

Luchtkwaliteitsonderzoek omgeving Vliegbasis Leeuwarden rondom Operation Frisian Flag 2023

TNO 2024 R10528 – 11 april 2024

Luchtkwaliteitsonderzoek omgeving Vliegbasis Leeuwarden rondom Operation Frisian Flag 2023

Auteurs	P.C. Tromp, J.C. Esveld
Met medewerking van	J.P. Lollinga, J.A.D. van Renesse van Duivenbode
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	45 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	2
Opdrachtgever	COVM Vliegbasis Leeuwarden / Ministerie van Defensie
Projectnummer	060.57733

Alle rechten voorbehouden

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

© 2024 TNO

Samenvatting

Vliegbasis Leeuwarden (Vlb LWD) is een operationele basis van de Koninklijke Luchtmacht, waar vanaf medio 2022 F-35 toestellen zijn gestationeerd. F-16 toestellen vanaf Volkel doen Vlb LWD zeer beperkt aan. De activiteiten op de vliegbasis en de vliegbewegingen van de F-16 en F-35 toestellen zorgen voor emissies van stoffen die vrijkomen in de buitenlucht. Naar aanleiding van zorgen over de luchtkwaliteit en daarmee gezondheid van omwonenden in de omgeving van Vlb LWD heeft de Commissie van Overleg en Voorlichting Milieu-Luchthaven Leeuwarden (COVM) gevraagd aan TNO om een luchtkwaliteitsonderzoek uit te voeren in de directe woon- en leefomgeving rondom de vliegbasis, vooraf (week 38-39, 2023) en tijdens de internationale oefening Frisian Flag (week 40/41, 2023).

Om de invloed van de activiteiten op Vliegbasis Leeuwarden op de luchtkwaliteit in de omgeving goed te kunnen beoordelen is op drie momenten gemeten:

- **Dagelijkse praktijk** - tijdens normale dagelijkse operationele omstandigheden waarbij voornamelijk F-35 toestellen vliegen;
- **Operation Frisian Flag** – tijdens Operation Frisian Flag zijn er veel vliegbewegingen met diverse toestellen;
- **Achtergrondsituatie** – door gebruik te maken van metingen in het weekend (zonder activiteiten vanuit Vlb LWD) en bovenwindse doordeweekse metingen (wind niet vanuit Vlb LWD) kunnen achtergrondconcentraties worden geïdentificeerd, waardoor inzicht kan worden verkregen in de invloed van de vliegbasis op de luchtkwaliteit in de omgeving.

Het luchtkwaliteitsonderzoek heeft plaatsgevonden in de periode van 23 september tot en met 6 oktober 2023 en heeft zich gericht op een breed scala aan voor de gezondheid relevante luchtverontreinigende stoffen die vrij kunnen komen tijdens activiteiten en vliegbewegingen vanuit Vlb LWD: fijnstof (PM_{2,5}), ultrafijnstof (UFP), stikstofoxiden (NO_x), elementair en organisch koolstof (EC/OC), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK), aldehyden, vluchtige organische componenten (VOC) en oliemist (minerale olie). Door de gekozen meetstrategie is een goed en representatief beeld ontstaan van de concentraties aan luchtverontreinigende stoffen in de omgeving van de Vliegbasis Leeuwarden.

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De concentratieniveaus aan organische luchtverontreinigende stoffen zijn laag en vergelijkbaar met regionale achtergrondwaarden in Nederland. De concentraties komen overeen met de eerdere metingen in juni 2016 tijdens de Open Luchtmachtdagen. Voor géén van de gemeten organische stoffen zijn luchtkwaliteitsnormen, waaronder grens- en advieswaarden, overschreden. Voor deze stoffen kon ook geen meetbare invloed van het vliegverkeer op de luchtkwaliteit worden vastgesteld. Dit geldt voor alle bemeeten scenario's, inclusief intensief vliegverkeer gedurende Operation Frisian Flag.

- Er is een kleine bijdrage van het vliegverkeer op de concentratie stikstofdioxide (NO₂). De geschatte verhoging als gevolg van de vliegactiviteiten voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag is maximaal 3 µg/m³ (ca. 17 %) voor de 8-uurs en daggemiddelde concentratie. Ondanks de verhoging in NO₂ concentratie blijven de daggemiddelde waarden en maximale 1-uursgemiddelde waarden nog ruim onder de geldende grenswaarden. Op basis van het aantal vliegbewegingen en de meteodata in 2023 is de geschatte jaargemiddelde bijdrage van de vliegactiviteiten op de NO₂ concentratie in Jelsum en Marsum maximaal 0,1 µg/m³. Deze bijdrage heeft nauwelijks invloed op de jaargemiddelde NO₂ concentraties die regionaal worden gemeten.
- Voor UFP is er een duidelijke relatie tussen de gemeten concentraties en de vliegbewegingen op de Vliegbasis Leeuwarden. De UFP concentraties nemen sterk toe bij het starten, opstijgen en landen van de straaljagers. Vooral tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag zijn de gemeten concentraties benedenwinds van de start- en landingsbaan tijdens deze activiteiten sterk verhoogd, met uurgemiddelde concentraties die kunnen oplopen tot boven de 100.000 deeltjes per cm³. Daarentegen liggen de daggemiddelde niveaus veel lager (14.000 – 26.000 deeltjes per cm³) en zijn vergelijkbaar met niveaus in een stedelijke omgeving. Gemeten UFP concentraties zijn van dezelfde grootteorde als de niveaus gemeten tijdens de Open Luchtmachtdagen in juni 2016.
- De gemeten UFP concentraties zijn sterk afhankelijk van de intensiteit van het vliegverkeer en de windrichting. Voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag was de dominante windrichting zuidwest, waardoor de hoogste concentraties zijn gemeten in Jelsum. Op basis van de vliegbewegingen en de meteodata in 2023 is de geschatte jaargemiddelde UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum maximaal 8.000 deeltjes per cm³. Bij een gemeten achtergrondconcentratie van ca. 6.000 deeltjes per cm³, is de toename van de UFP concentratie in Jelsum en Marsum, als gevolg van de vliegbewegingen op de Vliegbasis Leeuwarden maximaal 2.000 (ca. 30%) deeltjes per cm³. Ondanks de toename in UFP concentratie blijven de jaargemiddelde concentraties relatief laag en vergelijkbaar met de regionale achtergrondwaarde op het landelijk meetstation in Cabauw.
- De maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentraties, gemeten tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag (30.000 – 70.000 deeltjes per cm³), liggen in dezelfde orde van grootte als de voorlopige Nano Referentie Waarde. Bij omrekening naar een jaargemiddeld beeld voor 2023, liggen de maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum op ca. 12.000 deeltjes per cm³. Bij een gemeten 8-uurs gemiddelde achtergrond overdag van ca. 7.500 deeltjes per cm³ is dat een maximale toename van ca. 60%. Ondanks de toename in UFP concentratie blijft deze nog ruim onder de voorlopige Nano Referentie Waarde.
- Omdat tijdens normale operationele activiteiten geen van de meetlocaties benedenwinds van de start- en landingsbaan stond kon de invloed van het 'normale' vliegverkeer niet worden bemeaten. De bovengenoemde jaargemiddelde schattingen berusten dan ook op een 'worst case' aanname dat de UFP concentratie tijdens normale operationele activiteiten vergelijkbaar is als tijdens de invliegdagen. Voor meer realistische jaargemiddelde schattingen is het nodig om aanvullende UFP metingen gedurende een langere periode uit te voeren.

Inhoudsopgave

Samenvatting	
Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
2 Meetstrategie	5
2.1 Methoden	7
2.1.1 Ultrafijnstof (UFP)	7
2.1.2 Stikstofoxiden (NOx).....	8
2.1.3 Fijnstof (PM _{2,5})	8
2.1.4 Oliemist (minerale olie)	8
2.1.5 Elementair en organisch koolstof (EC/OC)	9
2.1.6 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)	9
2.1.7 Vluchtige organische stoffen (VOC).....	9
2.1.8 Carbonylverbindingen (aldehyden)	9
2.1.9 Kwaliteitsborging	10
3 Luchtkwaliteitsnormen en definities.....	11
3.1 Fijnstof en ultrafijnstof	11
3.1.1 Luchtkwaliteitsnormen fijnstof.....	12
3.1.2 Referentiewaarde ultrafijnstof	13
3.2 Kerosine motor emissie (KME)	14
3.3 Stikstofdioxide	14
3.4 Zeer zorgwekkende stoffen	14
4 Resultaten	16
4.1 Meteorologische gegevens.....	16
4.2 Fijnstof.....	17
4.3 Ultrafijnstof	19
4.3.1 Concentratie (deeltjesaantallen)	19
4.3.2 Deeltjesgrootte.....	23
4.4 Stikstofoxiden	24
4.5 Elementair en organisch koolstof	27
4.6 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen.....	28
4.7 Carbonylverbindingen (aldehyden)	29
4.8 Oliemist en andere chemische stoffen	31
4.9 Vluchtige organische componenten	32
5 Discussie	34
5.1 Overzicht gemeten concentratieniveaus	34
5.2 UFP concentratieniveaus in perspectief	36
6 Conclusies.....	38
7 Referenties	40
8 Ondertekening.....	42

1 Inleiding

Vliegbasis Leeuwarden (Vlb LWD) is een operationele basis van de Koninklijke Luchtmacht. Vanaf medio 2022 zijn alleen F-35 toestellen gestationeerd op Vlb LWD. F-16 toestellen vanaf Volkel doen Vlb LWD zeer beperkt aan. Vlb LWD ligt in Friesland, enkele kilometers ten noordwesten van Leeuwarden, ten zuidwesten van Jelsum en Koarnjum, en ten noordoosten van Marsum. De activiteiten op de vliegbasis en de vliegbewegingen van de F-16 en F-35 toestellen zorgen voor emissies van stoffen die vrijkomen in de buitenlucht. Naar aanleiding van zorgen over de luchtkwaliteit en daarmee gezondheid van omwonenden in de omgeving van Vlb LWD is door de Commissie van Overleg en Voorlichting Milieu-Luchthaven Leeuwarden (COVM) gevraagd aan TNO om een luchtkwaliteitsonderzoek uit te voeren. In 2016 heeft TNO al enkele metingen uitgevoerd op en rondom Vlb LWD, die staan beschreven in TNO rapport 2016 R11376 (Houtzager en Verhagen, 2016). Het huidige onderzoek betreft de directe woon- en leefomgeving rondom de vliegbasis, vooraf (week 38-39, 2023) en tijdens de internationale oefening Frisian Flag (week 40/41, 2023).

Het hoofddoel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de luchtkwaliteit in de woonkernen rondom de Vlb LWD, waarbij drie scenario's worden onderzocht:

1. standaardoperatie – normale vliegbewegingen (doordeweeks)
2. achtergrondsituatie – geen vliegbewegingen (weekend)
3. Operation Frisian Flag – veel vliegbewegingen

Het luchtkwaliteitsonderzoek richt zich op de luchtverontreinigende stoffen die zijn beschreven in het voorgaande TNO onderzoek uit 2016 aangevuld met een aantal voor de gezondheid relevante stoffen die ook vrij kunnen komen tijdens activiteiten en vliegbewegingen die plaatsvinden vanuit Vlb LWD. In het onderzoek zijn de volgende stoffen en stofgroepen meegenomen: fijnstof en ultrafijnstof (UFP), stikstofoxiden (NO_x), elementair en organisch koolstof (EC/OC), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK), aldehyden, vluchtige organische componenten (VOC) en oliemist.

2 Meetstrategie

Om de invloed van de activiteiten op Vliegbasis Leeuwarden op de luchtkwaliteit in de omgeving goed te kunnen beoordelen is op drie momenten gemeten:

- **Dagelijkse praktijk** - tijdens normale dagelijkse operationele omstandigheden waarbij voornamelijk F-35 toestellen vliegen; de metingen zijn uitgevoerd in de periode van 25 tot 29 september 2023. Op de laatste twee dagen van deze periode was er wel een toename van het vliegverkeer door het invliegen van vliegtuigen voor Operation Frisian Flag.
- **Operation Frisian Flag** – tijdens Operation Frisian Flag zijn er veel vliegbewegingen met diverse toestellen; de metingen zijn uitgevoerd in de periode van 2 tot 6 oktober 2023.
- **Achtergrondsituatie** - tijdens het weekend zijn er geen activiteiten vanuit Vlb LWD, waardoor de achtergrondconcentraties kunnen worden geïdentificeerd en waardoor inzicht kan worden verkregen in de invloed van de vliegbasis op de luchtkwaliteit in de omgeving; de metingen zijn uitgevoerd in twee weekenden op 23-24 september en 30 september-1 oktober 2023. In het laatstgenoemde weekend zijn alleen metingen met real-time monitoren uitgevoerd en geen monsterneming voor chemische analyse (zie Tabel 2.1). Omdat in het weekend ook andere bronnen (zoals wegverkeer) mogelijk minder aanwezig zijn is voor de bepaling van de invloed van Vlb LWD ook gebruik gemaakt van doordeweekse bovenwindse metingen waarbij de wind niet vanuit de vliegbasis kwam.

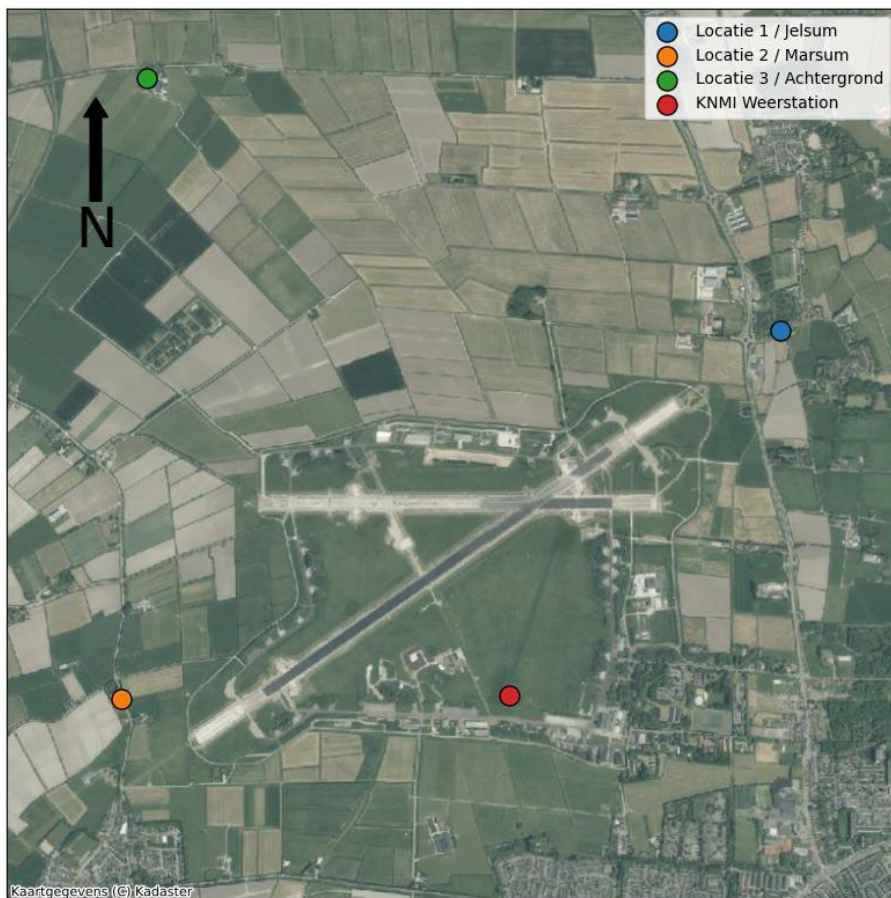
Door het bemeten van de bovenstaande drie scenario's, kan de invloed van de vliegbasis Leeuwarden en de vliegverkeersemisies op de lokale luchtkwaliteit worden beoordeeld tijdens normale operationele omstandigheden voorafgaand en tijdens intensief vliegverkeer gedurende Operation Frisian Flag (worst case). De lokale luchtkwaliteit is sterk afhankelijk van meteorologische omstandigheden (o.a. windrichting en -snelheid, neerslag, stabiliteit van de luchtlag). Omdat de meetcampagne plaatsvindt in een beperkte tijdsperiode kan de lokale luchtkwaliteit onder invloed van de meteorologische omstandigheden gedurende het jaar significant afwijken van de hier gemeten luchtkwaliteit. Bij een doorvertaling naar een jaargemiddelde luchtkwaliteit dient dan ook rekening gehouden te worden met deze veranderende omstandigheden.

De monsternemingen voor de chemische analyses zijn gedurende 8 uur uitgevoerd, van 9:00 – 17:00 lokale tijd. In deze periode worden hierdoor zowel de vliegbewegingen in de ochtend als in de middag meegenomen. De monsternaming is zo ingericht dat over verschillende periodes monsters verzameld worden. In het weekend en tijdens de invliegdagen is een 2 daags (2 x 8 uur) verzamelmonster genomen; tijdens normale omstandigheden en Operation Frisian Flag zijn zowel 1 daagse als 2 daagse monsters genomen. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de real-time monitoring en de uitgevoerde monsterneming.

Tabel 2.1 Overzicht meetcampagne vliegbasis Leeuwarden. Hierin geven de nummers (1 t/m 3) het aantal monsters dat verzameld wordt per periode.

Meetcampagne	vr	za	zo	ma	di	wo	do	vr	za	zo	ma	di	wo	do	vr
vliegbasis Leeuwarden	22-9	23-9	24-9	25-9	26-9	27-9	28-9	29-9	30-9	1-10	2-10	3-10	4-10	5-10	6-10
real-time metingen PM, UFP en NOx															
Sampling voor chemische analyse:															
achtergrond (weekend)		1													
normale omstandigheden				1	2										
invliegdagen							3								
Operation Frisian Flag											1	2	3		

Tijdens de drie meetperiodes is tegelijkertijd op drie locaties gemeten (zowel monsters als real-time monitoring), zie Figuur 2.1. Hierbij zijn er twee belaste locaties op 450 – 650 meter en in het verlengde van de start- en landingsbaan, in de buurt van de bewoonde gebieden in Jelsum en Marsum (Locatie 1 en 2 in Figuur 2.1). De derde locatie ligt in Bitgummole op ca. 2,5 km ten noorden van de start- en landingsbaan en is als achtergrond gebruikt. Tijdens de meetperiode is de windrichting overwegend zuidwest geweest, waardoor de achtergrondlocatie geen invloed heeft gehad van de emissies vanuit de Vliegbasis Leeuwarden. Het KNMI weerstation is ook aangegeven, de weersgegevens van de meetstudie zijn afkomstig van dit station.



Figuur 2.1 Meetlocaties en KNMI weerstation rondom vliegbasis Leeuwarden.

Op alle meetlocaties zijn metingen uitgevoerd met real-time monitors voor ultrafijnstof (UFP) en stikstofdioxiden (NOx), fijnstof is alleen op locatie 1 (Jelsum) real-time gemeten en op de overige locaties bepaald met filterwegingen. Daarnaast zijn tussen 9:00 en 17:00 canisters gevuld en filters en adsorptiebuisjes/cartridges beladen voor chemische analyses in het laboratorium. In Tabel 2.2 is een overzicht gegeven van de uitgevoerde metingen per locatie. In paragraaf 2.1 is een nadere beschrijving gegeven van de gebruikte monitors en bepalingmethoden. Naast de vaste meetlocaties zijn op de laatste meetdag ook mobiele metingen in de omgeving van de vliegbasis uitgevoerd met UFP sensoren (Partector 2) om een beter beeld te krijgen van de verspreiding van UFP door de vliegverkeeremissies.

Tabel 2.2 Meetlocaties met gebruikte meetapparatuur per locatie

Meetlocatie	Real-time monitors			Monsternamen voor chemische analyses					
	Fijnstof	Ultrafijnstof	NOx	Fijnstof	PAK	EC/OC	Oliemist	VOC	Aldehyden
Jelsum	GRIMM	SMPS + EPC + Partector	NOx monitor	PM _{2,5} Teflon filter	PM ₁₀ Teflon gecoate glasvezel filter + XAD-2	PM _{2,5} QMA kwarts filter	PM ₁₀ QMA kwarts filter	Gas canister	DNPH-cartridge
Marsum	-	EPC + Partector	NOx monitor						
Bitgummole (achtergrond)	-	EPC + Partector	- 1)						

1) NOx monitor is na het eerste weekend kapot gegaan (interne kalibratie fout), de data kan niet worden gebruikt

2.1 Methoden

2.1.1 Ultrafijnstof (UFP)

De meetlocaties zijn uitgerust met een Environmental Particle Counter (EPC, type 3783 van TSI). Deze EPC meet het totaal aantal deeltjes per cm³, met een meetbereik van 7 nm tot 3 µm³, en een maximale concentratie van 10⁶ deeltjes per cm³. De EPC gebruikt water om deeltjes te laten groeien door middel van condensatie, waarna ze met een optische methode gedetecteerd en gemeten worden. Naast de EPC is tijdens Operation Frisian Flag ook de Naneos Partector 2 (Partector) ingezet, welke een meetbereik heeft van 10 – 300 nm, met een maximale concentratie van 10⁶ deeltjes per cm³. De Partector is een deeltjesteller die elke seconde de deeltjes tussen de 10 en 300 nm meet. Het meetprincipe is gebaseerd op metingen door het elektrisch opladen van aerosolen, waarbij het spanningsverlies wordt gebruikt om de deeltjes te tellen. Zowel de EPC als de Partector zijn alleen totaal deeltjestellers, waarmee geen inzicht wordt verkregen in de deeltjesgrootteverdeling. Om de deeltjesgrootteverdeling vast te stellen is een Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS, type 3082 van TSI) ingezet. De SMPS gebruikt een Differential Mobility Analyzer (DMA) om deeltjes met een bepaalde deeltjesgrootte te classificeren, waarna ze gemeten worden door een deeltjesteller. De gebruikte SMPS heeft een meetbereik van circa 14 -700 nm (deels afhankelijk van de instelling). In tegenstelling tot de EPC en Partector 2, met iedere seconde een meting, scant de SMPS iedere afzonderlijke deeltjesgroottefractie apart, waardoor de totale run over alle deeltjesgrootten oploopt tot enkele minuten. Hierdoor kan slechts beperkt inzicht worden verkregen in de deeltjesgrootte bij kortdurende pieken.

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

2.1.2 Stikstofoxiden (NO_x)

De hoeveelheid stikstofoxiden (NO_x: NO + NO₂) in de lucht is op alle drie locaties gemeten met een Thermo Fisher Scientific NO_x monitor Model 42i. De meting is gebaseerd op het chemoluminescentie principe (NEN-EN 14211). Hierbij wordt aan het luchtmonster een overmaat ozon gevoegd. De NO en ozon in het luchtmonster reageren tot NO₂ waarbij luminescentie optreedt. Een tweede monsterstroom wordt in de analyzer geleid door een Molybdeen converter waarin alle NO₂ in het tweede monster wordt omgezet in NO. Vervolgens wordt aan dit monster ook een overmaat ozon toegevoegd. Op deze manier wordt de concentratie NO_x, de som van het al aanwezige NO in het luchtmonster en de omgezette NO₂, in het luchtmonster bepaald. Het verschil tussen de concentratie NO_x in het tweede en NO in het eerste luchtmonster is de concentratie NO₂.

2.1.3 Fijnstof (PM_{2,5} en PM₁₀)

Voor de bepaling van PM_{2,5} (fijnstof deeltjes met een diameter tot 2.5 µm) zijn teflon filters beladen bij een debiet van ca. 8 L/min. De PM_{2,5} fijnstofconcentratie is op alle drie de locaties gravimetrisch bepaald conform de NEN 12341; dit is de referentie methode voor de bepaling van fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}). Hiernaast is op de zwaarst belaste locatie (Locatie 1, Jelsum) ook een optische deeltjesteller ingezet. Deze real-time fijnstof metingen zijn uitgevoerd met een Grimm ECM190 fijnstof monitor. De monitor heeft een meetbereik van circa 0,25 - 32 µm. De sampling tijd van de monitor is ingesteld op 1 minuut met een debiet van 1,2 L/min. De deeltjes zijn gemeten met een orthogonale (90°) lichtverstrooiing techniek, waarbij de getelde deeltjesaantallen worden omgezet naar een massaverdeling op basis van een standaard dichtheid (1,6 g/cm³) en deeltjesvorm (sferisch), waaruit de verschillende fijnstof fracties (o.a. PM₁, PM_{2,5} en PM₁₀) worden afgeleid in µg/m³. Omdat de werkelijke dichtheid en deeltjesvorm van het fijnstof op een bepaalde locatie kan afwijken van de standaard dichtheid en vorm zoals ingesteld in de fijnstof monitor moeten deze afgeleide fijnstof concentraties worden beschouwd als indicatief (semi-kwantitatief).

2.1.4 Oliemist (minerale olie)

Voor de bepaling van oliemist (minerale olie en andere alifatische en aromatische koolwaterstoffen) zijn PM₁₀ teflon filters beladen bij een debiet van ca. 8 L/min. De analyse is uitgevoerd door TNO door middel van een non-target screening met behulp van direct thermodesorptie (DTD)-GCMS in scan. Het filter wordt in een lege thermodesorptie buis gebracht en onder een helium flow gedurende ca. 15 minuten verhit tot ca. 350°C. De vrijgekomen componenten worden gevangen op een koude val en via een flash verhitting geïnjecteerd op de GCMS. Identificatie van stoffen vindt plaats door middel van vergelijking van massaspectra in een NIST databestand op basis van retentie indices. Kwantificering vindt plaats op basis van een gecertificeerde externe standaard. Voor stoffen zonder kalibratiestandaard wordt het gehalte semi-kwantitatief berekend op basis van de respons van toluen. Als aanvullende methode is bij de bepaling van VOC (2.1.7) ook gekeken naar de aanwezigheid van vluchtige olieachtige componenten.

2.1.5 Elementair en organisch koolstof (EC/OC)

Voor de bepaling van EC/OC zijn PM_{2,5} kwartfilters (QM-A graad) beladen bij een debiet van ca. 8 L/min. De analyse van elementair koolstof is gebaseerd op een thermisch optische methode volgens NIOSH 5040. Het EUSAAR 2 protocol (Cavalli 2009) is gebruikt voor de temperatuurprogrammering. Organische koolstof wordt verwijderd van het filter in de temperatuur range van 200-650 °C in een zuurstofvrije omgeving onder helium. Elementair koolstof wordt vervolgens verwijderd in de temperatuur range tussen 500-850 °C gebruikmakend van een helium zuurstofmengsel. De ontstane kooldioxide wordt vervolgens omgezet in methaan en gedetecteerd met flame ionisation detection (FID). De analyse is uitgevoerd door RPS Analyse B.V.

2.1.6 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)

Voor de bepaling van 16 EPA PAK (16 PAK verbindingen geselecteerd als meest relevant door de Environmental Protection Agency van de Verenigde Staten) zijn teflon gecoate glasvezelfilters gebruikt in combinatie met XAD-2 adsorptiebuisen. De monsterneming is uitgevoerd bij een debiet van ca. 5 L/min. De filter/XAD monsters zijn geëxtraheerd met behulp van een ASE (accelerated solvent extraction) met toluen als extractiemiddel. De analyse van 16 EPA PAK is uitgevoerd met behulp van isotoopverdunding en GC/MS-analyse volgens ISO12884. De analyse is uitgevoerd door RPS Analyse B.V.

2.1.7 Vluchtige organische stoffen (VOC)

Voor de bepaling van VOCs zijn 6L-canisters gebruikt. Canisters zijn metalen bollen die vooraf op vacuüm worden gezet; tijdens de meting wordt middels een flowcontroller langzaam lucht aangezogen. De analyse is uitgevoerd door TNO door middel van een non-target screening met behulp van thermodesorptie (TD)-GCMS in scan, waarbij meer dan 100 VOCs worden meegenomen, waaronder de componenten benzeen, 1,3-butadieen en isopropylbenzeen. Identificatie van stoffen vindt plaats door middel van vergelijking van massaspectra in een NIST databestand op basis van retentie indices. Kwantificering vindt plaats op basis van gecertificeerde externe standaard. Voor stoffen zonder kalibratiestandaard wordt het gehalte semi-kwantitatief berekend op basis van de respons van toluen. De meting van VOC is uitgevoerd volgens US EPA methode TO15 (Whitaker 2019).

2.1.8 Carbonylverbindingen (aldehyden)

De monsterneming en analyse van carbonylverbindingen C1-C6 (aldehyden) zijn uitgevoerd volgens ISO 16000-3. De lucht is door twee aan elkaar geschakelde DiNitroPhenylHydrazine cartridges (DNPH) gezogen bij een debiet van ca. 1 L/min. Hierin reageren de aanwezige aldehyden met het hydrazine tot het overeenkomstig hydrazoncomplex. Na desorptie van de cartridge is het hydrazoncomplex geanalyseerd met behulp van High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) op basis van UV detectie. Identificatie en kwantificering zijn uitgevoerd op basis van een externe kalibratiestandaard. De analyse van de DNPH-cartridges is uitgevoerd door RPS Analyse B.V. Vanwege de bemonsteringsduur van 8 of 16 uur is gebruik gemaakt van een doorslagcartridge, die geanalyseerd wordt indien het DNPH is opgebruikt bij de primaire DNPH cartridge.

2.1.9 Kwaliteitsborging

Het onderzoek is uitgevoerd onder een kwaliteitssysteem dat voldoet aan ISO-9001. Een deel van de analyses (aldehyden, elementair koolstof en PAK) is uitgevoerd door RPS Analyse B.V. De laboratoria van RPS voldoen aan de criteria die zijn vastgelegd in NEN-EN-ISO/IEC 17025, NEN-EN-ISO/IEC 17020 en ISO 9001. De bepaling van formaldehyde (conform ISO 16000-3) en elementair koolstof (conform NIOSH 5040) zijn geaccrediteerde verrichtingen (registratienummer L192). Voorafgaand aan de metingen zijn filters en adsorptiebuizen voorzien van unieke traceerbare monstercodes. Voor de registratie van de monstercodes is het LIMS systeem (Laboratory Information Management System) gebruikt. Na afronding van elke meting zijn adsorptiebuizen voorzien van afsluitdoppen en de filters opgeborgen in daarvoor bestemde cassettes en afgeschermd van licht getransporteerd. De monsters zijn tot aan de opwerking en analyse opgeslagen in een vriezer bij -20 (DNPH cartridges) en koelkast bij 4°C (filters). De Tenax buisjes zijn volgens voorschrift opgeslagen bij kamertemperatuur.

3 Luchtkwaliteitsnormen en definities

Om de in dit onderzoek gemeten concentraties te kunnen duiden worden de concentraties indicatief getoetst aan luchtkwaliteitsnormen en vergeleken met concentraties gemeten in andere gebieden in Nederland, waaronder regionale en stedelijke locaties. Bij de indicatieve toetsing wordt uitgegaan van relevante gezondheidskundige grenswaarden zoals beschreven in de EU Air Quality Directive 2008-50/EC en World Health Organisation (WHO 2021) en Nederlandse en Europese advies- en richtwaarden. Voor de vergelijking met andere gebieden zal worden uitgegaan van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML, www.luchtmeetnet.nl) en luchtkwaliteitsrapportages van regionale omgevingsdiensten. Ter verduidelijk zal ook worden ingegaan op de definities van fijnstof, ultrafijnstof en kerosine motor emissie (KME).

3.1 Fijnstof en ultrafijnstof

Deeltjes (in het Engels particulate matter, ofwel PM) met een (aerodynamische) diameter kleiner dan respectievelijk 2,5 en 10 μm heten $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10} . $\text{PM}_{2,5}$ is de fijnere fractie van het fijnstof en maakt dus ook deel uit van PM_{10} . Fijnstof komt in de buitenlucht door verschillende bronnen van natuurlijke oorsprong (denk aan zeezout) maar ook door bronnen die samenhangen met menselijk activiteiten (antropogene bronnen, zoals industrie en verkeer). Teneinde gezondheidsschade als gevolg van fijnstof te beperken zijn er, vanuit milieu- en ARBO-perspectief grenzen (normen) gesteld aan de maximale concentratie fijnstof in de lucht. Vanuit milieuoogpunt wordt meestal gesproken van jaargemiddelde en daggemiddelde (grens)waarden, vanuit ARBO oogpunt zijn grenswaarden vaak geformuleerd als 8-uurs gemiddelde waarden. Voor ultrafijnstof is nog beperkt bekend wat de gezondheidseffecten zijn in relatie tot blootstellingsduur en -concentratie (Gezondheidsraad 2021).

Met ultrafijnstof deeltjes (UFP) worden in de lucht zwevende deeltjes met een diameter kleiner dan 0,1 μm (100 nm) bedoeld. UFP hebben een veel kleinere massa per deeltje dan fijnstof (PM_{10} of $\text{PM}_{2,5}$). UFP worden in belangrijke mate geëmitteerd door verkeer, zoals scheepvaart, luchtvaart en wegverkeer. Door hun kleine massa per deeltje hebben zij, ondanks de soms grote aantallen waarin ze voorkomen, doorgaans een minimale bijdrage (van slechts enkele procenten) aan de massa van fijnstof concentraties. Deze deeltjes dragen dan ook nauwelijks bij aan de PM_{10} of $\text{PM}_{2,5}$ concentraties waarvoor grenswaarden (uitgedrukt massa (μg) per m^3) gelden. De concentratie van UFP wordt vaak uitgedrukt in aantal deeltjes per cm^3 (ook wel $\#/ \text{cm}^3$). Voor UFP zijn, zowel voor milieu gerelateerde als voor beroepsmatige blootstelling, nog geen (wettelijke) grenswaarden geformuleerd. UFP concentraties kunnen sterk fluctueren, met name in de nabijheid van emissiebronnen. De tijdsresolutie van UFP metingen is vaak op basis van één of enkele seconden, maar deze gemeten concentraties worden daarna vaak gemiddeld tot uur-, dag-, en/of jaargemiddelde waarden.

Uurgemiddelde UFP concentraties kunnen, als gevolg van kortdurende pieken, veel hoger liggen dan jaargemiddelden. Daarnaast is de middelingsmethode van invloed op het resultaat; de rekenkundige gemiddelden worden meer beïnvloed door piekconcentraties en zijn over het algemeen hoger dan de geometrische gemiddelden en mediaan. Bij vergelijking

van de in dit onderzoek verkregen UFP concentraties met literatuurwaarden dient met bovenstaande rekening gehouden te worden.

Vliegtuigemissies worden gedomineerd door deeltjes met een diameter tussen de 10 en 20 nm, maar ook deeltjes kleiner dan 10 nm kunnen substantieel bijdragen aan de UFP concentratie (Stacey, 2000). Meetinstrumenten met een ondergrens van het meetbereik van 10 nm, zoals de meeste UFP sensoren (o.a. Partector), kunnen dus een deel van de aanwezige UFP missen. Uit validatietesten uitgevoerd door TNO blijkt dat de onderschatting van de Partector ten opzichte van de EPC circa 13% is (Esveld, 2024).

3.1.1 Luchtkwaliteitsnormen fijnstof

Voor de kwaliteit van de buitenlucht bestaan verschillende soorten normen (Tabel 3.1). Wettelijke grenswaarden voor fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}) zijn een compromis tussen haalbaarheid en gezondheid. Deze wettelijke normen komen direct uit Europese richtlijnen in de ‘EU Air Quality Directive 2008/50/EG’ en zijn tevens vastgelegd in de Wet milieubeheer en sinds 1 januari 2024 in het Besluit kwaliteit leefomgeving. Beleidsnormen en wetenschappelijke advieswaarden zijn wat vrijblijvender. Het gaat om (wettelijke) richtwaarden/streefwaarden, waar het beleid zich op moet richten (inspanningsplicht). Nederland moet de EU-streefwaarden (de Wet milieubeheer noemt dit richtwaarden) zoveel mogelijk binnen een bepaalde termijn bereiken. Er is dan geen directe resultaatsverplichting, zoals bij grenswaarden wel het geval is. Bij wetenschappelijke advieswaarden, zoals de ‘Air Quality Guidelines’ van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), staat gezondheidsbescherming centraal.

Tabel 3.3.1 Luchtkwaliteitsnormen voor fijnstof

Fijnstof	Soort norm	Concentratie	Status
PM ₁₀	Jaargemiddelde ¹⁾	40 µg/m ³	EU Grenswaarde ²⁾
PM ₁₀	Jaargemiddelde	15 µg/m ³	WHO advieswaarde ³⁾
PM ₁₀	Daggemiddelde (mag max. 35 keer per jaar worden overschreden) ¹⁾	50 µg/m ³	EU Grenswaarde ²⁾
PM _{2,5}	Jaargemiddelde	25 µg/m ³	EU Grenswaarde ²⁾
PM _{2,5}	Jaargemiddelde	20 µg/m ³	Indicatieve grenswaarde (EU)
PM _{2,5}	Jaargemiddelde blootstellingsconcentratie	20 µg/m ³	Grenswaarde ⁴⁾
PM _{2,5}	Jaargemiddelde blootstellingsconcentratie	14,4 µg/m ³	Richtwaarde/ streefwaarde ⁵⁾
PM _{2,5}	Jaargemiddelde	5 µg/m ³	WHO advieswaarde

- 1) In de praktijk is de daggemiddelde norm voor PM₁₀ bepalender dan de jaargemiddelde norm van 40 µg/m³; de daggemiddelde norm komt ongeveer overeen met 31 µg/m³ jaargemiddeld.
- 2) EU Air Quality Directive 2008/50/EG
- 3) World Health Organization 2021
- 4) De blootstellingsconcentratie is de concentratie waaraan de stedelijke bevolking wordt blootgesteld. Deze verplichting geldt voor de rijksoverheid.
- 5) Streefwaarden uit de Europese richtlijnen staan als 'richtwaarden' in de Wet milieubeheer en geldt alleen voor de rijksoverheid. De waarde is afhankelijk van blootstellingsindex in 2011.

3.1.2 Referentiewaarde ultrafijnstof

Voor UFP zijn momenteel geen nationale of internationale gezondheidkundige grenswaarden beschikbaar. Ook advieswaarden of referentiewaarden voor UFP in de publieke buitenlucht zijn nog niet opgesteld.

Rijkswaterstaat (RWS) is één van de weinige bedrijven in Nederland die bedrijfsgrenswaarden voor de werkplek voor UFP heeft opgesteld (Wander & Verbist, 2016). Op basis van input vanuit de dosis-respons relatie voor dieselmotoremissies, waarbij een NOEL (no-effect level) van 30.000 – 50.000 deeltjes/cm³ is vastgesteld rekening houdend met een achtergrondconcentratie van 5.000 – 15.000 deeltjes/cm³, zijn richtgetallen afgeleid. Voor een dag- en weekgemiddelde blootstelling gaat het om richtgetallen van respectievelijk 60.000 en 50.000 deeltjes/cm³. Tevens is voor piekblootstellingen een richtgetal van 200.000 deeltjes/cm³ voorgesteld; bij overschrijding wordt geadviseerd om adembescherming te gebruiken of andere maatregelen te treffen om de blootstelling omlaag te brengen.

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

- metalen, metaaloxiden en biopersistente granulaire deeltjes met een dichtheid groter dan 6 g/cm³ (o.a. TiO₂, SiO₂, Ag, Au) met een NRW van 20.000 deeltjes/cm³
- biopersistente granulaire deeltjes met een dichtheid kleiner dan 6 g/cm³ (o.a. Carbon Black) met een NRW van 40.000 deeltjes/cm³

De nano-referentiewaarden voor persistente deeltjes zijn afgeleid van het gemiddeld aantal deeltjes (20 nm, 50 nm, 100 nm, 200 nm) dat past in 0,1 mg/m³. Voor de gezondheidkundige onderbouwing is ook gekeken naar de effecten van dieselmotoremissies, waarbij een NOEL is afgeleid van 30.000 – 50.000 deeltjes/cm³. Omdat met de gangbare meetmethoden voor deeltjes in lucht geen onderscheid kan worden gemaakt tussen de proces gegenereerde nanodeeltjes op de werkplek en achtergrond deeltjes moet de NRW worden vermeerderd met de achtergrondconcentratie.

De verwachting is dat UFP afkomstig van verbrandingsmotoren voor het grootste deel uit koolstofgebaseerde verbindingen bestaan, waarmee voor het definiëren van een referentiewaarde het best worden aangesloten bij de NRW voor biopersistente granulaire deeltjes met lage dichtheid (40.000 deeltjes/cm³). Als dezelfde analogie wordt aangehouden als bij nanomaterialen zal dit bij een achtergrondconcentratie van ca. 1.000 – 10.000 deeltjes/cm³ (zie Hoofdstuk 4) uitkomen op een richtwaarde van maximaal 50.000 deeltjes/cm³ op een werkdag.

3.2 Kerosine motor emissie (KME)

Vliegtuiguitstoot (Kerosine Motor Emissie, KME) lijkt sterk op DME (Diesel Motor Emission), met een vergelijkbare samenstelling. Uitlaatgassen van dieselmotoren worden door de International Agency for Research on Cancer (IARC) geclassificeerd als Groep 1-carcinogeen, wat betekent dat ze gezien worden als een duidelijke oorzaak van kanker bij mensen. DME en KME zijn beiden mengsels van gassen en deeltjes. Als 'marker' voor de blootstelling aan DME wordt de concentratie elementair koolstof (EC) gebruikt. Vanwege de carcinogeniteit geldt de wettelijke verplichting (ArboWet) om de blootstelling aan DME tot een zo laag mogelijk niveau te brengen als technisch uitvoerbaar is. De Gezondheidsraad heeft in 2019 voor DME vastgesteld dat, op basis van de risicobenadering die in Nederland bij kankerverwekkende stoffen wordt gevolgd, de streefwaarde op 0,01 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$ ligt, en de verbodswaarde op 1,03 $\mu\text{g EC}/\text{m}^3$. Omdat beide waarden niet haalbaar waren als wettelijke grenswaarde is per 1 juli 2020 voor DME een wettelijke grenswaarde van 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gemeten als respirabel elementair koolstof) op de werkplek vastgesteld. KME is (nog) niet geëvalueerd door de Gezondheidsraad of de IARC, en staat als zodanig daarom (nog) niet op de SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen. Wel blijkt uit de literatuur (Bendtsen et al., 2021, RIVM 2023) duidelijk dat KME mogelijk vergelijkbare kankerverwekkende eigenschappen heeft als DME.

3.3 Stikstofdioxide

Stikstofdioxide (NO_2) wordt gebruikt als indicator voor het mengsel van luchtverontreiniging dat afkomstig is van het verkeer. Hoge concentraties aan NO_2 kan zorgen voor irritatie aan de luchtwegen. Langere blootstelling aan verhoogde concentraties NO_2 kan bijdragen aan de ontwikkeling van astma en mogelijk de gevoeligheid voor luchtweginfecties vergroten. Net zoals voor fijnstof (paragraaf 3.1.1) gelden voor stikstofdioxide ook wettelijke grenswaarden die zijn vastgelegd in de 'EU Air Quality Directive 2008/50/EG' en wetenschappelijke advieswaarden vastgesteld door het WHO (Tabel 3.2, World Health Organization, 2021).

Tabel 3.2 Luchtkwaliteitsnormen voor stikstofdioxide

Stof	Soort norm	Concentratie	Status
NO_2	Jaargemiddelde	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EU Grenswaarde
NO_2	Jaargemiddelde	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	WHO advieswaarde
NO_2	Uurgemiddelde (mag max. 18 keer per jaar worden overschreden) ¹⁾	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EU Grenswaarde

1) Van toepassing voor wegen waarvan ten minste 40.000 motorvoertuigen per etmaal gebruik maken.

3.4 Zeer zorgwekkende stoffen

Zeer Zorgwekkende Stoffen (ZZS) zijn de gevaarlijkste stoffen voor mens en milieu. Het streven is om ZZS uit de leefomgeving te weren. In het Besluit activiteiten leefomgeving staan immissiegrenswaarden vermeld voor de belangrijkste stoffen. Deze waarden op leefniveau mogen niet als gevolg van activiteiten overschreden worden. De immissiegrenswaarden zijn gebaseerd op het Maximaal Toelaatbare Risiconiveau (MTR) en is de concentratie van een stof in water, sediment, bodem of lucht waar beneden geen negatief effect is te verwachten. Het MTR geldt voor langdurige blootstelling en is uitgedrukt als jaargemiddelde concentratie. De

stoffen benzeen en PAK staan tevens in de ‘EU Air Quality Directive 2008/50/EG’. In Tabel 3.2 staan de MTR waarden samengevat voor relevante zeer zorgwekkende stoffen. Voor olienevel (minerale olie) is geen MTR voor lucht beschikbaar. Wel is hiervoor een 8-uurs tijdgemiddelde grenswaarde voor de werkplek afgeleid. Dergelijke arbeidskundige grenswaarden liggen over het algemeen heel veel hoger dan de luchtkwaliteitsnormen die gelden voor de algehele bevolking.

Tabel 3.2 Luchtkwaliteitsnormen gassen en stoffen

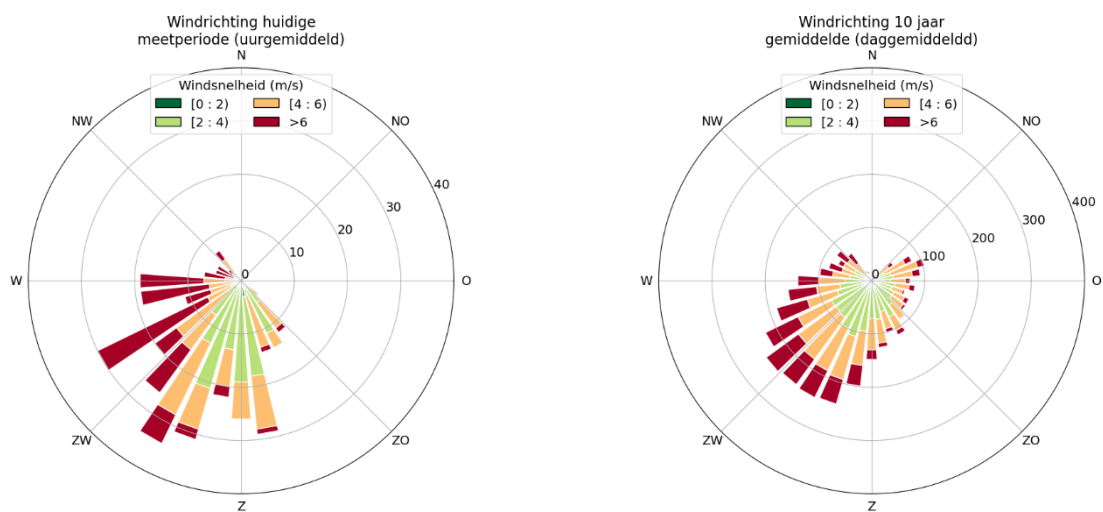
Stof	Soort norm	Concentratie	Status
Benzeen	Jaargemiddelde - MTR	5 µg/m ³	EU Grenswaarde ¹⁾
PAK (als benzo(a)pyreen	Jaargemiddelde - MTR	1 ng/m ³ B(a)P	EU Grenswaarde ¹⁾
1,3 butadien	Jaargemiddelde - MTR	3 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾
Isopropylbenzeen	Jaargemiddelde - MTR	870 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾
Formaldehyde	Jaargemiddelde - MTR	10 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾
Acroleine	Jaargemiddelde - MTR	0,5 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾
Olienevel (minerale olie)	8 uur TGG (Arbo)	5 mg/m ³	Grenswaarde ³⁾
Olienevel (minerale olie)	8 uur TGG (Arbo)	1,6 mg/m ³	GR Advieswaarde ⁴⁾
Diisobutylftalaat (DIBP)	Jaargemiddelde - MTR	30 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾
Dibutylftalaat (DBP)	Jaargemiddelde - MTR	0,1 µg/m ³	Grenswaarde ²⁾

- 1) Grenswaarde uit de ‘EU Air Quality Directive 2008/50/EG’
- 2) Immissiegrenswaarde vastgesteld in het Besluit activiteiten leefomgeving (Bal)
- 3) Grenswaarde voor arbeidsgerelateerde blootstelling, Staatscourant 2006, 252.
- 4) Advieswaarde opgesteld door de Gezondheidsraad (Nr. 2011/12)

4 Resultaten

4.1 Meteorologische gegevens

De meteorologische gegevens zijn afkomstig van het weerstation van het KNMI, gelegen op circa 700 meter ten zuiden van de start-/landingsbaan. In Figuur 4.1 is de windrichting weergegeven tijdens de meetperiode (23 september – 6 oktober 2023) en de gemiddelde windrichting over de afgelopen 10 jaar.



Figuur 4.1 Windrichting en -snelheid gedurende de meetperiode (links) en gemiddeld over 10 jaar, op basis van het KNMI weerstation Leeuwarden. De radiale as toont het aantal keer dat een windrichting/snelheid voorgekomen is, in uren (links) en dagen (rechts).

Uitleg windroos: Een windroos geeft aan waar de wind vandaan kwam, en hoe vaak dit is voorgekomen. In Figuur 4.1 zijn de staafdiagrammen het hoogst bij ZW (zuidwest). Dit betekent dat de wind het meest uit zuidwestelijke hoek is gekomen tijdens de meetperiode. De kleuren geven de windsnelheid aan, waaruit kan worden opgemaakt dat tijdens de meetperiode (links) de meeste wind tussen de 2 en 4 m s⁻¹ is bij wind uit het zuiden en zuidwesten, maar in snelheid toeneemt bij wind uit meer westelijke richting.

Uit de figuur blijkt dat de windrichting en -snelheid gedurende de meetperiode goed overeenkomt met het 10 jaarlijks gemiddelde. Alleen het aantal uren met noordoostelijke wind is afwijkend in de huidige periode, aangezien er geen noordoostelijke wind is gemeten. Uit het 10-jaarlijks gemiddelde blijkt echter dat wind uit het noordoosten op deze locatie relatief zeldzaam is. Tijdens de meetperiode was het overwegend droog met weinig neerslag (< 8 mm over de gehele meetperiode) en een gemiddelde temperatuur van 16 °C. In Tabel 4.1 zijn de dagelijkse weersomstandigheden samengevat. Op ca. de helft van de meetdagen is er geringe neerslag gevallen (< 2 mm), die overwegend van korte duur was (< 1 uur). Deze neerslag is vooral 's avonds en 's nachts gevallen; overdag, tussen 08:00 – 17:00, heeft het alleen op 29 september en 3 oktober 2023 kortdurend geregend. Samengevat, kan worden

gesteld dat de metingen zijn uitgevoerd tijdens normale weersomstandigheden die representatief zijn voor het algemene weerbeeld in deze regio.

Tabel 4.1 De weersomstandigheden per dag gemiddeld tijdens de meetperiode, op basis van het KNMI weerstation Leeuwarden

Periode	Datum	Gehele dag (24 uur)		Overdag - tussen 08:00 – 17:00			
		Neerslag (uur)	Neerslag (mm)	Neerslag (uur)	Neerslag (mm)	Windrichting (graden)	Temperatuur (°C)
Weekend	23-sep-23	0,3	0,6	-	-	286 (WNW)	16,2
	24-sep-23	-	-	-	-	197 (ZZW)	17,6
Dagelijkse praktijk	25-sep-23	-	-	-	-	198 (ZZW)	17,9
	26-sep-23	-	-	-	-	157 (ZZO)	19,5
	27-sep-23	-	-	-	-	148 (ZO)	20,2
Invliegdagen	28-sep-23	-	-	-	-	221 (ZW)	17,8
	29-sep-23	1,1	1,8	0,8	1,6	281 (WNW) ¹⁾	17,3
Weekend	30-sep-23	-	-	-	-	253 (WZW)	17,5
	1-okt-23	1,2	0,5	-	-	230 (ZW)	19,4
Frisian Flag	2-okt-23	0,5	0,9	-	-	251 (WZW) ²⁾	19,8
	3-okt-23	1,1	1,8	0,4	0,7	286 (WNW)	15,2
	4-okt-23	-	-	-	-	240 (WZW)	16,0
	5-okt-23	0,4	0,3	-	-	260 (W)	16,5
	6-okt-23	1,8	1,4	-	-	236 (WZW)	18,0

- 1) tussen 09:00 - 11:00 was de windrichting 220 graden (ZW), na 11:00 veranderde de windrichting naar ca. 300 graden (WNW)
- 2) tussen 09:00 - 15:00 was de windrichting 230 graden (ZW), na 15:00 veranderde de windrichting naar ca. 300 graden (WNW)

4.2 Fijnstof

De gravimetrisch bepaalde PM_{2,5} concentraties op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole zijn weergegeven in Tabel 4.2. Deze metingen zijn uitgevoerd tussen ca. 8:00 en 17:00 en zijn dus geen daggemiddelde (24 uren) concentraties. Op de meetlocatie in Jelsum zijn gedurende de gehele meetperiode ook de concentraties aan PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁ real-time gemeten met een fijnstof monitor. Op basis van deze data zijn daggemiddelde concentraties afgeleid, die ook in Tabel 4.2 zijn opgenomen. Het verloop van de fijnstofconcentraties over de gehele meetperiode zijn weergegeven in Figuur 4.2.

Uit de dag- en 8-uurs gemiddelde fijnstofconcentraties in Tabel 4.2 blijkt dat in het weekend en tijdens normale operationele omstandigheden vergelijkbare concentraties worden gemeten als tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag. Dit is voor zowel PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁ het geval. Uit Figuur 4.2 blijkt dat er op de locatie Jelsum soms momenten zijn met verhoogde concentraties aan fijnstof, maar die komen in de meeste gevallen niet overeen met de vliegbewegingen. Deze momenten komen bijvoorbeeld ook voor in het weekend, zonder vliegverkeer vanuit Vliegbasis Leeuwarden, en ook met vliegbeweging wanneer de windrichting vanuit de vliegbasis niet richting Jelsum waait.

De daggemiddelde concentraties gemeten met de fijnstof monitor blijven gedurende de gehele meetperiode ruim onder de grenswaarden van 40 en 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ respectievelijk. Wel dient te worden opgemerkt dat de gegeven concentraties van de fijnstof monitor moeten worden beschouwd als indicatief, omdat de massa aan fijnstof niet gravimetrisch is bepaald, maar is afgeleid op basis van een standaard dichtheid en deeltjesvorm van fijnstof (zie paragraaf 2.1.3).

De gravimetrisch bepaalde 8-uurs gemiddelde concentraties (tussen 09:00 – 17:00) liggen hoger dan de daggemiddelde waarden. Dit heeft deels te maken met een onderschatting van de fijnstof concentraties gemeten met de fijnstof monitor, maar ook omdat de fijnstof concentraties overdag over het algemeen hoger liggen dan ‘s avonds en ‘s nachts.

Tabel 4.2a $\text{PM}_{2,5}$ concentraties, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁾, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00 (8 uren gemiddeld) en daggemiddelde concentraties gemeten met de fijnstof monitor ²⁾ op de locatie Jelsum

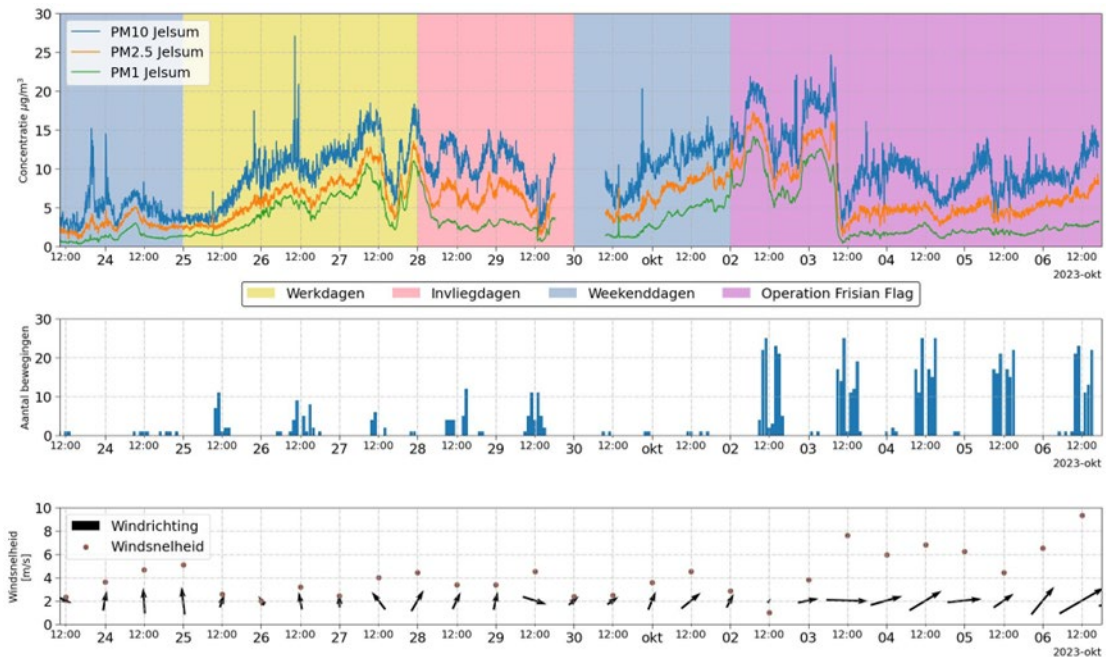
Scenario	Weekend			Normale operationele omstandigheden						Invliegdagen		
Datum	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023			28+29 september		
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
$\text{PM}_{2,5}$ ¹⁾	30	27	33	14	13	20	31	25	10	18	19	11
PM_{10} ²⁾	1,3/2,4			3,4/8,6			11			5,6/4,0		
$\text{PM}_{2,5}$ ²⁾	3,5/4,8			5,6/11			14			11/9,3		
PM_{10} ²⁾	6,9/7,7			9,3/18			21			19/15		

- 1) 8 uren gemiddelde $\text{PM}_{2,5}$ concentratie van 09:00 – 17:00, bepaald met de gravimetrische methode conform NEN 12341 (referentiemethode)
- 2) Daggemiddelde PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{1} concentraties bepaald met de fijnstofmonitor. Voor de tweedaagse meetperiodes zijn de daggemiddelden gescheiden door een ‘schuine streep’

Tabel 4.2b $\text{PM}_{2,5}$ concentraties, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ¹⁾, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00 (8 uren gemiddeld) en daggemiddelde concentraties gemeten met de fijnstof monitor ²⁾ op de locatie Jelsum

Scenario	Weekend			Operation Frisian Flag								
Datum	30 sept. + 1 okt. 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
$\text{PM}_{2,5}$ ¹⁾	-	-	-	16	19	18	21	11	8,3	8,4	14	6,2
PM_{10} ²⁾	2,6/7,4			14/7,7			3,0/3,0			4,2		
$\text{PM}_{2,5}$ ²⁾	7,0/13			19/12			7,0/7,5			10		
PM_{10} ²⁾	13/19			42/19			14/14			16		

- 1) 8 uren gemiddelde $\text{PM}_{2,5}$ concentratie van 09:00 – 17:00, bepaald met de gravimetrische methode conform NEN 12341 (referentiemethode)
- 2) Daggemiddelde PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{1} concentraties bepaald met de fijnstofmonitor. Voor de tweedaagse meetperiodes zijn de daggemiddelden gescheiden door een ‘schuine streep’



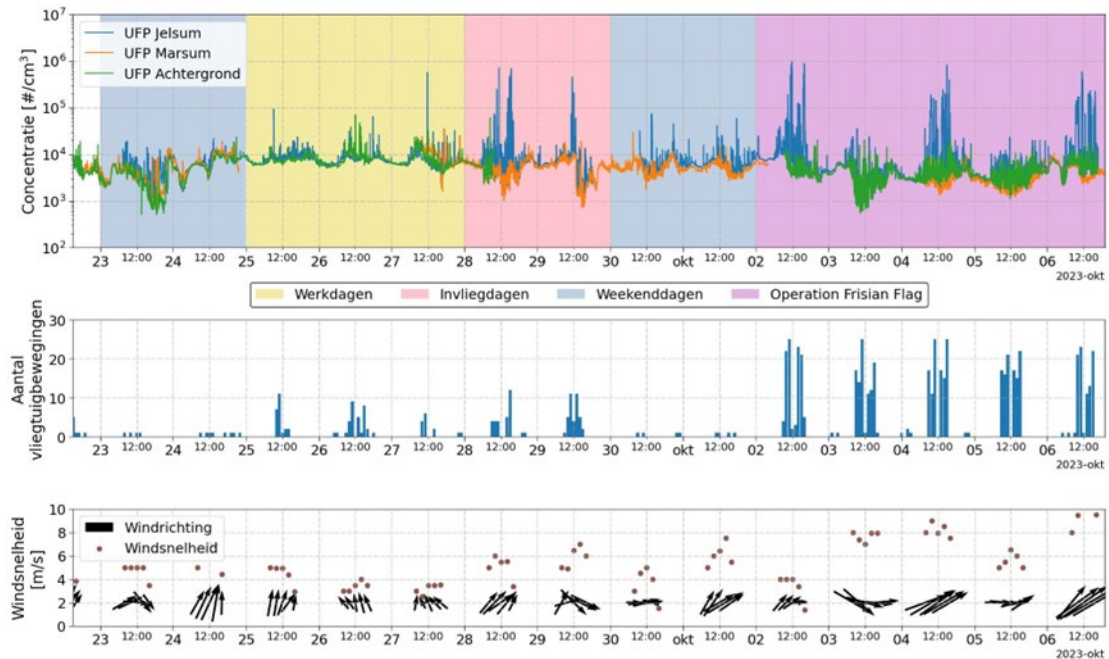
Figuur 4.2 Bovenste figuur: Real-time fijnstofconcentraties PM₁₀ (blauwe lijn), PM_{2,5} (oranje lijn) en PM₁ (groene lijn), in µg/m³, gemeten op het meetstation in Jelsum, waarbij de 4 scenario's (werkdagen/normale operatie, invliegdagen, weekenddagen/achtergrond en Operation Frisian Flag) zijn aangegeven met aparte kleurvlakken. Middelste figuur: staafdiagram van het aantal start- en landingsmomenten per uur (blauwe lijnen), op de y-as aangegeven als aantal vliegbewegingen. Onderste figuur: de 12 uur gemiddelde windrichting en windsnelheid, waarbij met een zwarte pijl de windrichting is aangegeven (hoe langer de pijl hoe hoger de windsnelheid) en met een bruine stip de windsnelheid in m/s. Ontbrekende meetgegevens op 29 en 30 september zijn veroorzaakt door storingen van de apparatuur.

4.3 Ultrafijnstof

4.3.1 Concentratie (deeltjesaantallen)

De concentratie aan ultrafijnstof (UFP) bedroeg in de meetperiode gemiddeld respectievelijk 10.000, 5.000 en 5.000 deeltjes/cm³ op de meetlocaties Jelsum, Marsum en de achtergrondlocatie (Bitgummole). Wanneer gekeken wordt naar alleen overdag (van 08:00 t/m 18:00), dan bedroeg de gemiddelde concentratie respectievelijk 14.000, 6.000 en 5.000 deeltjes/cm³ op de meetlocaties Jelsum, Marsum en de achtergrondlocatie. Figuur 4.3 geeft het verloop van de UFP concentratie weer op de drie meetstations, samen met het aantal vliegbewegingen en de windrichting en -snelheid. Tabel 4.3 geeft per locatie de gevonden UFP concentraties weer op de verschillende dagen tussen 08:00 en 18:00.

In de Figuur 4.3 (boven) is duidelijk te zien dat de UFP concentratie op het meetstation in Jelsum toeneemt tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag ten opzichte van de overige dagen. Tijdens Operation Frisian Flag is het aantal vliegbewegingen ook duidelijk hoger dan op de overige dagen (Figuur 4.3 midden). Op de overige locaties is geen duidelijke toename in de UFP concentratie gemeten gedurende deze dagen. Deze bevindingen zijn goed te verklaren op basis van de windgegevens tijdens de meetperiode (Figuur 4.3 onder). Hieruit blijkt dat de windrichting tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag voornamelijk uit zuidwestelijke richting kwam, wat betekent dat het meetstation in Jelsum zich de meeste tijd benedenwinds van de start- en landingsbaan bevond.



Figuur 4.3 Bovenste figuur: Real-time UFP concentratie (minuutgemiddelde waarden) gemeten op de meetstations in Jelsum (blauwe lijn), Marsum (oranje lijn) en Bitgummole (achtergrondlocatie, groene lijn), in deeltjes/cm³, waarbij de 4 scenario's (werkdagen/normale operatie, invliegdagen, weekenddagen/achtergrond en Operation Frisian Flag) zijn aangegeven met aparte kleurvlakken. Let op: de y-as is op logaritmische schaal. Middelste figuur: staafdiagram van het aantal start- en landingsmomenten per uur (blauwe lijnen), op de y-as aangegeven als aantal vliegbewegingen. Onderste figuur: de 2 uur gemiddelde windrichting en windsnelheid tussen 8:00 en 18:00, waarbij met een zwarte pijl de windrichting is aangegeven (hoe langer de pijl hoe hoger de windsnelheid) en met een bruine stip de windsnelheid in m/s. Ontbrekende meetgegevens (Marsum en achtergrond) zijn veroorzaakt door storingen van de apparatuur.

Tabel 4.3 Gemeten UFP concentraties (10 seconde gemiddelde waarden) op de drie meetlocaties tussen 08:00 en 18:00 tijdens normale weekend- en werkdagen, de invliegdagen en Operation Frisian Flag.

	Locatie	Aantal metingen (10s) ¹⁾	Rekenkundig gemiddelde (#/cm ³)	Standaard-afwijking (#/cm ³)	10 ^e percentiel (#/cm ³)	Mediaan (#/cm ³)	90 ^e percentiel (#/cm ³)	Maximum (#/cm ³)	
Weekend	Jelsum	15.000	6.000	7.000	3.000	6.000	10.000	415.000	
	Bitgummole	8.000	5.000	3.000	1.000	5.000	9.000	12.000	
	Marsum	16.000	5.000	3.000	2.000	5.000	10.000	41.000	
Normale	Jelsum	12.000	9.000	20.000	5.000	8.000	10.000	1.180.000	
	Operatie	Bitgummole	12.000	9.000	12.000	6.000	8.000	13.000	71.000
	Marsum	3.000	10.000	3.000	5.000	11.000	14.000	65.000	
Invliegdagen	Jelsum	8.000	15.000	58.000	2.000	5.000	13.000	1.050.000	
	Bitgummole ²⁾	500	7.000	6.000	4.000	6.000	10.000	109.000	
	Marsum	8.000	4.000	3.000	1.000	4.000	8.000	26.000	
Operation	Jelsum	30.000	23.000	73.000	2.000	4.000	55.000	1.680.000	
	Frisian Flag	Bitgummole	29.000	4.000	3.000	2.000	4.000	7.000	50.000
	Marsum	12.000	3.000	1.000	2.000	3.000	5.000	14.000	

1) Het aantal metingen verschilt per locatie vanwege een afwijkende meetduur per locatie
 2) Vanwege een storing met de apparatuur is in deze periode weinig data verzameld



Figuur 4.4 UFP windrozen per meetlocatie over de gehele meetperiode, samen met de uurgemiddelde windrichting gemeten op het KNMI weerstation.

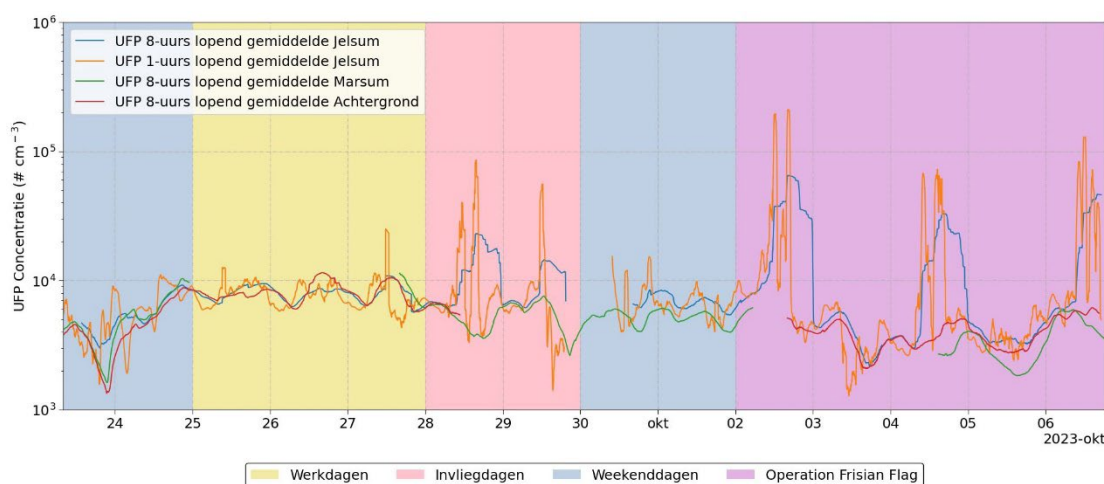
Uitleg UFP windroos: Met een UFP windroos wordt de gemiddelde UFP concentratie weergegeven in windroosformaat. Hier geeft de radiale as aan wat de gemiddelde UFP concentratie was bij wind uit een bepaalde richting. Uit de figuur blijkt dat op de meetlocatie Jelsum de hoogste gemiddelde UFP concentratie is opgetreden bij wind uit het zuidwesten, maar dat ook bij meer westelijke wind een verhoogde UFP concentratie is gemeten.

Tijdens normale operatie kwam de wind voornamelijk uit zuidelijke en zuidzuidoostelijke richting, wat betekent dat de meetstations in Marsum en Jelsum zich beide bovenwinds van de vliegbasis bevonden. Op 26 september kwam de wind meer uit zuidoostelijke richting waardoor op het achtergrond meetstation in Bitgummole licht verhoogde UFP concentraties werden gemeten (zie Figuur 4.3). Omdat tijdens normale operatie geen van de meetstations zich benedenwinds van de start- en landingsbaan bevond, kon het effect van de vliegtuigbewegingen op de UFP concentratie niet worden onderzocht. Gezien het aantal

vliegbewegingen tijdens de invliegdagen vergelijkbaar is met drukke dagen tijdens normale operatie (zie Bijlage B) kunnen de UFP concentraties gemeten tijdens deze invliegdagen ook gebruikt worden als een “conservatief” scenario voor normale operatie. Dat de windrichting een belangrijke factor is, is ook te zien tijdens Operation Frisian Flag op de locatie Jelsum. In tegenstelling tot de andere dagen worden op 3 en 5 oktober geen verhoogde UFP concentratie gemeten. Op deze dagen was de windrichting meer westelijk/noordwestelijk (260-290°) ten opzichte van de andere dagen, waarbij de wind meer uit het zuidwesten kwam (230-250°) (zie ook Tabel 4.1). Ditzelfde effect is ook te zien op 29 september tijdens de invliegdagen. In de ochtend was de windrichting nog zuidwest (220°), waardoor op het meetstation in Jelsum verhoogde UFP concentraties zijn gemeten, terwijl aan het eind van de ochtend de wind draaide naar noordwestelijke richting (300°), waardoor de UFP emissies van de straaljagers tijdens het starten en landen in de middag niet meer meetbaar waren.

Vanwege de ligging van de twee meetstations ten opzichte van de vliegbasis is de windrichting bepalend voor de gemeten UFP concentraties (zie Tabel A1 in Bijlage). Hierbij speelt de afstand tot de start- en landingsbaan ook een rol. De meetlocatie in Jelsum bevindt zich ongeveer even dicht bij de start- en landingsbaan als de meetlocatie in Marsum, maar vanwege de dominante zuidwestelijke windrichting zijn de straaljagers voornamelijk in zuidwestelijke richting opgestegen, waarbij ze over de meetlocatie in Jelsum zijn gevlogen. De uitstoot ten gevolge van het taxiën, stationair draaien voor de start en gas geven tijdens de start waaiden voornamelijk richting het noordoosten. Hierdoor zijn de hoogste UFP concentraties gemeten in Jelsum.

Om de gemeten UFP concentraties rondom vliegbasis Leeuwarden te kunnen vergelijken met de voorlopige Nano Referentiewaarde voor UFP (40.000 – 50.000 deeltjes/cm³) en de concentraties gemeten op andere locaties in Nederland zijn in Tabel 4.4 de daggemiddelde (24 uren) waarden en de maximale 8-uurs gemiddelde waarden per dag op de drie meetlocaties weergegeven. Voor een vergelijking met de door RWS opgestelde richtwaarde voor piekblootstelling (200.000 deeltjes/cm³) zijn voor de meeste belaste locatie Jelsum ook de maximale 1-uurs gemiddelde waarden per dag gegeven. Ter illustratie zijn in Figuur 4.5 de 1-uurs (alleen voor Jelsum) en 8-uurs waarden als lopende gemiddelden geplot. De maximale 1-uurs en 8-uurs gemiddelde waarden worden allemaal overdag gemeten met het verkeer en de activiteiten rondom vliegbasis Leeuwarden als belangrijkste bronnen.



Figuur 4.5 De 1-uurs en 8-uurs gemiddelde UFP concentratie, gemeten op de locatie in Jelsum, Marsum en Bitgummole (achtergrond) op verschillende momenten.

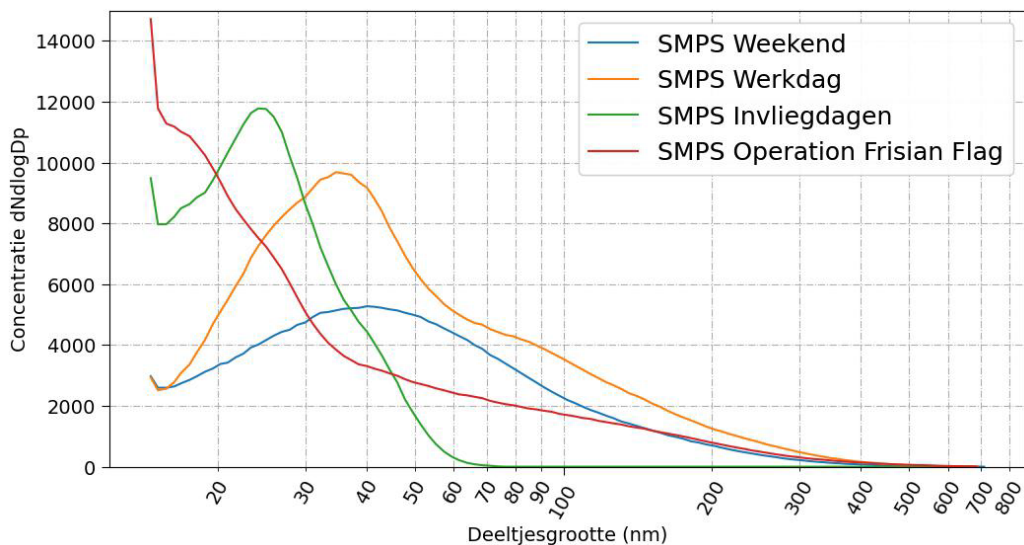
Tabel 4.4 Daggemiddelde (24 uur) UFP concentraties en maximale 1-uurs en 8-uurs gemiddelde UFP concentraties per dag, in deeltjes/cm³, gemeten op de locaties in Jelsum, Marsum en Bitgummole (achtergrond) op verschillende momenten.

Periode	Datum	UFP concentratie (deeltjes/cm ³)						
		Jelsum		Bitgummole ¹⁾		Marsum ¹⁾		
		24 uur	8 uur	1 uur	24 uur	8 uur	24 uur	8 uur
weekend	23 september	4.000	6.000	9.000	3.000	5.000	4.000	5.000
	24 september	7.000	9.000	10.000	6.000	8.500	7.000	10.000
Dagelijkse Praktijk	25 september	8.000	9.000	10.000	8.000	8.500	-	-
	26 september	8.000	9.000	10.000	9.000	11.000	-	-
	27 september	8.000	10.000	11.500	8.000	10.000	9.000	11.000
invliegdagen	28 september	12.000	30.000	80.000	6.000	-	5.000	6.500
	29 september	9.000	14.000	50.000	-	-	5.000	7.000
weekend	30 september	8.000	8.500	10.000	-	-	5.000	6.000
	1 oktober	6.000	7.000	10.000	-	-	5.000	6.000
Operation	2 oktober	26.000	70.000	220.000	4.000	5.000	7.000	7.000
Frisian Flag	3 oktober	4.000	6.000	6.000	4.000	5.000	-	-
	4 oktober	14.000	35.000	70.000	4.000	5.000	3.000	4.000
	5 oktober	4.000	5.500	6.000	3.000	5.000	3.000	4.000
	6 oktober	25.000	50.000	120.000	6.000	6.500	5.000	6.000

1) Vanwege een storing met de apparatuur is op de locatie Marsum en op de achtergrondlocatie (Bitgummole) op een aantal dagen geen data verzameld (aangegeven met '-').

4.3.2 Deeltjesgrootte

Naast UFP concentratiemetingen zijn op de meetlocatie in Jelsum ook metingen gedaan met een SMPS waarmee de deeltjesgrootteverdeling van UFP in kaart kan worden gebracht. In Figuur 4.6 is de deeltjesgrootteverdeling weergegeven tijdens verschillende momenten.

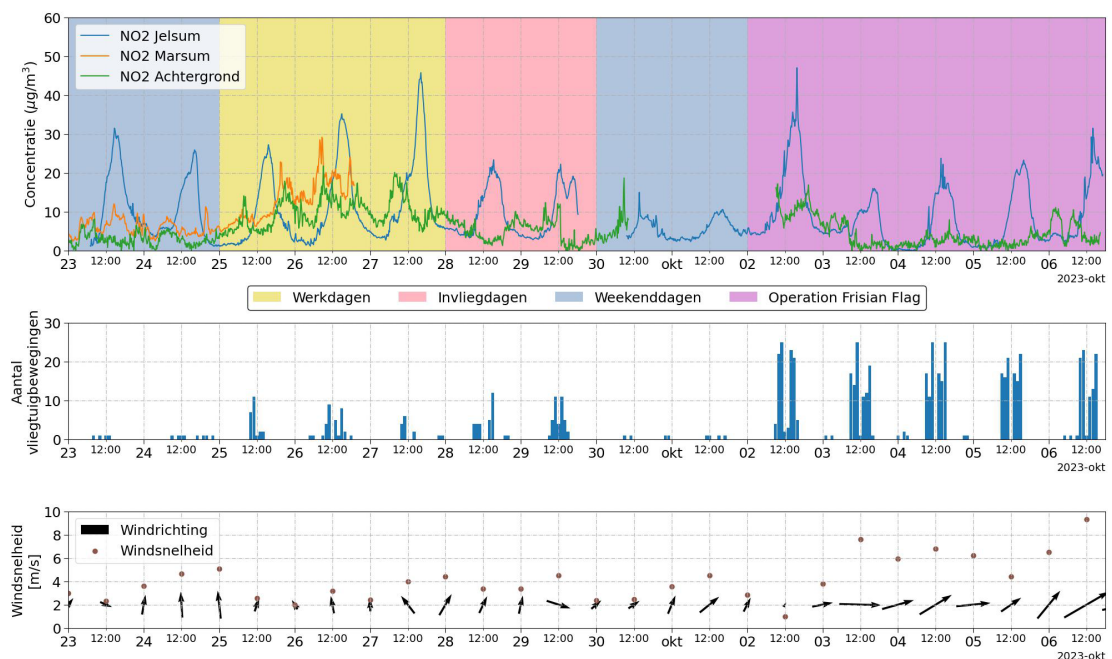


Figuur 4.6 Deeltjesgrootteverdeling van UFP, gemeten op de locatie in Jelsum op verschillende momenten.

Uit het figuur blijkt dat UFP tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag meer naar de kleinere deeltjes verschuift ten opzichte van de overige dagen. De UFP bestaat tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag met name uit deeltjes rond de 20 – 30 nm terwijl op de overige dagen met weinig invloed van het vliegverkeer de deeltjesgrootte rond de 30 – 50 nm is. Wanneer specifiek wordt ingezoomd op de metingen tijdens de start- en landing van de straaljagers wordt dit effect nog duidelijker, en blijkt dat de gemiddelde deeltjesgrootte onder de 20nm ligt (niet getoond). Dit is in overeenstemming met de literatuur (Stacey 2020, Keuken 2015). Vliegtuigemissies worden gedomineerd door deeltjes met een diameter tussen de 10 en 20 nm, maar ook deeltjes kleiner dan 10 nm kunnen substantieel bijdragen aan de UFP concentratie. Voertuigemissies daarentegen worden gekenmerkt door deeltjes met een diameter tussen de 30 en 50 nm.

4.4 Stikstofoxiden

De meetstations in Jelsum, Marsum en de achtergrondlocatie (Bitgummole) zijn uitgerust met een NO_x-monitor. Hiermee zijn de concentraties van stikstofdioxide (NO₂) in kaart gebracht. De meetapparatuur op het meetstation in Marsum heeft veel te maken gehad met storingen, waardoor vanaf 27 september 2023 data ontbreekt. Figuur 4.7 geeft het verloop van de NO₂ concentratie weer op de drie meetstations, samen met het aantal vliegbewegingen en de windrichting en -snelheid.



Figuur 4.7 Bovenste figuur: Real-time NO₂ concentratie (minuutgemiddelde waarden) gemeten op de meetstations in Jelsum (blauwe lijn), Marsum (oranje lijn) en Bitgummole (achtergrondlocatie, groene lijn), in µg/m³, waarbij de 4 scenario's (werkdagen/normale operatie, invliegdagen, weekenddagen/ achtergrond en Operation Frisian Flag) zijn aangegeven met aparte kleurvlakken. Middelste figuur: staafdiagram van het aantal start- en landingsmomenten per uur (blauwe lijnen), op de y-as aangegeven als aantal vliegbewegingen. Onderste figuur: de 12 uur gemiddelde windrichting en windsnelheid, waarbij met een zwarte pijl de windrichting is aangegeven (hoe langer de pijl hoe hoger de windsnelheid) en met een bruine stip de windsnelheid in m/s. Ontbrekende meetgegevens (Marsum en achtergrond) zijn veroorzaakt door storingen van de apparatuur.

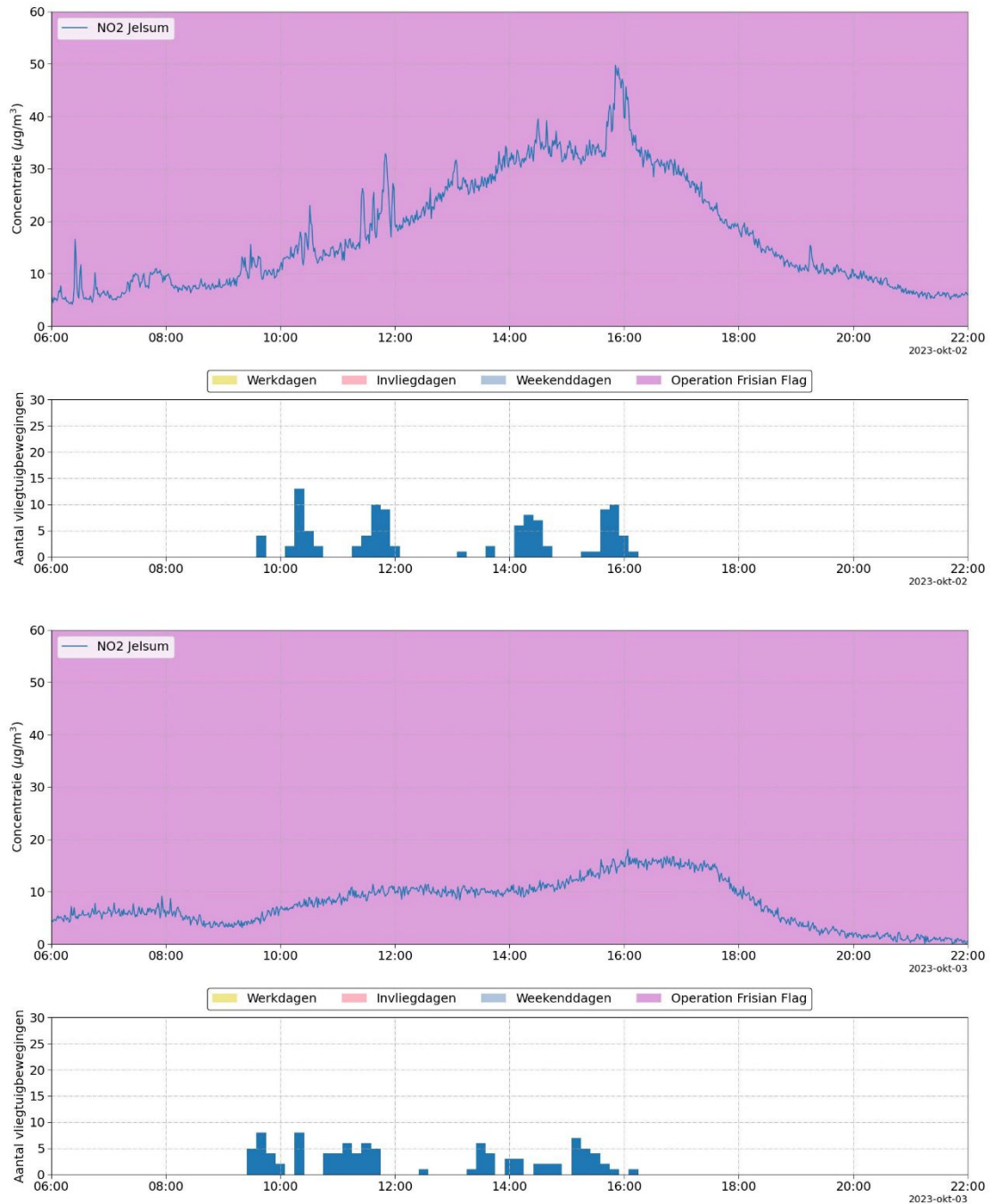
Om de gemeten NO₂ concentraties rondom vliegbasis Leeuwarden te kunnen vergelijken met de jaargemiddelde grenswaarde en advieswaarde (respectievelijk 40 en 10 µg/m³) en de concentraties gemeten op andere locaties in Nederland zijn in Tabel 4.5 de daggemiddelde (24 uren) waarden op de drie meetlocaties weergegeven. Voor een vergelijking met de uurgemiddelde grenswaarde (200 µg/m³) is voor de meest belaste locatie Jelsum ook de maximale 1-uurs gemiddelde waarde per dag gegeven. Voor vergelijking met UFP waarden en concentraties aan chemische stoffen zijn ook de maximale 8-uurs gemiddelde waarden gegeven.

Tabel 4.5 Daggemiddelde (24 uur) NO₂ concentraties en maximale 1-uurs en 8-uurs gemiddelde NO₂ concentraties per dag, in µg/m³, gemeten op de locaties in Jelsum, Marsum en Bitgummole (achtergrond) op verschillende momenten.

Periode	Datum	NO ₂ concentratie (µg/m ³)						
		Jelsum			Bitgummole ¹⁾		Marsum ¹⁾	
		24 uur	8 uur	1 uur	24 uur	8 uur	24 uur	8 uur
weekend	23 september	16	21	30	3,5	4,4	6,6	7,9
	24 september	11	18	25	3,2	4,0	5,7	6,5
Dagelijkse praktijk	25 september	8,9	18	26	7,7	11	10	15
	26 september	13	24	34	11	13	17	20
	27 september	15	28	44	12	15	-	-
invliegdagen	28 september	10	17	22	6,0	8,0	-	-
	29 september	9,5	16	21	7,1	7,6	-	-
weekend	30 september	6,4	7,6	11	-	5,9	-	-
	1 oktober	5,5	8,5	10	-	-	-	-
Operation	2 oktober	15	27	38	11	11	-	-
Frisian Flag	3 oktober	7,9	12	16	5,6	7,2	-	-
	4 oktober	6,9	14	20	2,5	3,2	-	-
	5 oktober	8,3	17	23	2,2	3,6	-	-
	6 oktober	10	18	28	6,3	8,6	-	-

1) Vanwege een storing met de apparatuur is op de locatie Marsum vanaf 27 september geen data meer verzameld.

Voor de gehele meetperiode liggen de daggemiddelde NO₂ concentraties op de locatie Jelsum gemiddeld 30% hoger dan op de achtergrond locatie in Bitgummole. Door storingen van de NO_x monitor op locatie Marsum na 27 september, kan een dergelijke vergelijking met deze locatie niet worden gemaakt; wel worden op de locatie Jelsum en Marsum tijdens normale operationele omstandigheden vergelijkbare NO₂ concentraties gemeten. De daggemiddelde NO₂ concentraties tijdens de invliegdagen (6 µg/m³) en Operation Frisian Flag (10 µg/m³) gemeten op locatie Jelsum liggen niet hoger dan tijdens normale operationele omstandigheden (12 µg/m³) en in het weekend (10 µg/m³). Dit heeft voor een groot deel te maken met de dominante windrichting tijdens de verschillende perioden (scenario's). Tijdens normale operationele omstandigheden was de windrichting ZZW - ZO, waardoor NO₂ concentraties gemeten op de locatie Jelsum sterk zijn beïnvloed door de emissies vanuit verkeer en industrie in Leeuwarden. Tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag was de windrichting WZW - WNW, met minder invloed vanuit verkeer en industrie. Wel blijkt dat voor alle dagen de gemeten concentraties onder de wettelijke daggemiddelde en uurgemiddelde grenswaarden van 40 en 200 µg/m³ vallen.



Figuur 4.8 Real-time NO₂ concentratie (minuutgemiddelde waarden) gemeten op het meetstation in Jelsum, in µg/m³, tijdens Operation Frisian Flag op 2 oktober 2023 (bovenste figuur) en 3 oktober 2023 (onderste figuur) tussen 06:00 's ochtends en 22:00 's avonds. Voor beide dagen is met behulp van een staafdiagram het aantal start- en landingsmomenten per uur weergegeven (op de y-as aangegeven als aantal vliegbewegingen). Opmerking: op 2 oktober was de wind WZW met de locatie Jelsum benedenwinds van de start- en landingsbaan en op 3 oktober was de wind WNW, waarbij de wind vanaf de vliegbasis Leeuwarden langs de locatie jelsum waaide.

Dat de windrichting een belangrijke factor is, blijkt ook uit de UFP metingen (zie 4.3.1 en Tabel 4.1), waar alleen tijdens de invliegdagen op 28 september 2023 en tijdens Operation Frisian Flag op 2, 4 en 6 oktober verhoogde UFP concentraties werden gemeten. Ook de dag- en 8-uursgemiddelde NO₂ concentraties op deze dagen (11 en 19 µg/m³) liggen hoger dan op overige dagen (29 september en 3 en 5 oktober) tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag (9 en 15 µg/m³). Ondanks deze verhoging in NO₂ concentratie (4 en 2 µg/m³ voor respectievelijk het 8-uurs en daggemiddelde) is geen duidelijke correlatie gevonden tussen de NO₂ concentraties en het starten en landen van de vliegtuigen op de vliegbasis Leeuwarden. Dit heeft vooral te maken met de relatief kleine bijdrage van de vliegbewegingen op de NO₂ concentratie. In Figuur 4.8 is de bijdrage van de vliegbewegingen op de NO₂ concentratie meer inzichtelijk gemaakt. Hierbij is de NO₂ concentratie op 2 oktober 2023 (locatie Jelsum benedenwinds van de vliegbasis) vergeleken met de NO₂ concentratie op 3 oktober 2023 (wind vanaf de vliegbasis waait niet naar de locatie Jelsum).

In Figuur 4.8 is op 2 oktober 2023 een duidelijk invloed te zien van de vliegbewegingen op de NO₂ concentratie, in de vorm van extra kortdurende pieken, die op 3 oktober 2023 ontbreekt. Door de NO₂ bijdrage van deze kortdurende pieken te vergelijken met het aantal start- en landingsmomenten is een maximale bijdrage van ca. 15 µg/m³ gedurende 1 minuut berekend per vliegbeweging. Op basis hiervan is de totale NO₂ bijdrage op de 8-uurs en daggemiddelde NO₂ concentratie geschat op maximaal 3 µg/m³ en 1 µg/m³ voor de invliegdagen op 28 september 2023 en tijdens Operation Frisian Flag op 2, 4 en 6 oktober. De maximale relatieve bijdrage op de totale NO₂ concentratie op deze dagen is geschat op 17% en 10% voor respectievelijk het 8-uurs en daggemiddelde.

4.5 Elementair en organisch koolstof

In Tabel 4.6 zijn de gemeten concentraties elementair koolstof (EC), organisch koolstof (OC) en totaal koolstof (TC) op de meetstations Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM) weergegeven. Op geen van de lokaties en op geen van de momenten is een meetbare concentratie aan elementair koolstof aangetroffen (concentraties zijn lager dan de detectiegrens). Er is dan ook geen meetbare invloed van het vliegverkeer op de vliegbasis Leeuwarden op de concentratie aan elementair koolstof in de buitenlucht. Ook voor organisch koolstof kon geen duidelijk invloed van het vliegverkeer worden vastgesteld.

Tabel 4.6a Concentraties aan elementair koolstof (EC), organisch koolstof (OC) en totaal koolstof (TC), in µg/m³, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Weekend - achtergrond			Normale operationele omstandigheden					
	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023		
Datum									
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
EC	<0,52	<0,53	<0,5	<0,49	<0,5	<0,47	<0,92	<1,0	<0,94
OC	13	7,5	9,2	7,9	9,6	8,6	14	21	15
TC	13	7,5	9,2	7,9	9,6	8,6	14	21	15

Tabel 4.6b Concentraties aan elementair koolstof (EC), organisch koolstof (OC) en totaal koolstof (TC), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Invliegdagen			Operation Frisian Flag								
	28+29 september 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
EC	<0,48	<0,48	<0,47	<0,48	<0,47	<0,47	<0,48	<0,47	<0,47	<1	<1	<0,99
OC	6,7	5,2	5,9	8,6	6,9	6,7	11	2,6	2,5	13	11	14
TC	6,7	5,2	5,9	8,6	6,9	6,7	11	2,6	2,5	13	11	14

4.6 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen

In Tabel 4.7 zijn de gemeten concentraties aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16 EPA PAK) op de meetstations Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM) weergegeven. De concentraties aan PAK zijn laag, wat in overeenstemming is met de lage elementair koolstof concentraties (onder de detectiegrens). Er is dan ook geen meetbare invloed van het vliegverkeer op de vliegbasis Leeuwarden op de concentratie aan PAK in de buitenlucht.

Tabel 4.7a Concentraties aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16 EPA PAK), in ng/m^3 , gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Weekend - achtergrond			Normale operationele omstandigheden					
	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023		
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
naftaleen	22	7,2	12	18	14	15	22	25	13
acenaftyleen	0,66	<0,5	<0,5	<0,5	0,41	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
acenaftteen	1,1	<0,5	<0,5	0,72	0,71	0,71	<1,2	1,4	<0,9
fluoreen	1,6	0,50	0,95	1,1	1,1	1,1	1,6	1,9	0,98
fenantreen	6,4	2,5	4,0	3,1	2,9	2,8	4,4	4,1	3,6
antraceen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
fluoranteen	0,74	<0,5	0,49	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
pyreen	0,66	0,49	0,53	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
benzo(a)anthraceen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
chryseen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
benzo(b)fluoranteen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
benzo(k)fluoranteen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
benzo(b)pyreen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
benzo(ghi)peryleen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
dibenzo(ah)antraceen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
indeno(123cd)pyreen	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,4	<0,4	<1,2	<0,8	<0,9
totaal PAK	33	11	17	23	19	20	28	33	17

Tabel 4.7b Concentraties aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16 EPA PAK), in ng/m³, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Invliegdagen			Operation Frisian Flag								
	28+29 september 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Datum	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS
naftaleen	11	6,2	6,4	10	7,9	6,8	7,8	4,7	5,3	9,7	8,7	5,9
acenaftyleen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
acenafteen	<0,5	<0,5	0,72	<0,5	0,55	0,79	<0,5	<0,5	0,65	<1,2	<0,9	<0,8
fluoreen	0,99	0,57	0,82	0,81	0,79	0,79	0,58	0,48	0,63	<1,2	<0,9	<0,8
fenantreen	2,7	2,2	2,5	2,7	2,5	2,3	2,2	1,9	2,0	2,6	3,2	2,1
antraceen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
fluranteen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
pyreen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
benzo(a)antraceen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
chryseen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
benzo(b)fluoranteen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
benzo(k)fluoranteen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
benzo(b)pyreen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
benzo(ghi)peryleen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
dibenzo(ah)antraceen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
indeno(123cd)pyreen	<0,5	<0,5	<0,4	<0,5	<0,4	<0,4	<0,5	<0,5	<0,4	<1,2	<0,9	<0,8
totaal PAK	15	9,0	10	13	12	11	11	7,0	9,0	12	12	8,0

4.7 Carbonylverbindingen (aldehyden)

In Tabel 4.8 zijn de gemeten concentraties aan carbonylverbindingen (aldehyden) op de meetstations Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM) weergegeven. De concentraties aan aldehyden zijn laag. Er is dan ook geen duidelijke invloed van het vliegverkeer op de vliegbasis Leeuwarden meetbaar op de concentratie aan aldehyden in de buitenlucht.

Tabel 4.8a Concentraties aan carbonylverbindingen (aldehyden), in µg/m³, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Weekend – achtergrond			Normale operationele omstandigheden					
	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023		
Datum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
formaldehyde	0,58	0,40	0,42	0,85	0,86	0,87	1,4	1,1	0,75
acetaldehyde	0,75	<0,7	0,72	1,1	1,0	1,1	2,1	<1,2	<1,1
propionaldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
crotonaldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
methacroleine	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
methylethylketon	<0,7	<0,7	<0,6	1,3	<0,6	1,2	4,1	1,9	1,7
butanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
benzaldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
isovaleraldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
glutaaraldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
valeraldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
o-tolualdehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
m-tolualdehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
p-tolualdehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
hexanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
2,5-dimethylaldehyde	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
heptanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
octanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
nonanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
decanal	<0,7	<0,7	<0,6	<0,7	<0,6	<0,6	<1,7	<1,2	<1,1
totaal aldehyden	1,3	1,2	2,2	3,3	1,9	3,1	7,6	3,0	2,5

Tabel 4.8b Concentraties aan carbonylverbindingen (aldehyden), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Invliegdagen			Operation Frisian Flag								
	28+29 september 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Datum	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS
formaldehyde	0,51	0,39	0,40	0,31	0,31	0,43	<0,3	<0,3	0,28	<0,5	<0,5	0,49
acetaldehyde	0,66	<0,6	0,62	<0,6	<0,6	0,60	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
propionaldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
crotonaldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
methacroleine	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
methylethylketon	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
butanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
benzaldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
isovaleraldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
glutaaraldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
valeraldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
o-tolualdehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
m-tolualdehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
p-tolualdehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
hexanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
2,5-dimethylaldehyde	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
heptanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
octanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
nonanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
decanal	<0,7	<0,6	<0,6	<0,6	<0,6	<0,5	<0,6	<0,6	<0,5	<1,3	<1,3	<1,0
totaal aldehyden	1,2	1,7	2,4	1,7	2,2	3,1	<0,6	<0,6	0,28	<1,3	<1,3	0,49

4.8 Oliemist en andere chemische stoffen

In Tabel 4.9 zijn de gemeten concentraties aan oliemist (minerale olie C6-C30) en enkele andere chemische stoffen op de meetstations Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM) weergegeven. De concentraties aan minerale olie zijn laag. Er is dan ook geen duidelijke invloed van het vliegverkeer op de vliegbasis Leeuwarden op de concentratie aan oliemist in de buitenlucht. Op 6 oktober is op de meetlocatie Jelsum om ca. 9:00 een duidelijke olie/kerosine geur waarneembaar. Door omwonenden is deze olie/kerosine geur ook op 2 en 4 oktober waargenomen. Waarschijnlijk wordt deze emissie veroorzaakt door het taxiën op de baan en het opstarten/warmdraaien van de straalmotor. Om deze olie/kerosine nevel te kunnen bemonsteren is een reserve canister geprepareerd, die om 9:15 kon worden gestart en om 9:30 is gestopt. De olie/kerosine geur was rond die tijd nog net te ruiken, maar aanmerkelijk minder dan om 9:00. De resultaten hiervan zijn ook opgenomen in Tabel 4.9b.

De in de tabel gepresenteerde overige chemische stoffen zijn op basis van een non-target screening geïdentificeerd en gekwantificeerd. Dit zijn stoffen die waarschijnlijk geen relatie hebben met de activiteiten op de vliegbasis Leeuwarden. Ftalaten zijn stoffen die onder andere zijn toegepast als weekmaker in diverse plastic en kunststof producten. Siloxanen worden onder andere toegepast in coatings, lijmen en cosmetica-artikelen. Organofosfaatesters (OPE's) komen onder andere voor in bestrijdingsmiddelen. In het weekend van 23 en 24 september is de concentratie aan ftalaten duidelijk hoger dan op de overige dagen. In hetzelfde weekend zijn ook sporen organofosfaatesters (OPE's) gemeten. Mogelijk is er een samenhang tussen de verhoging van deze organische stoffen en de verhoging in de concentratie aan NO₂ en fijnstof. Deze waarden zijn relatief hoog voor een weekendperiode met weinig verkeer, waardoor emissies vanuit andere bronnen hier mogelijk de oorzaak van kunnen zijn geweest.

Tabel 4.9a Concentraties aan oliemist (minerale olie) en overige chemische stoffen, in µg/m³, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Weekend - achtergrond			Normale operationele omstandigheden					
	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023		
Datum									
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
Olienevel (C6-C30)	4,6	6,3	4,1	10	11	0,1	4,2	5,8	9,1
Som ftalaten	0,35	0,13	0,18	0,12	0,03	0,04	0,11	0,16	0,01
Dibutylftalaat (DBP)	0,05	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Siloxanen	0,02	0,12	0,14	0,04	0,05	0,03	0,08	0,04	0,06
Organofosfaatesters	0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tabel 4.9b Concentraties aan oliemist (minerale olie) en overige chemische stoffen, in µg/m³, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Invliegdagen			Operation Frisian Flag								
	28+29 september 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Datum												
Locatie	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS
Olienevel (C6-C30)	4,7	6,6	4,0	12	4,1	0,6	3,6	1,6	0,3	2,1 (4,1) ¹⁾	0,5	2,5
Som ftalaten	0,07	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	<0,01
Dibutylftalaat (DBP)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Siloxanen	0,02	0,06	0,08	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,05	0,01	0,03	0,04
Organofosfaatesters	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

1) De waarde tussen haakjes is de gemeten concentratie olienevel tijdens het opstarten en opstijgen van straaljagers op 6 oktober tussen 09:15 - 9:30 op locatie Jelsum

4.9 Vluchtige organische componenten

In Tabel 4.10 zijn de gemeten concentraties aan vluchtige organische componenten (VOC) op de meetstations Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM) weergegeven. De concentraties BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen en xyleen) zijn laag en op een vergelijkbaar niveau als op andere landelijke (niet stedelijke) locaties van het Landelijk Meetnet Lucht. Andere aromaten dan BTEX zijn niet aangetroffen (concentratie lager dan de detectiegrens). Ook de totale som

aan vluchtige organische componenten, bepaald met de non-target screening methode, is laag. Er is geen duidelijke invloed van het vliegverkeer op de vliegbasis Leeuwarden op de concentratie aan totaal VOC, BTEX, en andere aromaten in de buitenlucht. Op maandag 2 en dinsdag 3 oktober zijn op de locatie Jelsum ook vluchtige stoffen gemeten die niet gerelateerd zijn aan activiteiten op de vliegbasis Leeuwarden, het gaat o.a. om ethanol, trimethylsilanol en enkele siloxanen. Gezien de gevonden chemische stoffen zijn mogelijke andere bronnen o.a. coatings, cosmetica-artikelen en biogas productie.

Tabel 4.10a Concentraties aan vluchtige organische componenten (VOC), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Weekend - achtergrond			Normale operationele omstandigheden					
	23+24 september 2023			25+26 september 2023			27 september 2023		
Datum									
Locatie	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum	Jelsum	BGM	Marsum
Som VOC	24	40	17	44	54	4	20	10	42
Benzeen	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,7	0,4	0,8
Tolueen	1,1	0,4	0,3	0,6	0,8	0,6	1,2	0,8	1,1
Ethylbenzeen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	<0,1
p,m-Xyleen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,3	<0,1	1,0	0,7	0,9
1,3 butadiene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Isopropylbenzeen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabel 4.10b Concentraties aan vluchtige organische componenten (VOC), in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, gemeten op de locaties Jelsum, Marsum en Bitgummole (BGM, achtergrond) tussen 09:00 – 17:00

Scenario	Invliegdagen			Operation Frisian Flag								
	28+29 september 2023			2+3 oktober 2023			4+5 oktober 2023			6 oktober 2023		
Datum												
Locatie	JS	BGM	MS	JS ¹⁾	BGM	MS	JS	BGM	MS	JS	BGM	MS
Som VOC	23	20	14	180	24	17	26	1,8	0,5	7,4 (14) ²⁾	1,8	5,8
Benzeen	0,3	0,2	0,2	1,2	0,6	0,9	0,3	0,2	0,3	0,3 (0,6) ²⁾	0,3	0,4
Tolueen	0,8	0,7	0,2	0,8	3,8	1,6	0,2	0,2	0,2	0,3 (0,5) ²⁾	0,2	0,2
Ethylbenzeen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
p,m-Xyleen	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
1,3 butadiene	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Isopropylbenzeen	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

- Op 2+3 oktober zijn op de locatie Jelsum ook vluchtige stoffen gemeten die zeer waarschijnlijk niet gerelateerd zijn aan activiteiten op de vliegbasis Leeuwarden, het gaat o.a. om ethanol en silanen/siloxanen
- Getallen tussen haakjes zijn de gemeten concentraties VOC tijdens het opstarten en opstijgen van straaljagers op 6 oktober 09:15-9:30 op locatie Jelsum

5 Discussie

5.1 Overzicht gemeten concentratieniveaus

In Tabel 5.1 is een samenvatting gegeven van de resultaten van het luchtkwaliteitsonderzoek rondom vliegbasis Leeuwarden inclusief een overzicht van concentraties in de rest van Nederland.

Tabel 5.1 Gemeten concentraties rondom vliegbasis Leeuwarden tussen 23 september en 6 oktober 2023, de in Nederland te hanteren luchtkwaliteitsnormen en overzicht van concentraties in de rest van Nederland.

Component	Norm	Locatie	Gemiddeld gemeten concentraties				Concentraties in NL	
			weekend	normale operatie	invlieg dagen	Frisian Flag	Regionaal	Stad / industrie
PM ₁₀	40 µg/m ³ 1) 15 µg/m ³ 2)	Jelsum ²⁶⁾	12	16	17	23	9,0 - 19 ⁶⁾ 8,6 - 17 ⁷⁾	13 - 29 ^{17,18)} 12 - 25 ^{15,16)}
		Marsum	-	-	-	-		
		Bitgummole	-	-	-	-		
PM _{2,5}	25 µg/m ³ 1) 5 µg/m ³ 2)	Jelsum ²⁶⁾ Jelsum ²⁷⁾	7,1 30	10 22	10 18	12 15	3,9 - 10 ⁶⁾ 1,0 - 11 ⁸⁾	5,4 - 16 ^{17,18)} 5,2 - 16 ^{15,16)}
		Marsum ²⁷⁾	33	15	11	11		
		Bitgummole ²⁷⁾	27	19	19	15		
UFP x 10 ³ #/cm ³	40 / 50 3) 200** 2 8)	Jelsum max 8-uurs* max 1-uurs**	6,2 9* 10**	8,0 10* 12**	10,5 30* 80**	14,6 70* 200**	9 ¹⁰⁾ 7 - 10 ¹¹⁾ 10 - 15 ¹²⁾	9-20 ^{18,21)} 16 - 29 ²²⁾ 30 ²⁴⁾ 14 - 31 ²⁴⁾ 80-120 ²³⁾ 200 ²¹⁾
		Marsum max 8-uurs*	4,5 9*	8,3 10*	6,0 -*	4,2 6*		
		Bitgummole	5,3	9,0	5,0	4,5		
NO ₂	40 µg/m ³ 1) 10 µg/m ³ 2)	Jelsum	9,6	12	6,0	9,7	3,5 - 9,1 ⁶⁾ 3,3 - 11 ⁷⁾	14 - 39 ^{17,18)} 8,5 - 21 ^{15,16)}
		Marsum	6,2	14	-	-		
		Bitgummole	3,4	10	-	5,5		
EC	10 µg/m ³ 5) 1 µg/m ³ 4)	Jelsum	< 0,5	< 0,9	< 0,5	< 1	0,2 - 0,6 ⁸⁾ 0,2 - 0,7 ⁹⁾	0,5 - 1,8 ^{17,18)} 0,3 - 1,2 ^{15,16)}
		Marsum	< 0,5	< 0,9	< 0,5	< 1		
		Bitgummole	< 0,5	< 1	< 0,5	< 1		
Oliemist	5000 µg/m ³ 5)	Jelsum	4,6	7,1	4,7	5,9	-	-
		Marsum	4,1	4,6	4,0	1,1		
		Bitgummole	6,3	7,9	6,6	2,1		
PAK (BaP)	1 ng/m ³ 1)	Jelsum	< 0,5	< 1,2	< 0,5	< 1,2	0,03 - 0,23 ¹³⁾ 0,06 ¹⁴⁾	0,10 ¹⁷⁾ 0,02-0,26 ^{15,16)}
		Marsum	< 0,5	< 0,9	< 0,4	< 0,8		
		Bitgummole	< 0,5	< 0,8	< 0,5	< 0,9		
Benzeen	3 µg/m ³ 1)	Jelsum	0,40	0,45	0,30	0,60	0,14 - 0,46 ²⁵⁾ 0,17 - 0,59 ¹⁹⁾ 0,18 - 0,39 ²⁰⁾	0,17 - 1,4 ^{17,18)} 0,15 - 0,54 ¹⁶⁾
		Marsum	0,30	0,55	0,20	0,53		
		Bitgummole	0,40	0,35	0,20	0,37		
Formaldehyde	10 µg/m ³ 1)	Jelsum	0,58	1,1	0,51	0,31	-	-
		Marsum	0,42	0,81	0,40	0,40		
		Bitgummole	0,40	1,0	0,39	0,31		

Opmerkingen bij Tabel 5.1:

- 1) Wettelijke jaargemiddelde grenswaarde
- 2) Jaargemiddelde advieswaarde WHO
- 3) Voorlopige Nano ReferentieWaarde voor arbeidsgerelateerde blootstelling (8 uren TGG)
- 4) Verbodswaarde (MTR) Gezondheidsraad voor arbeid gerelateerde blootstelling (8 uren TGG)
- 5) Wettelijke grenswaarde voor arbeidsgerelateerde blootstelling (8 uren TGG)
- 6) LML meetstation Kollumerwaard (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 7) LML meetstation Balk (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 8) LML meetstation Groningen-Nijensteinheerd (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 9) LML meetstation Valthermond (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 10) Meetstation Cabauw (jaargemiddelden 2008 – 2015)
- 11) TNO/DCMR meetcampagnes omgeving RTHA (Duyzer, 2018): Schiebroek (jaargemiddelden in 2017 en 2023)
- 12) TNO/ECN meetcampagnes omgeving Schiphol (Van Dinther, 2019): Spaarnwoude, Vijfhuizen, Hoofddorp, Aalsmeer (1/2 jaargemiddelden 2017/18)
- 13) TNO meetcampagne Oosterhorn (jaargemiddelde 2019)(Tromp, 2020)
- 14) Datarapport Luchtkwaliteit IJmond 2022 (De Jonge, 2023): De Rijk (jaargemiddelde 2022)
- 15) Datarapport Luchtkwaliteit IJmond 2022 (De Jonge, 2023): Wijk aan Zee – TATA (jaargemiddelde 2022)
- 16) Rapport Luchtkwaliteit in de Rijnmond, Lucht in Cijfers 2022 (Özdemir, 2023): Hoek van Holland (jaargemiddelde 2022)
- 17) LML meetstations Rotterdam-Statenweg (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 18) LML meetstations Amsterdam-Stadhouderskade en -Ookmeer (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 19) LML meetstation Ossendrecht (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 20) LML meetstation Zevenbergen (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 21) TNO meetcampagne Rotterdam-Statenweg (1/2 jaargemiddelde 2012)(Tromp, 2017)
- 22) TNO/ECN meetcampagnes nabij Schiphol: Oude Meer, Nieuwe Meer, Badhoevedorp (1/2 jaargemiddelden 2017/18)(Van Dinther, 2019)
- 23) TNO meetcampagnes luchthaven Schiphol, Eindhoven en RTHA: op platforms airside (maandgemiddelden 2021 – 2023) (Tromp, 2021; De Bruin-Hoegée, 2023; Van Dinther, 2022)
- 24) Rapport Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht (Gezondheidsraad, 2021): nabij industrie en wegen
- 25) LML meetstation Spaarnwoude (minimum en maximum maandgemiddelde 2023)
- 26) Daggemiddelde concentraties gemeten met real-time meetapparatuur
- 27) 8 uren gemiddelde concentraties (09:00 – 17:00) gravimetrisch bepaald conform de NEN12341 (referentiemethode)
- 28) Richtgetal voor piekblootstelling opgesteld door RWS

Uit de Tabel 5.1 blijkt dat, met uitzondering van ultrafijnstof, voor alle overige gemeten stoffen geen van de grenswaarden wordt overschreden. Dit geldt voor alle momenten, inclusief Operation Frisian Flag. Wel worden de jaargemiddelde WHO advieswaarden voor PM₁₀ en PM_{2,5} overschreden; dit geldt overigens voor vrijwel alle locaties in Nederland, inclusief regionale achtergrond. Voor vrijwel alle stoffen (met uitzondering van UFP en NO₂) is geen correlatie aangetoond met de activiteiten op de vliegbasis Leeuwarden. Dat wil zeggen dat er geen aantoonbare invloed van het vliegverkeer kon worden vastgesteld op de gevonden concentraties aan fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5} en PM₁) en organische stoffen zoals minerale olie (oliemist), vluchtige organische componenten (VOCs), BTEX en andere aromatische componenten, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16-EPA-PAK) en carbonylverbindingen. Van al deze stoffen zijn de concentratieniveaus laag en vergelijkbaar met regionale achtergrondwaarden in Nederland.

De gemeten concentratieniveaus aan carbonylverbindingen (o.a. formaldehyde), oliemist (minerale olie) en vluchtige koolwaterstoffen (o.a. benzeen en toluen) zijn vergelijkbaar met de niveaus die tijdens de Open Luchtmacht dagen in juni 2016 zijn gemeten door TNO (TNO-rapport 2016 R11376). Op basis van de resultaten is toen gesteld dat er een bijdrage was van het vliegverkeer op de concentratie aan oliemist. Alhoewel de nu gemeten concentratieniveaus vergelijkbaar zijn, kon nu geen duidelijk invloed van het vliegverkeer op de concentratie aan

oliemist in de lucht worden vastgesteld. In het huidige onderzoek zijn meer metingen uitgevoerd dan in 2016 en op basis daarvan blijkt dat de concentratieniveaus per locatie en per dag sterk variëren waardoor een eenduidige relatie moeilijk is vast te stellen. Dit komt mede doordat het (langsrijdend) verkeer ook bijdraagt aan de minerale olie concentratie in de lucht.

Voor NO₂ is wel een aantoonbare invloed van het vliegverkeer tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag vastgesteld. Op basis van het verschil in NO₂ concentratie op dagen dat de wind vanuit de vliegbasis wel en niet richting de meetlocatie in Jelsum stond is een bijdrage berekend van ca. 2 - 7 µg/m³ voor de daggemiddelde en maximale 1-uurs en 8-uurs concentraties. Dit komt overeen met een relatieve bijdrage ten opzichte van de totale NO₂ concentratie van ongeveer 20-25%. Deze bijdrage is waarschijnlijk niet alleen het resultaat van het vliegverkeer maar mogelijk ook van andere windomstandigheden en de extra verkeersactiviteit als gevolg van Operation Frisian Flag (o.a. vliegtuigspotters).

Op basis van de gemeten kortdurende NO₂ piekconcentraties tijdens de start- en landingsmomenten is een bijdrage van ongeveer 15 µg/m³ voor een periode van 1 minuut berekend per vliegbeweging. Op basis hiervan is de totale NO₂ bijdrage op de maximale 8-uurs en daggemiddelde NO₂ concentratie maximaal 3 µg/m³. De relatieve bijdrage hiervan op de totale NO₂ concentratie is berekend op maximaal 17 %. Ondanks de extra bijdrage van het vliegverkeer op de NO₂ concentratie zullen de jaargemiddelde grenswaarden voor NO₂ niet worden overschreden en zijn de gemeten concentratieniveaus vergelijkbaar met regionale achtergrondwaarden in Nederland. De hoogste concentraties zijn gemeten tijdens normale operationele omstandigheden met wind vanuit de stad Leeuwarden. Hiervoor zijn vooral het verkeer en de industrie in en rond de stad Leeuwarden de belangrijkste bronnen.

Voor een echte jaargemiddelde bijdrage van NO₂ als gevolg van het vliegverkeer dienen de gemeten bijdragen aan NO₂ voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag te worden gecorrigeerd naar de operationele omstandigheden gedurende het gehele jaar (met 40 weken normale operationele omstandigheden, 2 invliegdagen en 2 weken Frisian Flag). Ook moet rekening worden gehouden met de weergegevens (meteo) gedurende het gehele jaar, voor een omrekening van het aantal dagen per jaar dat een locatie benedenwinds van de vliegbasis staat. Op basis van de KNMI weergegevens in Leeuwarden voor 2023, waarbij voor normale operationele omstandigheden is uitgegaan van de NO₂ concentraties gemeten tijdens de invliegdagen (worst case benadering) is de geschatte bijdrage van het vliegverkeer in Jelsum en Marsum maximaal 0,1 µg/m³.

5.2 UFP concentratieniveaus in perspectief

Alleen voor ultrafijnstof is er een duidelijke relatie tussen de gemeten concentraties en de vliegbewegingen op de vliegbasis Leeuwarden. De UFP concentraties nemen sterk toe bij het opstarten, opstijgen en landen van de straaljagers. Vooral tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag zijn de gemeten concentraties benedenwinds van de start- en landingsbaan tijdens deze activiteiten sterk verhoogd, met uurgemiddelde concentraties boven de 100.000 deeltjes/cm³. Dergelijke concentraties worden in verkeerstunnels en op platforms van luchthavens gemeten (Tromp, 2017, Tromp 2021; van Dinther, 2022). Echter, in de omgeving van de vliegbasis Leeuwarden gaat het veelal om piekconcentraties gedurende de vliegactiviteiten; buiten deze momenten daalt de UFP concentratie weer snel naar het achtergrondniveau (4.000 – 8.000 deeltjes/cm³). Dit blijkt ook uit de daggemiddelde UFP concentraties (14.000 – 26.000 deeltjes/cm³), die gedurende Operation Frisian Flag, benedenwinds van de vliegbasis zijn gemeten. Deze concentraties liggen veel lager en zijn vergelijkbaar met daggemiddelde concentraties in een stad (Amsterdam, Rotterdam). Wel blijkt dat bij vergelijking met de voorlopige Nano Referentie Waarde, de maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentraties, gemeten

tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag, in dezelfde orde van grootte liggen (30.000 – 70.000 deeltjes/cm³) en de NRW zelfs incidenteel kunnen overschrijden.

De metingen hebben in een korte periode plaatsgevonden, waarbij deels ook bij extra vliegbewegingen als gevolg van Operation Frisian Flag. Een directe vergelijking van de gemeten concentraties met jaargemiddelde luchtkwaliteitsnormen en arbeidskundige grens- en advieswaarden is daarom niet gewenst. De gemeten UFP concentraties zijn namelijk sterk windrichting afhankelijk. De dominante windrichting tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag was zuidwest, wat betekende dat de meetlocatie Jelsum de meeste dagen benedenwinds van de start- en landingsbaan lag. In de periode met normale operationele omstandigheden kwam de wind hoofdzakelijk uit zuiden en zuidoosten, waardoor geen van de meetlocaties benedenwinds lag en het effect van vliegactiviteiten op de vliegbasis Leeuwarden niet meetbaar was.

Bij een vergelijking met jaargemiddelde normen en arbo-grenswaarden dienen de gemeten waarden voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag te worden gecorrigeerd naar de operationele omstandigheden (vliegbewegingen) gedurende het gehele jaar. Aangezien tijdens normale operatie geen benedenwindse metingen konden worden uitgevoerd, worden de UFP concentraties gemeten tijdens de invliegdagen gebruikt als een “conservatief” scenario voor normale operatie. Het aantal vliegbewegingen tijdens de invliegdagen is namelijk vergelijkbaar met drukke dagen tijdens normale operatie (zie Bijlage B). Daarnaast moet worden gecorrigeerd voor een jaargemiddeld weerbeeld. Dat betekent dat een omrekening moet plaatsvinden op basis van het aantal dagen per jaar dat een locatie benedenwinds van de vliegbasis staat. Voor de omgeving van Jelsum en Marsum betekent dit een geschatte jaargemiddelde UFP concentratie van maximaal 8.000 deeltjes/cm³. Bij een gemeten achtergrondconcentratie van ca. 6.000 deeltjes/cm³, is de toename van de UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum, als gevolg van de vliegbewegingen op de vliegbasis Leeuwarden maximaal 2.000 deeltjes/cm³ (ca. 30%). Omdat tijdens normale operationele activiteiten geen van de locaties benedenwinds stond, berust deze schatting op een worst case aanname dat de UFP concentratie tijdens normale operationele activiteiten vergelijkbaar is als tijdens de invliegdagen. Ondanks de toename in UFP concentratie blijven de jaargemiddelde concentraties rondom vliegbasis Leeuwarden relatief laag en vergelijkbaar met regionale achtergrondwaarde die op het Landelijk Meetnet Lucht (LML) meetstation Cabauw worden aangetroffen.

Volgens hetzelfde berekeningsprincipe als hierboven is op jaargemiddelde basis de maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum ca. 12.000 deeltjes/cm³. Bij een gemeten 8-uurs gemiddelde achtergrond overdag van ca. 7.500 deeltjes/cm³ is dat een toename van maximaal ca. 60%. Ondanks de toename in UFP concentratie blijft deze nog ruim onder de voorlopige Nano Referentie Waarde.

De in het huidige onderzoek gemeten UFP concentraties zijn van dezelfde grootteorde als de door TNO gemeten niveaus tijdens de Open Luchtmachtdagen in juni 2016 (TNO-rapport 2016 R11376). Het toenmalige achtergrondniveau (ca. 3.000 deeltjes/cm³) ligt wel lager dan de gemiddelde achtergrondconcentratie in dit onderzoek (ca. 6.000 deeltjes/cm³). Dit verschil is te verklaren door de verschillende meetperioden (zomer en herfst) en andere weersomstandigheden. De gemiddeld gemeten UFP concentratie tijdens de Open Luchtmachtdagen in 2016 (ca. 19.000 deeltjes/cm³) is van dezelfde grootteorde als in het huidige onderzoek. Alhoewel de nu gemeten UFP concentraties (35.000 – 70.000 deeltjes/cm³) hoger liggen dan toen, is een vergelijking moeilijk te maken aangezien het type vliegtuigen en aantal vliegbewegingen toen verschillend was. Daarnaast zijn de meetlocaties en de weersomstandigheden niet met elkaar vergelijkbaar.

6 Conclusies

In de periode van 23 september tot en met 6 oktober 2023 zijn in de omgeving van de Vliegbasis Leeuwarden metingen verricht aan o.a. ultrafijnstof (UFP), roet, stikstofdioxide en organische stoffen, zoals aldehyden, PAK en minerale olie. Hiervoor zijn twee meetstations ingericht in de woonkernen Jelsum en Marsum, aan weerszijden van de start- en landingsbaan en één meetstation in Bitgummole als achtergrond station. Door het bemeten van verschillende scenario's, waaronder normale operationele omstandigheden en voorafgaand en gedurende Operation Frisian Flag (worst case), is de invloed van de Vliegbasis Leeuwarden op de lokale luchtkwaliteit in kaart gebracht. Door de gekozen meetstrategie is een goed en representatief beeld ontstaan van de concentraties aan luchtverontreinigende stoffen in de omgeving van de Vliegbasis Leeuwarden.

Uit het onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De concentratieniveaus aan organische luchtverontreinigende stoffen zijn laag en vergelijkbaar met regionale achtergrondwaarden in Nederland. De concentraties komen overeen met de eerdere metingen in juni 2016 tijdens de Open Luchtmachtdagen. Voor géén van de gemeten organische stoffen zijn luchtkwaliteitsnormen, waaronder grens- en advieswaarden, overschreden. Voor deze stoffen kon ook geen meetbare invloed van het vliegverkeer op de luchtkwaliteit worden vastgesteld. Dit geldt voor alle bemeten scenario's, inclusief intensief vliegverkeer gedurende Operation Frisian Flag.
- Er is een kleine bijdrage van het vliegverkeer op de concentratie stikstofdioxide (NO₂). De geschatte verhoging als gevolg van de vliegactiviteiten voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag is maximaal 3 µg/m³ (ca. 17 %) voor de 8-uurs en daggemiddelde concentratie. Ondanks de verhoging in NO₂ concentratie blijven de daggemiddelde waarden en maximale 1-uursgemiddelde waarden nog ruim onder de geldende grenswaarden. Op basis van het aantal vliegbewegingen en de meteodata in 2023 is de geschatte jaargemiddelde bijdrage van de vliegactiviteiten op de NO₂ concentratie in Jelsum en Marsum maximaal 0,1 µg/m³. Deze bijdrage heeft nauwelijks invloed op de jaargemiddelde NO₂ concentraties die regionaal worden gemeten.
- Voor ultrafijnstof (UFP) is er een duidelijke relatie tussen de gemeten concentraties en de vliegbewegingen op de Vliegbasis Leeuwarden. De UFP concentraties nemen sterk toe bij het starten, opstijgen en landen van de straaljagers. Vooral tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag zijn de gemeten concentraties benedenwinds van de start- en landingsbaan tijdens deze activiteiten sterk verhoogd, met uurgemiddelde concentraties die kunnen oplopen tot boven de 100.000 deeltjes per cm³. Daarentegen liggen de daggemiddelde niveaus veel lager (14.000 – 26.000 deeltjes per cm³) en zijn vergelijkbaar met niveaus in een stedelijke omgeving. Gemeten UFP concentraties zijn van dezelfde orde-grootte als de niveaus gemeten tijdens de Open Luchtmachtdagen in juni 2016.
- De gemeten UFP concentraties zijn sterk afhankelijk van de intensiteit van het vliegverkeer en de windrichting. Voorafgaand en tijdens Operation Frisian Flag was de dominante windrichting zuidwest, waardoor de hoogste concentraties zijn gemeten in Jelsum. Op basis van de vliegbewegingen en de meteodata in 2023 is de geschatte jaargemiddelde

UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum maximaal 8.000 deeltjes per cm^3 . Bij een gemeten achtergrondconcentratie van ca. 6.000 deeltjes per cm^3 , is de toename van de UFP concentratie in Jelsum en Marsum, als gevolg van de vliegbewegingen op de Vliegbasis Leeuwarden maximaal 2.000 (ca. 30%) deeltjes per cm^3 . Ondanks de toename in UFP concentratie blijven de jaargemiddelde concentraties relatief laag en vergelijkbaar met de regionale achtergrondwaarde op het landelijk meetstation in Cabauw.

- De maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentraties, gemeten tijdens de invliegdagen en Operation Frisian Flag (30.000 – 70.000 deeltjes per cm^3), liggen in dezelfde orde van grootte als de voorlopige Nano Referentie Waarde. Bij omrekening naar een jaargemiddeld beeld voor 2023, liggen de maximale 8-uurs gemiddelde UFP concentratie in en rondom Jelsum en Marsum op ca. 12.000 deeltjes per cm^3 . Bij een gemeten 8-uurs gemiddelde achtergrond overdag van ca. 7.500 deeltjes per cm^3 is dat een maximale toename van ca. 60%. Ondanks de toename in UFP concentratie blijft deze nog ruim onder de voorlopige Nano Referentie Waarde.
- Omdat tijdens normale operationele activiteiten geen van de meetlocaties benedenwinds van de start- en landingsbaan stond kon de invloed van het ‘normale’ vliegverkeer niet worden bemeaten. De bovengenoemde jaargemiddelde schattingen berusten dan ook op een ‘worst case’ aanname dat de UFP concentratie tijdens normale operationele activiteiten vergelijkbaar is met die tijdens de invliegdagen. Voor meer realistische jaargemiddelde schattingen is het nodig om aanvullende UFP metingen gedurende een langere periode uit te voeren.

7 Referenties

Asscher, L.F. (2012). SER advies nanoreferentiewaarden [Kamerbrief]. Geraadpleegd van <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-archief-54a83741-83f6-406c-805f-0895e6106785/pdf>.

De Bruin-Hoegée, G.J., Esveld, J.C., Moerman, M.M., Lollinga, J.P., van Doorn, L.B., van Dinther, D., Tromp, P.C., Korstanje, T.J. (2022). Concentraties ultrafijnstof op het platform van Rotterdam-The Hague Airport, TNO rapport 2022 R11315

Cavalli, F., Viana, M., Yttri, K.E., Genberg, J., Putaud, J.P., (2009), Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol, *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, 2, 2321–2345

De Jonge, D. (2023). Datarapport Luchtkwaliteit IJmond 2022, GGD Amsterdam LO team Luchtkwaliteit, document 23-1105

Dekkers, S., de Heer, C. (2010). Tijdelijke nano-referentiewaarden, Bruikbaarheid van het concept en van de gepubliceerde methoden, RIVM Report 601044001/2010.

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

Esveld, J.C., le Feber, M., Tromp, P.C. (2023) Onderzoek naar blootstelling van ultrafijnstof op Eindhoven Airport, TNO rapport 2023 R11648

Gezondheidsraad. (2021). Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht (2021/38-A1)

Houtzager, M.M.G., Verhagen, L.M. (2016) Onderzoek naar de luchtkwaliteit rondom Vliegbasis Leeuwarden tijdens de Luchtmachtdagen gehouden op 10 juni 2016. TNO rapport 2016 R11376 (vs2)

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

Özdemir, E., Ganpat, M., van den Elshout, S. (2023). Lucht in Cijfers 2022 Luchtkwaliteit in de Rijnmond. DCMR milieudienst Rijnmond, documentnr. 22348383

RIVM, Inventarisatie van gevaarseigenschappen en gezondheidsstudies van vliegtuigmotor-emissies (VME), notitie RIVM/VSP, opdracht 2023.ADD. 13.02

Stacey, B., Harrison, R.M., Pope, F. (2000). Evaluation of ultrafine particle concentrations and size distributions at London Heathrow Airport, *Atmospheric Environment*, 222, 117148.

Tromp, P.C., Duyzer, J.H. (2020). Meetnet luchtkwaliteit op en rond het bedrijventerrein Oosterhorn Delfzijl. TNO rapport 2020 R10224

Tromp, P.C., van Dinther, D., de Bie, S.E., Duyzer, J.H., Lollinga, J.P., Moerman, M.M., Henke, S.J. (2021). Verkennend onderzoek ultrafijnstof op het Schiphol terrein met behulp van mobiele metingen. TNO rapport 2021 R11745.

Tromp P.C. (2017). Emission of engineered nanoparticles from tires, brake pads, catalytic converters, engine oil and fuel additives during road transport, 6th International Symposium on Ultrafine Particles, Air Quality and Climate Brussels, Belgium May 10 and 11, 2017

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

Van Dinther, D., Moerman, M.M., Lollinga, J.P., van Doorn, L.B., Korstanje, T.J. (2022). Concentraties ultrafijnstof op het platform van Eindhoven Airport, TNO rapport 2022 R11315

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

Whitaker, D., Oliver, K., Shelow, D., Turner, D., MacGregor, I. (2019), Method TO-15A: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS), U.S. Environmental Protection Agency

World Health Organization (2021), WHO global air quality guidelines – Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.

8 Ondertekening

Utrecht, 11 april 2024

Dr. J.E. Strijk
Research Manager

Drs. P.C. Tromp
Auteur

Bijlage A - Relatie UFP en windrichting

Tabel A1. UFP concentraties bij de verschillende windkwadranten, gebaseerd op 10s gemiddelden over de gehele meetperiode.

Wind-kwadrant	Locatie	Aantal metingen (uur) ¹⁾	Rekenkundig gemiddelde (#/cm ³)	Standaard-afwijking (#/cm ³)	10 ^e percentiel (#/cm ³)	Mediaan (#/cm ³)	90 ^e percentiel (#/cm ³)	Maximum (#/cm ³)
Noordoost	Jelsum	2	6.000	3.000	5.000	6.000	8.000	8.000
	Marsum	2	6.000	3.000	5.000	6.000	8.000	9.000
	Achtergrond	0	-	-	-	-	-	-
Noordwest	Jelsum	46	9.000	26.000	2.000	3.000	9.000	167.000
	Marsum	36	3.000	1.000	1.000	3.000	4.000	5.000
	Achtergrond	26	3.000	2.000	1.000	2.000	5.000	8.000
Zuidoost	Jelsum	75	7.000	3.000	5.000	7.000	9.000	25.000
	Marsum	64	7.000	3.000	4.000	7.000	11.000	17.000
	Achtergrond	35	8.000	3.000	5.000	7.000	12.000	13.000
Zuidwest	Jelsum	185	11.000	20.000	4.000	7.000	17.000	193.000
	Marsum	126	5.000	2.000	3.000	5.000	8.000	15.000
	Achtergrond	150	5.000	2.000	3.000	5.000	7.000	14.000

- 1) Het aantal metingen verschilt per locatie vanwege een verschillende meetduur per locatie
- 2) Wind uit het noordoosten is nauwelijks voorgekomen tijdens de meetperiode, het gemiddelde is daarom gebaseerd op weinig datapunten, en niet erg betrouwbaar.

Bijlage B – Vliegtuig- bewegingen in september en oktober 2023

Tabel B1. Aantal start- en landingsmomenten per dag in september 2023, onderverdeeld naar type, militaire en civiele vliegtuigen. De meetdagen zijn aangegeven met kleurvlakken op basis van de scenario's: weekend (blauw), normale operatie (geel), invliegdagen (roze), Operation Frisian Flag (paars).

Datum	A189	AS32	C550	EC45	EUFI	F16	F18	F35	F900	H64	L39	LJ35	M28	NH90	PC12	PC7	SPT	TOR	UNK	Militair	Civiel	Totaal	
1sep				6				7												7	6	13	
2sep				6				10													10	6	16
3sep				6																	0	6	6
4sep			21	4																	19	6	25
5sep			28	4				9													33	8	41
6sep			14	10				11													24	11	35
7sep				10				8													8	10	18
8sep	2			4				14													14	6	20
9sep				4																	0	4	4
10sep				4																	0	4	4
11sep				4		1		16													17	4	21
12sep				6				16										2			18	6	24
13sep				4				16													16	4	20
14sep				2				16													16	2	18
15sep		2		3		1		23													26	3	29
16sep				1																	0	1	1
17sep				4																	0	4	4
18sep				4		1		8													9	4	13
19sep						2		8													10	0	10
20sep								8													8	0	8
21sep				4		3		11								2					16	4	20
22sep				2		3		6									4	1			11	5	16
23sep				4																	0	4	4
24sep				8																	0	8	8
25sep				2		2		15			3							1			21	2	23
26sep				10				22									1				22	11	33
27sep				2				10											2		12	2	14
28sep				2	8			21													29	2	31
29sep				2		7	3	24				3									36	3	39
30sep				4																	0	4	4

Tabel B2. Aantal start- en landingsmomenten per dag in september 2023, onderverdeeld naar type, militaire en civiele vliegtuigen. De meetdagen zijn aangegeven met kleurvlakken op basis van de scenario's: weekend (blauw), normale operatie (geel), invliegdagen (roze), Operation Frisian Flag (paars).

Datum	A189	AS32	C550	EC45	EUF1	F16	F18	F35	F900	H64	L39	LJ35	M28	NH90	PC12	PC7	SPIT	TOR	UNK	Militair	Civiel	Totaal	
1okt				4																0	4	4	
2okt				2	24	24	8	43				4									101	4	105
3okt				4	12	26	8	48				4									94	8	102
4okt				8	22	25	8	49				4									104	12	116
5okt					24	24	8	48				4									104	4	108
6okt				6	24	4	8	46				6			2						86	10	96
7okt				4																	0	4	4
8okt				6																	0	6	6
9okt				2	24	24	8	44				4									100	6	106
10okt				2	24	24	8	45		2		4		2							107	4	111
11okt				6	22	24	8	42		8		2		2							106	8	114
12okt					22	24	8	48		11		6									115	4	119
13okt				4	8	7	3	20		1		3			2						41	7	48
14okt				2																	0	2	2
15okt				6																	0	6	6
16okt				4				20					1								21	4	25
17okt				6				19													19	6	25
18okt				8				18													18	8	26
19okt				2		1		16	2				1								20	2	22
20okt				2				16													16	2	18
21okt				2																	0	2	2
22okt				4																	0	4	4
23okt				3				17													17	3	20
24okt				3				16													16	3	19
25okt				6				14													14	6	20
26okt				2				9													9	2	11
27okt				2				4													4	2	6
28okt				3																	0	3	3
29okt				3																	0	3	3
30okt				4				4		2											6	4	10
31okt				2		4		8													12	2	14

Energy & Materials Transition

Princetonlaan 6
3584 CB Utrecht
www.tno.nl

TNO innovation
for life