is gekozen voor een worst-case benadering, waarbij de UFP gemeten is waar de hoogste concentraties worden verwacht, terwijl op Schiphol Airport de metingen mobiel zijn uitgevoerd vanwege de omvang en complexiteit van het terrein (Tromp *et al.*, 2021). Deze mobiele metingen zijn met name uitgevoerd tijdens kantoortijden (tussen 8 en 18 uur). Om de vergelijking tussen de metingen op Eindhoven Airport en Schiphol zo correct mogelijk uit te voeren zijn de statistieken voor Eindhoven Airport ook bepaald voor kantoortijden (tussen 8 en 18 uur). Hiernaast wordt de worst-case benadering zoals hier toegepast, gecompenseerd door met het bovenste bereik gevonden in het Schiphol-onderzoek van Tromp *et al.* (2021) te vergelijken.

De gevonden statistiek voor Eindhoven en Schiphol Airport zijn weergegeven in Tabel 5. Hieruit blijkt dat zowel de rekeningkundig gemiddeldes als de medianen voor LIMA-1 en LIMA-2 onder die van Schiphol liggen (met een factor van 1.5 tot 4). Dat de gemiddelde en mediaan UFP-concentraties lager zijn, wordt waarschijnlijk grotendeels veroorzaakt door het grotere aantal vliegbewegingen op Schiphol

Airport (circa 40 vliegbewegingen per uur tijdens de meetcampagne) in vergelijking met Eindhoven Airport (circa 7 vliegbewegingen per uur).

Tabel 5: Statistiek van UFP-concentratie (alle in # cm-3) gemeten op Eindhoven Airport (deze studie) en Schiphol Airport (Tromp et al., 2021).

Airport	Meetlocatie	Rekenkundig gemiddelde	Mediaan	90e percentiel
Eindhoven	LIMA-1	49.000	15.000	59.000
	LIMA-2	109.000	21.000	179.000
Schiphol	Terminal/pieren	200.000	68.000	270.000
	Platforms	140.000	36.000	200.000

Voor het 90e percentiel zien we dat deze voor LIMA-1 beduidend lager liggen dan op Schiphol (met een factor 3 tot 5). Voor LIMA-2 is het 90e percentiel 10% lager dan platforms op Schiphol Airport. Gezien het lagere aantal vluchten op Eindhoven Airport in vergelijking met Schiphol Airport is het opvallend dat het 90e percentiel slechts 10% lager ligt dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat er slechts 1 platform is op Eindhoven Airport, waardoor deze ook compacter van opzet is dan op Schiphol Airport. Ondanks het lagere aantal vluchten op Eindhoven Airport betekent dit dat het aantal vliegtuigbeweging per platform hoger kan liggen.

4 Conclusies

Op Eindhoven Airport zijn in de periode van 7 april tot 9 mei 2022 metingen verricht aan ultrafijnstof (UFP) en roet. Hiertoe zijn twee meetstations ingericht op locaties waar de hoogste UFP-concentraties verwacht worden en die toegankelijk zijn voor medewerkers (LIMA-1 en LIMA-2), conform een zogenaamde worst-case benadering. De stations zijn gesitueerd op de platforms nabij de taxibaan richting de start- en landingsbaan. Op LIMA-1 (meest noordelijke punt) is naast UFP ook roet gemeten.

De UFP-concentraties lopen op beide locaties in kortstondige pieken op tot enkele miljoenen deeltjes per cm^3 (gemeten op één seconde tijdsresolutie) die veelal enkele tientallen seconden aanhouden. De metingen tonen duidelijk aan dat de gemeten UFP-concentraties op de meetlocaties sterk samenhangen met vliegtuigbewegingen, maar dat de windrichting hierbij ook een cruciale rol speelt. Wanneer de wind vanaf de opstelplaatsen en start- en landingsbaan richting de meetapparatuur waait worden zeer sterke verhogingen in UFP-concentraties waargenomen. Voor LIMA-1 is dit met name het geval bij westen- en zuidwestenwind en bij LIMA-2 evenzo en daarnaast ook bij wind vanuit het noorden.

Op LIMA-2 zijn de UFP-concentraties over het algemeen hoger dan op LIMA-1. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat LIMA-2 tussen de opstelplaatsen in ligt, terwijl LIMA-1 ten noorden van de opstelplaatsen ligt. Het patroon van de dagelijkse gang van UFP-concentraties komt duidelijk overeen met het aantal vluchten per uur. In de ochtend is er een duidelijk piek in UFP-concentraties om 8 uur 's ochtends. In de middag ligt de piek in UFP-concentratie rond 16 uur. Wel blijven de verhoogde UFP-concentraties langer hangen en dalen langzaam nadat er geen vliegtuigen meer vertrekken of aankomen.

Om een indruk te krijgen van mogelijke blootstelling van medewerkers aan UFP is een 8 uren lopend gemiddelde berekend. De 8 uren gemiddelde waarden variëren van circa 10.000 tot 450.000 $\# \text{cm}^{-3}$ voor LIMA-2 en van circa 5.000 tot 250.000 $\# \text{cm}^{-3}$ voor LIMA-1. Gezien het feit dat de UFP-concentraties behoorlijk op kunnen lopen (tussen 9 en 17 uur gedurende de meetperiode was het 8 uren gemiddelde op LIMA-1 gedurende 19% en op LIMA-2 63% van de tijd boven 60.000 $\# \text{cm}^{-3}$), kan niet worden gegarandeerd dat de 8 uren gemiddelde UFP-concentratie waaraan werknemers daadwerkelijk worden blootgesteld onder de 50.000 - 60.000 $\# \text{cm}^{-3}$ blijft. Deze 50.000 en 60.000 $\# \text{cm}^{-3}$ waarden worden gebruikt als tijdelijke nano-referentiewaarden (RIVM, 2010) en door Rijkswaterstaat als bedrijfsgrenswaarde gehanteerd (Wander en Verbist, 2016).

Bij het in meer detail kijken naar gebeurtenissen met verhoogde UFP-concentraties blijkt dat dit een samenspel is tussen windrichting, windsnelheid en vliegtuigbewegingen. Op 7 april worden de sterkste verhogingen in UFP-concentraties gemeten (tot 8 miljoen $\# \text{cm}^{-3}$) bij west- tot zuidwestenwind en bij relatief hoge windsnelheden ($>10 \text{ m/s}$). Vanwege technische limitatie van de apparatuur liggen de daadwerkelijk UFP-piekconcentraties mogelijk nog hoger. De hoge windsnelheid op 7 april zorgt ervoor dat geëmitteerde UFPs snel richting de meetopstelling waaien en er weinig tijd is voor verdere verspreiding en verdunning.

Hierdoor blijft de UFP-piekconcentratie in het centrum van de pluim hoog. Hiernaast zijn de sterkste verhogingen gemeten op tijdstippen met veel aankomende en vertrekkende vliegtuigen.

Op LIMA-1 is de roetconcentratie tevens gemeten. Hieruit bleek dat op deze locatie een vergelijkbare roetconcentratie aanwezig is als op een verkeersbelaste locatie uit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit in Eindhoven. Ook wanneer de 90e percentiel waarde, als maat voor de maximale concentratie, vergeleken wordt is er geen sprake van een verhoging (beide rond de $1,5 \mu\text{g m}^{-3}$). De UFP-piekconcentraties gaan soms gepaard met een verhoging in de roetconcentratie. Hieruit kan worden opgemaakt dat wegverkeer en/of diesel aangedreven apparatuur ook mogelijk bijdragen aan de UFP-belasting op Eindhoven Airport.

5 Aanbevelingen

Uit deze studie komt naar voren dat de UFP-concentratie, zowel op LIMA-1 als op LIMA-2, op 8-uursgemiddelde basis geregeld boven de tijdelijke nano-referentiewaarden (RIVM, 2010) en door Rijkswaterstaat als bedrijfsgrenswaarde gehanteerde waarde (Wander en Verbist, 2016) ligt. Daarom is de aanbeveling om persoonlijke blootstellingmetingen uit te voeren om meer inzicht te krijgen in de UFP-concentraties waaraan werknemers daadwerkelijk blootgesteld worden.

Een tweede aanbeveling is om waar mogelijk UFP-bronnen weg te nemen, en daarmee dus de UFP-concentratie te verlagen. Dit zou kunnen worden gerealiseerd door wegverkeer te elektrificeren en dieselaggregaten en diesel-aangedreven apparatuur te vervangen door accupakketten of stroomkabels.

Uit deze studie komt naar voren dat de UFP-concentratie op Eindhoven Airport op het platform sterk fluctueert, waarbij kortdurende UFP-piekconcentraties kunnen voorkomen als gevolg van vertrekkende en aankomende vliegtuigen. Een goede mitigatie strategie om zeer sterk verhoogde UFP-concentraties te voorkomen zou dan ook zijn om vliegtuigmotoren niet te starten in de nabijheid van medewerkers, met name bij wind vanuit het noorden tot westen. Dit zou bewerkstelligd kunnen worden door de vliegtuigen weg te slepen alvorens de motoren gestart worden.

6 Referenties

- Dekkers, S. en de Heer, C. (2010). Tijdelijke nano-referentiewaarden, bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden. Bilthoven: RIVM-Rapport, 601044001/2010.
- Gezondheidsraad, Gezondheidseffecten ultrafijnstof. Achtergronddocument bij Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht. Den Haag: Gezondheidsraad, 2021, publicatienr 2021/38-A1
- Hu, S., Fruin, S., Kozawa, K., Mara, S., Winer, A. M., & Paulson, S. E. (2009). Aircraft emission impacts in a neighborhood adjacent to a general aviation airport in Southern California. *Environmental science & technology*, 43(21), 8039-8045.
- Janssen, N.A.H., Houthuijs, D., Dusseldorp (2022). Gezondheidseffecten van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol. Bilthoven: RIVM Rapport, 2022-0069
- Keuken, M. P., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, J. S., & Hoek, G. (2015). Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands). *Atmospheric Environment*, 104, 132-142.
- Ohlwein, S., Kappeler, R., Kutlar Joss, M., Künzli, N., & Hoffmann, B. (2019). Health effects of ultrafine particles: a systematic literature review update of epidemiological evidence. *International journal of public health*, 64(4), 547-559.
- Stacey, B. (2019). Measurement of ultrafine particles at airports: A review. *Atmospheric Environment*, 198, 463-477.
- Tromp, P.C., van Dinther, D., de Bie, S.E., Duyzer, J., Lollinga, J.P., Moerman, M.M., Henke, S.J. (2021). Verkennend onderzoek ultrafijnstof op het Schiphol terrein met behulp van mobiele metingen, Petten: TNO Rapport, R11745.
- van Dinther, D., Blom, M.J., van den Bulk, W.C.M., Kos, G.P.A., Voogt, M. (2019a). Metingen van aantallen ultrafijnstofdeeltjes rond Schiphol gedurende ruim één jaar, Petten: TNO Rapport, TNO R.10591.
- van Dinther, D., Blom, M.J., van de Bulk, G.P.A., Kos (2019b). Metingen van roet en deeltjesgrootteverdeling op basisscholen in Aalsmeer en Badhoevedorp, Petten: TNO Rapport, TNO R.10681.
- van Dinther, D., Moerman, M.M., Lollinga, J.P., van Doorn, L.B., Korstanje, T.J. (2022). Concentraties ultrafijnstof op het platform van vliegbasis Eindhoven, Petten: TNO Rapport, TNO R.11747.
- Voogt, M., Zandveld, P., Wesseling, J., Janssen, N. (2019). Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol. Bilthoven: RIVM Rapport, 2019-0074.

Wander, S., Verbist, K. (2016). De blootstelling van Rijkswaterstaat-weginspecteurs aan het ultrafijn stof door het werken op en langs de snelweg. *Tijdschrift voor toegepaste Arbowetenschap*, 29(2), 47-54.

Westerdahl, D., Fruin, S. A., Fine, P. L., & Sioutas, C. (2008). The Los Angeles International Airport as a source of ultrafine particles and other pollutants to nearby communities. *Atmospheric Environment*, 42(13), 3143-3155.

7 Ondertekening

Utrecht, 19 september 2022

TNO

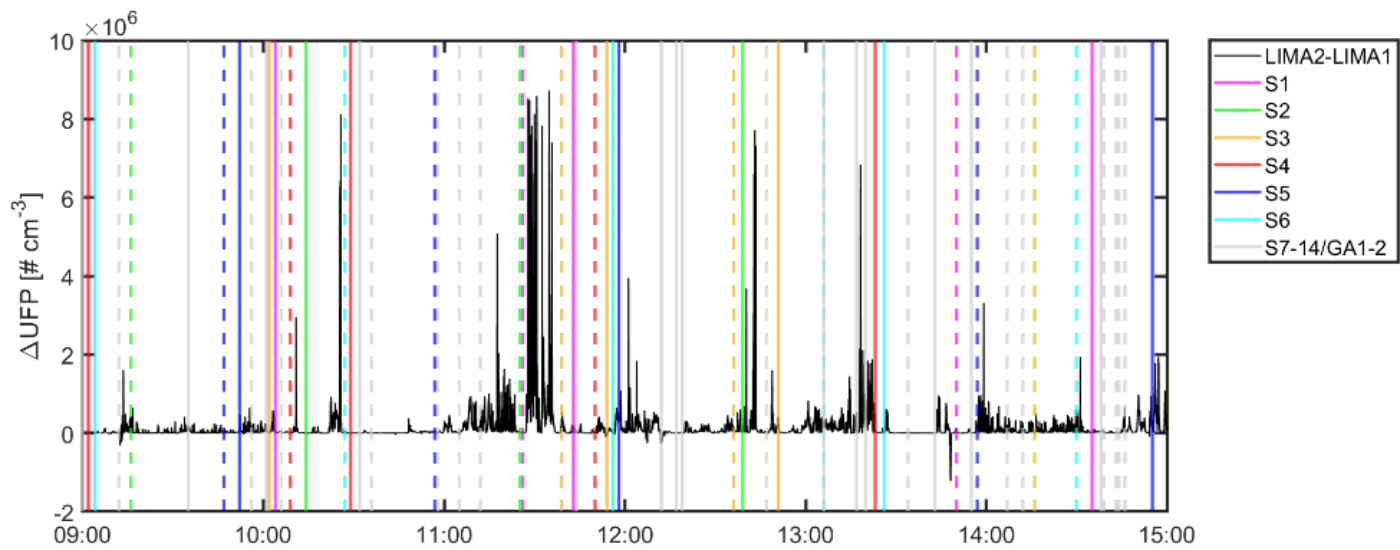
J.E. Strijk
Afdelingshoofd

T.J. Korstanje
Projectleider (namens auteurs)

A UFP-concentratie en vliegtuigbewegingen in de nabijheid van het meetpunt

In deze bijlage wordt specifiek naar momenten gekeken waarop de wind vanuit het noorden komt. In dat geval worden vliegtuig-gerelateerde UFP emissies niet richting LIMA-1 verspreid en kan deze als achtergrondwaarden voor het Eindhoven Airport terrein worden genomen. De vliegtuigemissies vanaf opstelplaatsen S1 tot en met S6 worden bij noordenwind richting LIMA-2 verplaatst. In Figuur 10 wordt het verschil in UFP-concentraties tussen LIMA-2 en LIMA-1 (ΔUFP) weergegeven samen met de opstelplaatsen van de aankomende (ononderbroken lijn) en vertrekkende (stippellijn) vliegtuigen op 29 april. Op deze dag kwam de wind uit het noorden tot noordoosten en lag de achtergrondwaarden gemeten op LIMA-1 over het algemeen tussen de 10.000 en 50.000 # cm^{-3} . Wat allereerst opvalt is dat de waarden zo goed als altijd boven nul liggen, dit betekent dat de UFP concentraties nagenoeg altijd hoger zijn op LIMA-2 dan LIMA-1.

Bij vliegtuigen die aankomen zal er enige tijd zitten tussen landingstijd en het moment dat ze op het platform aankomen (een piek in de UFP-concentratie is dan *na* de ononderbroken lijn te verwachten). Vliegtuigen die vertrekken zullen juist eerder al het platform verlaten dan de vertrektijd (een piek in de UFP-concentratie is dan *voor* de stippellijn te verwachten). Ondanks deze informatie zijn de meeste UFP piekconcentraties niet direct te linken aan een vertrekkend dan wel aankomend vliegtuig. Een uitzondering hierop is het vertrekkende vliegtuig van 11:40 vanaf platform S1; deze lijkt verantwoordelijk voor de hoogste ΔUFP -concentratie. Het is waarschijnlijk dat de UFP pluim afkomstig van dit vliegtuig de meetopstelling bij LIMA-2 direct raakt. Dat de meeste vliegtuigbewegingen niet direct zijn te relateren aan hoge UFP piekwaarden is een indicatie dat de UFP pluimen redelijk smal zijn en het sterk afhankelijk is van de positie van de meetopstelling ten opzichte van het vliegtuig of de geëmitteerde UFP pluim wordt gemeten. Hierbij speelt de op dat moment heersende windrichting ook een cruciale rol.



Figuur 10: Tijdreeks van het verschil UFP-concentratie (ΔUFP) tussen LIMA-2 en LIMA-1 (LIMA-2 min LIMA-1) op 1 s basis, voor 29 april 2022 op Eindhoven Airport. De verticale lijnen in kleur geven de tijd neer waarop de vliegtuigen per opstelplaats aankomen (ononderbroken lijn) en vertrekken (stippellijn).