Notitie

Bijdrage Luchtvaart aan lokale luchtkwaliteit

Colofon

Opdrachtgever	:	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Bestemd voor	:	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Auteur(s)	:	Naam auteur Naam auteur
Controle door	:	Naam auteur
Datum	:	8 december 2023
Ons kenmerk	:	i&w230602not/rV/sM/kd
Versie	:	2.3
Opgesteld door	:	Adecs Airinfra Consultants BV
Adres	:	Castellum | Gebouw A | 2e etage
		Loire 196 | 2491 AM | Den Haag
Telefoon	:	+31 (0)85 00 711 00
E-mail	:	info@airinfra.eu
Website	:	www.airinfra.eu
KvK nummer	:	54629179

Zonder voorafgaande, schriftelijke toestemming van de opdrachtgever of Adecs Airinfra Consultants BV is het niet toegestaan deze uitgave of delen ervan te vermenigvuldigen of op enige wijze openbaar te maken.

1 Inleiding

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft Adecs gevraagd een onderzoek uit te voeren naar de relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de lokale luchtkwaliteit. Dit onderzoek is uitgevoerd rond 5 Nederlandse luchthavens: Amsterdam (EHAM), Eindhoven (EHEH), Groningen (EHGG), Maastricht (EHBK) en Rotterdam (EHRD). Voor Eindhoven is de bijdrage enkel gebaseerd op het civiel medegebruik van de luchthaven, militair vliegverkeer is niet meegenomen in het onderzoek. Binnen het onderzoek is de relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de emissies en (jaargemiddelde) concentraties in kaart gebracht voor 2019. Deze relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald door de emissies en concentraties als gevolg van luchtvaart af te zetten tegen de cumulatie van emissies en concentraties van alle bronnen binnen de studiegebieden. Per studiegebied zijn, naast de luchtvaart, het wegverkeer en overige bronnen meegenomen in de cumulatie. De overige bronnen zijn meegenomen aan de hand van alle doelgroepen vanuit het RIVM-loket Emissieregistratie (emissies) of via de achtergrondconcentratie (concentraties). De bijdrage van de luchtvaart aan deposities is geen onderdeel van deze notitie. Deze notitie beschrijft de onderzoeksmethodiek, resultaten en conclusie van dit onderzoek.

De lokale luchtkwaliteit in een gebied is afhankelijk van de aanwezigheid van stoffen in de buitenlucht op leefniveau die schadelijk zijn voor de gezondheid. Een maat voor deze aanwezigheid is de concentratie van een dergelijke stof in de lucht. Deze concentratie is het gevolg van de heersende achtergrondconcentratie in combinatie met de uitstoot (emissies) van de schadelijke stoffen door bronnen in het gebied. Binnen dit onderzoek zijn de volgende stoffen in kaart gebracht: stikstofdioxide (NO_2), fijnstof (PM_{10}, $PM_{2,5}$), zwaveldioxide (SO_2), koolstofmonoxide (CO), vluchtige organische stoffen (VOS) en de zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) formaldehyde, benzeen en naftaleen. ZZS zijn chemische stoffen die gevaarlijk zijn voor mens of milieu omdat ze bijvoorbeeld kankerverwekkend zijn, de voortplanting verstoren of zich in de voedselketen ophopen. De 3 ZZS formaldehyde, benzeen en naftaleen zijn allen ook onderdeel van de verzamelgroep VOS.

2 Onderzoeksmethodiek

2.1 Uitgangspunten

De lokale luchtkwaliteit is onderzocht in een studiegebied tot grofweg 3 kilometer buiten de omheining van het luchthaventerrein ('3 km-studiegebied'). Voor de concentratieberekeningen zijn 3 studiegebieden gedefinieerd: 1) het luchthaventerrein; 2) het 3 km-studiegebied, exclusief het luchthaventerrein en 3) alle woonkernen binnen het 3 km-studiegebied. Het brandstofverbruik tijdens de start is vele malen groter dan tijdens andere fasen (taxi, landing, climb-out). Daardoor is de totale emissie tijdens de start het grootste en zijn er hogere concentraties aanwezig op/rondom de baan. Per stof kan dit omschreven effect per fase verschillen vanwege andere factoren die ook een rol spelen. Zo leidt het lagere motorvermogen tijdens de taxi-fase tot een hogere uitstoot van ZZS ten opzichte van de andere fasen[1]. In algemene zin, zijn de emissies tijdens climb-out en landing substantieel lager. Daarbovenop komt het effect dat het vliegtuig tijdens climb-out en landing hoger vliegt waardoor emissies met meer lucht wordt verdund totdat de stof op leefniveau is, zie ook paragraaf 2.4.2. De resultaten van vorige milieueffectrapportages (MER-en)[2] op de onderzochte luchthavens ondersteunen het beeld waarbij de bijdrage van de luchtvaart zich voornamelijk concentreert op/rondom de baan. Als gevolg wordt het 3 km-studiegebied toereikend geacht om de substantiële relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de lokale luchtkwaliteit te omvatten.

De berekende bijdrage van de luchtvaart omvat al het luchtverkeer van/naar de luchthavens, inclusief taxiën, auxiliary power unit (APU)- en ground power unit (GPU)-gebruik, binnen het 3 km-studiegebied. De berekende bijdrage van de luchtvaart is exclusief de emissies ten gevolge van het proefdraaien met motoren, het platformverkeer op de luchthavens en wegverkeer of parkeren op de luchthaven. Vanuit eerdere onderzoeken wordt bijvoorbeeld het effect van proefdraaien op emissies en concentraties klein geacht, zie ook paragraaf 2.4.5. De grens van het 3 km-studiegebied bakent, zoals hierboven verantwoord, de bronnen af die meegenomen zijn in dit onderzoek. In het geval dat een vlucht binnen dit 3 km-studiegebied al de hoogte van 3.000 ft bereikt, is het restant van de vlucht boven de 3.000 ft niet meegenomen in de berekening. De grens van 3.000 ft is gebaseerd op de gemiddelde hoogte van de menglaag, de onderste laag van de atmosfeer[3]. Doordat er weinig uitwisseling plaatsvindt tussen deze menglaag waarin wij leven en de vrije atmosfeer daarboven, wordt het gedeelte van de vlucht boven de 3.000 ft buiten beschouwing gelaten.

De lokale luchtkwaliteit is onderzocht voor het jaar 2019, dus de periode 1-1-2019 tot en met 31-12-2019. Alle gebruikte wegverkeersgegevens, meteogegevens, achtergrondconcentraties en Emissieregistratie zijn op basis van het jaar 2019. De gebruikte luchtverkeersgegevens zijn op basis van het gebruiksjaar 2019 (GJ2019). De exacte periode van het GJ2019 verschilt per luchthaven: 1-11-2018 tot en met 31-10-2019 (EHAM/EHBK/EHRD), 1-1-2019 tot en met 31-12-2019 (EHEH) of 1-4-2019 tot en met 31-3-2020 (EHGG). De luchtverkeersgegevens van GJ2019 zijn geconverteerd naar het jaar 2019 om de directe vergelijking tussen het luchtverkeer en de andere bronnen te maken. Binnen de berekening zijn de gegevens binnen 2018/2020 een-op-een overgezet naar het jaar 2019. Vluchten tussen 1-11-2018 tot en met 31-12-2018 zijn omgezet naar 1-11-2019 tot en met 31-12-2019 en vluchten tussen 1-1-2020 tot en met 31-3-2020 zijn omgezet naar 1-1-2019 tot en met 31-3-2019.

[1] Beschikbaar via https://open.overheid.nl/documenten/ronl-ba42ee1763a15d1bd35e566e99992568ba1f7a47/pdf

[2] Zoals het MER NNHS voor Schiphol (2021) en het MER Rotterdam The Hague Airport (2016)

[3] ICAO (2008). Annex 16 "International standards and recommended practices, Environmental protection", Volume II "Aircraft engine emissions", 3rd ed., plus amendementen.

De relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald door de emissies en concentraties als gevolg van luchtvaart af te zetten tegen de cumulatie van emissies en concentraties van alle bronnen binnen de studiegebieden. Binnen dit onderzoek zijn de volgende stoffen en bronnen in kaart gebracht:

- Emissies en (jaargemiddelde) concentraties voor stikstofdioxide (NO_2) en fijnstof (PM_{10}, $PM_{2,5}$) zijn berekend voor luchtvaart en wegverkeer, overige sectoren zijn meegenomen via het RIVM-loket Emissieregistratie en achtergrondconcentraties.
- Emissies en (jaargemiddelde) concentraties voor zwaveldioxide (SO_2), koolstofmonoxide (CO)[4] en benzeen zijn berekend voor luchtvaart, overige sectoren (inclusief wegverkeer) zijn meegenomen via het RIVM-loket Emissieregistratie en achtergrondconcentraties.

  Vanwege het ontbreken van emissiefactoren voor snelwegverkeer, is het wegverkeer voor deze stoffen meegenomen via de Emissieregistratie in plaats van deze bijdrage te berekenen. Doordat de Emissieregistratie gebruik maakt van een andere methodologie, is hierin wel een resultaat voor wegverkeer, inclusief snelwegverkeer, beschikbaar voor deze stoffen[5].
- Emissies voor vluchtige organische stoffen (VOS) en zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) zijn berekend voor luchtvaart, overige sectoren (inclusief wegverkeer) zijn meegenomen via het RIVM-loket Emissieregistratie.

  Vanwege het ontbreken van achtergrondconcentraties van VOS en ZZS in de Grootschalige Concentratiekaarten Nederland (GCN) kunnen de (jaargemiddelde) concentraties voor VOS en ZZS niet berekend worden. Daarom zijn binnen dit onderzoek enkel de emissies van VOS en ZZS meegenomen. Door het ministerie van IenW worden de concentraties van ZZS wel onderzocht in een andere studie, uitgevoerd door het NLR.

2.2 Aanpak

- De studiegebieden zijn vastgesteld door een rechthoekig gebied te bepalen waarin ten minste het volledige gebied tot 3 kilometer buiten de omheining van het luchthaventerrein valt. Binnen het rechthoekig gebied is een uniform verdeeld raster met een maaswijdte van 500 meter (Amsterdam) of 250 meter (Eindhoven/Groningen/Maastricht/Rotterdam) vastgesteld. De locatie van woonkernen rondom de luchthavens zijn bepaald op basis van de Basisregistratie Topgrafie (BRT) TOP10NL[6].
- Berekeningen van emissies en concentraties van de luchtvaart zijn uitgevoerd met de Adecs-implementatie van het nieuw nationaal model (NNM).
- De emissieberekening is gebaseerd op de eenduidige beschrijving in Annex 8E1 van de Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol (RMI). De vaste Time In Mode (TIM)-tijden vanuit deze methode zijn niet toegepast, omdat binnen de RMI geen locatie voor de emissies wordt vastgesteld. De combinatie van hoeveelheid en locatie van de emissie zijn binnen dit onderzoek nodig voor zowel de emissie- als concentratieberekening. Daarom is, in lijn met vorige milieueffectrapportages (MER-en)[7], een nauwkeurigere methode gebruikt waarbij per vliegtuigbeweging zowel de hoeveelheid als de locatie van de emissies wordt vastgesteld. In lijn met voorgaande MER-en worden deze emissies berekend op basis van gemodelleerde taxiroutes en vliegpaden. De TIM-tijd per vliegtuigbeweging volgt uit de gemodelleerde taxiroute in combinatie met het gemodelleerde vliegpad.

[4] Door een implementatiefout in Geomilieu-STACKS v2022.4 rev 1 konden voor koolstofmonoxide (CO) geen emissies en concentraties voor wegverkeer worden berekend, ondanks dat emissiefactoren voor CO via het ministerie van IenW beschikbaar zijn.

[5] Geilenkirchen, G. et al. (2023), Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

[6] Beschikbaar via https://nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadata/29d5310f-dd0d-45ba-abad-b4ffc6b8785f

[7] Zoals het MER NNHS voor Schiphol (2021) en het MER Rotterdam The Hague Airport (2016).

- Bij deze berekeningen is de emissiedatabase luchtvaart en -havens (april 2023) van het Informatiepunt Leefomgeving (IPLO) toegepast[8].
- Het aantal vliegtuigbewegingen, luchtvaartuigtypen, vliegroutes, vliegprofielen, baanconfiguratie, baanverdeling en routeverdelingen zijn gebaseerd op de daadwerkelijke realisatie per luchthaven in GJ2019. Voor EHEH zijn enkel de civiele vliegtuigbewegingen meegenomen uit GJ2019 (41.441 vliegtuigbewegingen), militair vliegverkeer op EHEH maakt geen deel uit van dit onderzoek.
- De motortypen behorend bij de luchtvaartuigtypen zijn voor EHAM gebaseerd op geregistreerde informatie, ofwel de daadwerkelijke realisatie in GJ2019. Voor de overige luchthavens (EHBK/EHEH/EHGG/EHRD) wordt het gebruikte motortype niet geregistreerd en is het motortype toegewezen op basis van een standaardlijst met meest voorkomende motor per luchtvaartuigtype.
- (Horizontale) vliegroutes volgen, indien beschikbaar, de radartracks en anders modelroutes op basis van de gevlogen standaard vertrek- en aankomstroutes (SIDs/STARs).
- (Verticale) vliegprofielen zijn gebaseerd op de appendices-berekening geluidsbelasting. De gebruikte versie van de appendices verschilt per luchthaven: v12.3 (EHAM) of v13.4 (EHBK/EHEH/EHGG/EHRD).
- Taxiroutes volgen in principe de kortst mogelijke route van de gate/opstelplaats naar het startpunt van de vliegroute:
  - De beschikbare gates per luchtvaartuigtype, op basis van de Time In Mode (TIM)-code[9] van het luchtvaartuig, zijn op elke luchthaven geïnventariseerd.
  - Alle vliegtuigbewegingen zijn willekeurig verdeeld over de beschikbare gates op basis van een uniforme verdeling.
  - Bij EHAM is er voor de banen 18C/36C (Zwanenburgbaan) en 18R/36L (Polderbaan) rekening mee gehouden dat de luchtverkeersleiding taxiroutes kan opleggen via zowel een noordelijke als zuidelijke route[10]. Als gevolg van deze modellering volgt verkeer richting de banen 18C/36C en 18R/36L niet structureel de algemeen kortst mogelijke route, maar de kortst mogelijke noordelijk of zuidelijke route.
  - Elke TIM-code is gekoppeld aan een vaste taxisnelheid in plaats van een vaste tijd, zie tabel 1. Hierdoor wordt variatie verkregen in de TIM-tijd voor de taxi-mode aan de hand van de daadwerkelijke route in plaats van een vaste tijd onafhankelijk van de afgelegde afstand.
- De procentuele verdeling voor het gebruik van APU, GPU en walstroom is gebaseerd op de laatst beschikbare milieueffectrapportage (MER) per luchthaven. Voor EHEH is aangesloten bij de rapportage stikstofdepositieberekening toetsing gebruiksjaar 2019[11]. De volgende percentages zijn aangehouden:
  - EHAM 21% APU, 25% GPU, 54% walstroom;
  - EHBK 60% APU, 25% GPU, 15% walstroom;
  - EHEH/EHGG/EHRD 100% APU, 0% GPU, 0% walstroom.

  Bij deze verdelingen is van toepassing dat het luchtvaartuig in ieder geval voorzien moet zijn van een APU om de uitstoot van de APU mee te nemen in de berekening.
- Emissies van de ZZS formaldehyde en naftaleen zijn bepaald als gewichtsaandeel van VOS op basis van de IPLO-emissiedatabase luchtvaart en -havens (april 2023).

[8] Beschikbaar via https://iplo.nl/thema/lucht/vaststellen-luchtkwaliteit/hulpmiddelen/emissiedatabase-luchtvaart/

[9] De volgende Time In Mode (TIM)-codes worden onderscheiden: HELI, PISTON, TP (turboprop), TF (turbofan), TFBUS (turbofan zakelijke luchtvaart) en JUMBO (turbofan-vliegtuigen met 2 gangpaden of meer).

[10] Zie de "aerodrome ground movement chart" beschikbaar via https://eaip.lvnl.nl/web/2023-03-09-AIRAC/graphics/eAIP/EH-AD-2.EHAM-GMC-A2s.pdf

[11] NLR, DNV GL (2020). Stikstofdepositieberekening Eindhoven Airport: Toetsing gebruiksjaar 2019. NLR-CR-2020-357.

Tabel 1 Typische taxisnelheden gebruikt per TIM-code en vluchtsoort.

TIM-code	Vluchtsoort	Snelheid (m/s)
JUMBO	Aankomst	8
JUMBO	Vertrek	7
TF	Aankomst	8
TF	Vertrek	7
TFBUS	Aankomst	8
TFBUS	Vertrek	7
TP	Aankomst	7
TP	Vertrek	6
HELI	Aankomst	5
HELI	Vertrek	5
PISTON	Aankomst	6
PISTON	Vertrek	4

- Berekeningen van emissies en concentratie van het wegverkeer en achtergrondconcentraties zijn uitgevoerd met Geomilieu-STACKS v2022.4 rev 1.
  - Bij deze berekeningen voor het wegverkeer is gebruik gemaakt van gegevens uit het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL) monitoringstool[12] en de emissiefactoren voor snelwegen en niet-snelwegen[13].
  - Voor de berekening van de achtergrondconcentraties zijn de GCN toegepast[14]. De achtergrondconcentraties zijn, als noodzakelijk, gecorrigeerd voor de invloed van het hoofdwegennet en EHAM. De concentratie als gevolg van deze bronnen worden binnen dit onderzoek namelijk apart berekend, terwijl deze bronnen ook een significante bijdrage hebben aan de achtergrondconcentratie. Om een dubbeltelling van de invloed van het hoofdwegennet en EHAM te voorkomen, wordt de invloed van deze bronnen uit de achtergrondconcentratie gehaald door middel van de beschikbare dubbeltellingcorrectie[14]. Aangezien het hoofdwegennet tot ongeveer 3 kilometer buiten het studiegebied effect kan hebben op de berekende concentraties, zijn alle snelwegen tot 3 kilometer buiten het studiegebied meegenomen in de berekening. Deze methode van modelleren zorgt dat de bijdrage van wegverkeer niet wordt over- of onderschat.
  - Vanuit de NSL-monitoringstool zijn naast alle snelwegen ook niet-snelwegen met een maximumsnelheid groter dan 30 km/u meegenomen. Binnen het studiegebied Amsterdam zijn deze niet-snelwegen daarnaast enkel meegenomen als de intensiteit van licht verkeer groter is dan 3.000 mvt/etmaal of de intensiteit van middelzwaar verkeer groter dan 200 mvt/etmaal.
- Data voor emissies van overige bronnen zijn overgenomen vanuit het RIVM-loket Emissieregistratie.
  - Emissiegegevens vanuit de Emissieregistratie zijn beschikbaar in vierkante gebieden van 5x5 km. Per luchthaven zijn alle vierkanten geselecteerd waar het studiegebied binnenvalt, mits 5% van het studiegebied binnen het vierkant valt. Vervolgens zijn de emissiegegevens geschaald om een schatting te geven van de emissies in het volledige 3 km-studiegebied.

[12] Beschikbaar via https://www.cimlk.nl/documentatie/downloads/nsl-downloads/MR2020/Wegverkeer/j2019/

[13] Beschikbaar via https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtkwaliteit/documenten/publicaties/2023/03/15/emissiefactoren-voor-snelwegen-en-niet-snelwegen-2023

[14] Beschikbaar via https://www.rivm.nl/gcn-gdn-kaarten/concentratiekaarten/cijfers-achter-concentratiekaarten/gcn-concentratiekaartbestanden-achterliggende-jaren

- Emissiegegevens van de volgende bronnen worden onderscheiden: Afvalverwijdering; Bouw; Chemische industrie; Consumenten (onder andere energiegebruik, huishoudelijk afvalwater, productgebruik); Drinkwatervoorziening; Energiesector; Handel, Diensten en Overheid; Landbouw; Natuur; Overige industrie; Raffinaderijen; Railverkeer; Riolering en waterzuiveringsinstallaties; Scheepvaart (incl. visserij); Wegverkeer; (Mobiele) Werktuigen.

2.3 Berekeningsoverzicht

Tabel 2 geeft een globaal overzicht van de uitgangspunten en aanpak gebruikt tijdens de berekening van de verschillende stoffen en bronnen.

Tabel 2 Overzicht van de gebruikte data, databases en modellen voor de berekening van de relatieve bijdrage luchtvaart aan de lokale luchtkwaliteit. Voor zowel luchtvaart als wegverkeer vormen de emissies (emis.) de invoer voor de modelmatig berekende concentraties (conc.) in NNM en STACKS.

Bron	**Type**	**Stikstofdioxiden (NO_2) Fijnstof (PM_{10}, $PM_{2,5}$)**	**Zwaveldioxide (SO_2) Koolstofmonoxide (CO) ZZS: Benzeen (C_6H_6)**	**VOS ZZS: Formaldehyde (CH_2O) ZZS: Naftaleen ($C_{10}H_8$)**
Luchtvaart	Emis.	Data: *GJ2019* Database: *IPLO* Model: *NNM*	Data: *GJ2019* Database: *IPLO* Model: *NNM*	Data: *GJ2019* Database: *IPLO* Model: *NNM*
	Conc.	Model: *NNM*	Model: *NNM*	
Wegverkeer	Emis.	Data: *NSL 2019* Database: IenW Model: *STACKS*		
	Conc.	Model: *STACKS*		
Overig*	Emis.	Data: *Emissiereg. 2019*	Data: *Emissiereg. 2019*	Data: *Emissiereg. 2019*
	Conc.	Data: *GCN* Model: *STACKS*	Data: *GCN* Model: *STACKS*	

*Overig is inclusief wegverkeer indien dit niet apart bepaald is.

Emissiereg. = Loket Emissieregistratie RIVM

GCN = Grootschalige Concentratiekaarten Nederland (GCN); RIVM

IenW = Emissiefactoren voor snelwegen en niet-snelwegen; ministerie IenW

IPLO = Emissiedatabase luchtvaart en -havens; Informatiepunt Leefomgeving (IPLO)

NNM = Nieuw Nationaal Model (NNM) implementatie; Adecs Airinfra software

NSL = Monitoringstool; Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL)

STACKS = Geomilieu STACKS v2022.4 rev 1; DGRM software

2.4 Context en Duiding

Deze paragraaf duidt de context en het eventuele effect van de gekozen aanpak met het oog op de interpretatie van de resultaten en conclusies.

2.4.1 Databronnen en Modellen

De emissies en concentraties voor luchtvaart en wegverkeer zijn waar mogelijk in detail gemodelleerd binnen alle studiegebieden, zie paragraaf 2.1 tot en met 2.3. Ten aanzien van de stof SO_2 is het goed om te vermelden dat voor alle vliegtuigmotoren en alle TIM-codes in de IPLO-database dezelfde (constante) emissiefactor wordt gehanteerd. Deze constante emissiefactor is voor de emissiedatabase als volgt vastgesteld[15]: "*De emissiefactor van SO_2 is overeenkomstig het rekenvoorschrift voor alle motortypes*

[15] To70 rapport: Actualisatie emissiedatabase Schiphol met kenmerk 21.171.15.

vastgesteld op 0,4 gram per kilogram brandstof, op basis van 0,2 g zwavel per kg getankte kerosine." De hoeveelheid zwavel per type kerosine, zoals Jet-A1 voor turbines en AvGas voor zuigermotoren, kan echter verschillen, zoals bijvoorbeeld verwerkt in de Emissieregistratie[16]. Met het oog op de consistentie tussen dit onderzoek en andere onderzoeken naar emissies en concentraties van luchtvaart, zoals voorgaande MER-en op de onderzochte luchthavens, is vastgehouden aan de RMI en IPLO-database inclusief constante SO_2-emissiefactoren.

De emissies van een aantal stoffen voor wegverkeer en de emissie van alle stoffen uit overige bronnen is gebaseerd op het RIVM-loket Emissieregistratie. Ten opzichte van NNM en STACKS-modellen, zijn de gegevens vanuit de Emissieregistratie soms gebaseerd op verouderde invoergegevens en bevatten deze andere aannames[16]. Het belangrijkste verschil in detailniveau is dat emissiegegevens vanuit de Emissieregistratie zijn gebaseerd op gemiddelden per gebied van 5x5 km. Doordat de 3 km-studiegebieden per luchthaven niet volledig overeenkomen met de Emissieregistratie-gebieden, moeten de emissies uit de Emissieregistratie geschaald worden om de emissies in het studiegebied rondom de luchthaven te schatten.

2.4.2 Emissies en Concentraties

Binnen deze notitie worden zowel resultaten voor emissies als concentraties weergegeven. De emissieresultaten omvatten alle emissies binnen een driedimensionaal volume, namelijk het studiegebied tot een hoogte van 3.000 ft (circa 914 meter). De concentratieresultaten daarentegen geven de jaargemiddelde concentraties weer op leefhoogte, vlak boven de grond. Vliegtuigemissies die op hoogte plaatsvinden zullen, ten opzichte van bronnen op leefhoogte, daardoor een relatief kleinere impact hebben op de berekende concentraties.

Belangrijk om te melden is dat vanuit een gezondheidsperspectief de concentratie van de stof op leefhoogte beoordeeld wordt en geen onderscheid kent ten opzichte van de bron. Zowel het Europese Milieu Agentschap (EEA)[17] als de WHO gebruiken concentratie als het gaat om het vaststellen van limieten of referentiewaarden die effect hebben op de gezondheid. De EU-limietwaardes (2004/2008) en WHO-doelwaardes (2021) zijn opgenomen in figuur 1. De EU-limietwaardes zijn verwerkt in de Nederlandse Wet milieubeheer[18]. Voor een aantal stoffen is hierbij ook een limietwaarde aan de jaargemiddelde concentratie vastgesteld, zie tabel 3. De berekende jaargemiddelde concentraties binnen dit onderzoek kunnen worden getoetst aan deze vastgestelde limietwaardes. Voor fijnstof PM_{10} wordt de daggemiddelde norm als belangrijkere norm beschouwd, omdat de daggemiddelde grenswaarde voor PM_{10} ongeveer overeenkomt met een jaargemiddelde concentratie van 32 µg/m^3 en daardoor strenger is. Voor fijnstof $PM_{2,5}$ geldt daarnaast een blootstellingsconcentratieverplichting van 20 µg/m^3 voor het landelijk gemiddelde van stedelijke achtergrondconcentraties gezien over 3 jaar[19]. De GGD adviseert overigens om deze limietwaardes niet als doel op zich te beschouwen, maar om luchtkwaliteit te blijven verbeteren ten behoeve van gezondheidswinst[20].

---

[16] Geilenkirchen, G. et al. (2023), Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

[17] European Environment Agency (EEA), beschikbaar via https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards

[18] Beschikbaar via https://wetten.overheid.nl/jci1.3:c:BWBR0003245&z=2023-04-19&g=2023-04-19

[19] InfoMil, Fijnstof: Normen en regels, beschikbaar via https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/luchtkwaliteit/thema%27/fijn-stof/normen-regels/.

[20] GGD (2019), Beleidsadvisering ruimtelijke planvorming. Beschikbaar via https://www.rivm.nl/ggd-richtlijn-medische-milieukunde-luchtkwaliteit-en-gezondheid/luchtkwaliteit-advisering-door-GGD/beleidsadvisering-ruimtelijke-planvorming.

		EU Air Quality Directives			WHO Air Quality Guidelines					
Pollutant	Averaging period	Objective	Concentration	Comments	Concentration					Comments
					interim targets				AQG level	
					1.	2.	3.	4.		
$PM_{2.5}$	24-hour	Target value			75	50	37,5	25	15 µg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
$PM_{2.5}$	Annual	Limit value	25 µg/m³		35	25	15	10	5 µg/m³	
$PM_{2.5}$	Annual	Indicative limit value	20 µg/m³							
PM_{10}	24-hour	Limit value	50 µg/m³	Not to be exceeded on more than 35 days/year	150	100	75	50	45 µg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
PM_{10}	Annual	Limit value	40 µg/m³		70	50	30	20	15 µg/m³	
O_3	Max. daily 8-hour mean	Target value	120 µg/m³	Not to be exceeded on more than 25 days/year (averaged over 3 years)						
O_3	Max. daily 8-hour mean	Long-term objective	120 µg/m³							
O_3	8-hour	Target value			160	120	–	–	100 µg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
O_3	Peak season[a]	Target value			100	70	–	–	60 µg/m³	
NO_2	Hourly	Limit value	200 µg/m³	Not to be exceeded on more than 18 hours/year					200 µg/m³	
NO_2	Annual	Limit value	40 µg/m³		40	30	20	–	10 µg/m³	
NO_2	24-hour	Target value			120	50	–	–	25 µg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
SO_2	Hourly	Limit value	350 µg/m³	Not to be exceeded on more than 24 hours/year						
SO_2	24-hour	Limit value	125 µg/m³	Not to be exceeded on more than 3 days/year	125	50	–	–	40 µg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
CO	Max. daily 8-hour mean	Limit value	10 mg/m³						10 mg/m³	
CO	24-hour	Target value			7	–	–	–	4 mg/m³	99th percentile (i.e. 3-4 exc. Days/year)
C_6H_6	Annual	Limit value	5 µg/m³						1,7 µg/m³	Reference level
BaP	Annual	Target value	1 ng/m³	Measured as content in PM_{10}						
Pb	Annual	Limit value	0,5 µg/m³	Measured as content in PM_{10}					0,5 µg/m³	
As	Annual	Target value	6 ng/m³	Measured as content in PM_{10}					6,6 ng/m³	Reference level
Cd	Annual	Target value	5 ng/m³	Measured as content in PM_{10}					5 ng/m³	
Ni	Annual	Target value	20 ng/m³	Measured as content in PM_{10}					25 ng/m³	Reference level

Figuur 1 EU-limietwaardes voor concentraties, gebaseerd op EU Air Quality Directives (2004/107/EC en 2008/50/EC), en WHO-doelwaardes voor concentraties, gebaseerd op 'WHO Global Air Quality Guidelines' 2021.[21]

Tabel 3 Luchtkwaliteit eisen (limietwaardes) aan jaargemiddelde concentraties binnen de EU en Nederland.

Stof		**EU** µg/m³	**Nederland** µg/m³
Stikstofdioxide	NO_2	40	40
Zwaveldioxide	SO_2	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	CO	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof	$PM_{2,5}$	25	25
Fijnstof	PM_{10}	40	40
VOS	VOS	n.v.t.	n.v.t.
Formaldehyde	CH_2O	n.v.t.	n.v.t.
Naftaleen	$C_{10}H_8$	n.v.t.	n.v.t.
Benzeen	C_6H_6	5	5

2.4.3 Samenstelling VOS

De samenstelling van VOS is verschillend per type brandstof, dit is bijvoorbeeld te zien in de gegevens over verkeer en vervoer vanuit de Emissieregistratie[22]. De samenstelling van VOS bij brandstof voor auto's bijvoorbeeld verschilt tussen benzine, diesel en LPG. Hetzelfde principe is ook van toepassing bij brandstof voor luchtvaartuigen, zo is de brandstof in gebruik voor straalmotoren anders dan de brandstof voor zuigermotoren. Als gevolg van de verschillende samenstelling van VOS tussen deze soorten brandstof zal ook de emissie van deze stoffen als fracties binnen VOS verschillen.

2.4.4 ZZS

De relatieve bijdrage van de luchtvaart voor een aantal ZZS (1,3-butadiene, crotonaldehyde, isopropylbenzeen, 1-methylnaphthalene en 2-methylnaphthalene) is niet berekend, omdat geen emissiegegevens bekend zijn vanuit de Emissieregistratie. Voor de stoffen 1,3-butadiene en crotonaldehyde is vanuit de Emissieregistratie wel bekend dat deze voorkomen in uitstoot van scheepvaart en wegverkeer[22]. De stof isopropylbenzeen, ook bekend als cumeen, wordt ook gebruikt als coating of

[21] Beschikbaar via https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations/air-quality-standards

[22] Geilenkirchen, G. et al. (2023), Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

schoonmaakmiddel binnen industriële toepassingen, zoals de productie van chemicaliën en textiel[23]. Binnen de luchtvaart is deze stof gemeten in de uitstoot van oude vliegtuigtypen (bijvoorbeeld Boeing 737-300 en Airbus 300), terwijl de stof bij andere vliegtuigtypen (bijvoorbeeld Boeing 737-700 en Boeing 757) niet is gemeten[24].

Van de ZZS stoffen formaldehyde, naftaleen en benzeen zijn emissies in de berekening meegenomen, alleen van benzeen zijn concentraties bepaald. De reden hiervoor is dat voor formaldehyde en naftaleen de concentratiegegevens via de GCN ontbreken (zie hoofdstuk 2.3). Benzeen is als stof wel volledig beschikbaar in de CGN-kaart. Voor benzeen is bekend dat deze stof hoofdzakelijk wordt uitgestoten door het wegverkeer[25], doordat benzeen een bestanddeel is van benzine[26].

2.4.5 Proefdraaien

Binnen dit onderzoek is het proefdraaien met vliegtuigmotoren niet meegenomen in de berekende relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies en concentraties. Proefdraaien gebeurt vaak in relatie tot onderhoud van vliegtuigen, wat in Nederland hoofdzakelijk plaatsvindt op EHAM. Het proefdraaien heeft op EHAM slechts een kleine bijdrage aan de totale emissie van de luchtvaart: 0,19% NO_X, 0,31% PM_{10} en 0,08% VOS[27]. Vanuit deze referentiewaarden wordt het effect van proefdraaien op concentraties in Amsterdam en op emissies en concentraties voor de andere luchthavens ook klein geacht.

[23] European Chemicals Agency (ECHA), beschikbaar via https://echa.europa.eu/nl/substance-information/-/substanceinfo/100.002.458

[24] US EPA, 2009. "Recommended Best Practice for Quantifying Speciated Organic Gas Emissions from Aircraft Equipped with Turbofan, Turbojet, and Turboprop Engines", including corrections using the TOG to VOC ratio (profile 5565)

[25] Benzeen, beschikbaar via Luchtkwaliteit - benzeen | RIVM

[26] Benzeen in lucht, 1995-2020, beschikbaar via Benzeen in lucht, 1995-2020 | Compendium voor de Leefomgeving (clo.nl)

[27] Schiphol MER 2020 NNHS op basis van '500k_NNHS'-scenario.

3 Resultaten

De emissies en concentraties van de luchtvaart zijn gebaseerd op de verkeerssamenstelling voor GJ2019. Tabel 4 beschrijft het aantal vliegtuigbewegingen per luchthaven, onderverdeeld in luchtvaartuigtypen. Op de luchthavens van Amsterdam (EHAM) en Eindhoven (EHEH) wordt het aantal vliegtuigbewegingen gedomineerd door grote turbofan-vliegtuigen: 95,0% (TF; JUMBO) voor EHAM, 96,7% (TF) voor EHEH. De luchthavens van Maastricht (EHBK) en Rotterdam (EHRD) kennen een mix met voornamelijk turbofan (TF) en zuigermotoren (PISTON). Op de luchthaven van Groningen (EHGG) wordt voornamelijk gevlogen met zuigermotoren (PISTON; 73,3%). Daarnaast valt ook op dat zowel EHGG als EHRD relatief veel (maatschappelijk) helikopterverkeer kennen, resulterend in meer dan 10% van de verkeerssamenstelling.

Tabel 4 Aantal vliegtuigbewegingen voor GJ2019 per luchthaven en onderverdeeld in luchtvaartuigtype aan de hand van de Time In Mode (TIM)-code.

TIM-code	Amsterdam (EHAM)		Maastricht (EHBK)		Eindhoven (EHEH)		Groningen (EHGG)		Rotterdam (EHRD)	
HELI	5.671	1,10%	602	4,15%			3.690	11,46%	5.305	10,12%
JUMBO	57.801	11,20%	765	5,27%			14	0,04%		
PISTON	464	0,09%	4.593	31,63%			23.593	73,29%	23.053	43,96%
TF	432.586	83,82%	5.210	35,88%	40.089	96,74%	1.064	3,31%	17.324	33,03%
TFBUS	9.714	1,88%	1.413	9,73%	1.350	3,26%	1.027	3,19%	4.222	8,05%
TP	9.858	1,91%	1.937	13,34%	2	0,00%	2.800	8,70%	2.539	4,84%
Totaal	**516.095**		**14.519**		**41.441**		**32.190**		**52.443**	

De opbouw van de vliegtuigbewegingen kan een groot effect hebben op de resultaten, doordat de samenstelling van emissies sterk type/motor afhankelijk is. Bijvoorbeeld de Boeing 737-800 (TF) stoot op EHAM ongeveer 10,1 kg NO_x en 0,64 kg VOS uit voor 1 start plus 1 landing. Ter vergelijking, de EC135 (HELI), in gebruik als traumahelikopter, stoot in dezelfde situatie ongeveer 0,22 kg NO_x en 1,29 kg VOS uit[28].

3.1 Amsterdam

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom EHAM varieert tussen de 6,7% (VOS) en 76,4% (SO_2), zie tabel 5. Overige bronnen met een hoge relatieve bijdrage aan de emissies rondom EHAM zijn hoofdzakelijk: wegverkeer, consumenten en mobiele werktuigen. Dit valt te verklaren vanuit de grote hoeveelheid stedelijk gebied (onder andere Amsterdam, Haarlem, Hoofddorp, Aalsmeer) dat binnen het studiegebied valt. De relatieve bijdrage van luchtvaart aan de ZZS formaldehyde (49,8%), naftaleen (27,6%) en benzeen (11,8%), allen onderdeel van VOS, valt op doordat deze substantieel hoger is dan de relatieve bijdrage aan VOS (6,7%). Dit valt te verklaren doordat per soort bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is.

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom EHAM is het hoogst voor NO_2 en het laagst voor PM_{10}, zie tabel 6 en tabel 7. Voor NO_2 is deze bijdrage gemiddeld 22,0% op het luchthaventerrein, 4,9% buiten het luchthaventerrein (3 km-studiegebied) en 3,6% in de woonkernen rondom de luchthaven. Figuur 2 toont voor NO_2 de variatie van de relatieve bijdrage van de luchtvaart over het volledige studiegebied. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is kleiner dan aan emissies en concentreert zich voornamelijk op het luchthaventerrein. Dit kan verklaard worden doordat

[28] Geilenkirchen, G. et al. (2023), Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.

veel emissies plaatsvinden tijdens de taxi- en startfase (op het luchthaventerrein) en doordat andere emissies, na de startrol en tijdens de landing, plaatsvinden op hoogte.

Tabel 5 Absolute en relatieve bijdrage (percentage van totale emissies) van de luchtvaart aan emissies in studiegebied Amsterdam voor 2019. Voor alle stoffen is daarnaast de procentuele bijdrage van de 2 grootste overige bronnen weergegeven.

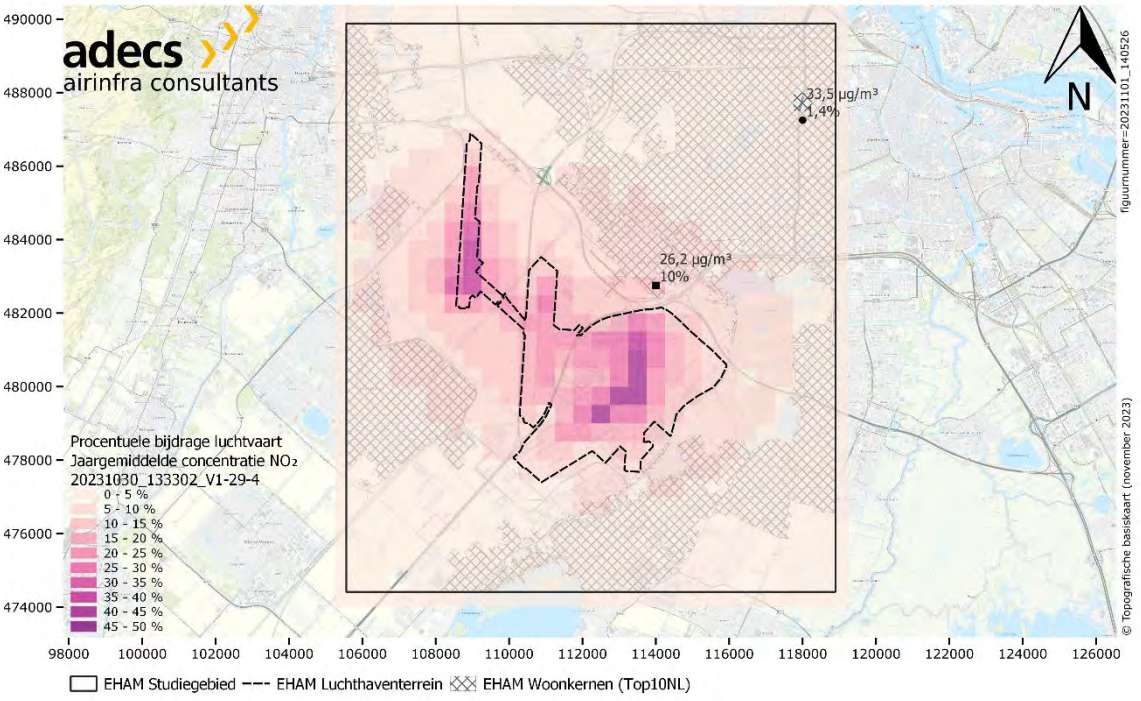
Stof		**Bijdrage emissies [ton/jaar; %]**							
		Luchtvaart		Overige bronnen					
Stikstofdioxide	NO_2	2.900	47,8%	Wegverkeer	37%	Werktuigen	7%	Restant	8%
Zwaveldioxide	SO_2	79	76,4%	Consumenten	7%	Overige Industrie	5%	Restant	12%
Koolstofmonoxide	CO	2.400	21,1%	Wegverkeer	60%	Werktuigen	9%	Restant	10%
Fijnstof	$PM_{2,5}$	82	26,5%	Consumenten	33%	Wegverkeer	18%	Restant	22%
Fijnstof	PM_{10}	82	16,9%	Consumenten	29%	Wegverkeer	29%	Restant	25%
VOS	VOS	300	6,7%	Consumenten	26%	Wegverkeer	20%	Restant	47%
Formaldehyde	CH_2O	37	49,8%	Wegverkeer	43%	Werktuigen	3%	Restant	4%
Naftaleen	$C_{10}H_8$	1,6	27,6%	Wegverkeer	27%	Railverkeer	23%	Restant	22%
Benzeen	C_6H_6	5,1	11,8%	Wegverkeer	69%	Consumenten	11%	Restant	8%

Tabel 6 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Amsterdam voor 2019. Gemiddelde concentratie op het luchthaventerrein EHAM en in het 3 km-studiegebied (exclusief luchthaventerrein).

Stof	**Bijdrage concentraties [µg/m³; %]**			
	Luchthaventerrein		3 km-studiegebied	
Stikstofdioxide	7,7	22,0%	1,1	4,9%
Zwaveldioxide	0,28	11,0%	0,037	4,2%
Koolstofmonoxide	12,0	2,8%	1,5	0,44%
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,24	2,4%	0,032	0,33%
Fijnstof PM_{10}	0,24	1,3%	0,032	0,18%
Benzeen	0,024	3,0%	0,0031	0,41%

Tabel 7 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Amsterdam voor 2019. Gemiddelde en bandbreedte [minimum maximum] van concentraties in de woonkernen rondom EHAM.

Stof	**Bijdrage concentraties woonkernen [µg/m³; %]**			
Stikstofdioxide	0,79	[0,32 - 2,7]	3,6%	[1,2 – 10] %
Zwaveldioxide	0,028	[0,011 - 0,086]	3,4%	[1,5 - 6,7] %
Koolstofmonoxide	1,1	[0,44 - 3,5]	0,32%	[0,13 - 0,94] %
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,024	[0,010 - 0,084]	0,24%	[0,095 - 0,84] %
Fijnstof PM_{10}	0,024	[0,010 - 0,084]	0,13%	[0,051 - 0,47] %
Benzeen	0,0024	[0,001 - 0,0072]	0,30%	[0,097 - 0,95] %



Figuur 2 Relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie NO_2 in studiegebied Amsterdam voor 2019. Binnen de woonkernen rondom EHAM zijn de hoogste maximale cumulatieve concentratie (stip) en de hoogste relatieve bijdrage van de luchtvaart (vierkant) weergegeven. De roze kleurschaal (EHAM) geeft de relatieve bijdrage weer van 0-50%.

Binnen de woonkernen wordt voor 2 stoffen een relatieve bijdrage bereikt die groter is dan 1%[29]: NO_2 en SO_2 (zie tabel 7). De bijdrage van NO_2 in woonkernen is gemiddeld 3,6% met een maximum tot 10%. De bijdrage van SO_2 in woonkernen is gemiddeld 3,4% met een maximum tot 6,7%. Voor beide stoffen wordt het maximum bereikt in Badhoevedorp, dicht bij het luchthaventerrein. De locaties waar de maximale relatieve bijdrage optreedt, komen niet overeen met de locaties waar de maximale concentratie binnen het studiegebied optreedt, zie figuur 2. Voor NO_2 wordt een maximale concentratie van 33,5 µg/m^3 (1,4% bijdrage luchtvaart) bereikt langs de snelweg A10 in Amsterdam, terwijl de locatie met de hoogste bijdrage luchtvaart in Badhoevedorp ligt en daar een concentratie heerst van 26,2 µg/m^3 (10% bijdrage luchtvaart). Voor SO_2 wordt een maximale concentratie van 1,36 µg/m^3 bereikt in Hoofddorp (5,2% bijdrage luchtvaart), terwijl in Badhoevedorp een concentratie heerst van 1,00 µg/m^3 (6,7% bijdrage luchtvaart).

In tabel 8 zijn de maximale jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen binnen het studiegebied Amsterdam weergegeven. In tabel 9 is de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart weergegeven, dus de punten waar het aandeel van de luchtvaart het grootst is ten opzichte van de andere bronnen. De maximale concentraties vallen voor alle stoffen onder de EU-limietwaardes die in Nederland op dit moment gelden. Zoals aangegeven in paragraaf 2.4.2 zijn voor SO_2 en CO geen limietwaardes op jaargemiddelde concentratie vastgesteld. Voor alle stoffen, behalve benzeen, worden daarentegen binnen het studiegebied Amsterdam wel concentraties bereikt hoger dan de WHO-doelwaardes. Ook op de punten waar de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald zijn de jaargemiddelde concentraties hoger dan de WHO-doelwaardes voor alle stoffen, behalve benzeen.

[29] Binnen dit onderzoek is een grens van 1% relatieve bijdrage gekozen, waarboven de bijdrage van de luchtvaart aan de heersende concentratie binnen woonkernen substantieel wordt geacht.

Tabel 8 Maximale (jaargemiddelde) concentratie per stof in studiegebied Amsterdam met bijbehorende relatieve bijdrage van de luchtvaart en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	118.000	487.250	33,5	1,4	40	10
Zwaveldioxide	109.000	479.750	1,36	5,2	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	114.000	482.750	443	0,78	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	118.000	487.250	12,5	0,11	25	5
Fijnstof PM_{10}	118.000	487.250	22,1	0,06	40	15
Benzeen	117.000	485.250	1,10	0,19	5	1,7

Tabel 9 Maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart per stof binnen studiegebied Amsterdam met bijbehorende cumulatieve (jaargemiddelde) concentratie en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	114.000	482.750	26,2	10	40	10
Zwaveldioxide	114.000	483.250	1,00	6,7	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	109.000	479.750	341	0,94	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	114.000	482.750	10,1	0,84	25	5
Fijnstof PM_{10}	114.000	482.750	17,9	0,47	40	15
Benzeen	109.000	479.750	0,71	0,95	5	1,7

3.2 Maastricht

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom EHBK varieert tussen de 0,2% (VOS) en 11,2% (SO_2), zie tabel 10. Overige bronnen met een hoge relatieve bijdrage aan de emissies rondom EHBK zijn hoofdzakelijk: wegverkeer, consumenten, chemische industrie en afvalverwijdering. Dit valt te verklaren vanuit de aanwezigheid van de snelwegen (A2 en A79), woongebieden (onder andere Beek, Meerssen, Maastricht), chemische industrie en het storten van afval binnen het studiegebied. De relatieve bijdrage van luchtvaart aan de ZZS formaldehyde (7,2%), naftaleen (3,2%) en benzeen (0,9%), allen onderdeel van VOS, valt op doordat deze substantieel hoger is dan de relatieve bijdrage aan VOS (0,2%). Dit valt te verklaren doordat per soort bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is.

Tabel 10 Absolute en relatieve bijdrage (percentage van totale emissies) van de luchtvaart aan emissies in studiegebied Maastricht voor 2019. Voor alle stoffen is daarnaast de procentuele bijdrage van de 2 grootste overige bronnen weergegeven.

Stof		Bijdrage emissies [ton/jaar; %]							
		Luchtvaart		Overige bronnen					
Stikstofdioxide	NO_2	45	4,5%	Wegverkeer	49%	Chem. Industrie	31%	Restant	16%
Zwaveldioxide	SO_2	1,0	11,2%	Chem. Industrie	48%	Consumenten	15%	Restant	26%
Koolstofmonoxide	CO	35	2,7%	Wegverkeer	61%	Consumenten	19%	Restant	17%
Fijnstof	$PM_{2,5}$	1,4	3,4%	Consumenten	48%	Wegverkeer	26%	Restant	23%
Fijnstof	PM_{10}	1,4	2,1%	Wegverkeer	39%	Consumenten	35%	Restant	24%
VOS	VOS	3,4	0,2%	Afvalverwijdering	58%	Landbouw	15%	Restant	27%
Formaldehyde	CH_2O	0,42	7,2%	Wegverkeer	76%	Consumenten	11%	Restant	6%
Naftaleen	$C_{10}H_8$	0,018	3,2%	Wegverkeer	36%	Railverkeer	22%	Restant	39%
Benzeen	C_6H_6	0,057	0,9%	Wegverkeer	59%	Consumenten	31%	Restant	9%

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom EHBK is het hoogst voor NO_2 en het laagst voor PM_{10}, zie tabel 11 en tabel 12. Voor NO_2 is deze bijdrage gemiddeld 3,7% op het luchthaventerrein, 0,29% buiten het luchthaventerrein (3 km-studiegebied) en 0,25% in de woonkernen rondom de luchthaven. Figuur 3 toont voor NO_2 de variatie van de relatieve bijdrage van de luchtvaart over het volledige studiegebied. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is kleiner dan aan emissies en concentreert zich voornamelijk op het luchthaventerrein.

Tabel 11 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Maastricht voor 2019. Gemiddelde concentratie op het luchthaventerrein EHBK en in het 3 km-studiegebied (exclusief luchthaventerrein).

Stof	**Bijdrage concentraties [µg/m³; %]**			
	Luchthaventerrein		3 km-studiegebied	
Stikstofdioxide	0,63	3,7%	0,044	0,29%
Zwaveldioxide	0,015	2,2%	0,001	0,17%
Koolstofmonoxide	0,56	0,17%	0,044	0,013%
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,022	0,22%	0,002	0,017%
Fijnstof PM_{10}	0,022	0,13%	0,002	0,010%
Benzeen	0,0014	0,20%	$1{\cdot}10^{-4}$	0,015%

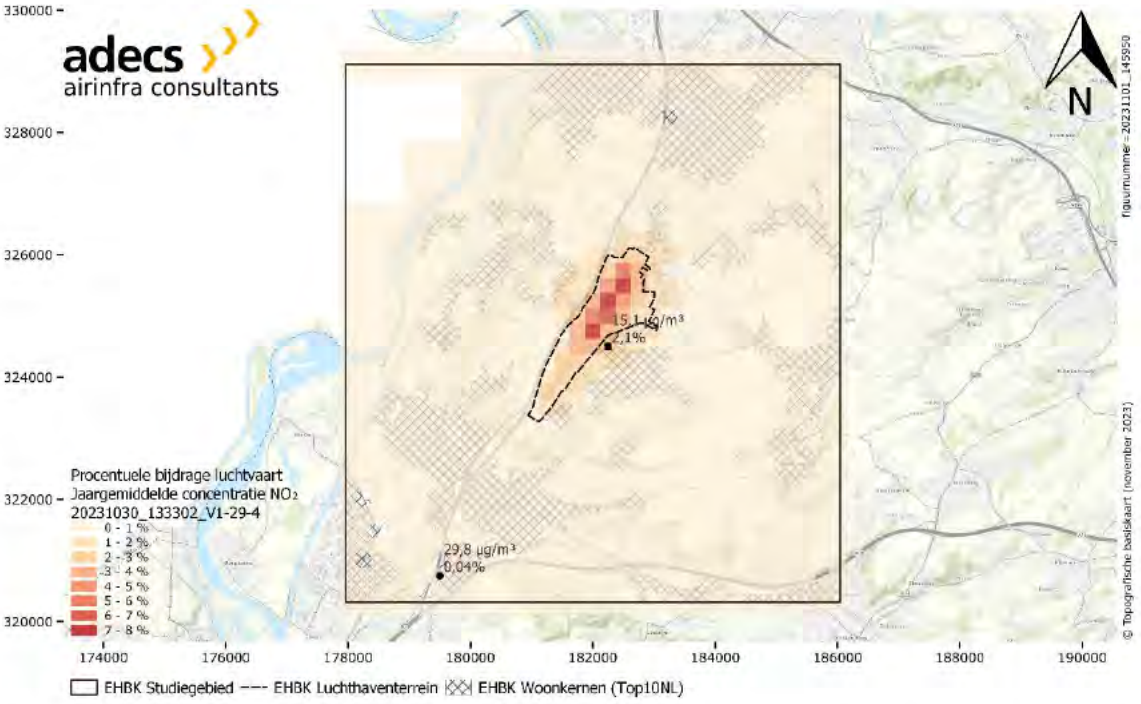
Tabel 12 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Maastricht voor 2019. Gemiddelde en bandbreedte [minimum maximum] van concentraties in de woonkernen rondom EHBK.

Stof	**Bijdrage concentraties woonkernen [µg/m³; %]**			
Stikstofdioxide	0,040	[0,010 - 0,33]	0,25%	[0,044 - 2,1] %
Zwaveldioxide	0,001	[$3{\cdot}10^{-4}$ - 0,008]	0,14%	[0,019 – 1,1] %
Koolstofmonoxide	0,040	[0,008 - 0,30]	0,012%	[0,002 - 0,09] %
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,002	[$4{\cdot}10^{-4}$ - 0,011]	0,015%	[0,004 - 0,12] %
Fijnstof PM_{10}	0,002	[$4{\cdot}10^{-4}$ - 0,011]	0,009%	[0,002 - 0,070] %
Benzeen	$9{\cdot}10^{-5}$	[$2{\cdot}10^{-5}$ - 0,001]	0,013%	[0,003 - 0,13] %

Binnen de woonkernen wordt voor 2 stoffen een relatieve bijdrage bereikt die groter is dan 1%, namelijk NO_2 en SO_2 (zie tabel 12). De bijdrage van NO_2 in woonkernen is gemiddeld 0,25% met een maximum tot 2,1%. De bijdrage van SO_2 in woonkernen is gemiddeld 0,14% met een maximum tot 1,1%. Voor beide stoffen wordt het maximum bereikt in Ulestraten, dicht tegen het luchthaventerrein aan. De locaties waar de maximale relatieve bijdrage optreedt, komen niet overeen met de locaties waar de maximale concentratie binnen het studiegebied optreedt, zie figuur 3. De maximale concentratie NO_2 van 29,8 µg/m³ (0,04% bijdrage luchtvaart) wordt bereikt langs knooppunt Kruisdonk (van snelwegen A2 en A79), waar in Ulestraten een concentratie heerst van 15,1 µg/m³ (2,1% bijdrage luchtvaart). De maximale concentratie SO_2 van 1,36 µg/m³ (0,02% bijdrage luchtvaart) wordt bereikt langs de spoorlijn ten noorden van Maastricht Noord en nabij de Beatrixhaven, waar in Ulestraten een concentratie heerst van 0,72 µg/m³ (1,1% bijdrage luchtvaart).

In tabel 13 zijn de maximale jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen binnen het studiegebied Maastricht weergegeven. In tabel 14 is de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart weergegeven. De maximale concentraties vallen voor alle stoffen onder de EU-limietwaardes, al komen de maximale concentraties allen wel boven de WHO-doelwaardes uit. Op de punten waar de maximale relatieve bijdrage

van de luchtvaart is bepaald, zijn de jaargemiddelde concentraties hoger dan de WHO-doelwaardes voor alle stoffen, behalve benzeen.



Figuur 3 Relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie NO_2 in studiegebied Maastricht voor 2019. Binnen de woonkernen rondom EHBK zijn de hoogste maximale cumulatieve concentratie (stip) en de hoogste relatieve bijdrage van de luchtvaart (vierkant) weergegeven. De rode kleurschaal (EHBK/EHGG/EHRD) geeft de relatieve bijdrage weer van 0-8%.

Tabel 13 Maximale (jaargemiddelde) concentratie per stof in studiegebied Maastricht met bijbehorende relatieve bijdrage van de luchtvaart en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	179.500	320.750	29,8	0,04	40	10
Zwaveldioxide	178.750	320.750	1,36	0,02	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	183.250	329.000	344	0,01	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	179.500	320.750	10,8	0,00	25	5
Fijnstof PM_{10}	179.500	320.750	18,6	0,00	40	15
Benzeen	183.250	329.000	1,90	0,00	5	1,7

Tabel 14 Maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart per stof binnen studiegebied Maastricht met bijbehorende cumulatieve (jaargemiddelde) concentratie en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	182.250	324.500	15,1	2,1	40	10
Zwaveldioxide	182.250	324.500	0,72	1,1	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	181.500	323.500	339	0,09	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	182.250	324.500	9,78	0,12	25	5
Fijnstof PM_{10}	182.250	324.500	16,3	0,07	40	15
Benzeen	181.500	323.500	0,60	0,13	5	1,7

3.3 Eindhoven

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom EHEH varieert tussen de 0,3% (VOS) en 38,2% (SO_2), zie tabel 15. Overige bronnen met een hoge relatieve bijdrage aan de emissies rondom EHEH zijn hoofdzakelijk: wegverkeer, consumenten, overige industrie en landbouw. Dit valt te verklaren vanuit de aanwezigheid van snelwegen (A2 en A58) en een mix van stedelijke gebied ten oosten van de luchthaven en landelijk gebied ten westen van de luchthaven. De relatieve bijdrage van luchtvaart aan de ZZS formaldehyde (5,4%), naftaleen (2,5%) en benzeen (0,7%), allen onderdeel van VOS, valt op doordat deze substantieel hoger is dan de relatieve bijdrage aan VOS (0,3%). Dit valt te verklaren doordat per soort bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is.

Tabel 15 Absolute en relatieve bijdrage (percentage van totale emissies) van de luchtvaart aan emissies in studiegebied Eindhoven voor 2019. Voor alle stoffen is daarnaast de procentuele bijdrage van de 2 grootste overige bronnen weergegeven.

Stof		Bijdrage emissies [ton/jaar; %]							
		Luchtvaart		Overige bronnen					
Stikstofdioxide	NO_2	140	9,5%	Wegverkeer	77%	Werktuigen	6%	Restant	7%
Zwaveldioxide	SO_2	4,1	38,2%	Overige Industrie	20%	Consumenten	20%	Restant	22%
Koolstofmonoxide	CO	45	1,7%	Wegverkeer	71%	Consumenten	13%	Restant	14%
Fijnstof	$PM_{2,5}$	6,6	7,4%	Consumenten	35%	Wegverkeer	27%	Restant	31%
Fijnstof	PM_{10}	6,6	4,0%	Wegverkeer	36%	Overige Industrie	25%	Restant	35%
VOS	VOS	4,9	0,3%	Landbouw	34%	Overige Industrie	17%	Restant	49%
Formaldehyde	CH_2O	0,61	5,4%	Wegverkeer	82%	Consumenten	8%	Restant	5%
Naftaleen	$C_{10}H_8$	0,027	2,5%	Wegverkeer	44%	Railverkeer	19%	Restant	34%
Benzeen	C_6H_6	0,083	0,7%	Wegverkeer	71%	Consumenten	21%	Restant	7%

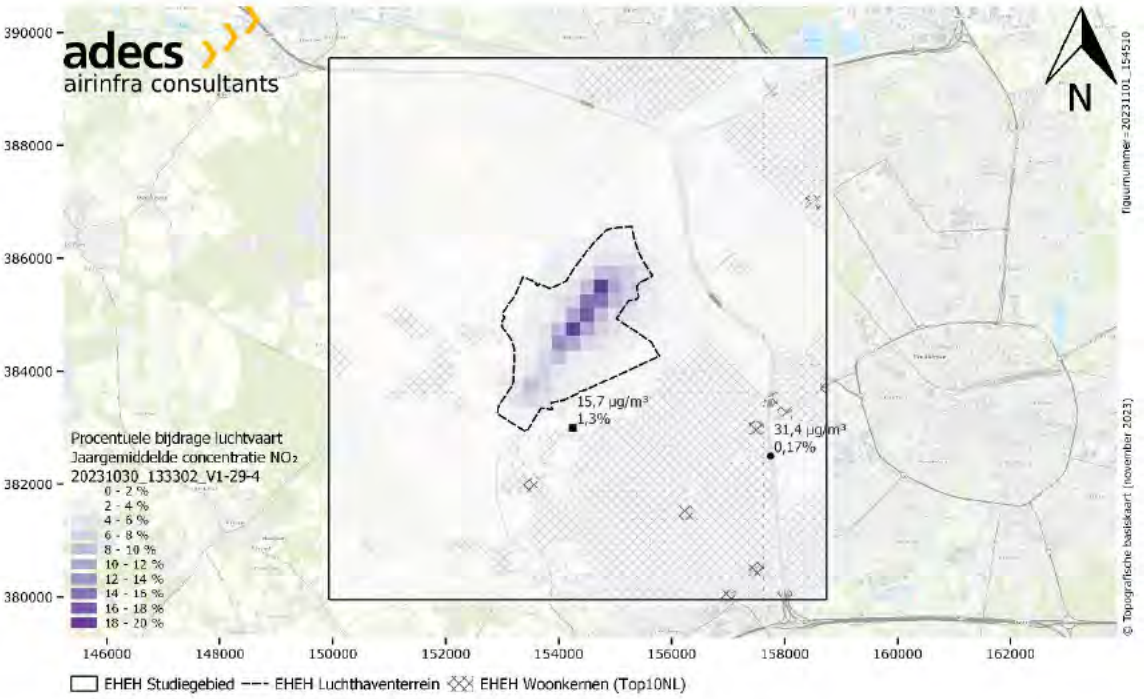
De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom EHEH is het hoogst voor NO_2 en het laagst voor benzeen, zie tabel 16 en tabel 17. Voor NO_2 is deze bijdrage gemiddeld 5,6% op het luchthaventerrein, 0,54% buiten het luchthaventerrein (3 km-studiegebied) en 0,37% in de woonkernen rondom de luchthaven. Figuur 4 toont voor NO_2 de variatie van de relatieve bijdrage van de luchtvaart over het volledige studiegebied. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is kleiner dan aan emissies en concentreert zich voornamelijk op het luchthaventerrein.

Tabel 16 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Eindhoven voor 2019. Gemiddelde concentratie op het luchthaventerrein EHEH en in het 3 km-studiegebied (exclusief luchthaventerrein).

Stof	Bijdrage concentraties [µg/m³; %]			
	Luchthaventerrein		3 km-studiegebied	
Stikstofdioxide	1,00	5,6%	0,10	0,54%
Zwaveldioxide	0,034	4,0%	0,004	0,51%
Koolstofmonoxide	0,53	0,19%	0,057	0,021%
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,053	0,49%	0,006	0,050%
Fijnstof PM_{10}	0,053	0,30%	0,006	0,030%
Benzeen	0,001	0,16%	$1{\cdot}10^{-4}$	0,016%

Tabel 17 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Eindhoven voor 2019. Gemiddelde en bandbreedte [minimum maximum] van concentraties in de woonkernen rondom EHEH.

Stof	Bijdrage concentraties woonkernen [µg/m³; %]			
Stikstofdioxide	0,073	[0,027 - 0,21]	0,37%	[0,12 – 1,3] %
Zwaveldioxide	0,003	[0,001 - 0,008]	0,33%	[0,12 – 0,94] %
Koolstofmonoxide	0,039	[0,015 - 0,10]	0,014%	[0,005 - 0,04] %
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,004	[0,002 - 0,011]	0,035%	[0,013 - 0,10] %
Fijnstof PM_{10}	0,004	[0,002 - 0,011]	0,021%	[0,008 - 0,060] %
Benzeen	$7{\cdot}10^{-5}$	$[3{\cdot}10^{-5} - 2{\cdot}10^{-4}]$	0,010%	[0,004 - 0,03] %



Figuur 4 Relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie NO_2 in studiegebied Eindhoven voor 2019. Binnen de woonkernen rondom EHEH zijn de hoogste maximale cumulatieve concentratie (stip) en de hoogste relatieve bijdrage van de luchtvaart (vierkant) weergegeven. De paarse kleurschaal (EHEH) geeft de relatieve bijdrage weer van 0-20%.

Binnen de woonkernen wordt voor 1 stof een relatieve bijdrage bereikt die groter is dan 1%, namelijk NO_2 (zie tabel 17). De bijdrage aan NO_2 in woonkernen is gemiddeld 0,37% met een maximum tot 1,3%. De maximale relatieve bijdrage aan NO_2 wordt bereikt in Veldhoven, dicht tegen het luchthaventerrein aan. Deze locatie komt niet overeen met de locatie waar de maximale concentratie NO_2 binnen het studiegebied optreedt, zie figuur 4. De maximale concentratie NO_2 van 31,4 µg/m³ (0,17% bijdrage luchtvaart) wordt bereikt langs de snelweg A2, waar in Veldhoven een concentratie heerst van 15,7 µg/m³ (1,3% bijdrage luchtvaart).

In tabel 18 zijn de maximale jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen binnen het studiegebied Eindhoven weergegeven. In tabel 19 is de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart weergegeven. De maximale concentraties vallen voor alle stoffen onder de EU-limietwaardes, al komen de maximale concentraties voor alle stoffen, behalve benzeen, wel boven de WHO-doelwaardes uit. Op de punten waar de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald, zijn de jaargemiddelde concentraties hoger dan de WHO-doelwaardes voor alle stoffen, behalve benzeen.

Tabel 18 Maximale (jaargemiddelde) concentratie per stof in studiegebied Eindhoven met bijbehorende relatieve bijdrage van de luchtvaart en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	157.750	382.500	31,4	0,17	40	10
Zwaveldioxide	158.000	383.750	0,94	0,31	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	157.750	387.500	313	0,02	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	158.000	383.750	12,0	0,03	25	5
Fijnstof PM_{10}	158.000	383.750	20,0	0,02	40	15
Benzeen	158.000	383.750	0,90	0,01	5	1,7

Tabel 19 Maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart per stof binnen studiegebied Eindhoven met bijbehorende cumulatieve (jaargemiddelde) concentratie en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	154.250	383.000	15,7	1,3	40	10
Zwaveldioxide	157.250	385.750	0,77	0,94	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	152.750	384.750	248	0,04	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	154.250	383.000	10,7	0,10	25	5
Fijnstof PM_{10}	154.250	383.000	17,6	0,06	40	15
Benzeen	152.750	384.750	0,60	0,03	5	1,7

3.4 Groningen

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom EHGG varieert tussen de 0,4% (VOS) en 24,9% (SO_2), zie tabel 20. Overige bronnen met een hoge relatieve bijdrage aan de emissies rondom Groningen zijn hoofdzakelijk: wegverkeer, consumenten en landbouw. Dit valt te verklaren vanuit de aanwezigheid van een snelweg (A28) en een mix van dorpen (onder andere Eelde) en landelijk gebied. De relatieve bijdrage van luchtvaart aan de ZZS formaldehyde (23,7%), naftaleen (9,0%) en benzeen (4,2%), allen onderdeel van VOS, vallen op doordat deze substantieel hoger zijn dan de relatieve bijdrage aan VOS (0,4%). Dit valt te verklaren doordat per soort bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is.

Tabel 20 Absolute en relatieve bijdrage (percentage van totale emissies) van de luchtvaart aan emissies in studiegebied Groningen voor 2019. Voor alle stoffen is daarnaast de procentuele bijdrage van de 2 grootste overige bronnen weergegeven.

Stof		Bijdrage emissies [ton/jaar; %]							
		Luchtvaart		Overige bronnen					
Stikstofdioxide	NO_2	6,6	2,2%	Wegverkeer	52%	Landbouw	26%	Restant	20%
Zwaveldioxide	SO_2	0,29	24,9%	Consumenten	34%	Wegverkeer	23%	Restant	18%
Koolstofmonoxide	CO	79	12,6%	Wegverkeer	53%	Consumenten	10%	Restant	24%
Fijnstof	$PM_{2,5}$	0,34	2,7%	Consumenten	47%	Wegverkeer	28%	Restant	22%
Fijnstof	PM_{10}	0,34	1,5%	Wegverkeer	37%	Consumenten	33%	Restant	28%
VOS	VOS	5,3	0,4%	Landbouw	73%	Natuur	13%	Restant	14%
Formaldehyde	CH_2O	0,65	23,7%	Wegverkeer	64%	Consumenten	5%	Restant	7%
Naftaleen	$C_{10}H_8$	0,029	9,0%	Landbouw	31%	Wegverkeer	26%	Restant	34%
Benzeen	C_6H_6	0,089	4,2%	Wegverkeer	67%	Consumenten	18%	Restant	11%

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom EHGG is het hoogst voor SO_2 en het laagst voor PM_{10}, zie tabel 21 en tabel 22. Voor SO_2 is deze bijdrage gemiddeld 0,99% op het luchthaventerrein, 0,071% buiten het luchthaventerrein (3 km-studiegebied) en 0,073% in de woonkernen rondom de luchthaven. Figuur 5 toont ter indicatie voor NO_2 de variatie van de relatieve bijdrage van de luchtvaart over het volledige studiegebied. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is kleiner dan aan emissies en concentreert zNaam voornamelijk op het luchthaventerrein.

Binnen de woonkernen wordt voor geen enkele stof een relatieve bijdrage bereikt die groter is dan 1%, met een maximale relatieve bijdrage van 0,25% aan SO_2 in Yde, zie tabel 22.

Tabel 21 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Groningen voor 2019. Gemiddelde concentratie op het luchthaventerrein EHGG en in het 3 km-studiegebied (exclusief luchthaventerrein).

Stof	Bijdrage concentraties [µg/m³; %]			
	Luchthaventerrein		3 km-studiegebied	
Stikstofdioxide	0,069	0,69%	0,005	0,048%
Zwaveldioxide	0,0041	0,99%	$3{\cdot}10^{-4}$	0,071%
Koolstofmonoxide	0,74	0,29%	0,054	0,021%
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,005	0,059%	$3{\cdot}10^{-4}$	0,004%
Fijnstof PM_{10}	0,005	0,032%	$3{\cdot}10^{-4}$	0,002%
Benzeen	0,0018	0,46%	$1{\cdot}10^{-4}$	0,034%

Tabel 22 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties in studiegebied Groningen voor 2019. Gemiddelde en bandbreedte [minimum maximum] van concentraties in de woonkernen rondom EHGG.

Stof	Bijdrage concentraties woonkernen [µg/m³; %]			
Stikstofdioxide	0,005	[0,002 - 0,024]	0,048%	[0,016 - 0,24] %
Zwaveldioxide	$3{\cdot}10^{-4}$	[$1{\cdot}10^{-4}$ – 0,001]	0,073%	[0,022 - 0,25] %
Koolstofmonoxide	0,052	[0,018 - 0,20]	0,021%	[0,007 - 0,079] %
Fijnstof $PM_{2,5}$	$3{\cdot}10^{-4}$	[$1{\cdot}10^{-4}$ - 0,0015]	0,004%	[0,001 - 0,019] %
Fijnstof PM_{10}	$3{\cdot}10^{-4}$	[$1{\cdot}10^{-4}$ - 0,0015]	0,002%	[$7{\cdot}10^{-4}$ - 0,010] %
Benzeen	$1{\cdot}10^{-4}$	[$5{\cdot}10^{-5}$ - $5{\cdot}10^{-4}$]	0,037%	[0,011 - 0,12] %



Figuur 5 Relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie NO_2 in studiegebied Groningen voor 2019. Binnen de woonkernen rondom EHGG zijn de hoogste maximale cumulatieve concentratie (stip) en de hoogste relatieve bijdrage van de luchtvaart (vierkant) weergegeven. De rode kleurschaal (EHBK/EHGG/EHRD) geeft de relatieve bijdrage weer van 0-8%.

In tabel 23 zijn de maximale jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen binnen het studiegebied Groningen weergegeven. In tabel 24 is de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart weergegeven. De maximale concentraties vallen voor alle stoffen onder de EU-limietwaardes, al komen de maximale concentraties voor NO_2 en $PM_{2,5}$ wel boven de WHO-doelwaardes uit. Ook op de punten waar de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald zijn de jaargemiddelde concentraties van NO_2 en $PM_{2,5}$ hoger dan de WHO-doelwaardes.

Tabel 23 Maximale (jaargemiddelde) concentratie per stof in studiegebied Groningen met bijbehorende relatieve bijdrage van de luchtvaart en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	236.250	575.000	13,0	0,02	40	10
Zwaveldioxide	233.750	573.000	0,46	0,09	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	233.750	575.000	267	0,01	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	236.250	575.000	7,88	0,00	25	5
Fijnstof PM_{10}	236.250	575.000	14,6	0,00	40	15
Benzeen	234.750	572.750	0,40	0,12	5	1,7

Tabel 24 Maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart per stof binnen studiegebied Groningen met bijbehorende cumulatieve (jaargemiddelde) concentratie en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

Stof	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	235.750	570.750	10,0	0,24	40	10
Zwaveldioxide	234.500	570.000	0,43	0,25	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	234.500	570.000	258	0,08	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	235.750	570.750	7,71	0,02	25	5
Fijnstof PM_{10}	235.750	570.750	14,3	0,01	40	15
Benzeen	234.750	572.750	0,40	0,12	5	1,7

3.5 Rotterdam

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom EHRD varieert tussen de 0,6% (VOS) en 10,6% (formaldehyde), zie tabel 25. Overige bronnen met een hoge relatieve bijdrage aan de emissies rondom Rotterdam zijn hoofdzakelijk: wegverkeer, consumenten, scheepvaart, railverkeer en overige industrie. Dit valt te verklaren vanuit de snelwegen (A20 en A13), de grote hoeveelheid stedelijk gebied (onder andere Rotterdam, Schiedam) en de nabijgelegen spoor- en metrobanen die binnen het studiegebied vallen. De bijdrage van de scheepvaart is als gevolg van de verwerking van de Emissieregistratie waarschijnlijk te hoog ingeschat, doordat de meeste havens en rivieren (Maas) precies buiten het studiegebied vallen. De relatieve bijdrage van luchtvaart aan de ZZS formaldehyde (10,6%), naftaleen (3,6%) en benzeen (1,3%), allen onderdeel van VOS, vallen op doordat deze substantieel hoger zijn dan de relatieve bijdrage aan VOS (0,6%). Dit valt te verklaren doordat per soort bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is.

Tabel 25 Absolute en relatieve bijdrage (percentage van totale emissies) van de luchtvaart aan emissies in studiegebied Rotterdam voor 2019. Voor alle stoffen is daarnaast de procentuele bijdrage van de 2 grootste overige bronnen weergegeven.

Stof		Bijdrage emissies [ton/jaar; %]							
		Luchtvaart		Overige bronnen					
Stikstofdioxide	NO_2	55	3,1%	Wegverkeer	62%	Scheepvaart	14%	Restant	21%
Zwaveldioxide	SO_2	1,9	9,5%	Scheepvaart	37%	Overige Industrie	17%	Restant	36%
Koolstofmonoxide	CO	79	2,2%	Wegverkeer	69%	Werktuigen	14%	Restant	15%
Fijnstof	$PM_{2,5}$	2,8	2,4%	Consumenten	34%	Wegverkeer	25%	Restant	39%
Fijnstof	PM_{10}	2,8	1,3%	Wegverkeer	33%	Overige Industrie	26%	Restant	40%
VOS	VOS	12	0,6%	Consumenten	29%	Wegverkeer	16%	Restant	54%
Formaldehyde	CH_2O	1,4	10,6%	Wegverkeer	69%	Werktuigen	9%	Restant	13%
Naftaleen	$C_{10}H_8$	0,063	3,6%	Railverkeer	30%	Wegverkeer	29%	Restant	37%
Benzeen	C_6H_6	0,20	1,3%	Wegverkeer	68%	Consumenten	12%	Restant	19%

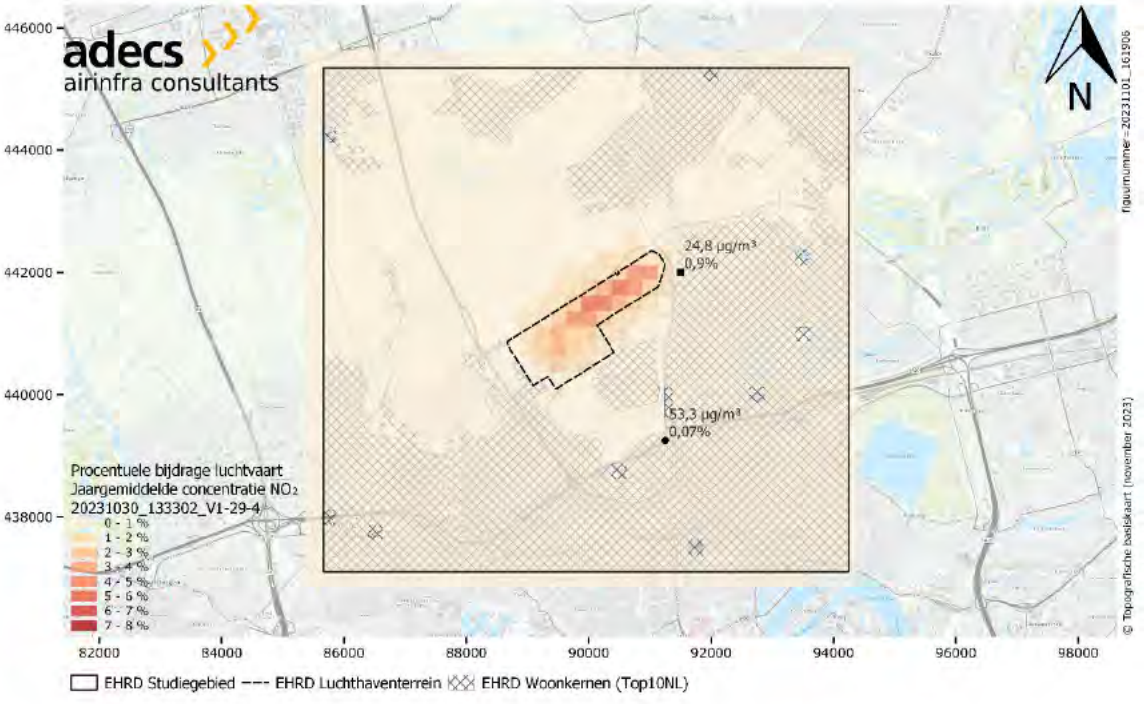
De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom EHRD is het hoogst voor NO_2/SO_2 en het laagst voor PM_{10}, zie tabel 26 en tabel 27. Voor NO_2/SO_2 is deze bijdrage gemiddeld 2,8% op het luchthaventerrein, 0,19% buiten het luchthaventerrein (3 km-studiegebied) en 0,15% in de woonkernen rondom de luchthaven. Figuur 6 toont ter illustratie voor NO_2 de variatie van de relatieve bijdrage van de luchtvaart over het volledige studiegebied. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is kleiner dan aan emissies en concentreert zich voornamelijk op het luchthaventerrein.

Tabel 26 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties emissies in studiegebied Rotterdam voor 2019. Gemiddelde concentratie op het luchthaventerrein EHRD en in het 3 km-studiegebied (exclusief luchthaventerrein).

Stof	Bijdrage concentraties [µg/m³; %]			
	Luchthaventerrein		3 km-studiegebied	
Stikstofdioxide	0,65	2,8%	0,042	0,19%
Zwaveldioxide	0,031	2,8%	0,001	0,19%
Koolstofmonoxide	1,1	0,33%	0,071	0,023%
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,041	0,41%	0,002	0,026%
Fijnstof PM_{10}	0,041	0,23%	0,002	0,015%
Benzeen	0,004	0,49%	$3 \cdot 10^{-4}$	0,030%

Tabel 27 Absolute en relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de (jaargemiddelde) concentraties emissies in studiegebied Rotterdam voor 2019. Gemiddelde en bandbreedte [minimum maximum] van concentraties in de woonkernen rondom EHRD.

Stof	Bijdrage concentraties woonkernen [µg/m³; %]			
Stikstofdioxide	0,036	[0,010 - 0,22]	0,15%	[0,035 - 0,89] %
Zwaveldioxide	0,002	[$5 \cdot 10^{-4}$ - 0,011]	0,15%	[0,026 – 1,1] %
Koolstofmonoxide	0,064	[0,016 - 0,41]	0,019%	[0,005 - 0,12] %
Fijnstof $PM_{2,5}$	0,002	[$6 \cdot 10^{-4}$ - 0,013]	0,021%	[0,006 - 0,13] %
Fijnstof PM_{10}	0,002	[$6 \cdot 10^{-4}$ - 0,013]	0,012%	[0,003 - 0,073] %
Benzeen	$2 \cdot 10^{-4}$	[$6 \cdot 10^{-5}$ - 0,002]	0,024%	[0,006 - 0,20] %



Figuur 6 Relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de concentratie NO_2 in studiegebied Rotterdam voor 2019. Binnen de woonkernen rondom EHRD zijn de hoogste maximale cumulatieve concentratie (stip) en de hoogste relatieve bijdrage van de luchtvaart (vierkant) weergegeven. De rode kleurschaal (EHBK/EHGG/EHRD) geeft de relatieve bijdrage weer van 0-8%.

Binnen de woonkernen wordt voor 1 stof een relatieve bijdrage bereikt die groter is dan 1%, namelijk SO_2 (zie tabel 27). De bijdrage aan SO_2 in woonkernen is gemiddeld 0,15% met een maximum tot 1,1%. De maximale relatieve bijdrage aan SO_2 wordt bereikt in Zestienhoven, dicht tegen het luchthaventerrein aan. Deze locatie komt niet overeen met de locatie waar de maximale concentratie SO_2 binnen het studiegebied optreedt. De maximale concentratie SO_2 van 1,80 µg/m³ (0,03% bijdrage luchtvaart) wordt bereikt in Schiedam langs de snelweg A20, waar in Zestienhoven een concentratie heerst van 1,04 µg/m³ (1,1% bijdrage luchtvaart). De maximale jaargemiddelde concentratie NO_2 in het studiegebied is hoger dan de norm van 40 µg/m³ en wordt bereikt langs de snelweg A20, zie figuur 6. De bijdrage van de luchtvaart in dat punt is zeer gering, circa 0,07%.

In tabel 28 zijn de maximale jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen binnen het studiegebied Rotterdam weergeven. In tabel 29 is de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart weergegeven. De maximale concentratie NO_2 komt binnen dit studiegebied boven de EU-limietwaarde uit, doordat dit punt, zoals hierboven omschreven, naast een snelweg ligt. De maximale concentraties van andere stoffen vallen wel onder de EU-limietwaardes, al komen de maximale concentraties voor fijnstof $PM_{2,5}$ en PM_{10} wel boven de WHO-doelwaardes uit. Op de punten waar de maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart is bepaald, vallen de jaargemiddelde concentraties voor alle stoffen, behalve benzeen, onder de EU-limietwaardes, maar boven de WHO-doelwaardes.

Tabel 28 Maximale (jaargemiddelde) concentratie per stof in studiegebied Rotterdam met bijbehorende relatieve bijdrage van de luchtvaart en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

EHRD	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	91.250	439.250	53,3	0,07	40	10
Zwaveldioxide	85.750	437.750	1,80	0,03	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	91.000	437.750	360	0,01	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	91.250	439.250	12,5	0,02	25	5
Fijnstof PM_{10}	91.250	439.250	23,1	0,01	40	15
Benzeen	91.500	439.750	1,40	0,03	5	1,7

Tabel 29 Maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart per stof binnen studiegebied Rotterdam met bijbehorende cumulatieve (jaargemiddelde) concentratie en afgezet tegen de EU-limietwaardes en WHO-doelwaardes.

EHRD	X	Y	Concentratie [µg/m³]	Bijdrage Luchtvaart [%]	EU [µg/m³]	WHO [µg/m³]
Stikstofdioxide	91.500	442.000	24,8	0,89	40	10
Zwaveldioxide	91.500	442.000	1,04	1,1	n.v.t.	n.v.t.
Koolstofmonoxide	90.500	440.750	308	0,12	n.v.t.	n.v.t.
Fijnstof $PM_{2,5}$	91.500	442.000	9,88	0,13	25	5
Fijnstof PM_{10}	91.500	442.000	17,5	0,07	40	15
Benzeen	90.500	440.750	0,90	0,20	5	1,7

4 Conclusie

Emissies

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies rondom de 5 luchthavens van Amsterdam, Eindhoven, Groningen, Maastricht en Rotterdam kent een grote variatie. De stof met de grootste relatieve bijdrage van de luchtvaart rondom de luchthavens is SO_2 (76,4% Amsterdam, 38,2% Eindhoven, 24,9% Groningen en 11,2% Maastricht) of formaldehyde (10,6% Rotterdam). Wel moet hierbij opgemerkt worden dat de emissiefactor van SO_2 voor alle vliegtuigmotoren in de IPLO-database een constante waarde is en daarmee een onnauwkeurigheid bevat. Ondanks dat VOS op alle luchthavens de laagste relatieve bijdrage van de luchtvaart kent (6,7% Amsterdam tot 0,2% Maastricht), is de bijdrage van luchtvaart aan ZZS, allen onderdeel van VOS, substantieel hoger. De luchtvaart levert binnen VOS aan de ZZS formaldehyde rondom alle luchthavens de grootste relatieve bijdrage aan emissies (49,8% Amsterdam tot 5,4% Eindhoven).

De variatie tussen de emissieresultaten van de verschillende luchthavens valt toe te schrijven aan zowel de uitstoot van de luchtvaart als andere bronnen rondom de luchthavens. Emissies van de luchtvaart verschillen per luchthaven door een verschil in aantal vliegtuigbewegingen alsook de samenstelling met verschillende luchtvaartuigtypen. Emissie van andere bronnen rondom de luchthavens verschillen, waardoor de relatieve bijdrage van de luchtvaart ook verandert. Oftewel, een grotere relatieve bijdrage van de luchtvaart staat niet per definitie gelijk aan een grotere absolute bijdrage van de luchtvaart. Voor NO_2 is bijvoorbeeld de relatieve bijdrage in studiegebied Maastricht (4,5%; 45 ton) groter dan voor Rotterdam (3,1%; 55 ton), ondanks een lagere totale emissie. Voor alle luchthavens zijn wegverkeer en consumenten grote emissiebronnen, aangevuld met: mobiele werktuigen (Amsterdam); overige industrie en landbouw (Eindhoven); landbouw (Groningen); chemische industrie en afvalverwijdering (Maastricht); scheepvaart, railverkeer en overige industrie (Rotterdam).

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan de ZZS formaldehyde, naftaleen en benzeen rondom alle luchthavens valt dus op doordat deze substantieel hoger is dan de relatieve bijdrage van de luchtvaart aan VOS. Deze hoge relatieve bijdrage kan verklaard worden doordat per bron de relatieve samenstelling van ZZS in VOS verschillend is. De resultaten laten zien dat de ZZS formaldehyde, naftaleen en benzeen binnen de luchtvaart een relatief groter percentage van de VOS-uitstoot vormen dan voor de andere bronnen. Voor de ZZS in algemene zin ontbreken nog veel gegevens om de relatieve bijdrage van de luchtvaart aan emissies en concentraties van ZZS te berekenen. Voor een aantal ZZS uitgestoten door luchtvaart (zoals 1,3-butadiene en crotonaldehyde) ontbreken emissiegegevens van overige bronnen, zodat de relatieve bijdrage niet berekend kon worden. Daarnaast ontbreken achtergrondconcentraties voor alle ZZS en VOS, behalve benzeen, waardoor de relatieve bijdrage aan concentraties niet berekend kon worden. De grote variatie in relatieve bijdrage van luchtvaart aan de verschillende ZZS laat zien dat benzeen niet als representatief kan worden beschouwd voor VOS of andere ZZS. Het ministerie van IenW heeft aan het NLR een opdracht verstrekt om te rapporteren over de concentraties van ZZS als gevolg van de luchtvaart.

Concentraties

De relatieve bijdrage van de luchtvaart aan concentraties rondom de 5 luchthavens varieert zowel tussen de luchthavens als binnen het studiegebied. Voor alle luchthavens is de relatieve bijdrage aan de concentratie NO_2 (Amsterdam, Eindhoven, Maastricht, Rotterdam) of SO_2 (Groningen, Rotterdam) het hoogst en aan PM_{10} (Amsterdam, Groningen, Maastricht, Rotterdam) of benzeen (Eindhoven) het laagst. De gemiddelde relatieve bijdragen aan NO_2 varieert tussen de 0,69% (Groningen) en 22% (Amsterdam) op het luchthaventerrein, en tussen de 0,048% (Groningen) en 3,6% (Amsterdam) in woonkernen rondom

de luchthavens. De gemiddelde relatieve bijdrage aan SO_2 varieert tussen de 0,99% (Groningen) en 11% (Amsterdam) op het luchthaventerrein, en tussen de 0,073% (Groningen) en 3,4% (Amsterdam) in woonkernen rondom de luchthavens. De maximale relatieve bijdrage van de luchtvaart binnen woonkernen is in 6 situaties hoger dan 1%. Dit geldt driemaal voor NO_2 (10% Amsterdam, 2,1% Maastricht en 1,3% Eindhoven) en driemaal voor SO_2 (6,7% Amsterdam, 1,1% Rotterdam en 1,1% Maastricht). In het studiegebied Groningen (maximaal 0,25% voor SO_2) wordt voor geen enkele stof een maximale bijdrage van 1% bereikt binnen een woonkern.

De variatie tussen de concentratieresultaten valt toe te schrijven aan de variatie in emissies en de locatie van de emissies binnen het studiegebied. De berekende concentraties zijn een direct gevolg van de emissies rondom de luchthavens. De hierboven besproken variatie in emissies werkt dan ook door in de resultaten voor de concentraties. Vergelijkbaar met de emissies, staat ook voor concentraties een grotere relatieve bijdrage niet gelijk aan een grotere absolute bijdrage, doordat deze relatieve bijdrage dus ook afhankelijk is van de bijdrage van andere bronnen. De bijdrage van de luchtvaart aan de concentraties is wel kleiner dan aan emissies en concentreert zich voornamelijk op het luchthaventerrein. Dit kan verklaard worden door 2 effecten: 1) veel emissies vinden plaats tijdens de taxi- en startfase (op het luchthaventerrein) en 2) emissies buiten het luchthaventerrein, na de startrol en tijdens de landing, vinden plaats op hoogte. Emissies op hoogte worden tijdens verspreiding met meer lucht verdund totdat de stof op leefniveau is, waardoor de impact op de concentratie wordt verkleind. De combinatie van deze 2 effecten verklaart de relatief kleine impact van luchtvaartemissies op heersende concentraties in woonkernen. Binnen woonkernen in de omgeving van luchthavens zijn andere bronnen dan luchtvaart, zoals wegverkeer en consumenten, gemiddeld genomen voor het grootste deel verantwoordelijk voor de heersende concentraties van de onderzochte stoffen, meer dan 95%.