

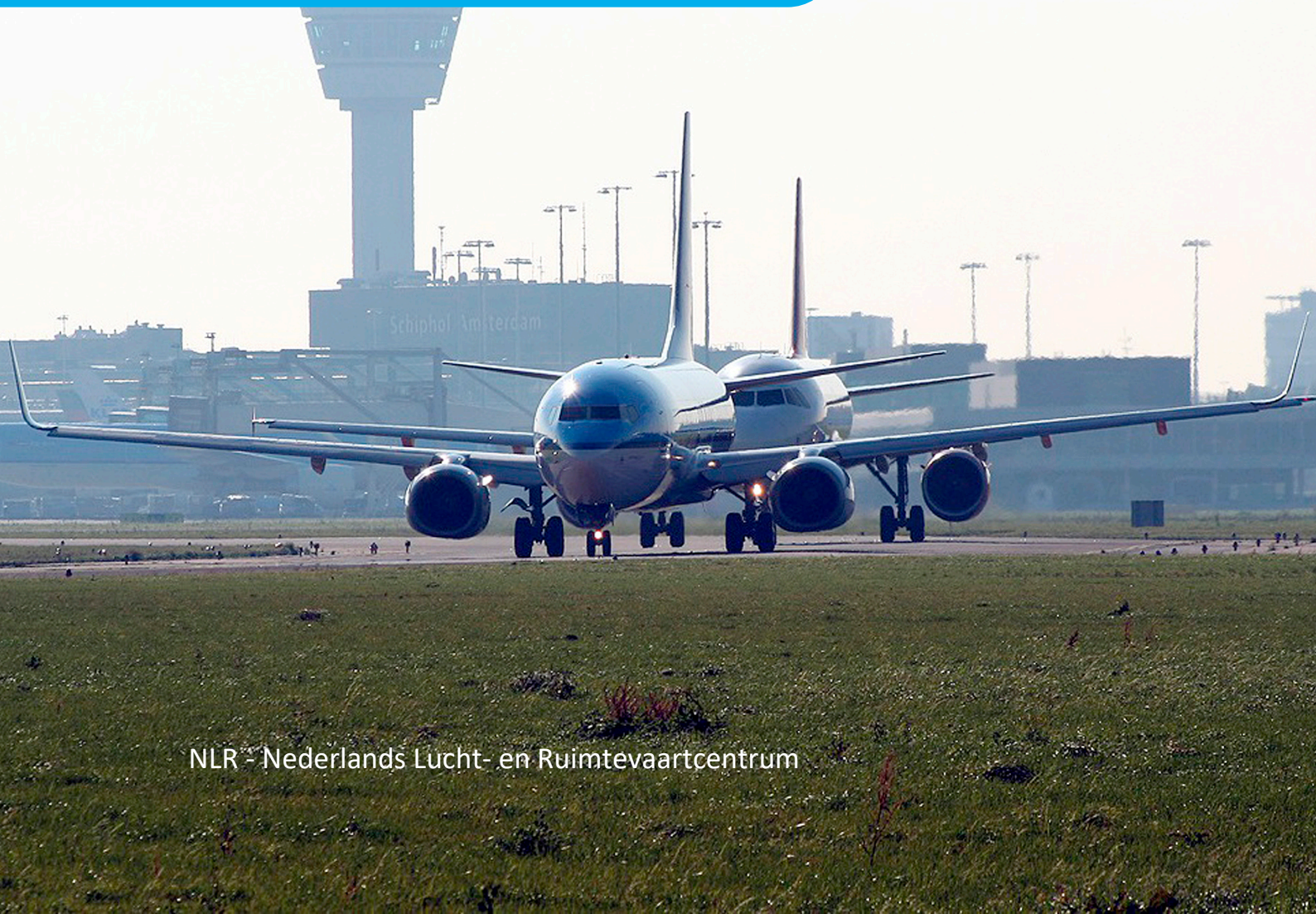


Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2018-042 | juni 2018

Proxies ruimtelijke verdeling NO_x en PM₁₀ luchthaven Schiphol

OPDRACHTGEVER: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het NLR is een toonaangevend, mondiaal opererend onderzoekscentrum voor de lucht- en ruimtevaart. Met zijn multidisciplinaire expertise en ongeëvenaarde onderzoeksfaciliteiten, levert NLR innovatieve, integrale oplossingen voor complexe uitdagingen in de aerospace sector.

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbruggt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland. Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2. Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Proxies ruimtelijke verdeling NO_x en PM₁₀ luchthaven Schiphol



Probleemstelling

De emissieregistratie stelt jaarlijks aan het eind van het jaar voor verschillende sectoren de totale jaarlijkse emissies over het afgelopen kalenderjaar vast. Een van deze sectoren is de luchtvaart. De per luchthaven vastgestelde emissies worden vervolgens ruimtelijk verspreid op basis van proxy informatie. Dit kan een eerder berekende ruimtelijke emissie verdeling zijn voor een zo veel mogelijk vergelijkbare situatie. Voor het ruimtelijk verdelen gebruikt RIVM sinds een jaar of twee een voor het jaar 2012 door NLR uitgevoerde NO_x berekening in het kader van de PAS. Vraag is hoe goed deze wat oudere verdeling nog past bij het vliegverkeer van de komende jaren. Daarnaast wordt deze NO_x verdeling momenteel ook toegepast als proxy voor de PM₁₀ emissies. Hiermee wordt geen rekening gehouden met optredende verschillen in ruimtelijke verdeling tussen PM₁₀ en NO_x emissies. Dit leidt tot de vraag wat dit betekent voor de nauwkeurigheid van de door de emissieregistratie uitgevoerde PM berekeningen voor luchthaven Schiphol.

RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2018-042

AUTEUR(S)

A. Hoolhorst

RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

DATUM

juni 2018

KENNISGEBIED(EN)

Luchtverontreiniging door de luchtvaart

TREFWOORD(EN)

Emissieregistratie
Luchtvaart
Schiphol
Stikstofoxiden
Fijnstof

Beschrijving van de werkzaamheden

Om beide - in de probleemstelling gestelde - vragen te adresseren heeft RIVM aan NLR opdracht verleend om 2 nieuwe proxies – 1 voor NO_x en 1 voor PM₁₀ - te leveren. Deze proxies betreffen het gemiddelde jaarlijkse vliegverkeer over de afgelopen vijf gebruiksjaren (2013 – 2017) van luchthaven Schiphol. De genoemde levering van twee proxies in plaats van één, komt tegemoet aan verschillen die optreden tussen de ruimtelijke NO_x en PM₁₀ verdeling.

Anders dan de eerdere berekening voor het jaar 2012 bevatten de geleverde proxies nu naast een ruimtelijke verdeling voor het vluchtdeel van het vliegverkeer ook separate ruimtelijke verdelingen voor het taxideel van het vliegverkeer, het fijnstof van banden en remmen vrijkomend bij de landing, het APU gebruik, het GPU gebruik en voor het platformverkeer.

Voor de berekening van de emissies is voor wat betreft het vliegverkeer gebruik gemaakt van gegevens uit FANAMOS en van gegevens uit de MER NNHS voor luchthaven Schiphol.

Resultaten

De proxies zijn in de vorm van Excel bestanden aan RIVM geleverd. Voorliggend rapport beschrijft uitgangspunten, invoergegevens, rekenmethoden en resultaten.

Toepasbaarheid

In mei/juni worden elk jaar de ruimtelijk verdeelde emissies op de website van de emissieregistratie gepubliceerd. De in dit rapport beschreven proxies vormen hiervoor de basis. De gepubliceerde ruimtelijk verdeelde emissies worden gebruikt voor het berekenen van de Grootschalige Concentraties Nederland (zie voor meer info: www.rivm.nl/gcn) en voor het berekenen van de stikstofdepositie op Natura 2000 gebieden in het kader van het PAS (pas.natura2000.nl).

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p) +31 88 511 3113 **f**) +31 88 511 3210

e) info@nlr.nl **i**) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2018-042 | juni 2018

Proxies ruimtelijke verdeling NO_x en PM₁₀ luchthaven Schiphol

OPDRACHTGEVER: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

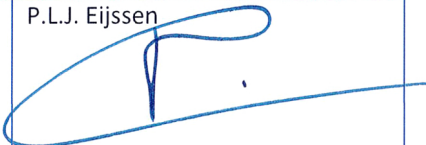
AUTEUR(S):

A. Hoolhorst

NLR

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar.

OPDRACHTGEVER	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
CONTRACTNUMMER	3910103775
EIGENAAR	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:																				
AUTEUR					REVIEWER					BEHERENDE AFDELING										
A. Hoolhorst 					J. Middel 					P.L.J. Eijssen 										
DATUM	2	6	0	6	1	8	DATUM	2	6	0	6	1	8	DATUM	2	6	0	6	1	8

Samenvatting

Emissieregistratie

De emissieregistratie (ER) stelt jaarlijks aan het eind van het jaar voor verschillende sectoren de totale jaarlijkse emissies over het afgelopen kalenderjaar vast. Een van deze sectoren is de luchtvaart. De per luchthaven vastgestelde emissies worden vervolgens ruimtelijk verspreid op basis van proxy informatie. Dit kan een eerder berekende ruimtelijke emissie verdeling zijn voor een zo veel mogelijk vergelijkbare situatie. In elk jaar worden in mei/juni de ruimtelijk verdeelde emissies op de website van de ER gepubliceerd. De ruimtelijk verdeelde emissies worden gebruikt voor het berekenen van de Grootschalige Concentraties Nederland (zie voor meer info: www.rivm.nl/gcn) en voor het berekenen van de stikstofdepositie op Natura 2000 gebieden in het kader van het PAS (pas.natura2000.nl).

Proxies

Voor het ruimtelijk verdelen gebruikt RIVM sinds een jaar of twee een in 2014 door NLR uitgevoerde NO_x berekening in het kader van de PAS. Deze NO_x verdeling wordt momenteel ook toegepast als proxy voor de PM₁₀ emissies. De vraag is nu, hoe goed deze aanpak is. Daarom heeft RIVM aan NLR gevraagd om 2 nieuwe proxies – 1 voor NO_x, 1 voor PM₁₀ – met de jaargemiddelde waarden van de afgelopen vijf jaar (2013 – 2017) te leveren.

Anders dan in genoemde berekening uit 2014 bevatten de geleverde proxies nu naast een ruimtelijke verdeling voor het vluchtdeel van het vliegverkeer (tot een hoogte van 1000 meter) ook separate verdelingen voor het taxideel van het vliegverkeer, het fijnstof van banden en remmen vrijkomend bij de landing, het APU gebruik, het GPU gebruik op de platforms en voor het platformverkeer.

Vliegtuig emissies tijdens vluchtfase en taxifase van het vliegverkeer

De emissies van de hoofdmotoren van het vliegverkeer tijdens de vluchtfase en de taxifase zijn berekend met de NLR LEAS-iT tool. De berekeningen zijn uitgevoerd in een rekengrid met een volume van 40 km x 40 km x 1 km (0 tot 1000 m hoogte) met de Aerodrome Reference Point van Schiphol als centrum en met een celgrootte van 250 m x 250 m x 250 m. Het vluchtdeel van het Schiphol is gebaseerd op de gegevens van de gebruiksjaren 2013 t/m 2017 zoals geregistreerd met FANOMOS¹. FANOMOS staat voor Flight Tracking and Noise Monitoring System. Dit systeem registreert de vliegtuigen die vliegen op Schiphol en de daarbij gevolgde vliegbanen door de vliegtuigen.

De gebruikte taxiroutes zijn als gebruikt in de MER NNHS voor luchthaven Schiphol. Naast de emissies van de vliegtuighoofdmotoren tijdens de vluchtfase en taxifase is een schatting gemaakt van de hoeveelheid fijnstof die vrijkomt door slijtage van banden en remmen bij de landing.

Platform emissies

De emissies van het APU gebruik, het GPU gebruik en het platformverkeer op Schiphol zijn bepaald op basis van de situatie in het jaar 2015 (midden van de periode 2013 – 2017). Deze emissies worden – conform MER NNHS - toegekend aan in totaal 38 locaties op de diverse platforms van de luchthaven.

Deliverables

De proxies zijn 1 maart en 5 maart 2018 aan het RIVM geleverd. Een beknopte beschrijving van de inhoud van de proxies is opgenomen in dit rapport.

¹ Eigenaar van de FANOMOS gegevens en de onderliggende taxitijden als gebruikt in de berekeningen is Schiphol. De data blijft eigendom van Schiphol en mag uitsluitend gebruikt worden voor het doel van voorliggend onderzoek.

Deze pagina is opzettelijk blanco.

Inhoudsopgave

Afkortingen	6
1 Introductie	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Aanpak	7
1.3 Leeswijzer	8
2 Vliegverkeer emissies	9
2.1 Vliegverkeer	9
2.2 Hoofdmotoren vliegverkeer	11
2.3 Fijnstof van banden en remmen	11
3 Platform afhandeling	13
3.1 APU	13
3.2 GPU	15
3.3 Platformverkeer	16
3.4 Verhouding NO _x en PM ₁₀ emissies	16
4 Beschrijving geleverde bestanden	18
5 Referenties	19
Appendix A Vliegverkeer emissie berekening met NLR LEAS-iT	20

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
APU	Auxiliary Power Unit
ARP	Aerodrome Reference Point
ER	Emissieregistratie
FANOMOS	Flight Tracking and Noise Monitoring System
GCN	Grootschalige Concentraties in Nederland
GPU	Ground Power Unit
ICAO	International Civil Aviation Organization
LEAS-iT	Local aviation Emissions in Airport Scenarios-inventory Tool
LTO	Landing and TakeOff
MER	Milieueffectrapport
MTOW	Maximum TakeOff Weight
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NNHS	Nieuwe Normen- en Handhavingstelsel
NO _x	Stikstofoxiden
PAS	Programma Aanpak Stikstof
PM ₁₀	Fijnstof (particulate matter), deeltjes kleiner dan 10 µm
PM _{2,5}	Fijnstof (particulate matter), deeltjes kleiner dan 2,5 µm
RDC	Rijksdriehoekskoördinaten
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMI	Regeling Milieu-informatie luchthaven Schiphol
VFR	Visual Flight Rules
VOP	Vliegtuig opstelplaats

1 Introductie

1.1 Achtergrond

De emissieregistratie (ER) stelt jaarlijks aan het eind van het jaar voor verschillende sectoren de totale jaarlijkse emissies over het afgelopen kalenderjaar vast. Een van deze sectoren is de luchtvaart. De per luchthaven vastgestelde emissies worden vervolgens ruimtelijk verspreid op basis van proxy informatie. Dit kan een eerder berekende ruimtelijke emissie verdeling zijn voor een zo veel mogelijk vergelijkbare situatie. In mei/juni worden de ruimtelijk verdeelde emissies op de website van de ER gepubliceerd. De ruimtelijk verdeelde emissies worden gebruikt voor het berekenen van de Grootchalige Concentraties Nederland (zie voor meer info: www.rivm.nl/gcn) en voor het berekenen van de stikstofdepositie op Natura 2000 gebieden in het kader van het PAS.

Voor het ruimtelijk verdelen van deze totale jaarlijkse emissies gebruikt RIVM sinds een jaar of twee een eerder door NLR uitgevoerde NO_x berekening in het kader van de PAS (Ref. 1). Deze NO_x verdeling is gebaseerd op het vliegverkeer van slechts één rekenjaar (gebruiksjaar² 2012) van luchthaven Schiphol en daarnaast wordt deze NO_x verdeling momenteel ook toegepast als proxy voor de PM₁₀ emissies. Vraag is hoe representatief de NO_x verdeling behorend bij slechts één, al wat ouder rekenjaar, is voor de verdeling van NO_x emissies voor de komende jaren en daarnaast is het de vraag in hoeverre de ruimtelijke verdeling van de PM₁₀ emissies dezelfde is als die van de NO_x emissies.

Om tegemoet te komen aan deze beide vragen heeft RIVM aan NLR opdracht verleend om in voorliggend onderzoek op basis van recentere informatie separate proxies – voor NO_x en voor PM₁₀ – te leveren voor de ruimtelijke verdeling van de totale jaaremissies zoals vastgesteld door de emissieregistratie. De te leveren proxies dienen, anders dan in Ref. 1, naast een ruimtelijke verdeling van het vluchtdeel van het vliegverkeer (tot een hoogte van 1000 meter) ook een ruimtelijke verdeling van het taxideel (niet alle taxi emissies aan 1 punt toegekend), het APU³ gebruik, het GPU⁴ gebruik en het platformverkeer te bevatten.

1.2 Aanpak

De verrichte werkzaamheden bestaan in hoofdlijnen uit de volgende stappen:

- Vaststelling en detaillering van de emissiebronnen
- Berekening van de NO_x en PM₁₀ emissies van deze emissiebronnen
- Levering van proxies met berekende emissies aan RIVM
- Levering van voorliggend rapport met uitgangspunten, invoergegevens en rekenmethoden van de uitgevoerde berekeningen met een beknopte beschrijving van de resultaten

² Hierbij loopt een gebruiksjaar op luchthaven Schiphol van 1 november van het voorgaande jaar tot en met 31 oktober van het betreffende gebruiksjaar. Gebruiksjaar 2012 loopt bijvoorbeeld van 1 november 2011 tot en met 31 oktober 2012.

³ APU's zijn kleine gasturbines aan boord van vliegtuigen die de energievoorziening en de airconditioning aan boord kunnen verzorgen. Tevens worden APU's gebruikt voor het starten van de hoofdmotoren.

⁴ GPU's zijn kleine dieselgeneratoren die op de platforms de stroomvoorziening aan boord van vliegtuigen kunnen verzorgen.

De uitgangspunten voor het onderzoek zijn:

- De emissies voor het vliegverkeer op Schiphol worden bepaald als het gemiddelde van de gebruiksjaren 2013 t/m 2017 van de luchthaven.
- Het vliegverkeer in de berekeningen wordt gebaseerd op de registraties van het FANOMOS (Flight Tracking and Noise Monitoring System). Dit systeem registreert de vliegtuigen die vliegen op Schiphol en de daarbij gevolgde vliegbanen⁵.
- De emissies van de vliegtuigen en de bijbehorende vliegtuigafhandeling op de platformen worden zoveel mogelijk berekend conform de modellering en de rekenmethoden als gebruikt in de MER NNHS (Ref. 2). Deze modellering omvat o.a. taxi-route gebruik, platformgebruik en levering van walstroom en preconditioned air door de luchthaven aan de vliegtuigen. Hierbij worden voor de berekening van de emissies van GPU en platformverkeer de emissiekentallen voor het jaar 2015 gebruikt.

1.3 Leeswijzer

Het voorliggend rapport behandelt de uitgangspunten, invoergegevens, rekenmethodieken en de resultaten van de berekeningen. Daarbij is de opbouw van het rapport als volgt. Hoofdstuk 2 beschrijft het beschouwde vliegverkeer en de bepaling van de emissies van hoofdmotoren en banden en remmen van dit vliegverkeer. Hoofdstuk 3 beschrijft de emissies welke optreden bij de afhandeling van de vliegtuigen op de platformen door gebruik van APU en GPU en door het platformverkeer.

Appendix A geeft een overzicht van invoer, modellering en uitvoer van de NLR rekentool LEAS-iT waarmee de emissies van de hoofdmotoren van het vliegverkeer zijn berekend.

⁵ Schiphol heeft toestemming verleend voor gebruik FANOMOS data en MER NNHS gegevens in voorliggend onderzoek. De data blijft eigendom van Schiphol en mag uitsluitend gebruikt worden voor genoemd onderzoek.

2 Vliegverkeer emissies

Dit hoofdstuk beschrijft het onderzochte vliegverkeer en de bepaling van de emissies van dit vliegverkeer. Hierbij worden de volgende emissiebronnen onderscheiden:

- De hoofdmotoren van de vliegtuigen tijdens de vluchtfase van de vliegbewegingen
- De hoofdmotoren van de vliegtuigen tijdens de taxifase van de vliegbewegingen
- Het fijnstof van banden en remmen van de vliegtuigen bij de landing van de vliegtuigen.

Paragraaf 2.1 beschrijft bron en samenstelling van het onderzochte vliegverkeer. Paragraaf 2.2 bespreekt de berekening van de emissies van de hoofdmotoren. Paragraaf 2.3 gaat in op de bepaling van de fijnstof emissies van banden en remmen van de vliegtuigen.

2.1 Vliegverkeer

Zoals aangegeven in hoofdstuk 1 is het doel van voorliggend onderzoek het berekenen van een representatieve ruimtelijke verdeling van de totale NO_x en PM_{10} jaaremissies voor de luchthaven Schiphol en is dit jaar bepaald als het gemiddelde van de vijf meest recente gebruiks jaren 2013 t/m 2017.

De vliegverkeer gegevens (vliegtuigtype, baangebruik, routegebruik, vliegbaan) voor het onderzoek zijn hierbij geleverd door FANOMOS. FANOMOS staat voor Flight Tracking and Noise Monitoring System. Dit systeem registreert de vliegtuigen die vliegen van en naar Schiphol en de daarbij gevolgde vliegbanen door de vliegtuigen. In totaal bevatte het berekende gemiddelde jaar 469.846 vliegbewegingen en 204 vliegtuigtypen. Vervolgens zijn het motortype en het maximum startgewicht van de vliegtuigen bepaald op basis van gegevens van Schiphol dan wel op basis van de vliegtuigregistratie.

De op bovenstaande wijze verkregen invoerset is niet honderd procent volledig in de zin dat van een vliegbeweging bijvoorbeeld vliegtuigtype, motortype, vliegroute en/of de taxi route niet altijd volledig bekend zijn. Ook kunnen motorgegevens als brandstofverbruik en emissiekentallen van een wel bekend motortype ontbreken. Deze onvolledige brongegevens betreffen vaak de kleinere vliegtuigtypen zoals licht propellerverkeer.

De emissies in de geleverde proxies zijn gecorrigeerd voor de incomplete invoergegevens door toepassing van een schaa factor⁶ op de berekende emissies van de vliegbewegingen waarvan wel alle benodigde invoergegevens bekend zijn. Deze factor is voor het vluchtdeel van de vliegbewegingen 1,025 en voor het taxideel 1,057.

Een overzicht van de samenstelling en het baangebruik van het beschouwde vliegverkeer is opgenomen in respectievelijk tabel 1 en tabel 2. Bij het baangebruik is het percentage van het totaal aantal bewegingen genoemd dat gebruik maakt van betreffende baan.

⁶ Deze schaa factor is gelijk aan het aantal vliegtuigbewegingen geregistreerd in FANOMOS (minus het voor de RMI niet relevante VFR verkeer en niet relevante helikopter verkeer) gedeeld door het aantal vliegtuigbewegingen waarvoor met de NLR LEASIT tool de emissies zijn berekend.

Tabel 1: Samenstelling van het vliegverkeer

ICAO Vliegtuigtype	Percentage vliegbewegingen
B738	20.1
E190	14.0
A320	9.2
B737	8.9
F70	7.8
A319	7.2
B744	3.7
A332	2.3
A333	2.3
B772	2.3
A321	2.2
E170	2.2
B739	2.0
B77W	1.5
DH8D	1.5
B763	1.4
B77L	1.2
RJ85	1.0
E145	0.7
CRJ9	0.7
B733	0.6
B752	0.4
F100	0.4
B735	0.4
MD11	0.4
B788	0.4
B789	0.4
Overige 177 vliegtuigtypen	4.9

Tabel 2: Baangebruik van het vliegverkeer

Baan(kop)	Percentage van het totaal aantal bewegingen		
	Start en landing	Start	Landing
Polderbaan (18R)	19.1	0.0	38.1
Kaagbaan (24)	18.2	36.3	0.1
Polderbaan (36L)	12.0	24.0	0.0
Aalsmeerbaan (18L)	11.3	22.6	0.0
Kaagbaan (06)	9.4	0.1	18.7
Zwanenburgbaan (18C)	8.6	1.8	15.4
Zwanenburgbaan (36C)	6.0	8.1	4.0
Aalsmeerbaan (36R)	5.5	0.0	11.1
Buitenveldertbaan (27)	5.3	0.4	10.1
Buitenveldertbaan (09)	2.6	5.1	0.0
Oostbaan (22)	1.7	1.1	2.3
Oostbaan (04)	0.4	0.6	0.1

2.2 Hoofdmotoren vliegverkeer

De emissieberekening van het vliegverkeer is analoog aan de berekening als uitgevoerd in de MER NNHS (Ref. 2). De emissies van de hoofdmotoren van de vliegtuigen zijn berekend met het NLR model LEAS-iT. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een horizontaal grid van 40 x 40 km met als centrum het ARP (Aerodrome Reference Point) van luchthaven Schiphol vanaf de grond tot een hoogte van 1 km. De celgrootte in het rekengrid is 250 m x 250 m x 250 m. De berekeningen betreffen zowel de vluchtfase als de taxifase, waarbij de emissies plaatsvinden langs de vliegpaden en de taxiroutes van de vliegtuigen.

De invoergegevens, de rekenmethodiek en de uitvoer van de LEAS-iT tool worden beschreven in Appendix A.

De totale jaarlijkse hoeveelheid emissies van het vliegverkeer in het berekende gemiddelde jaar is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Totale jaar emissies hoofdmotoren vliegverkeer

Stof (kg/jaar)	Vluchtfase	Taxifase
NO_x	2673581	315281
PM₁₀	77347	1240

Opmerkingen:

1. De berekening van PM₁₀ emissies bevat een relatief grote onzekerheid. Voor de berekening van PM₁₀ emissies zijn meerdere rekenmethoden mogelijk. De methode die is gebruikt is dezelfde als degene die NLR gebruikt in MER berekeningen voor de Nederlandse luchthavens.
2. De PM₁₀ proxy voor de vliegfase en taxifase is in principe ook goed bruikbaar als PM_{2,5} proxy omdat de PM₁₀ uitstoot van de motoren van moderne civiele vliegtuigen voor het grootste deel bestaat uit PM_{2,5}.

2.3 Fijnstof van banden en remmen

Slijtage van banden en remmen treedt met name op bij het landen van de vliegtuigen. Het daarbij vrijkomende fijnstof ontstaat vooral op en nabij de locatie waar het vliegtuig de landingsbaan voor het eerst raakt (de touchdown locatie). In de modellering zijn deze locaties dan ook gekozen als de emissiepunten van dit fijnstof. De hoeveelheid fijnstof die vrijkomt in deze punten wordt conform Ref. 3 geschat op basis van het maximum startgewicht van het vliegtuig.

De totale jaarlijkse PM₁₀ emissie ten gevolge van slijtage van banden en remmen op de luchthaven wordt geschat op 33.816 kg/jaar. De onderverdeling van deze emissies over de verschillende landingsbanen is gegeven in Tabel 4, waarbij de touchdown locaties zijn gegeven in Rijksdriehoekscoördinaten.

Tabel 4: Overzicht totale jaar emissies fijnstof van banden en remmen

Runway	RDC_X (m)	RDC_Y (m)	PM ₁₀ (kg/jaar)
04	114014	479544	3
06	110691	478123	6801
09	111594	481173	8
22	114971	480618	285
24	113169	479646	13
27	114460	481308	3366
18C	110868	482514	4505
18R	108986	486012	14281
36C	110691	479802	1333
36R	113411	478558	3221

3 Platform afhandeling

Dit hoofdstuk beschrijft de platformafhandeling van de vliegtuigen en de bepaling van de daarbij behorende emissies. Hierbij zijn de volgende emissiebronnen geïdentificeerd:

- De vliegtuig Auxiliary Power Units (APU's)
- De Ground Power Units (GPU's) op de platforms
- Het grondverkeer betrokken bij de afhandeling van de vliegtuigen op het platform

De emissies van het APU gebruik, het GPU gebruik en het platformverkeer op Schiphol zijn bepaald op basis van de situatie in het jaar 2015 (midden van de periode 2013 – 2017), waarbij de emissies worden toegekend aan in totaal 38 locaties op diverse platforms. Aan elk van deze 38 locaties worden de emissies toegekend van de nabij de betreffende locatie gelegen vliegtuig opstelplaatsen waarbij de grootte van de emissies wordt bepaald door de vliegtuigtypes welke deze vliegtuig opstelplaatsen aandoen (Ref. 7) en waarbij ook rekening wordt gehouden met de elektrificatie (walstroom en preconditioned air gebruik) op de luchthaven.

Tabel 5 presenteert de jaartotalen van de berekende APU, GPU en platformverkeer emissies. Het APU gebruik, het GPU gebruik en het platformverkeer en de bepaling van de bijbehorende emissies worden respectievelijk behandeld in de paragrafen 3.1, 3.2 en 3.3.

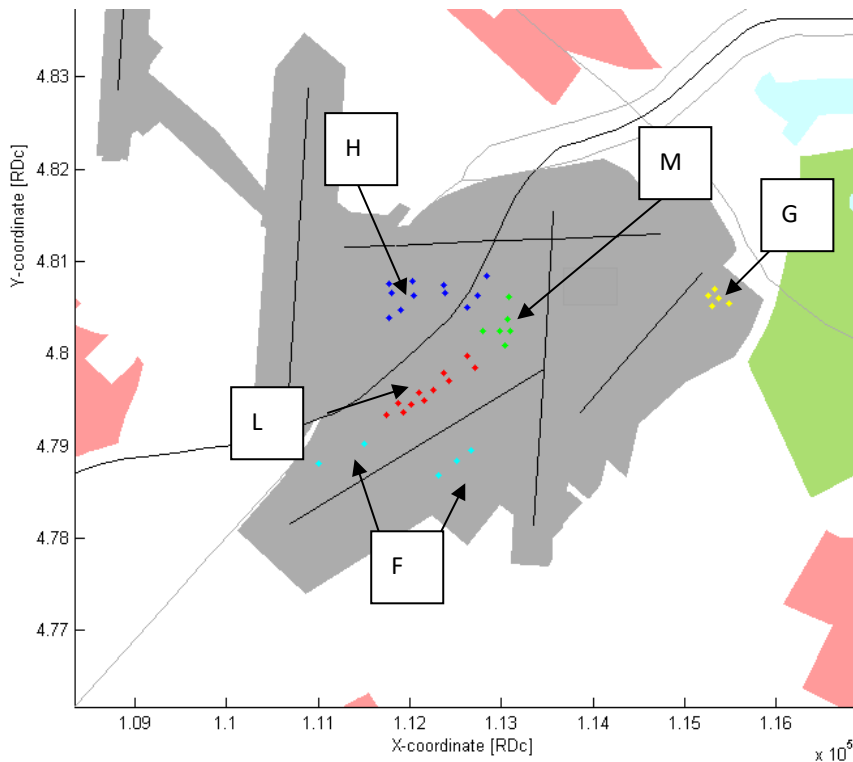
Tabel 5: Totale jaar emissies voor APU, GPU en platformverkeer

Emissiebron	Stof	Emissie (kg/jaar)
APU	NO _x	59950
	PM ₁₀	1696
GPU	NO _x	7087
	PM ₁₀	591
Platform verkeer	NO _x	38432
	PM ₁₀	1137

3.1 APU

Het APU gebruik is gekoppeld aan de afhandeling van een specifieke vliegtuigbeweging op een vliegtuig opstelplaats waardoor vliegtuigtype, APU type en pier dan wel platformgebied bekend zijn.

De APU emissies vinden plaats op de vliegtuig opstelplaatsen gelegen aan de pieren en op de platforms. Ten behoeve van de APU emissie berekening zijn de platforms – conform Ref. 5 – ingedeeld in vijf platformgebieden (H, M, L, G en F) en zijn de vliegtuigopstelplaatsen binnen deze platformgebieden geclusterd tot 38 locaties (zie Figuur 1). Elk van deze locaties fungeert als puntbron voor de uitgestoten emissies behorend bij de nabij het punt gelegen opstelplaatsen.



Figuur 1: APU en GPU locaties

Per gebied (H, M, L, G en F) is op basis van historische gegevens over het aantal en type vliegtuig dat deze platforms aan doet voor de APU een schatting gemaakt van de gemiddelde uitstoothoogte en heatflux van de uitlaatstraal.

De APU uitstoot per vliegtuigafhandeling wordt berekend volgens de methodiek die is voorgeschreven in bijlage 8 van de RMI. Er wordt vanuit gegaan dat de APU's worden gebruikt in de volgende modi:

- 'Power' modus (de stroomvoorziening van boordsystemen);
- 'Airco' modus (de airconditioning aan boord);
- 'Jet start' modus (het starten van de hoofdmotor(en));
- 'No Load' modus (de onbelaste toestand).

De RMI database geeft voor een groot aantal vliegtuigtypen:

- type APU
- per genoemde modus de hoeveelheid brandstof die per afhandeling wordt verbruikt
- per genoemde voor iedere modus de emissiecoëfficiënten voor de beschouwde stoffen.

Eerst wordt per modus de uitstoot van de APU berekend op basis van de verbruikte brandstof en de emissiecoëfficiënt van de gevraagde stof, waarna vervolgens de totale APU emissie per afhandeling wordt bepaald door de emissie bijdrages van de modi te sommeren. Voor die vliegtuigtypen die niet zijn opgenomen in de RMI database wordt een APU type uit de RMI lijst gekozen op basis van 'best practice' methode.

In de APU emissie berekening wordt ook rekening gehouden met het gebruik van de 400 Hz walstroom voorziening en de preconditioned air units die Schiphol op een groot aantal vliegtuigopstelplaatsen aanbiedt. Immers, als een vliegtuig walstroom of preconditioned air gebruikt voor de stroomvoorziening van de boordsystemen en de airconditioning aan boord dan zal de APU hiervoor niet worden gebruikt, hetgeen leidt tot minder APU emissies:

- In geval de APU wordt gebruikt zonder gebruik van walstroom en zonder gebruik van preconditioned air dan wordt de APU gebruikt alle 4 modi.

- In geval de APU wordt gebruikt met gebruik van walstroom en met gebruik van preconditioned air dan wordt de APU alleen gebruikt in de 'Jet start' modus en de 'No load' modus.

De APU emissie berekening is uitgevoerd op basis van de volgende uitgangspunten en aannames:

- Uitgangspunt is dat in 75% van alle afhandelingen de APU wordt gebruikt, conform RMI (Ref. 4). Dit percentage is de som van het percentage afhandelingen van APU gebruik in combinatie met walstroomgebruik (waarbij stroomvoorziening aan boord wordt verzorgd door de walstroom) en het percentage afhandelingen van APU gebruik zonder walstroomgebruik (waarbij stroomvoorziening aan boord wordt verzorgd door de APU), conform RMI.
- Volgens opgave van Schiphol is in 52.5% van alle afhandelingen in het jaar 2015 er sprake geweest van gebruik van de APU in combinatie met walstroom. Aangenomen is dat dit percentage ook geldt voor de afhandelingen van het in deze studie onderzochte vliegverkeer over de periode 2013-2017.
- Aangenomen is ook dat als er walstroom wordt afgenomen door het vliegtuig er gelijktijdig ook preconditioned air wordt afgenomen door het vliegtuig. Andersom is ook de aanname dat als er geen walstroom is afgenomen er ook geen preconditioned air is afgenomen.
- Uit voorafgaande volgt dat in 22.5% van de afhandelingen de APU werd gebruikt zonder gebruik van walstroom en preconditioned air ($75 - 52.5 = 22.5\%$).

3.2 GPU

GPU's zijn kleine dieselgeneratoren die op de platforms de stroomvoorziening aan boord van vliegtuigen kunnen verzorgen. De GPU emissies zijn berekend als het product van het aantal LTO's (vliegtuigafhandelingen) waarbij de GPU wordt gebruikt, het dieselvebruik per afhandeling en de emissie kentallen voor NO_x en PM_{10} .

Uitgangspunt in de GPU emissie berekening is dat in 100% van de vliegtuigafhandelingen stroomvoorziening aan boord van de vliegtuigen benodigd is en dat deze wordt verzorgd door of GPU, of APU of walstroom. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 wordt de stroomvoorziening aan boord in 75% van de afhandelingen door APU dan wel walstroom verzorgd, hetgeen betekent dat de GPU in 25% van alle afhandelingen wordt gebruikt voor de stroomvoorziening aan boord.

Per afhandeling (start plus landing) wordt gemiddeld 7,7 liter diesel door een GPU verbruikt (Bron: Amsterdam Airport Schiphol). Deze waarde is conform de waarde die in eerdere studies is gebruikt. In een studie bij de luchthaven van Zurich (Ref. 6) zijn specifieke kentallen voor GPU's gerapporteerd. In Tabel 6 zijn deze waarden gegeven voor NO_x en PM. In voorliggend onderzoek zijn deze waarden als basis genomen.

Tabel 6: Diesel GPU emissiefactoren

Pollutant	Emission Factor (g/kg diesel)
NO_x	24,0
PM	2,0

De in de tabel gegeven 24 g/kg diesel (soortelijk gewicht 0,84 kg/l) komt overeen met $24 \cdot 0,84 = 20,1$ g NO_x /liter diesel. Deze waarde gold in 2006, aangenomen mag worden dat de emissies van deze apparatuur met de jaren afgenomen zijn. Op basis van onderzoek uitgevoerd voor de MER NNHS is een afname van genoemd NO_x kental

bepaald van 79% voor het jaar 2015. Omdat er niet meer recente informatie beschikbaar is voor het PM₁₀ kental, is deze afname tevens toegepast op het PM₁₀ emissiecijfer in Tabel 6.

De emissies van het GPU gebruik zijn aan dezelfde 38 locaties toegekend als die van het APU gebruik. Voor de GPU is de gemiddelde uitstoothoogte geschat op 2 m en de heatflux van de uitlaatstraal op 0,05 MW.

3.3 Platformverkeer

Platformemissies zijn afkomstig van het lokale verkeer op het luchtvaartterrein. Het platform verkeer is gemodelleerd als puntbronnen, zonder warmte emissies. De uitstoothoogte van het platformverkeer is gesteld op 2 m. De emissies van het platformverkeer zijn op dezelfde plaatsen gezet als de vliegtuigopstelplaatsen (VOP's). De locaties van de platformemissies (38 stuks) zijn dus identiek aan die van de VOP's en ook die van de APU's en GPU's.

De emissies zijn berekend op basis van de emissiekentallen voor wegverkeer (middelzwaar wegverkeer met een gemiddelde rijsnelheid van 30 km/u). In onderstaande tabel zijn de emissiekentallen gegeven die zijn toegepast voor het jaar 2015 (in g/km/voertuig).

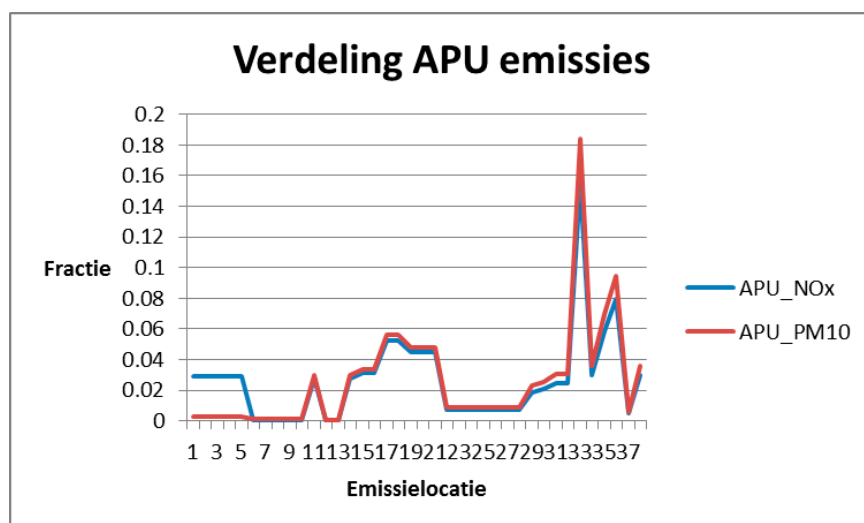
Tabel 7: Toegepaste emissiefactoren ter berekening van de platformemissies voor het jaar 2015

NO _x	5,88
PM ₁₀	0,174

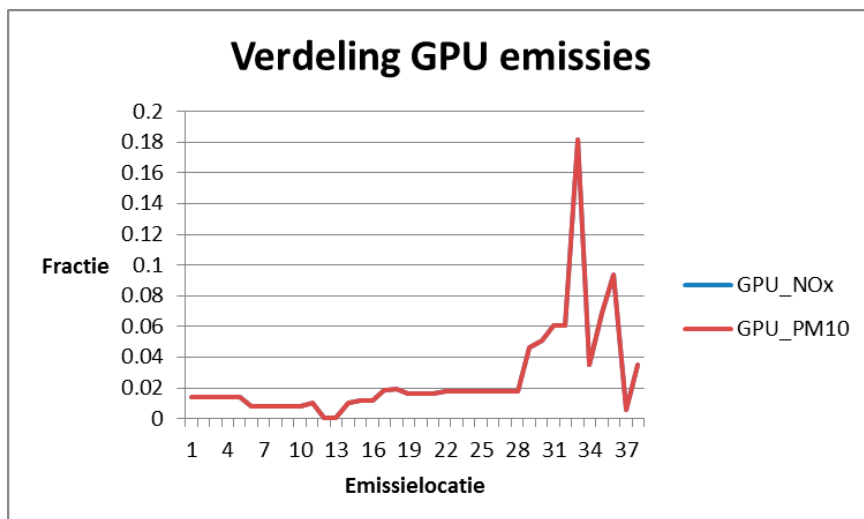
De emissie wordt berekend door het aantal LTO's te vermenigvuldigen met de betreffende waarde uit Tabel 7 en vervolgens met de afgelegde afstand per LTO. Voor deze afstand wordt cf. MER NNHS 27,5 km aangenomen.

3.4 Verhouding NO_x en PM₁₀ emissies

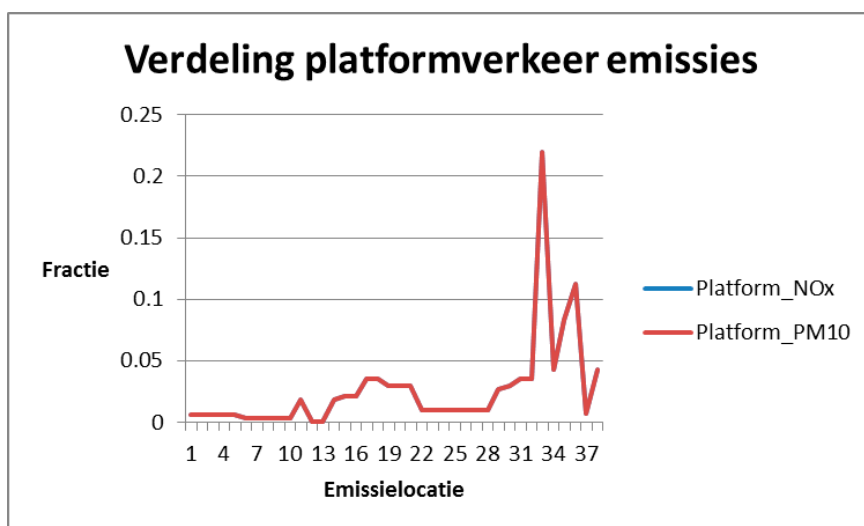
In figuren 2, 3 en 4 is voor respectievelijk APU, GPU en platformverkeer de berekende relatieve emissie (fractie van het totaal) per emissielocatie in een lijngrafiek gezet en dat zowel voor NO_x als PM₁₀.



Figuur 2: APU relatieve emissie verdeling over de 38 emissie locaties



Figuur 3: GPU relatieve emissie verdeling over de 38 emissie locaties



Figuur 4: Platformverkeer relatieve emissie verdeling over de 38 emissie locaties

Bij GPU en GSE vallen de profielen voor NO_x en PM_{10} over elkaar. Voor de Emissieregistratie is dat aantrekkelijk; het betekent namelijk dat met de proxy voor een van de stoffen volstaan kan worden. Bij APU echter zien we aan het begin van de lijngrafiek een behoorlijke afwijking tussen NO_x en PM_{10} .

Dat de GPU en GSE profielen van NO_x en PM_{10} op elkaar vallen is verklaarbaar uit het feit dat het absolute verschil tussen de berekende NO_x emissies en de berekende PM_{10} emissies volledig wordt veroorzaakt door een verschil in toegepast emissiekental. Absoluut gezien zal dat verschil in kental dus leiden tot een verschil in NO_x en PM_{10} emissies, maar relatief gezien zal de verhouding tussen NO_x en PM_{10} emissie steeds gelijk zijn, mede ook omdat er in de modellering sprake is van slechts 1 (gemiddeld) type GPU en slechts 1 (gemiddeld) type platformverkeer.

Voor de APU profielen is de situatie complexer. De verschillende vliegtuigtypen zijn niet alle uitgerust met hetzelfde APU type. Er zijn meerdere APU typen mogelijk en elk van deze APU typen heeft zijn eigen brandstofverbruik en eigen verhouding tussen NO_x emissiekental en PM_{10} emissiekental. Daarbij komt dat de combinatie van vliegtuigtypen die de verschillende platformlocaties aandoet varieert per platform(locatie). Dit is de reden dat de NO_x en PM_{10} profielen voor de APU niet op elkaar liggen.

4 Beschrijving geleverde bestanden

De berekende emissies zijn als digitale bestanden (Excel tabellen) per email aan het RIVM aangeleverd:

- De jaarlijkse emissies van de hoofdmotoren van de vliegtuigen (vliegfase, taxifase) in bestand "Proxy_Luchthaven_Schiphol_VliegtuigHoofdmotor_Emissies_20180301.xlsx" op 1 maart 2018
- De jaarlijkse emissies van APU/GPU/platformverkeer en het fijnstof van banden en remmen in bestand "Proxies APU GPU Platformverkeer FijnstofBandenRemmen.xlsx" op 5 maart 2018

De jaarlijkse emissies van (de hoofdmotoren van) het vliegverkeer zijn berekend in een 40 km x 40 km oost-west, noord-zuid gebied in het Rijksdriehoek coördinatenstelsel met de Airport Reference Point als midden, vanaf grondniveau tot een hoogte van 1 kilometer. De opgenomen resultaten betreffen de NO_x en PM₁₀ emissies in kg zoals berekend per rekencel (250m x 250m x 250m) binnen het beschouwde reengebied. Het bestand vliegverkeerbestand bevat de volgende parameters:

Day	Dag nummer (default = 1), betreft jaaropgave emissies (-)
X	X-identificatie van cel van rekengrid (-)
Y	Y-identificatie van cel van rekengrid (-)
H	Z-identificatie van cel van rekengrid (-)
Xavg	X - coördinaat van bron in Rijksdriehoekscoördinatenstelsel (m)
Yavg	Y - coördinaat van bron in Rijksdriehoekscoördinatenstelsel (m)
Zavg	Hoogte - coördinaat van bron in Rijksdriehoekscoördinatenstelsel (m)
PM10	Jaarlijkse uitstoot van fijnstof PM ₁₀ in cel (kg)
NOx	Jaarlijkse uitstoot van stikstofoxiden NO _x in cel (kg)
HeatFlux.engine	Warmteflux per motor (MW)

De jaarlijkse NO_x en PM₁₀ emissies van de APU's, de GPU's en het platformverkeer zijn toegekend aan 38 discrete locaties op de platforms. Deze emissies worden beschreven met behulp van de volgende parameters:

RDC_X	X - coördinaat van bron in Rijksdriehoekscoördinatenstelsel (m)
RDC_Y	Y - coördinaat van bron in Rijksdriehoekscoördinatenstelsel (m)
Bronhoogte (m)	Bronhoogte van de APU
NOx/jr (kg)	Jaarlijkse uitstoot van stikstofoxiden NO _x op betreffende locatie (in kg)
PM10/jr (kg)	Jaarlijkse uitstoot van fijnstof PM ₁₀ in cel op betreffende locatie (in kg)
Warmteflux	APU warmteflux (MW)

De jaarlijkse PM₁₀ emissies van het fijnstof van banden en remmen zijn in het Excel bestand opgenomen als aangegeven in tabel 4.

5 Referenties

1. Stikstofberekeningen luchthavens, Ten behoeve van de programmatische aanpak stikstof, A. Hoolhorst en G.J.T. Heppe, NLR-CR-2014-083 - Juni 2014.
2. Luchtkwaliteit en stikstofdepositie rond luchthaven Schiphol, Voor het MER NNHS, A. Hoolhorst, J.J. Erbrink en E. Kokmeijer, NLR-CR-2016-110, te verschijnen.
3. Technical Appendix B: London Luton Airport - Air Quality Assessment Methodology, Stephen Moorcroft and Laurence Caird, Air Quality Consultants, December 2012.
4. Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol. Referentie <http://wetten.overheid.nl/BWBR0014722/2014-10-16>.
5. Luchtkwaliteit rond luchthaven Schiphol, Verfijningsberekeningen voor MER Korte termijn "Verder werken aan de toekomst van Schiphol en de regio", A. Hoolhorst, J.J. Erbrink, E. Kokmeijer en R.D.A. Scholten, NLR-CR-2008-241, 2008.
6. Rindlisbacher, T., 2006. Ground Power Unit (GPU) Exhaust Emissions at Zurich Airport. Unique (Flughafen Zürich AG), P.O. Box, CH-8058 Zurich. GPU_EF_ZRH_2006-09-28.doc.
7. Mogelijke NOx reductiemaatregelen op de Schiphol platformen, walstroom, preconditioned air units en elektrische platformvoertuigen, O.P.H. Beukenhorst, NLR-CR-2008-776, 2008.

Appendix A Vliegverkeer emissie berekening met NLR LEAS-iT

De emissies van het vliegverkeer zijn berekend met de NLR rekentool LEAS-iT (Local Aviation Emissions in Airport Scenarios - inventory Tool), versie 7.2.2. LEAS-iT berekent de emissies van de volgende stoffen:

- Koolmonoxide (CO)
- Vluchtige organische stoffen (VOS)
- Fijn stof (PM₁₀)
- Stikstofoxiden (NO_x)
- Zwaveldioxide (SO₂)
- Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)
- Benzeen
- Lood (Pb)
- Waterdamp (H₂O)
- Kooldioxide (CO₂)
- Koolwaterstoffen (HC)

In de proxy berekeningen zijn de emissies van de stoffen PM₁₀ en NO_x berekend. Deze Appendix beschrijft de hiervoor gebruikte invoergegevens, modellering en uitvoergegevens van LEAS-iT.

In de berekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen de taxifase en de vluchtfase. Hierbij bestaat de taxifase uit het taxiën van het vliegtuig tussen de VOP (vliegtuig opstelplaats) en de start/landingsbaan en de vluchtfase uit het taxiën van het vliegtuig óp de start/landingsbaan en het daadwerkelijke vlieggedeelte (klim, daling en horizontaal vliegen van het vliegtuig nabij Schiphol).

Voor de berekeningen wordt het taxitraject en het vliegtraject waarlangs het vliegtuig zich verplaatst opgedeeld in kleine deelsegmenten. Deze segmenten worden dusdanig klein gekozen dat de taxi en vliegcondities over elk van de segmenten als lineair mogen worden beschouwd. Langs elk deelsegment wordt de emissiebijdrage berekend met de formule:

$$\text{Emissie} = \text{aantal motoren} * \text{tijdinterval} * \text{brandstofstroom} * \text{emissie index}$$

Waarbij:

- emissie: Hoeveelheid van de beschouwde component (gas, fijn stof) die door de motor wordt uitgestoten (g);
- aantal motoren: Het aantal hoofdmotoren van het vliegtuig;
- tijdinterval: De tijd dat de motor stuwkracht levert (s);
- brandstofstroom: De brandstofstroom per motor (kg/s);
- emissie index: De verhouding tussen de hoeveelheid component (gas, fijn stof) die door de motor wordt uitgestoten en de hoeveelheid brandstof die door de motor wordt verbruikt (g/kg).

De totale emissies van het vliegverkeer in de taxifase en de vluchtfase worden vervolgens bepaald door de emissies van alle deelsegmenten te sommeren voor alle vliegtuigbewegingen.

A.1. Invoer

Voor de berekeningen heeft NLR LEAS-iT een beschrijving van het vliegverkeer nodig. Deze invoer bestaat uit een database opgebouwd uit records. Elk record beschrijft:

- vliegtuigtype met bijbehorend aantal motoren;
- motortype met bijbehorende brandstofsoort die de motor gebruikt;
- start/landingsbaan;
- taxiroute dan wel vliegroute;
- prestatieprofiel;
- aantal vliegtuigbewegingen;
- de brandstofstroom, NO_x, CO en HC emissie indices en het Smoke Number (SN) voor de vier standaard ICAO LTO thrust settings;
- motor ontwerp drukverhouding;
- taxitijd;
- dag (van de week) en uur (van de dag).

Vliegtuigtype, aantal motoren, motortype en soort brandstof

Het vliegtuigtype is afkomstig uit FANOMOS. Het motortype is bepaald op basis van gegevens van Schiphol of op basis van de vliegtuigregistratie.

Daarnaast is van elk vliegtuigtype bekend met hoeveel motoren het is uitgerust. Uitgangspunt bij de emissieberekeningen is dat alle motoren draaien bij het taxiën en het vliegen. Voor de proxy berekeningen is hierop – conform het MER NNHS – de correctie toegepast dat bij 100% van de 3-motorige en 80% van de 4-motorige vliegtuigen tijdens het taxiën na de landing 1 motor is uitgezet.

Behoudens de zuigermotoren, welke Avgas als brandstof gebruiken, gebruiken alle motortypen in de proxy berekeningen Jet A1 als brandstof.

Start/landingsbaan

Schiphol beschikt over een zestal start/landingsbanen. De locaties van de baankoppen zijn opgenomen in Tabel A.1.

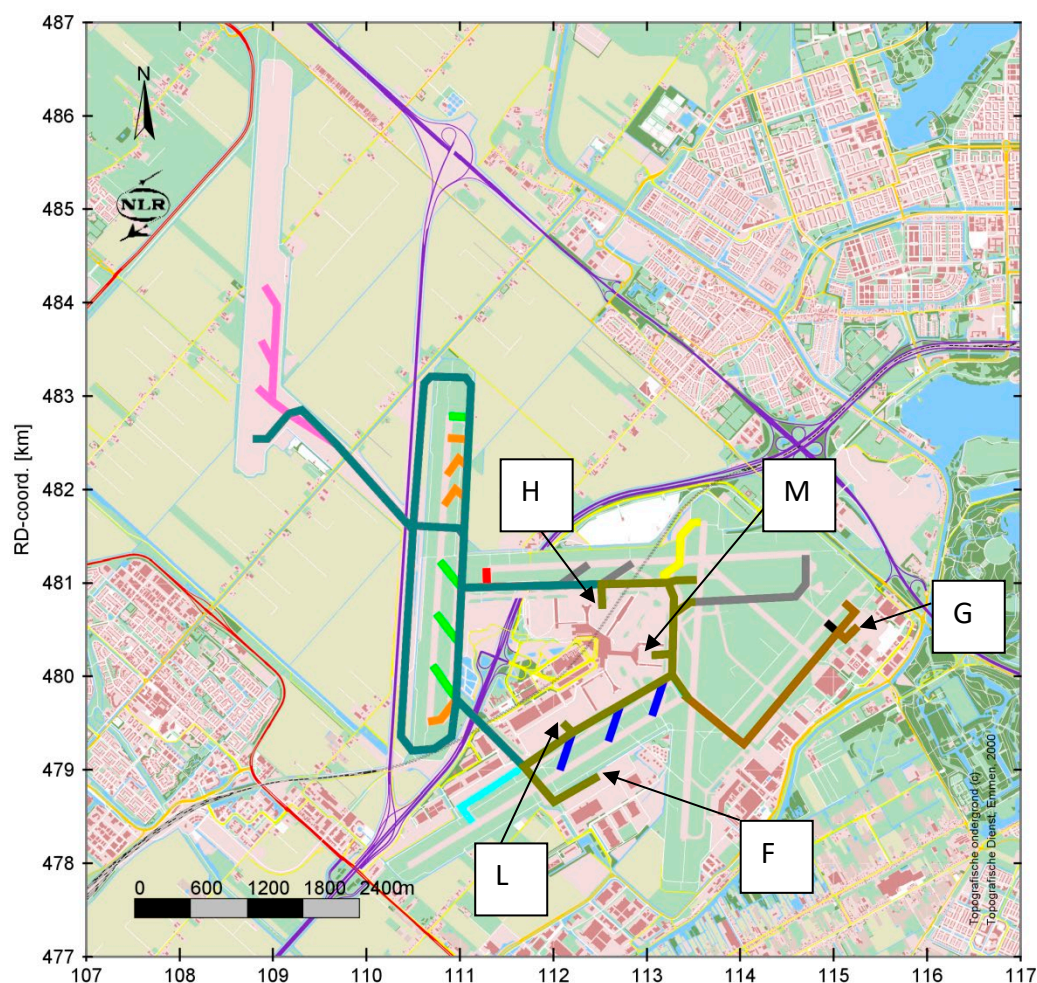
Tabel A.1: Ligging begin- en eindpunten van start en landingsbanen, uitgedrukt in Rijksdriehoekscoördinaten

Coördinaten van de baankoppen (RDC)				
Baan	X ₁	Y ₁	X ₂	Y ₂
04–22	113.820	479.327	115.165	480.835
06–24	110.443	477.971	113.417	479.798
09–27	111.303	481.159	114.751	481.322
18L–36R	113.613	481.660	113.392	478.268
18C–36C	110.887	482.804	110.672	479.512
18R–36L	109.005	486.302	108.757	482.510

Routes

De vliegroutes waarvan gebruik is gemaakt bij de modellering van de vliegtuigemissies betreffen de nominale⁷ vliegroutes zoals gebruikt bij de controle van de GP2016 (Gebruiksprognose Luchthaven Schiphol 2016).

De taxiroutes waarvan gebruik is gemaakt bij de modellering van de vliegtuigemissies in de taxifase zijn voor de Verfijning MER KT (Ref. A.1) in overleg met Schiphol vastgesteld. Deze taxiroutes zijn weergegeven in Figuur A.1.



Figuur A.1: Taxiroutes Schiphol

De taxiroutes verbinden de start/landingsbanen met de vliegtuigopstelplaatsen (VOP's). In theorie kan elke start/landingsbaan via een taxiroute gekoppeld worden aan elke VOP afzonderlijk. Voor de modellering van de taxiroutes is echter niet elke start/landingsbaan gekoppeld aan elke VOP, maar verbinden de taxiroutes elk van de banen met vijf VOP referentielocaties. De VOP referentielocaties zijn aangegeven met de letters H, M, L, F en G, elk representatief voor een groep VOP's. Voor de verbinding van de Polderbaan met de referentielocaties zijn hierbij meerdere taxiroutes opgenomen omdat de route afhankelijk is van het gebruik van de Zwanenburgbaan.

In de MER KT is op basis van vliegverkeergegevens van Schiphol per vliegtuigtype bepaald in welke mate de verschillende vliegtuigtypen de VOP referentielocaties en daarmee de verschillende taxiroutes gebruiken.

⁷ De "nominale vliegroutes" zijn de voorgeschreven vliegroutes waarover de vliegtuigen standaardvliegen. Door verschillende omstandigheden, zoals verkeersleidinginstructies, weersomstandigheden, vliegerfouten, etc. kunnen vliegtuigen afwijken van de voorgeschreven vliegroute.

Prestatieprofielen

Hoogte en grondsnelheid van het vliegtuig zijn als functie van de afgelegde weg opgenomen in het zogenaamde prestatieprofiel. De prestatieprofielen voor de vluchtfase zijn ontleend aan Ref. A.2.

De prestatieprofielen voor de taxifase bestaan uit horizontale bewegingen, waarbij de taxisnelheid bepaald wordt door de afgelegde weg en de gemiddelde taxitijd voor de taxiroute.

Brandstofstroom en emissiekaracteristieken van de motoren

Brandstofstroom en emissies van luchtverontreinigende stoffen zijn afhankelijk van het motortype en de gashandelstand. Bronnen voor deze gegevens zijn referenties A.3 en A.4. In die gevallen waarbij geen gegevens van een motor beschikbaar zijn worden deze gegevens gebaseerd op die van vergelijkbare motoren.

Uitgangspunt voor de berekeningen is maximaal motorvermogen tijdens de take-off fase van de vliegtuigen. In de praktijk is er ook vaak sprake van 'reduced thrust' take-offs, maar de modellering van de bijbehorende vliegprofielen en de bepaling van de mate waarin gebruik wordt gemaakt van dergelijke take-offs valt buiten de werkzaamheden van voorliggend onderzoek.

Taxitijden

De gebruikte taxitijden in de proxy berekeningen zijn ontleend aan de Verfijning MER KT (Ref. A.1). Voor elke gemodelleerde taxiroute is in de Verfijning MER KT op basis van door Schiphol aangeleverde gegevens de taxitijd bepaald. Deze taxitijden zijn afhankelijk van de baan, VOP referentielocatie (H, M, L, F en G) en of het een vertrekkend of aankomend vliegtuig betreft.

Dag en uur

Omdat de proxy berekeningen uitsluitend de ruimtelijke verdeling van de totale jaaremissies betreffen, is in de berekeningen geen onderscheid gemaakt naar de dag van de week en uur van de dag waarop de emissies werden uitgestoten.

A.2. Modellering

Uit de start/landingsbaan, route en prestatieprofiel gegevens wordt het 4-dimensionale (ruimte-tijd) traject van het vliegtuig gegenereerd.

Op basis van de snelheid, hoogte en de veranderingen daarin wordt voor elk punt langs de vliegbaan de gashandelstand bepaald uit de volgende mogelijkheden, analoog aan de ICAO LTO throttle settings (idle, approach, climb-out en takeoff) maar met verfijning:

- ground idle (tijdens taxiën);
- flight idle;
- takeoff;
- climb thrust;
- level flight;
- initial descent (in "schone" configuratie);
- (final) approach (met onderstel uit en kleppen in landingsstand).

De bijbehorende throttle settings zijn vastgesteld door het NLR met gebruikmaking van de ICAO standaard LTO cycle, waarbij de verfijningen afkomstig zijn uit de resultaten van het EU AEROCERT project en NLR-interne analyses van data uit Flight Management Systemen.

Vervolgens wordt de Boeing(-2) methode (Ref. A.5) toegepast voor de berekening van de emissies van stikstofdioxide (NO_x), koolstofdioxide (CO_2) en onverbrande koolwaterstoffen (HC) op elk punt langs de vliegbaan. Deze methode houdt rekening met de hoogte, snelheid en de installatie effecten van de motor (aftap van lucht t.b.v. airconditioning, aandrijving van systemen).

De VOS emissies worden berekend op basis van de HC emissies waarbij wordt gecorrigeerd met constante factoren volgens referentie A.6.

De fijn stof emissies PM_{10} van vliegtuig motoren bestaan uit een vluchtig en een niet-vluchtig deel. LEAS-IT berekent uitsluitend het niet-vluchtig deel van de fijn stof emissies en doet dit op basis van een Eurocontrol model (Ref. A.7). Dit model gebruikt de (gemeten) ICAO "Smoke Numbers" en de motor ontwerp drukverhouding voor de beschrijving van de motorkarakteristieken en houdt rekening met vlieghoogte, vliegsnelheid en gashendelstand.

Uit literatuur onderzoek (Ref. A.8) blijkt dat bij goede benadering de $\text{PM}_{2,5}$ emissies van moderne transport vliegtuigen gelijk zijn aan de PM_{10} emissies. In de berekeningen is de conservatieve aanname gemaakt dat dit ook geldt voor de motoren van de vliegtuigen die opereren op luchthaven Schiphol.

De warmte uitstoot per motor welke van belang is voor de verspreiding van de emissies in de atmosfeer, wordt bepaald aan de hand van de brandstofeigenschappen en de brandstofstroom. Brandstofeigenschappen zijn beschreven in referentie A.6.

De nauwkeurigheid van de berekende emissies is mede afhankelijk van de kwaliteit en kwantiteit van de beschikbare invoergegevens en berekeningsmethoden. Fijn stof berekeningen bevatten grote onzekerheden.

A.3. Uitvoer

De vliegtuigemissie berekeningen zijn uitgevoerd in een rekengrid bestaande uit cellen met constante afmetingen. Dit rekengrid is een 3D rechthoekig grid waarbij posities worden aangegeven in het rijksdriehoekscoördinatenstelsel. Het grid loopt in oost-west, noord-zuid en hoogte richting.

Voor de uitgevoerde berekeningen hebben de gridcellen een karakteristieke afmeting van 250 x 250 x 250 m (l x b x h) en heeft het rekengrid een grootte van 40 x 40 km rondom de luchthaven. De emissies als gevolg van vliegverkeer zijn meegenomen tot een hoogte van 1 km hetgeen vergelijkbaar is met de standaard ICAO-LTO cyclus. De bijdrage van emissies boven een hoogte van 1 km aan de concentratie op leefniveau rondom de luchthaven is verwaarloosbaar en is daarom niet berekend. Het midden van het grid komt overeen met de referentielocatie van luchthaven Schiphol (ARP).

Per cel worden van de emissies de locatie, de grootte en het tijdstip (uur van de dag en dag van de week) vastgelegd. Hiervoor worden voor elke vliegbaan de doorsnijdingen met de cellen berekend. De bijdragen van alle stukken vliegbaan binnen de cel worden gesommeerd. Er wordt in iedere cel een gemiddeld zwaartepunt van alle emissies berekend waaraan de emissies worden toegekend. Naast de emissies wordt ook de warmte inhoud van de uitlaatstraal opgenomen in het uitvoerbestand.

Referenties

- A.1 Luchtkwaliteit rond luchthaven Schiphol, Verfijningsberekeningen voor MER Korte termijn “Verder werken aan de toekomst van Schiphol en de regio”, A. Hoolhorst, J.J. Erbrink, E. Kokmeijer en R.D.A. Scholten, NLR-CR-2008-241, 2008.A.1
- A.2 Appendices versie 12.3 van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting
- A.3 ICAO Aircraft Emission Databank, issue 24, November 2017.
- A.4 Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol (RMI), Motortype database, 2010.
- A.5 Fuel Flow Method 2 for Estimating Aircraft Emissions, Paper SAE 2006-01-1987.
- A.6 The properties of kerosine Jet A-1, DLR-MITT-98-01.
- A.7 Rapport EEC/SEE/2005/0014.
- A.8 A review of literature on particulate matter emissions from aircraft, Roger L. Wayson, Gregg G. Fleming and Bryan Kim, U.S. Department of Transportation, DTS-34-FA22A-LR1, 2002

Deze pagina is opzettelijk blanco.

NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210
e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl