



Accelerating
the future
of aerospace

NLR-CR-2025-071-PT-3 | mei 2025

Milieueffecten vliegactiviteiten Defensie PlanMER NPRD

Deelrapport Stikstofdepositie en Luchtkwaliteit

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Defensie



Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum



Accelerating
the future
of aerospace

NLR-CR-2025-071-PT-3 | mei 2025

Milieueffecten vliegactiviteiten Defensie PlanMER NPRD

Deelrapport Stikstofdepositie en Luchtkwaliteit

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Defensie

AUTEUR(S):

W. Blankenstijn
T.Y. van der Duim
W. de Haan
Y. Massop
R. Rong

DNV
NLR
NLR
DNV
NLR

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

OPDRACHTGEVER	Ministerie van Defensie
CONTRACTNUMMER	DGB 1072130 (NLR projectnr. 1078121)
EIGENAAR	NLR
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	REVIEWER	BEHERENDE AFDELING
 T.Y. van der Duim 2025.05.21 09:42:44 +02'00'	A.D.J. Rutten Digitally signed by A.D.J. Rutten Date: 2025.05.20 22:47:28 +02'00'	A.D.J. Rutten Digitally signed by A.D.J. Rutten Date: 2025.05.20 22:46:45 +02'00'

Samenvatting

Vanwege de verslechterde veiligheidssituatie in Europa en de rest van de wereld, heeft Defensie behoefte aan groei. Deze groei vraagt echter ook om ruimte. Ruimte om de gewenste groei in manschappen, materieel en oefenmogelijkheden te accommoderen. In het Nationaal Programma Ruimte voor Defensie (NPRD) is een beeld geschetst van de diverse ruimtebehoeften en in een Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) zijn de behoeften nader omschreven en toegelicht.

De NRD vormt het uitgangspunt voor een PlanMER waarvoor onderzoek gedaan wordt naar de milieueffecten van de diverse ruimtebehoeften. Deze PlanMER wordt opgesteld door ingenieursbureau Antea Group.

Een aantal van de behoeften heeft betrekking op luchtvaartactiviteiten. Voor de afwegingen en beoordelingen van deze behoeften is onderzoek nodig naar de effecten op geluid, externe veiligheid, luchtkwaliteit en stikstofdepositie. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd door het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum en voor stikstofdepositie door DNV.

In het voorliggende rapport zijn de resultaten opgenomen van de berekeningen aan luchtkwaliteit en stikstofdepositie voor de behoeften die aan luchtvaartactiviteiten gerelateerd zijn en hierin relevant zijn. Deze behoeften zijn:

- Behoefte 8: Toename gebruik jachtvliegtuigcapaciteit
- Behoefte 12: Helikopterlandingsplaatsen
- Behoefte 13: Korte/smalle onverharde landingsbaan tactisch luchttransport

Voor vliegbasis Deelen is ook een gecombineerde behoefte in kaart gebracht, waarbij rekening is gehouden met extra ruimte voor helikopteractiviteiten (locatiespecifieke Behoefte 27).

Aangezien de resultaten van de berekeningen door de Antea Group gebruikt worden voor nadere analyses en beoordeling in het kader van het op te stellen PlanMER, bevat dit rapport geen beoordeling of duiding van de rekenresultaten. Deze rapportage is bedoeld als verantwoording van de uitgangspunten die bij de berekeningen zijn toegepast.

Inhoudsopgave

Afkortingen	6
1 Inleiding	7
2 Behoefte 8 – Toename gebruik jachtvliegtuigen	9
2.1 Invoergegevens en uitgangspunten	9
2.2 Berekeningen emissies	12
2.3 Resultaten stikstofdepositie	13
2.3.1 Vliegbasis Leeuwarden	14
2.3.2 Vliegbasis Volkel	16
2.3.3 Vliegbasis Gilze-Rijen	17
2.3.4 Vliegbasis Eindhoven	19
2.3.5 Vliegbasis Woensdrecht	21
2.3.6 Vliegbasis De Peel	23
2.3.7 Vliegveld Eelde	25
2.3.8 Vliegveld Twente	27
2.3.9 Vliegveld Lelystad	29
2.4 Resultaten luchtkwaliteit	30
3 Behoefte 12 – Helikopterlandingsplaatsen	32
3.1 Invoergegevens en uitgangspunten	32
3.2 Berekeningen emissies	34
3.3 Resultaten stikstofdepositie	36
3.4 Resultaten luchtkwaliteit	38
4 Behoefte 13 – Korte smalle onverharde landingsbaan tactisch luchttransport	41
4.1 Invoergegevens en uitgangspunten	41
4.2 Berekeningen emissies	43
4.3 Resultaten stikstofdepositie	44
4.3.1 Dirtstrip De Peel	44
4.3.2 Dirtstrip Gilze-Rijen	45
4.3.3 Dirtstrip Deelen	47
4.3.4 Vliegveld Twente	48
4.4 Resultaten luchtkwaliteit	49
5 Gecombineerde behoefte	52
6 Aannames en Beperkingen	54
7 Referenties	55
Appendix A Vliegverkeer emissieberekening met LEAS-iT	56
Appendix A.1 Invoer	57
Appendix A.2 Rekengrid	58
Appendix A.3 Berekening	58

Appendix B	AERIUS rekentool	60
Appendix C	STACKS voor vliegverkeer – modellering bijdrage luchtvaart	62
Appendix C.1	Rekenresolutie in tijd en ruimte	63
Appendix C.2	Pluimdynamiek	64
Appendix C.3	Dispersiemonellering per vluchtfase	67
Appendix C.4	Stof-specifieke modelleringskenmerken	69
Appendix D	Bandenslijtage	73

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AERIUS	AERIUS is een rekeninstrument dat de toestemmingsverlening onder de Omgevingswet ondersteund Home AERIUS (aeriusproducten.nl)
APU	Auxiliary Power Unit
DHC	Defensie Helikopter Commando
DNV	Det Norske Veritas
DNW	German-Dutch Wind Tunnels
FF	Fuel Flow
GAE	Groningen Airport Eelde
GCN	Grootschalige Concentratiekaart Nederland
GDN	Grootschalige Depositiekaart Nederland
ha	hectare
HLP	Helikopterlandingsplaats
HVO	Handvaardigheidsoefening
KDW	Kritische depositiewaarde
LEAS-iT	Local Aviation Emissions in Airport Scenarios - inventory Tool
MER	Milieueffectrapportage
MW	MegaWatt
NB	Niet berekend
NH ₃	Ammoniak
NLR	Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NNM	Nieuw Nationaal Model
NO ₂	Stikstofdioxide
NO _x	Stikstofoxiden
NPRD	Nationaal Programma Ruimte voor Defensie
NRD	Notitie Reikwijdte en Detailniveau
PM10	Fijn stof (particulate matter), deeltjes kleiner dan 10 µm
PM2,5	Fijn stof (particulate matter), deeltjes kleiner dan 2,5 µm
PreSRM	Preprocessor Standaard Rekenmethoden
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Sortie	Vlucht van één vliegtuig als onderdeel van een militaire operatie. Eén sortie bestaat uit één start en één landing.
STACKS	Short Term Air-pollutant Concentrations KEMA-modelling System

1 Inleiding

In het Nationaal Programma Ruimte voor Defensie (NPRD) staat het in beeld brengen van de ruimtebehoefte, het maken van een afweging van de ruimtebehoefte voor Defensie ten opzichte van de andere opgaven en het borgen van het nieuwe ruimtegebruik van Defensie centraal. De PlanMER vormt de start van het in beeld brengen van de gevolgen op de fysieke leefomgeving van de diverse behoeften van Defensie. In vervolgprocedures zal het belang van de fysieke leefomgeving steeds onderdeel zijn van de besluitvorming, al dan niet met een (project-)MER.

Van de dertien bovenregionale behoeften hebben zes behoeften betrekking op luchtvaartactiviteiten. Deze behoeften zijn:

- Behoefte 8: Toename gebruik jachtvliegtuigcapaciteit
- Behoefte 9: Onbemande maritieme helikopters
- Behoefte 10: Stationering en corridors onbemande cargo drones
- Behoefte 11: Laagvlieggebieden helikopters
- Behoefte 12: Helikopterlandingsplaatsen
- Behoefte 13: Korte/smalle onverharde landingsbaan tactisch luchttransport

Voor de afwegingen en beoordelingen van deze behoeften is onderzoek naar de effecten op geluid, externe veiligheid, luchtkwaliteit en stikstof nodig. Deze onderzoeken zijn uitgevoerd door het Koninklijk Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR) en DNV. In dit deelrapport zijn voor de betreffende luchtgebonden activiteiten de resultaten voor het onderzoek naar de effecten op stikstofdepositie en luchtkwaliteit gepresenteerd.

De milieueffecten worden in kaart gebracht voor Behoefte 8, 12 en 13 van het Nationaal Programma Ruimte voor Defensie (NPRD). Deze behoeften zijn:

- Behoefte 8: Toename gebruik jachtvliegtuigcapaciteit
- Behoefte 12: Helikopterlandingsplaatsen
- Behoefte 13: Korte/smalle onverharde landingsbaan tactisch luchttransport

Aanvullend hierop zijn voor Deelen ook berekeningen uitgevoerd waarbij enkele behoeftes zijn gecombineerd. Dit betreft de combinatie van 240 bewegingen C-130 conform behoefte 13 met 14.200 helikopterbewegingen (locatie-specifieke behoefte 27, extra ruimte voor helikopteractiviteiten op Deelen).

De milieueffecten van de volgende behoefte worden daarom niet in kaart gebracht in dit deelrapport:

- Behoefte 9: Onbemande maritieme helikopters
- Behoefte 10: Stationering en corridors onbemande cargodrones
- Behoefte 11: Laagvlieggebieden helikopters

Leeswijzer

In de hoofdstukken 2 t/m 4 worden de uitgangspunten, de gehanteerde werkwijze en de resultaten op stikstofdepositie en luchtkwaliteit gepresenteerd voor respectievelijk Behoefte 8, 12 en 13. Hoofdstuk 5 gaat in op de gecombineerde behoeften. In Hoofdstuk 6 worden de aannames en beperkingen binnen deze studie belicht.

In de appendices worden de algemene uitgangspunten en invoergegevens beschreven die op alle voor stikstofdepositie en luchtkwaliteit beschouwde behoeften van toepassing zijn. Daarbij gaat Appendix A in op het emissiemodel LEAS-iT, Appendix B op het depositiemodel AERIUS, Appendix C op het luchtkwaliteitsmodel STACKS en

Appendix D gaat in op de berekening van bandenslijtage; voor laatstgenoemde is een losstaande rekenmethode gehanteerd die buiten het emissiemodel LEAS-IT valt. Derhalve wordt deze apart beschreven. Afwijkende of extra uitgangspunten en invoergegevens die specifiek zijn voor een behoefte, zijn vermeld in het hoofdstuk over die behoefte.

2 Behoeft 8 – Toename gebruik jachtvliegtuigen

Dit hoofdstuk gaat in op de milieueffecten stikstofdepositie en luchtkwaliteit door toename van het gebruik van jachtvliegtuigen. In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) voor de Milieueffectrapportage van het Nationaal Programma Ruimte voor Defensie (NPRD) is de aanleiding en onderbouwing beschreven van de behoefte aan (extra) geluidruimte voor jachtvliegtuigen in Nederland.

2.1 Invoergegevens en uitgangspunten

Verdeling van de behoefte

In de NRD wordt een ‘plangetal’ van 7.500 sorties per jaar met jachtvliegtuigen genoemd. Dat is het totaal aan sorties, inclusief het aantal dat nu reeds mogelijk geacht wordt op de bestaande militaire vliegbases. Het uitgangspunt is, dat op dit moment een operationele ruimte beschikbaar is voor 5.200 sorties, wat betekent dat er dus behoefte is aan uitbreiding van het aantal sorties voor jachtvliegtuigen (F-35) met 2.300 sorties per jaar. De alternatieven voor de MER hebben betrekking op de locatie (welke luchthaven) en het aantal sorties per luchthaven.

De MER onderzoekt de effecten van het toevoegen van sorties aan bestaande vliegbases met F-35 (Leeuwarden/Volkel) of het opereren met jachtvliegtuigen vanaf locaties waar deze nu nog niet (permanent) gestationeerd zijn. Deze ‘nieuwe’ locaties voor jachtvliegtuigen kunnen bestaande militaire luchthavens zijn, maar ook worden opties beschouwd waarbij F-35's gestationeerd worden op een civiele luchthaven.

Op basis van de criteria in combinatie met de voorwaarden per locatie (zie NPRD) blijven de volgende te onderzoeken alternatieven over:

1. Uitbreiding van de huidige jachtvliegtuiglocaties (Leeuwarden en Volkel);
2. Toevoegen één extra jachtvliegtuiglocatie (voor tijdelijk of permanent gebruik):
Uitbreiding op Eindhoven, Gilze-Rijen, Woensdrecht, de Peel heropenen of samenwerking met een civiele luchthaven.
3. Toevoegen twee extra jachtvliegtuiglocaties (voor tijdelijk of permanent gebruik):
Uitbreiding op twee locaties, keuze: Eindhoven, Gilze-Rijen, Woensdrecht, de Peel heropenen en/of samenwerking met een civiele luchthaven.

De civiele luchthavens die in het onderzoek zijn meegenomen betreffen Lelystad Airport, Twente Airport en Groningen Airport Eelde (GAE).

Tabel 1 geeft een overzicht van de varianten die per luchthaven initieel zijn onderzocht. De tabel geeft ook aan wat per luchthaven gezien wordt als wat nu (‘huidig’) aan sorties van jachtvliegtuigen mogelijk is. Voor zowel de militaire als de civiele luchthavens is onderzocht wat voor effect het toevoegen van de hele behoefte (2.300 sorties) of halve behoefte (1.150 sorties) heeft op lokale luchtkwaliteit en stikstofdepositie. De effecten op luchtkwaliteit zijn doorgerekend voor een aantal vliegbases en vervolgens gemiddeld om generieke, locatie-onafhankelijke, resultaten te verkrijgen. Voor de effecten op de hoeveelheid stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden zijn wel locatiegebonden berekeningen uitgevoerd.

Tabel 1: Aantal sorties per jaar per luchthaven voor de huidige situatie, volledige behoefte en halve behoefte.

Luchthaven	Huidig aantal sorties	#sorties bij volledige behoefte	#sorties bij halve behoefte
Leeuwarden	2.700	5.000	3.850
Volkel	2.000	4.300	3.150
Eindhoven	250	2.550	1.400
Gilze-Rijen	250	2.550	1.400
Woensdrecht	0	2.300	1.150
De Peel	0	2.300	1.150
Lelystad Airport	0	2.300	1.150
Groningen Airport Eelde	0	2.300	1.150
Twente Airport	0	2.300	1.150

Bij de luchthavens Leeuwarden, Volkel en de Peel zullen naast jachtvliegtuigen ook andere type vliegtuigen gebruik kunnen maken van de vliegbasis, maar aangezien dat beperkt van omvang zal zijn, is dat niet meegenomen bij de berekeningen. Als de PlanMER uitwijst dat de genoemde luchthavens opties zijn om de extra behoefte geheel of gedeeltelijk te huisvesten, zal in meer detail gekeken worden naar de te verwachten samenstelling van het vliegverkeer.

Voor het berekenen van de stikstofdepositie en de luchtkwaliteit is een veelheid aan invoergegevens en uitgangspunten nodig. De belangrijkste invoergegevens en uitgangspunten van dit deelonderzoek zijn in deze paragraaf toegelicht, zoals de beschouwde bronnen, de beschouwde stoffen en de toegepaste rekenmodellen. Een gedetailleerdere beschrijving van de uitgangspunten, invoergegevens en methoden welke zijn gebruikt de stikstofdepositie en luchtkwaliteit te berekenen van de eerdergenoemde scenario's is gegeven in Appendix A tot en met D.

Te beschouwen bronnen

In deze studie zijn voor de onderzochte activiteiten de volgende emissiebronnen beschouwd:

- taxi- en vluchtfase van vliegtuigen (Appendix A);
- bandenslijtage bij de landing (Appendix D).

Er is voor deze berekening geen sprake van APU-emissies aangezien de F35 niet over een APU¹ beschikt. Grondbronnen die samenhangen met luchtvaartactiviteiten zijn binnen deze studie buiten beschouwing gelaten, in lijn met het toepassingsbereik van deze PlanMER.

Stoffen

De beschouwde stoffen in het kader van luchtkwaliteit zijn stikstofdioxide (NO₂), fijn stof (PM₁₀) en zeer fijn stof (PM_{2,5}). In het kader van stikstofdepositie is naast NO₂ ook de NH₃-emissie relevant. Voor de vliegtuigbronnen geldt echter dat deze geen NH₃ emitteren.

Beschouwde luchthavens

De effecten van stikstofemissies op Natura 2000-gebieden door de toename van jachtvliegtuigen zijn locatiegebonden. Vandaar dat de effecten van de toenames apart voor iedere luchthaven zijn doorgerekend. Voor een overzicht van de beschouwde luchthavens, zie Tabel 1.

Voor de effecten op luchtkwaliteit is gekeken naar locatiegebonden karakteristieken die bepalend zijn voor de verspreiding van emissies, en daarmee voor luchtkwaliteit. Deze karakteristieken zijn samengevat als de lokale achtergrondconcentratie en de lokale meteorologie. De lokale achtergrondconcentratie is voor NO₂ relevant, omdat

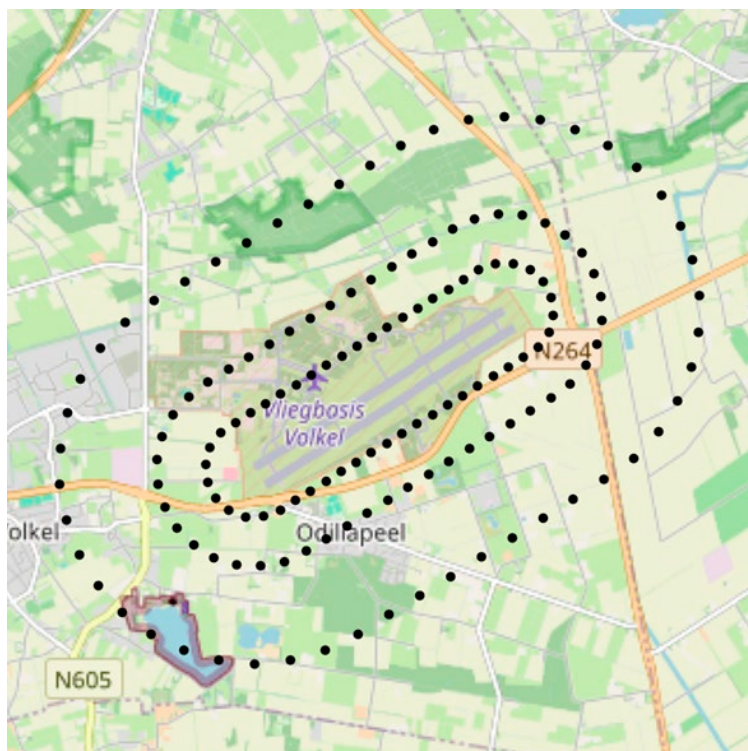
¹ De vliegtuighulpmotor die meestal in de staart van het vliegtuig is geplaatst.

de chemische interacties die plaatsvinden in de atmosfeer voor NO₂ worden meegenomen in de modellering. Als indicator van, voor luchtkwaliteit relevante, verschillen in lokale meteorologie, is de windsnelheid beschouwd. Om de mogelijke spreiding van resultaten per locatie goed te vangen, zijn er dus een aantal locaties doorgerekend met uiteenlopende NO₂-achtergrondconcentraties dan wel windsnelheden. Voor deze behoefte zijn Volkel en Woensdrecht doorgerekend; bij Woensdrecht is sprake van een relatief hoge windsnelheid door de ligging nabij de kust en een relatief hoge NO₂-achtergrondconcentratie door de ligging nabij grootstedelijk gebied, waar Volkel meer landinwaarts ligt met lagere achtergrondconcentraties en lagere windsnelheden.

Studiegebied

Stikstofdepositie is berekend met het daarvoor verplicht gestelde model AERIUS (zie Appendix B). AERIUS berekent de depositie in alle relevante hexagonen in Natura 2000-gebieden tot een afstand van 25 km van een bron.

Voor luchtkwaliteit zijn de berekeningen uitgevoerd in een vooraf vastgesteld bestand met rekenpunten. In deze studie, waarin is gekeken naar de effecten als functie van afstand tot de landingsbaan, zijn 150 rekenpunten neergelegd op 500, 1.000 en 2.000 meter van de landingsbaan (50 rekenpunten per afstand, zie Figuur 1). Op deze wijze kunnen afstandsafhankelijke concentratiebijdragen worden vastgesteld, ongeacht de richtingen waarin de emissies zich verspreiden.



Figuur 1: Ligging van de rekenpunten in het studiegebied rondom vliegbasis Volkel.

Rekenjaren

Als rekenjaar is uitgegaan van 2040, conform het NRD. Dit houdt in dat – waar dit relevant is voor NO₂ – is gerekend met achtergrondconcentraties zoals deze zijn voorspeld voor het jaar 2040. Deze achtergrondgegevens komen uit PreSRM². Vervolgens is gerekend op basis van tienjarige meteorologie (periode 2005 – 2014), conform afspraken binnen het NNM.

² PreSRM, ofwel “Preprocessor Standaard Rekenmethoden”, is een softwarepakket dat wordt gebruikt in het rekenproces voor de beoordeling van luchtkwaliteit. Het bevat onder andere meteorologische gegevens die in de modellering worden gebruikt.

Toegepaste rekenmodellen

De volgende rekenmodellen zijn toegepast:

- De emissies van het vliegverkeer zijn berekend met de NLR-rekentool LEAS-iT (Local Aviation Emissions in Airport Scenarios - inventory Tool), versie 9.0.14, zie Appendix A.
- De depositieberekeningen zijn uitgevoerd met het voorgeschreven model AERIUS, zie Appendix B.
- De luchtkwaliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met de STACKS luchtvaartmodule versie 2023.1, zie Appendix C.

2.2 Berekeningen emissies

De hoeveelheid emissies zijn tussenresultaten ten behoeve van de uiteindelijke berekeningen voor de impact van de specifieke behoeftes op stikstofdepositie en luchtkwaliteit. De emissieresultaten van de berekeningen aan de vliegbases zijn samengevat in Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 en worden uitgedrukt in kg/jaar. Ten behoeve van de effecten op stikstofdepositie zijn er voor de behoeftes van negen vliegvelden emissieberekeningen voltooid. Voor twee van deze negen vliegvelden zijn ook emissieberekeningen gedaan ten behoeve van de effecten op luchtkwaliteit. Daarom zijn er voor twee van deze negen vliegvelden ook de stoffen PM_{2,5} en PM₁₀ uitgerekend, terwijl bij de andere zes vliegvelden enkel de hoeveelheden stikstof van belang zijn.

Tabel 2: Overzicht berekende airborne emissies Behoefte 8 in kg/jaar, voor 1150 en voor 2300 sorties ('NB' = niet berekend).

Vliegveld	NO _x		PM _{2,5}		PM ₁₀	
	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties
Leeuwarden	5.076,8	10.153,6	NB	NB	NB	NB
Volkel	5.267,3	10.534,6	9,3	18,5	9,3	18,5
Eindhoven	4.939,8	9.879,6	NB	NB	NB	NB
Gilze-Rijen	4.775,2	9.550,3	NB	NB	NB	NB
Woensdrecht	4.951,6	9.918,3	8,8	17,7	8,8	17,7
De Peel	4.550,8	9.101,5	NB	NB	NB	NB
Lelystad Airport	5.579,9	11.159,8	NB	NB	NB	NB
Groningen Airport Eelde	5.147,7	10.295,4	NB	NB	NB	NB
Twente Airport	5.263,9	10.527,7	NB	NB	NB	NB

Tabel 3: Overzicht berekende taxi-emissies Behoefte 8 in kg/jaar, voor 1150 en voor 2300 sorties ('NB' = niet berekend).

Vliegveld	NO _x		PM _{2,5}		PM ₁₀	
	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties
Leeuwarden	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Volkel	1.469,7	2.939,4	50,3	100,6	50,3	100,6
Eindhoven	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Gilze-Rijen	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Woensdrecht	1.469,7	2.939,4	50,3	100,6	50,3	100,6
De Peel	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Lelystad Airport	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Groningen Airport Eelde	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB
Twente Airport	1.469,7	2.939,4	NB	NB	NB	NB

Tabel 4: Overzicht berekende emissies door bandenslijtage Behoeft 8 in kg/jaar, voor 1150 en voor 2300 sorties ('NB' = niet berekend).

Vliegveld	PM2,5		PM10	
	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties
Volkel	3,6	7,1	17,8	35,7
Woensdrecht	3,6	7,1	17,8	35,7

Tabel 5: Overzicht totale berekende emissies voor Behoeft 8 in kg/jaar, voor 1150 en voor 2300 sorties ('NB' = niet berekend).

Vliegveld	NO _x		PM2,5		PM10	
	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties	1.150 sorties	2.300 sorties
Leeuwarden	6.546,5	13.093,0	NB	NB	NB	NB
Volkel	6.737,0	13.474,0	63,2	126,2	77,4	154,8
Eindhoven	6.409,5	12.819,0	NB	NB	NB	NB
Gilze-Rijen	6.244,9	12.489,7	NB	NB	NB	NB
Woensdrecht	6.421,3	12.857,7	62,7	125,4	76,9	154,0
De Peel	6.020,5	12.040,9	NB	NB	NB	NB
Lelystad Airport	7.049,6	14.099,2	NB	NB	NB	NB
Groningen Airport Eelde	6.617,4	13.234,8	NB	NB	NB	NB
Twente Airport	6.733,6	13.467,1	NB	NB	NB	NB

2.3 Resultaten stikstofdepositie

De resultaten van de berekeningen aan de vliegbases zijn samengevat in de tabellen van dit hoofdstuk. Negen vliegbases zijn berekend voor stikstofdepositie volgens een "halve behoefte" en "hele behoefte". Dit zijn de bases in Leeuwarden, Volkel, Gilze-Rijen, Eindhoven, Woensdrecht, De Peel en de civiele velden Eelde, Twente en Lelystad. Per bron wordt vervolgens een overzicht gegeven hoeveel hexagonen er per relevant Natura 2000-gebied (bijna) overbelast zijn.

De evaluatie van de depositie heeft dus alleen betrekking op de hexagonen die (bijna) overbelast zijn. Dat wil zeggen dat de kritische depositiewaarde (KDW) van het meest kritische habitattype lager is dan de waarde uit de Grootschalige Depositiekaart Nederland (GDN) plus 70 mol/ha/jaar:

Per gebied wordt weergegeven op hoeveel (bijna) overbelaste hexagonen een toename van depositie wordt berekend volgens de scenarioberekening. Naast de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen wordt ook de maximale depositie weergegeven. Let op; deze hexagoon³ met de maximale depositie in een gebied hoeft in de twee verschillende scenario's niet dezelfde te zijn.

³ In de Aerius berekening wordt elk van de Natura 2000 gebieden opgedeeld in hexagonen met een oppervlak van één hectare en wordt vervolgens per hexagoon de depositie berekend.

2.3.1 Vliegbasis Leeuwarden

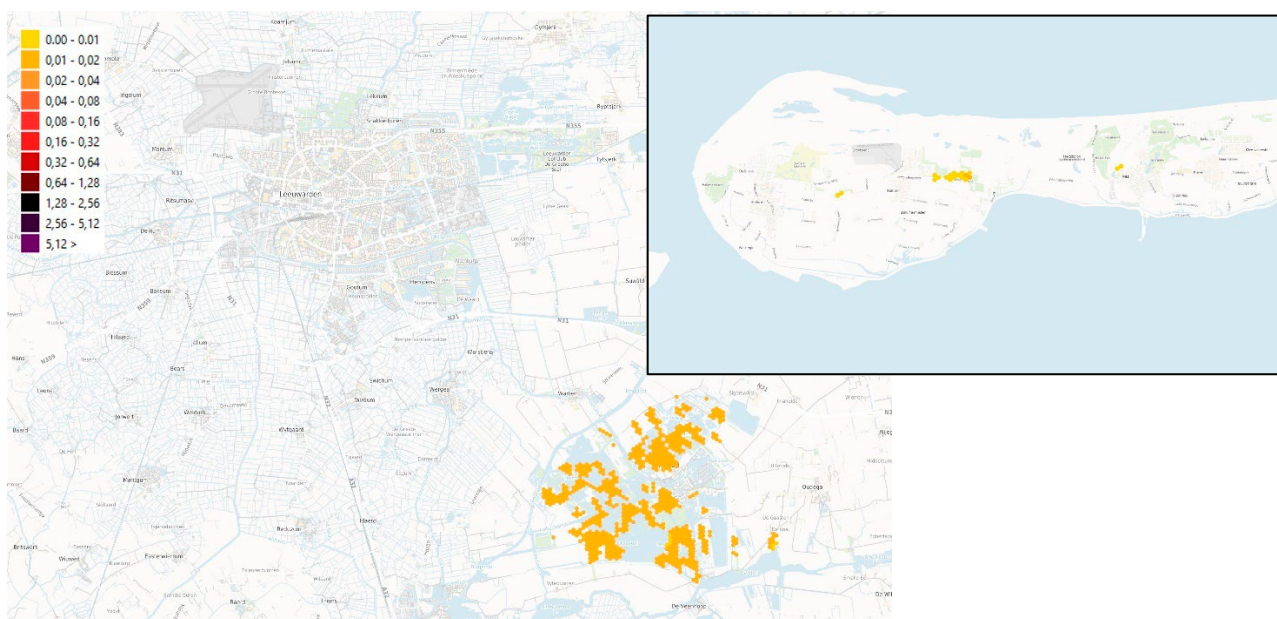
De stikstofdepositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in twee gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: de Alde Feanen en de Duinen Ameland. De maximale depositie bij de hele behoefte bevindt zich in de Alde Feanen (0,03 mol/ha/jaar). In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met daarbij de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 6: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Leeuwarden met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

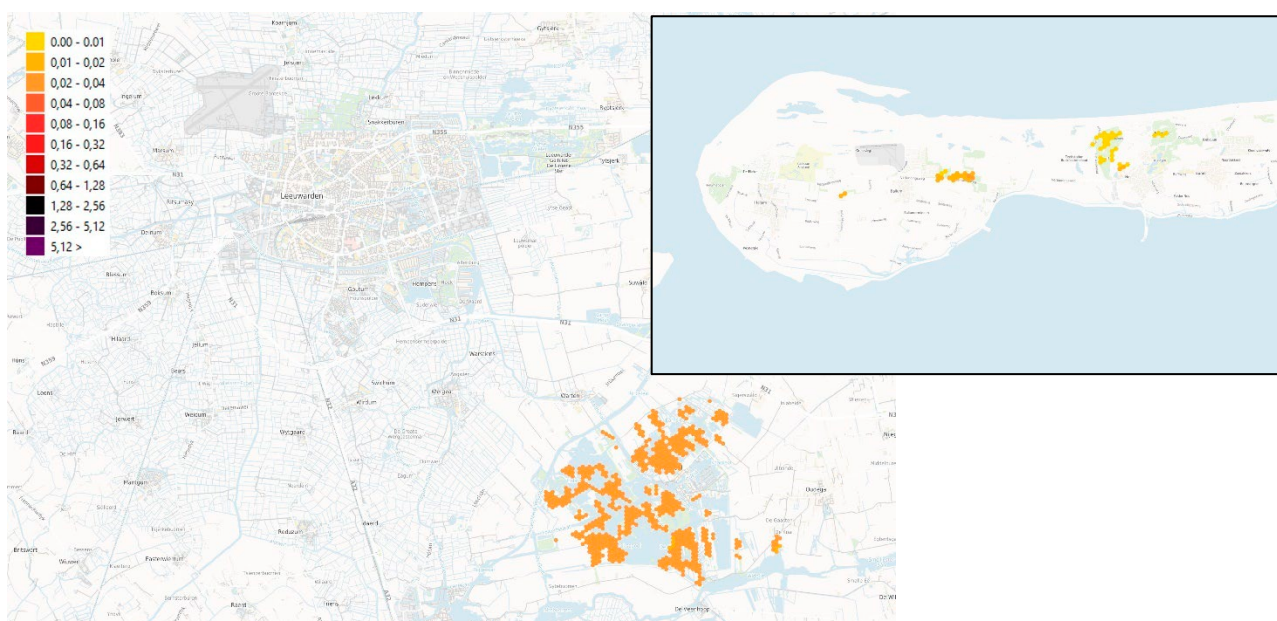
N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Alde Feanen	1.239	636	0,02	636	0,03
Duinen Ameland	2.209	19	0,01	50	0,02

De meeste overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied in de Alde Feanen (ten zuidoosten van de basis). Daarnaast zijn er een aantal hexagonen in de Duinen van Ameland overbelast in zowel de hele als halve behoefte scenario. De depositie in beiden gebieden is duidelijk te weergegeven in

Figuur 2 waarin het gehele gebied (ingezoomd Ameland ernaast) staat voor de halve en hele behoefte.



Halve behoefte



Hele behoefte

Figuur 2: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Leeuwarden, betreffende de gebieden; Oudegaasterbrekken, Fluessen en omgeving, Van Oordt's Mersken, IJsselmeer, Alde Feanen, Groote Wielen, Waddenzee, Duinen Terschelling, Duinen Ameland en Noordzeekustzone.

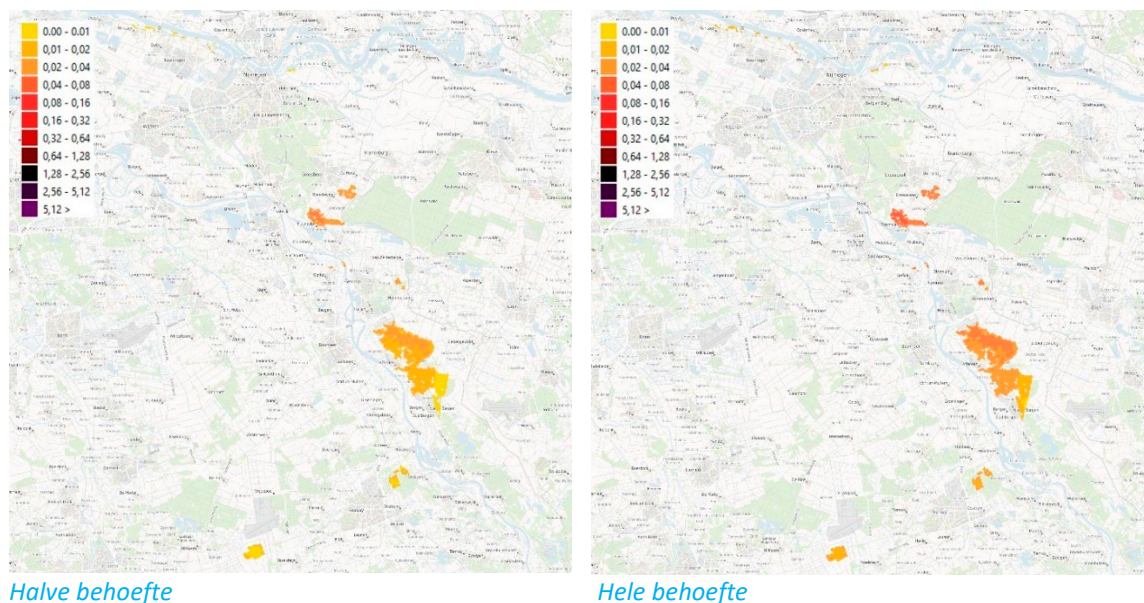
2.3.2 Vliegbasis Volkel

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in acht gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Deurnsche Peel & Mariapeel, Boschhuizerbergen, Maasduinen, Zeldersche Driessen, Oeffelter Meent, Sint Jansberg, De Bruuk en Rijntakken. De maximale depositie bevindt zich in Sint Jansberg (0,09 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 7 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden, per scenario is het aantal (bijna) overschreden hexagonen met een toename van depositie en de maximale depositie weergegeven.

Tabel 7: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Volkel met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Deurnsche Peel & Mariapeel	203	144	0,01	144	0,03
Boschhuizerbergen	107	106	0,02	106	0,03
Maasduinen	2.912	1.537	0,03	1.583	0,06
Zeldersche Driessen	30	26	0,03	26	0,06
Oeffelter Meent	46	13	0,02	13	0,05
Sint Jansberg	198	193	0,04	193	0,09
De Bruuk	90	89	0,02	89	0,05
Rijntakken	3.279	57	0,01	69	0,03

De meeste overbelaste hexagonen zijn berekend in het gebied Maasduinen (ten oosten van vliegbasis Volkel). Daarnaast laat het gebied Sint Jansberg de hoogst overbelaste hexagonen zien (ten noordoosten van de vliegbasis). De depositie in beide gebieden is duidelijk weergegeven in Figuur 3 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd in zowel het halve als hele behoefte scenario.



Figuur 3:: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Volkel, betreffende de gebieden; Strabrechtse Heide & Beuven, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Deurnsche Peel & Mariapeel, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Boschhuizerbergen, Maasduinen, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek, Zeldersche Driessen, Oeffelter Meent, Sint Jansberg, De Bruuk en Rijntakken.

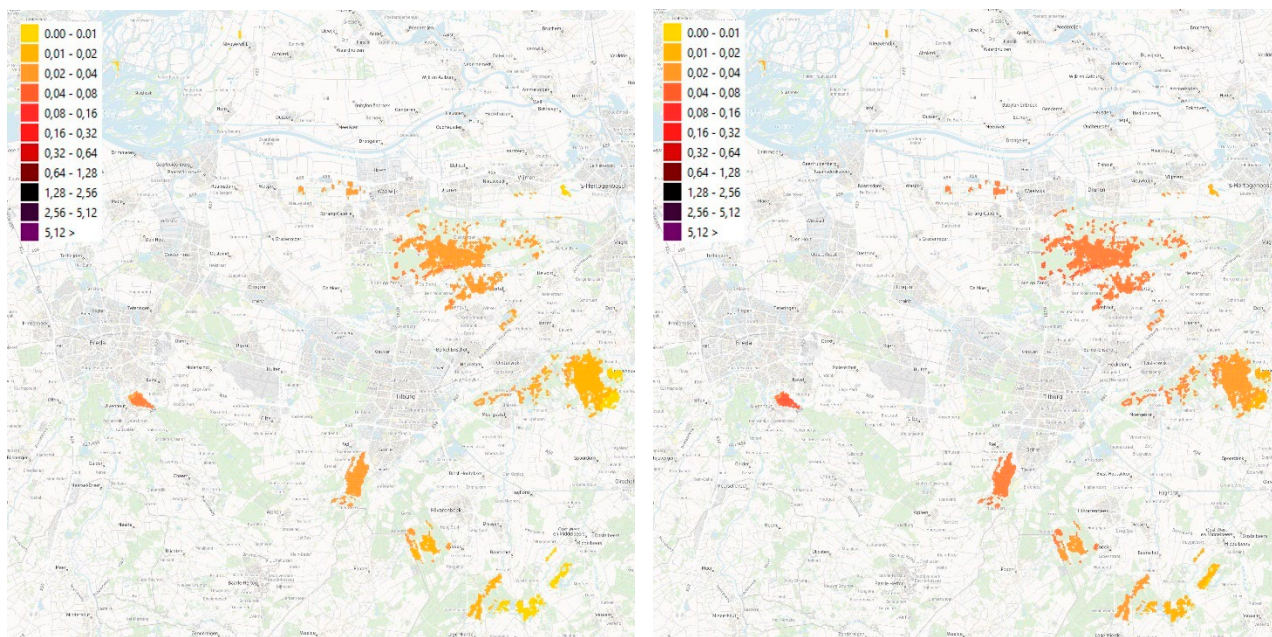
2.3.3 Vliegbasis Gilze-Rijen

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in acht gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Ulvenhoutse Bos, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek, Langstraat en de Biesbosch. De maximale depositie bevindt zich in de Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (0,11 mol/ha/jaar) in het scenario betreffende de hele behoefte. In Tabel 8 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale deposities per gebied.

Tabel 8: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Gilze-Rijen met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Kempenland-West	1.036	712	0,03	747	0,06
Regte Heide & Riels Laag	340	329	0,05	329	0,09
Kampina & Oisterwijkse Vennen	1.335	1.167	0,03	1167	0,06
Ulvenhoutse Bos	107	107	0,05	107	0,11
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	1.696	1.526	0,06	1526	0,11
Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek	252	50	0,02	50	0,04
Langstraat	89	89	0,03	89	0,07
Biesbosch	803	66	0,01	68	0,02

De meeste en hoogst overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (ten noordoosten van vliegveld Gilze-Rijen). Daarnaast laten de gebieden Kempenland-West en Kampina & Oisterwijkse Vennen veel overbelaste hexagonen zien (ten oosten en zuidoosten van de vliegbasis) en laat het gebied "Ulvenhoutse Bos" een kleiner aantal overbelaste hexagonen zien waarin depositie wel relatief hoog is. De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 4 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.



Halve behoefte

Hele behoefte

Figuur 4: (bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Gilze-Rijen, betreffende de gebieden; Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Ulvenhoutse Bos, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek, Krammer-Volkerak, Langstraat, Biesbosch, Loevestein en Pompveld & Kornsche Boezem.

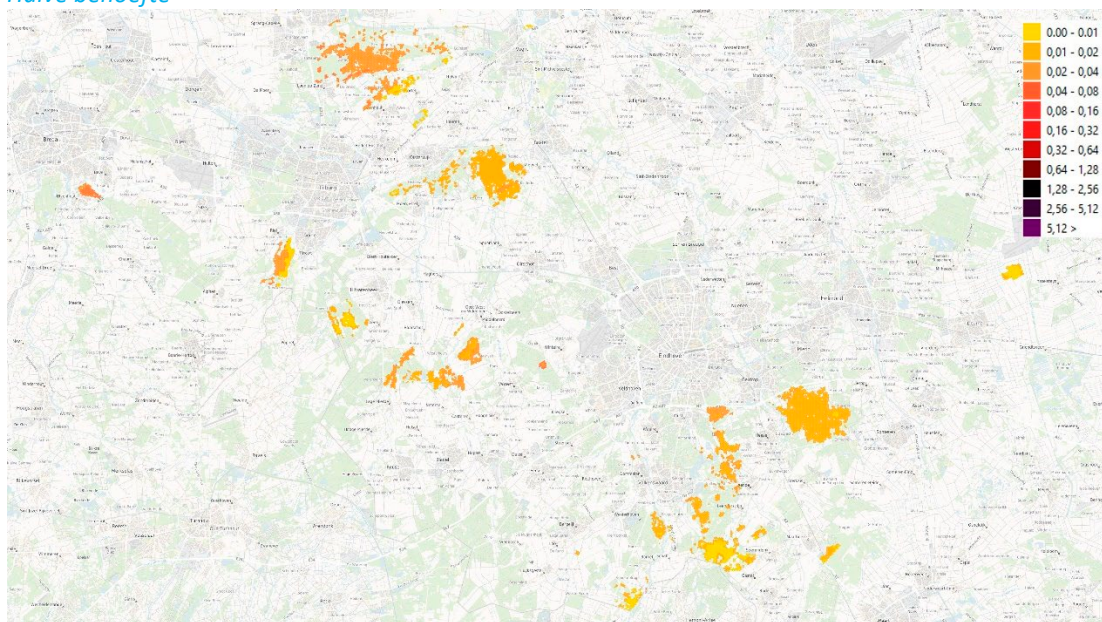
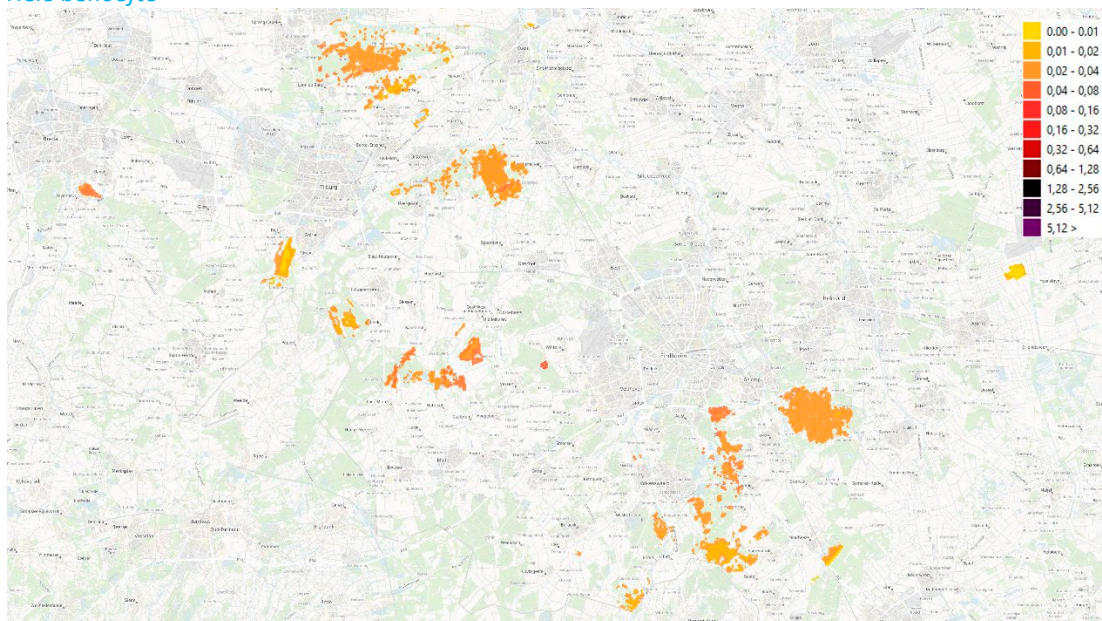
2.3.4 Vliegbasis Eindhoven

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in acht gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waar de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Weerter- en Budelerbergen & Ringselven, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Strabrechtse Heide & Beuven, Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven en Moerputten & Bossche Broek. De maximale depositie bevindt zich in Kempenland-West (0,15 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 9 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 9: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegveld Eindhoven met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Weerter- en Budelerbergen & Ringselven	2.768	95	0,01	134	0,03
Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux	2.146	1.750	0,03	1.750	0,07
Strabrechtse Heide & Beuven	1.550	1.480	0,03	1.480	0,05
Kempenland-West	1.036	978	0,07	978	0,15
Regte Heide & Riels Laag	340	129	0,01	218	0,02
Kampina & Oisterwijkse Vennen	1.335	1.177	0,03	1.177	0,05
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	1.696	201	0,01	238	0,02
Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek	252	13	0,01	16	0,01

De hoogst overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied Kempenland-West (gesegregeerde gebieden ten westen van vliegveld Eindhoven). Daarnaast worden de meeste overbelaste hexagonen berekend ten oosten en zuidoosten van het vliegveld in de gebieden Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux en Strabrechtse Heide & Beuven. De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 5 waarin de gebieden rood staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.

Halve behoefte*Hele behoefte*

Figuur 5: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegveld Eindhoven, betreffende de gebieden; Weerter- en Budelerbergen & Ringselven, Sarsven en De Banen, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Groote Peel, Strabrechtse Heide & Beuven, Deurnsche Peel & Mariapeel, Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek en Langstraat.

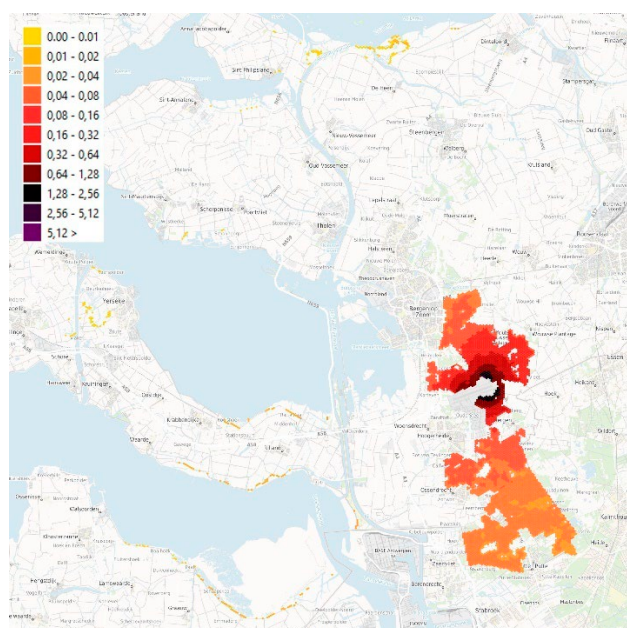
2.3.5 Vliegbasis Woensdrecht

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in vijf gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Westerschelde & Saeftinghe, Brabantse Wal, Oosterschelde, Yerseke en Kapelse Moer en Krammer-Volkerak. De maximale depositie bevindt zich in Brabantse Wal (5,58 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 10 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie. Daarnaast is er eenzelfde scenario opgenomen bij 150 sorties.

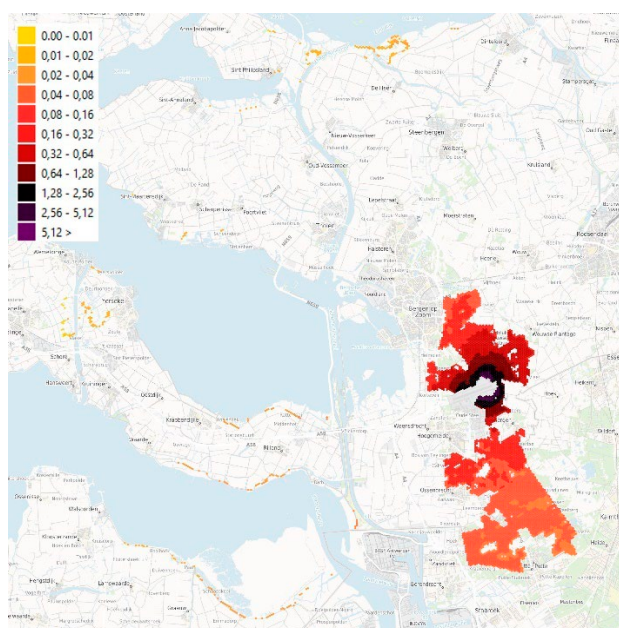
Tabel 10: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Woensdrecht met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Halve behoefte		Hele behoefte		150 sorties	
			Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	
Westerschelde & Saeftinghe	3.465	100	0,02	100	0,05	0	0,00	
Brabantse Wal	5.283	5.278	2,79	5.278	5,58	4.915	0,36	
Oosterschelde	1.327	52	0,03	55	0,05	0	0,00	
Yerseke en Kapelse Moer	431	42	0,01	59	0,01	0	0,00	
Krammer-Volkerak	1.171	100	0,01	100	0,03	0	0,00	

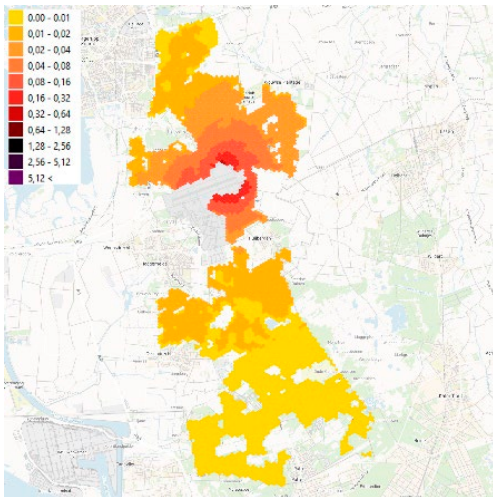
De hoogst overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied berekend voor het gebied Brabantse Wal (ten noorden tot en met zuiden van vliegveld Woensdrecht). De depositie in het gebied is duidelijk te herkennen in *Figuur 6* waarin het gebied rondom vliegbasis Woensdrecht oranje/rood/zwart staat gekleurd in zowel de halve als hele behoefte. Voor dit gebied wordt overigens van de vliegbases de hoogste deposities berekend.



Halve behoefte



Hele behoefte



150 sorties

Figuur 6: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte en bij 150 sorties in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Woensdrecht, betreffende de gebieden; Westerschelde & Saeftinghe, Vogelkreek, Brabantse Wal, Oosterschelde, Yerseke en Kapelse Moer, Ulvenhoutse Bos, Krammer-Volkerak en Grevelingen.

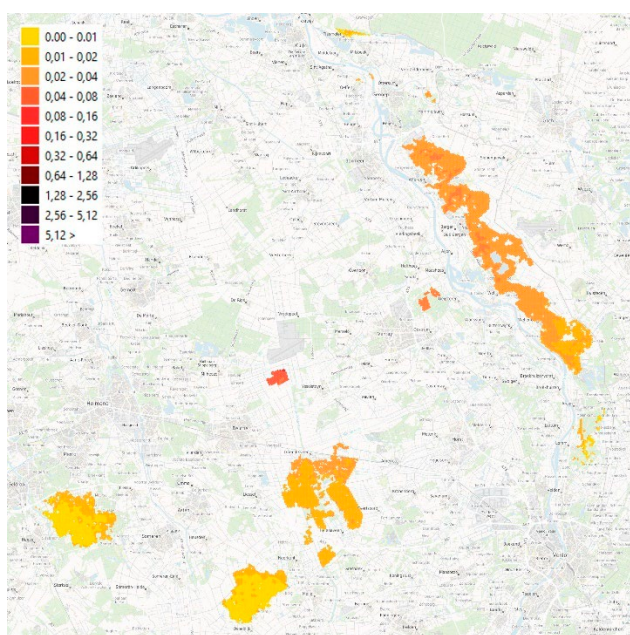
2.3.6 Vliegbasis De Peel

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leiden in negen gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Groote Peel, Deurnsche Peel & Mariapeel, Strabrechtse Heide & Beuven, Maasduinen, Boschhuizerbergen, Zeldersche Driessen, Oeffelter Meent en Sint Jansberg. De maximale depositie bevindt zich in de Deurnsche Peel & Mariapeel (0,36 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 11 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie. Daarnaast is er eenzelfde scenario opgenomen bij 150 sorties.

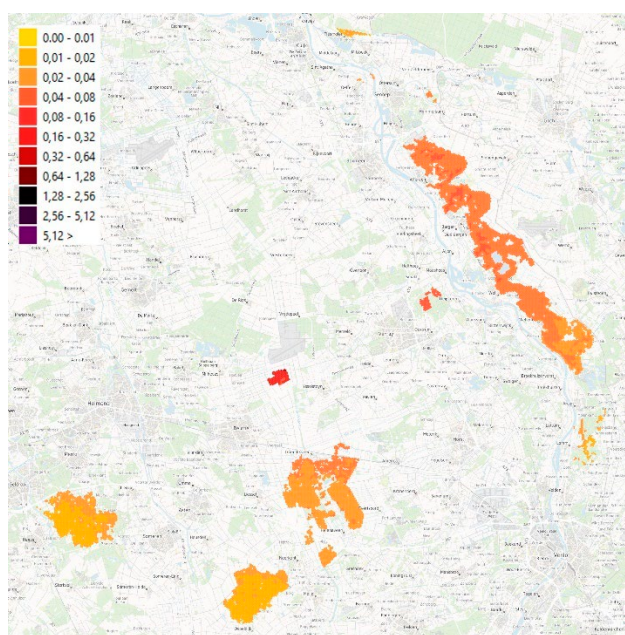
Tabel 11: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis De Peel met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte		150 sorties	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Weerter- en Budelerbergen & Ringselven	994	0	0,00	7	0,01	0	0,00
Groote Peel	1.327	1.327	0,02	1.327	0,04	0	0,00
Deurnsche Peel & Mariapeel	2.395	2.395	0,18	2.395	0,36	146	0,02
Strabrechtse Heide & Beuven	1.550	1.480	0,02	1.480	0,03	0	0,00
Maasduinen	4.741	4.638	0,05	4.661	0,09	572	0,01
Boschhuizerbergen	107	106	0,06	106	0,13	104	0,01
Zeldersche Driessen	30	26	0,03	26	0,06	0	0,00
Oeffelter Meent	46	13	0,02	13	0,03	0	0,00
Sint Jansberg	198	70	0,01	183	0,03	0	0,00

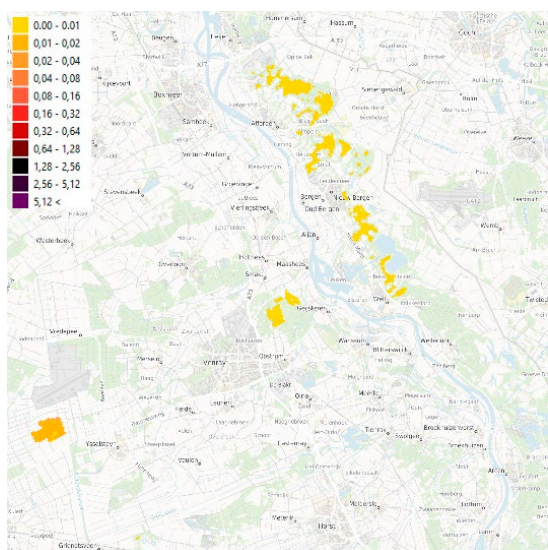
De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn berekend voor de gebieden de Deurnsche Peel & Mariapeel en Maasduinen (respectievelijk ten zuiden en oosten/noordoosten van vliegbasis De Peel). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 7 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.



Halve behoefte



Hele behoefte



150 sorties

Figuur 7: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte en bij 150 sorties in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis De Peel, betreffende de gebieden; Sarsven en De Banen, Weerter- en Budelerbergen & Ringselven, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Groote Peel, Deurnsche Peel & Mariapeel, Strabrechtse Heide & Beuven, Maasduinen, Boschhuizerbergen, Zeldersche Driessen, Oeffelter Meent, Sint Jansberg en De Bruuk.

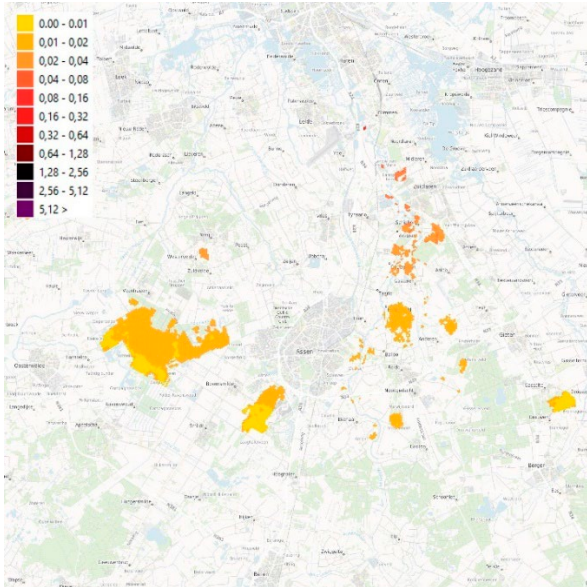
2.3.7 Vliegveld Eelde

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leiden in zes gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Fochteloërveen, Drouwenerzand, Drentsche Aa-gebied, Witterveld, Bakkeveense Duinen en Norgerholt. De maximale depositie bevindt zich in het Drentsche Aa-gebied (0,43 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 12 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie. Daarnaast is er eenzelfde scenario opgenomen bij 150 sorties.

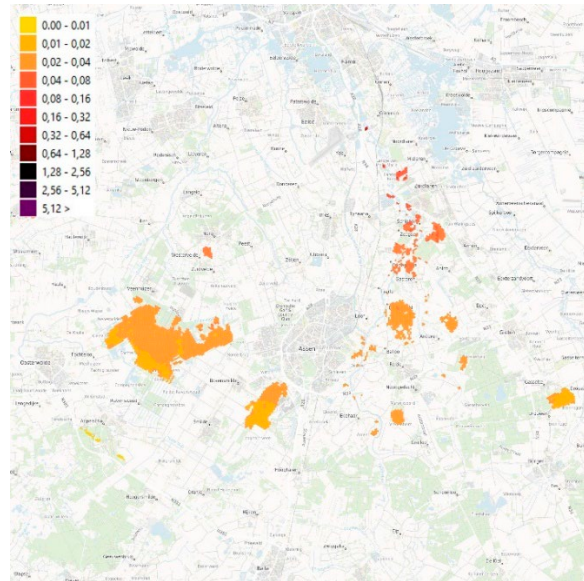
Tabel 12: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegveld Eelde met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000 gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte		150 sorties	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Fochteloërveen	1.980	1.980	0,02	1.980	0,05	0	0,00
Drents-Friese Wold & Leggelderveld	2.969	0	0,00	34	0,01	0	0,00
Drouwenerzand	169	169	0,02	169	0,03	0	0,00
Drentsche Aa- gebied	1.595	1.046	0,22	1.046	0,43	138	0,03
Witterveld	475	475	0,02	475	0,03	0	0,00
Bakkeveense Duinen	161	161	0,02	161	0,03	0	0,00
Norgerholt	38	38	0,04	38	0,07	0	0,00

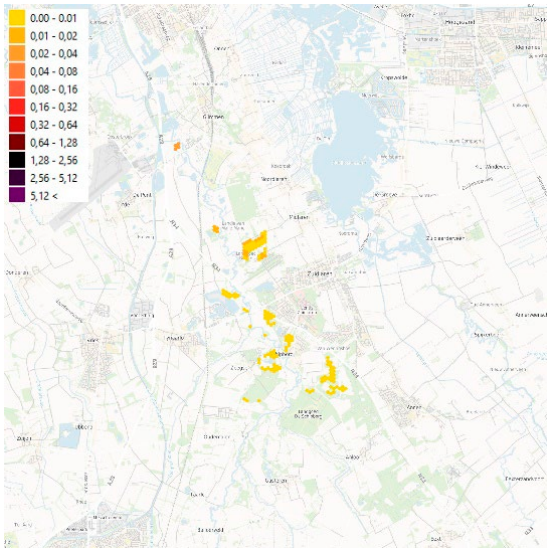
De meeste overbelaste hexagonen zijn berekend voor Fochteloërveen, terwijl de hoogste overschrijdingen plaatsvinden in het Drentsche Aa-gebied (hoofdzakelijk ten zuidoosten van het vliegveld), gevolgd door Norgerholt en Fochteloërveen (ten zuidwesten van het vliegveld). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 8 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.



Halve behoefte



Hele behoefte



150 sorties

Figuur 8: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte en bij 150 sorties in N2000 gebied binnen een straal van 25 km rond vliegveld Eelde, betreffende de gebieden: Fochteloërveen, Drents-Friese Wold & Leggelderveld, Drouwenerzand, Waddenzee, Drentsche Aa-gebied, Witterveld, Bakkeveense Duinen, Wijnjeterper Schar, Elperstroomgebied en Norgerholt.

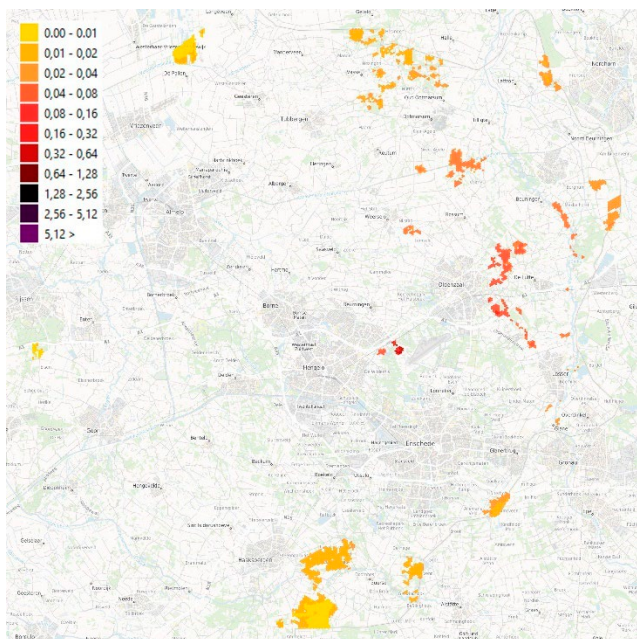
2.3.8 Vliegveld Twente

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in 12 gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Springendal & Dal van de Mosbeek, Borkeld, Engbertsdijksvenen, Dinkelland, Buurserzand & Haaksbergerveen, Landgoederen Oldenzaal, Witte Veen, Aamsveen, Lonnekermeer, Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek, Bergvennen & Brecklenkampse Veld en Lemselermaten. De maximale depositie bevindt zich in Lonnekermeer (1,02 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 13 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie. Daarnaast is er eenzelfde scenario opgenomen bij 150 sorties.

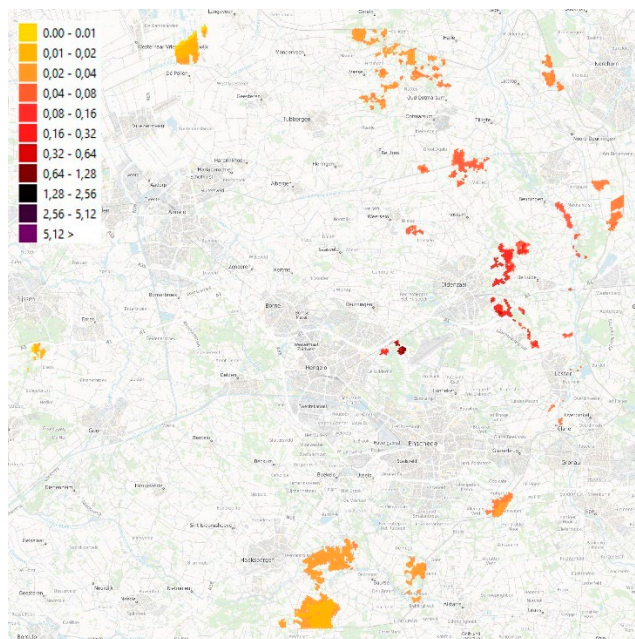
Tabel 13: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegveld Twente met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte		150 sorties	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Springendal & Dal van de Mosbeek	517	467	0,03	467	0,07	0	0,00
Borkeld	237	51	0,01	51	0,02	0	0,00
Engbertsdijksvenen	928	240	0,02	240	0,03	0	0,00
Dinkelland	574	281	0,06	281	0,13	99	0,01
Buurserzand & Haaksbergerveen	897	883	0,02	883	0,05	0	0,00
Landgoederen Oldenzaal	385	334	0,17	334	0,34	334	0,02
Witte Veen	144	140	0,02	140	0,05	0	0,00
Aamsveen	123	122	0,03	122	0,07	0	0,00
Lonnekermeer	45	45	0,51	45	1,02	45	0,07
Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	305	207	0,06	207	0,11	169	0,01
Bergvennen & Brecklenkampse Veld	104	104	0,04	104	0,07	0	0,00
Lemselermaten	48	35	0,07	35	0,14	34	0,01

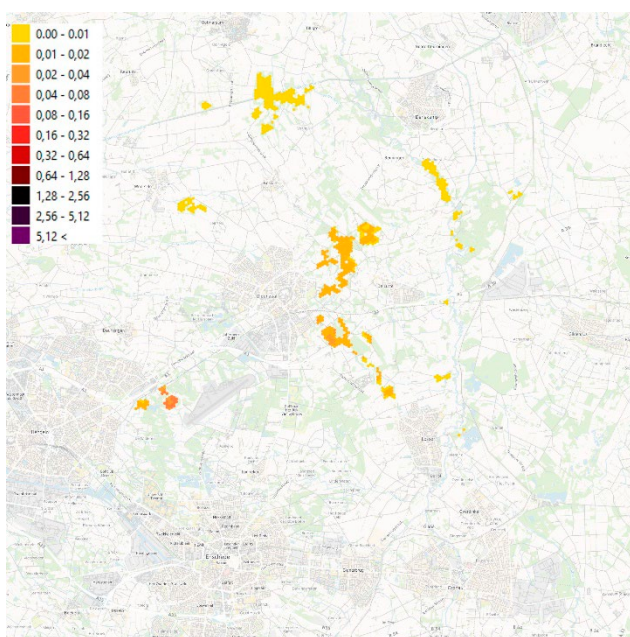
De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn respectievelijk berekend voor de gebieden Buurserzand & Haaksbergerveen (ten zuidwesten van vliegveld Twente) en Lonnekermeer (grenzend aan het vliegveld). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 9 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.



Halve behoefte



Hele behoefte



150 sorties

Figuur 9: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte en bij 150 sorties in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegveld Twente, betreffende de gebieden: Springendal & Dal van de Mosbeek, Vecht- en Beneden-Reggegebied, Stelkampsveld, Borkeld, Engbertsdijkerven, Sallandse Heuvelrug, Dinkelland, Buurserzand & Haaksbergerveen, Landgoederen Oldenzaal, Witte Veen, Aamsveen, Lonnekermeer, Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek, Wierdense Veld, Boetelerveld, Bergvennen & Brecklenkampse Veld en Lemselermaten.

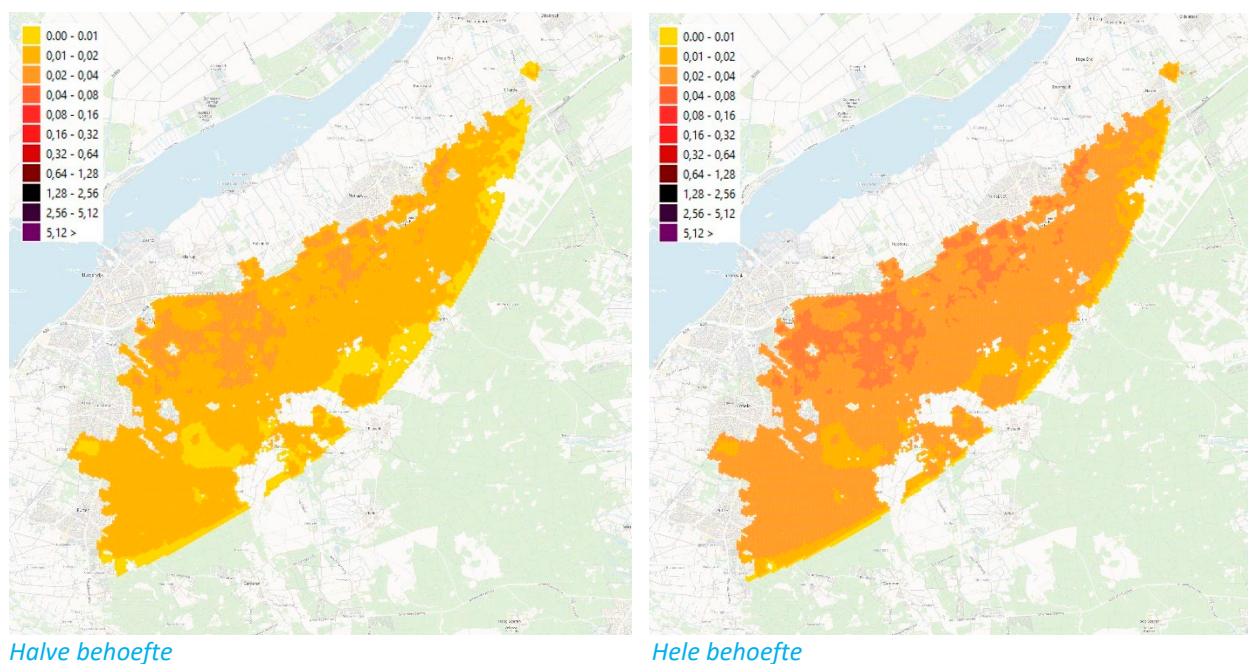
2.3.9 Vliegveld Lelystad

De depositie in de twee beoogde situaties (halve en hele behoefte) leidt in één gebied tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Dit gebied met (bijna) overbelasting is de Veluwe. De maximale depositie bevindt zich op de Veluwe (0,05 mol/ha/jaar) onder de hele behoefte (2.300 sorties). In Tabel 14 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 14: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegveld Lelystad met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied onder de halve en hele behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Halve behoefte		Hele behoefte	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Veluwe	22.125	13.280	0,02	13.561	0,05

De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn berekend voor de Veluwe (ten zuidoosten van vliegveld Lelystad). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 10 waarin de gebieden rood/roze staan gekleurd in zowel de halve als hele behoefte.



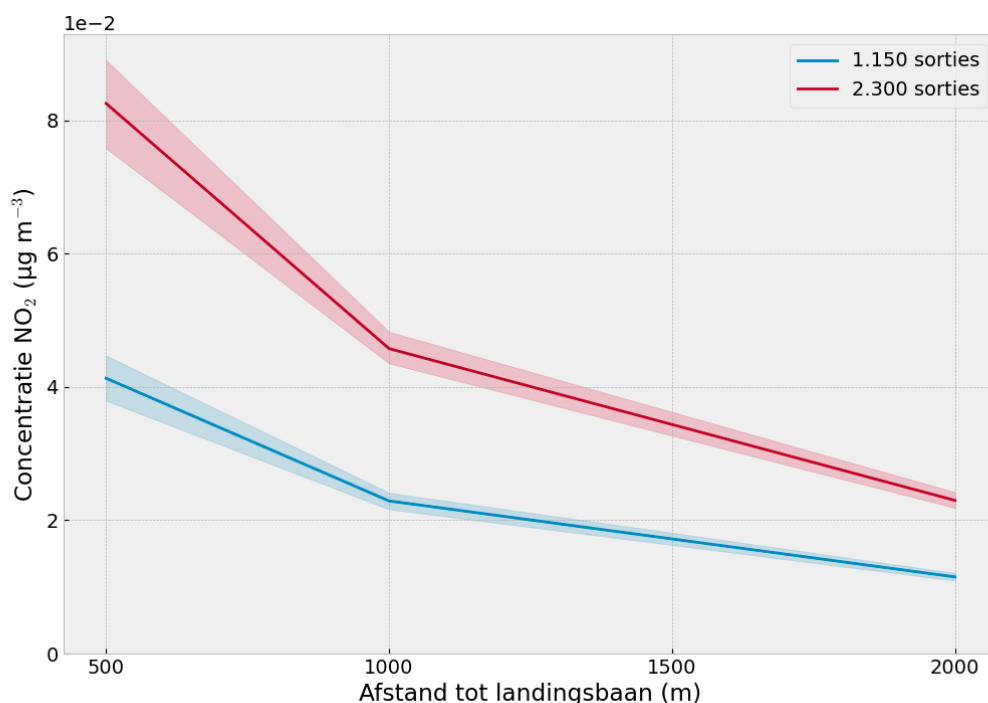
Figuur 10: (Bijna) overbelaste hexagonen onder de halve en hele behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegveld Lelystad, betreffende de gebieden: Veluwe, Rijntakken, Zwarte Meer en De Wieden

2.4 Resultaten luchtkwaliteit

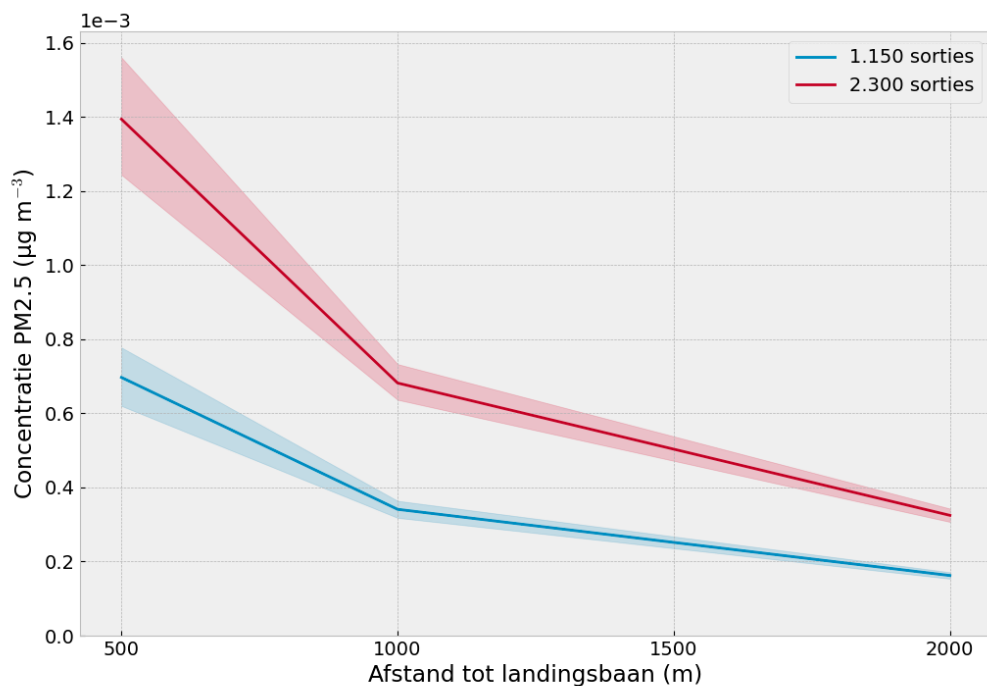
De resultaten voor de luchtkwaliteit worden voor de beschouwde velden geaggregeerd en als gemiddelde concentratiebijdrage op leefniveau beschreven, als zijnde locatie-onafhankelijk. Voor de stoffen NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ zijn concentratiebijdragen gemodelleerd met het verspreidingsmodel STACKS (Appendix C). Hierbij zijn de grondconcentraties berekend op vaste rekenpunten, 500, 1.000 en 2.000 meter van de landingsbaan op twee geselecteerde vliegbases. De selectie van vliegbases is gebaseerd op significante verschillen in achtergrondconcentratie en gemiddelde windsnelheid, factoren die een sterke invloed kunnen hebben op de gemodelleerde concentraties. De berekeningen zijn uitgevoerd met toekomstige achtergrondconcentraties voor het jaar 2040 en meerjarige meteorologische gegevens van 2005 tot 2014.

Figuur 11, Figuur 12 en Figuur 13 tonen de gemiddelde concentratie op 500, 1.000 en 2.000 meter afstand tot de landingsplaats voor respectievelijk NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ in microgrammen per kubieke meter. Elk figuur toont waarden voor de hele en halve behoefte. De concentraties voor de halve behoefte is ongeveer de helft van de bijdrage voor de hele behoefte en de concentraties halveren ongeveer bij een verdubbeling van de afstand tot de landingsbaan. De bandbreedten zijn een orde van grootte 10 kleiner dan de gemodelleerde concentratie.

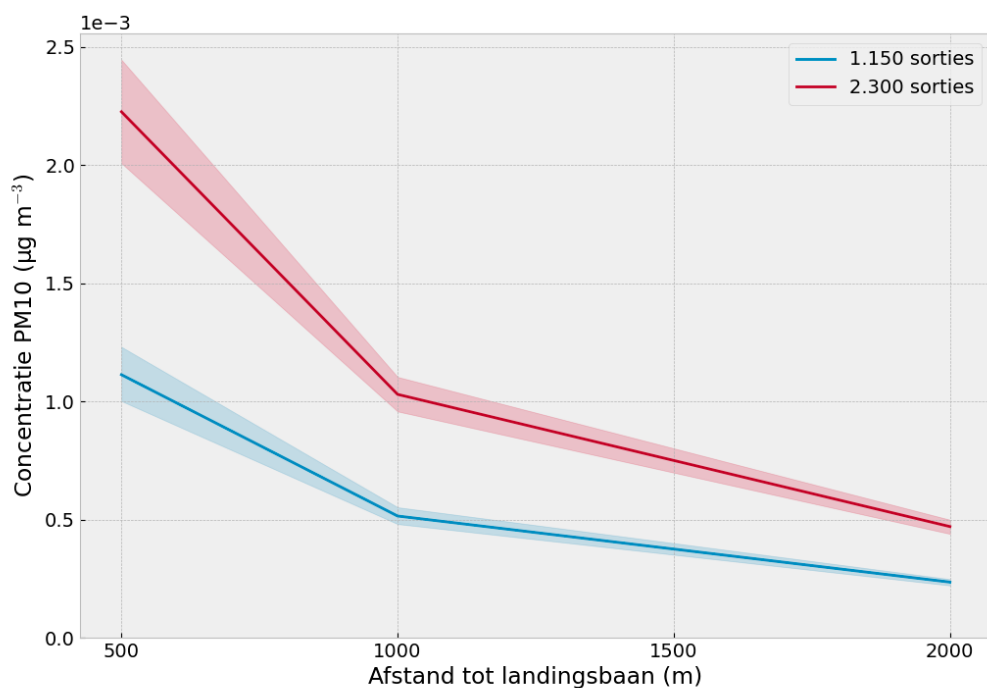
De bandbreedten (ofwel de spreiding van gemodelleerde concentraties op gelijke afstand van de landingsbaan in diverse richtingen) worden kleiner met toenemende afstand tot de landingsbaan (in absolute zin), omdat de uitgestoten gassen en deeltjes diffuseren. Uitstoot op lage hoogte, op of nabij de landingsbaan, draagt relatief meer bij aan grondconcentraties (op 1,5 meter) dan uitstoot op grotere hoogte. Naarmate de afstand tot de landingsbaan toeneemt, verspreiden de stoffen zich gelijkmatiger over de ruimte.



Figuur 11: Gemiddelde NO₂-concentraties als functie van afstand tot de landingsbaan (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-2} (een honderdste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde NO₂-achtergrond bedroeg voor Volkel in 2023 ca. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor Woensdrecht ca. $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 12: Gemiddelde PM_{2,5}-concentraties als functie van afstand tot de landingsbaan (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-3} (een duizendste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde PM_{2,5}-achtergrond bedroeg voor Volkel in 2023 ca. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor Woensdrecht ca. $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 13: Gemiddelde PM₁₀-concentraties als functie van afstand tot de landingsbaan (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-3} (een duizendste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde PM₁₀-achtergrond bedroeg voor Volkel in 2023 ca. $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en voor Woensdrecht ca. $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

3 Behoefte 12 – Helikopterlandingsplaatsen

Naast het gebruik van ‘gewone’ luchthavens, heeft de krijgsmacht de mogelijkheid om met helikopters te starten en landen vanaf 15 locaties, zogenaamde helikopterlandingsplaatsen (HLP's). Dit hoofdstuk gaat in op de milieueffecten stikstofdepositie en luchtkwaliteit het gebruik van de HLP's. Voor elke locatie geldt een maximum aan het toegestaan aantal vliegtuigbewegingen (Tabel 15). De NRD omschrijft een aantal redenen waarom gezocht wordt naar meer mogelijkheden voor helikopterlandingsplaatsen. Volgens de NRD vraagt de toekomstige inzet van helikopters om een grotere behoefte en een flexibel gebruik van de HLP's. Gedacht wordt aan een toename tot 24.000 vliegtuigbewegingen.

3.1 Invoergegevens en uitgangspunten

Voor het berekenen van de stikstofdepositie en de luchtkwaliteit is een veelheid aan invoergegevens en uitgangspunten nodig. De belangrijkste invoergegevens en uitgangspunten van dit deelonderzoek zijn in deze paragraaf toegelicht, zoals de beschouwde bronnen, de beschouwde stoffen en de toegepaste rekenmodellen. Een gedetailleerdere beschrijving van de uitgangspunten, invoergegevens en methoden welke zijn gebruikt de stikstofdepositie en luchtkwaliteit te berekenen van de eerdergenoemde scenario's is gegeven in Appendix A tot en met C.

Verdeling van de behoefte

Defensie wil het aantal en de omvang van de locaties waar helikopters mogen landen uitbreiden. Ook wil defensie meer diversiteit in de landingsplaatsen. Afwisseling met landingsplaatsen op zandvlaktes, stedelijk gebied of kustgebieden is gewenst. In onderstaande tabel is aangegeven hoeveel landingen per locatie per jaar mogelijk zijn.

Tabel 15: Aantal vergunde helikopterbewegingen per (bestaande) locatie per jaar.

Locatie	Aantal vergunde vliegtuigbewegingen
ASK Oldebroek	400
Vliehors	60
Assen	100
Rijen	100
Waalsdorpervlakte	150
Beekhuizerzand	400
Eder- en Ginkelse heide	1.500
Stroese Zand	300
Oirschot	500
Arnhemse Heide	100
Marnewaard	210
Garderense Veld	200
Vlasakkers	400
Leusderheide	600
Ermelose Heide	300

De berekeningen gaan uit van drie varianten die van elkaar verschillen in het aantal vliegbewegingen (750, 3.500 en 8.500 bewegingen)..

Te beschouwen bronnen

In deze studie zijn voor de onderzochte activiteiten de airborne emissies van helikopters beschouwd, met en zonder hovering in de vorm van zogenoemde handvaardigheidsoefeningen (HVO's). Emissies ten gevolge van slijtage door het opstijgen en landen van helikopter worden verwaarloosbaar klein geacht. Grondbronnen die samenhangen met luchtvaartactiviteiten zijn binnen deze studie buiten beschouwing gelaten, in lijn met het toepassingsbereik van dit PlanMER.

Stoffen

De beschouwde stoffen in het kader van luchtkwaliteit zijn stikstofdioxide (NO₂), fijn stof (PM₁₀) en zeer fijn stof (PM_{2,5}). In het kader van stikstofdepositie is naast NO₂ ook de NH₃-emissie relevant. Voor de vliegtuigbronnen geldt echter dat deze geen NH₃ emitteren.

Meegenomen luchthavens

De emissies voor deze behoefte zijn berekend op 1 locatie, te weten Oirschot. Omdat de relatieve ligging van de routes voor iedere helikopterlandingsplaats gelijk is, zijn de emissies van de overige luchthavens bepaald door middel van coördinaattransformatie van de resultaten zoals berekend op locatie Oirschot.

Voor luchtkwaliteit is gekeken naar locatiegebonden karakteristieken die bepalend zijn voor de verspreiding van emissies, en daarmee voor luchtkwaliteit. Deze karakteristieken zijn samengevat als de lokale achtergrondconcentratie en de lokale meteorologie. De lokale achtergrondconcentratie is voor NO₂ relevant, omdat de chemische interacties die plaatsvinden in de atmosfeer voor NO₂ worden meegenomen in de modellering. Als indicator van, voor luchtkwaliteit relevante, verschillen in lokale meteorologie, is de windsnelheid beschouwd. Het uitgangspunt is dat het doorrekenen van een aantal locaties met onderscheidende NO₂-achtergrondconcentraties dan wel windsnelheden voldoende beeld geeft van de mogelijke locatiegebonden spreiding in concentratiebijdragen ten gevolge van de voorgenomen activiteit. Voor deze behoefte zijn Oirschot en Waalsdorpervlakte doorgerekend; bij Waalsdorpervlakte is sprake van een relatief hoge windsnelheid door de ligging nabij de kust en een relatief hoge NO₂-achtergrondconcentratie door de ligging nabij grootstedelijk gebied, waar Oirschot meer landinwaarts ligt met lagere achtergronden en lagere windsnelheden.

Stikstofdepositie is op 1 locatie, Oirschot, doorgerekend. Vervolgens zijn deze resultaten vertaald naar de andere (potentiële) helikopterlandingsplaatsen middels coördinaattransformatie.

Studiegebied

Stikstofdepositie is berekend met het daarvoor verplicht gestelde model AERIUS. AERIUS berekent de depositie in alle relevante hexagonen in Natura 2000-gebieden tot een afstand van 25 km van een bron. Meer informatie over AERIUS, inclusief informatie over de gebruikte versie, is te vinden in Appendix B.

Voor luchtkwaliteit zijn de berekeningen uitgevoerd in een vooraf vastgesteld bestand met rekenpunten. In deze studie waarin is gekeken naar de effecten als functie van afstand tot de helikopterlandingsplaats, zijn 150 rekenpunten neergelegd op 500, 1.000 en 2.000 meter van de landingsplaats (50 rekenpunten per afstand, zie Figuur 14). Op deze wijze kunnen afstandsafhankelijke concentratiebijdragen worden vastgesteld, ongeacht de richtingen waarin de emissies zich verspreiden.



Figuur 14: Ligging van de rekenpunten in het studiegebied rondom helikopterlandingsplaats Waalsdorpervlakte.

Rekenjaren

Als rekenjaar is uitgegaan van 2040, conform het NRD. Dit houdt in dat – waar dit relevant is voor NO_2 – is gerekend met achtergrondconcentraties zoals deze zijn voorspeld voor het jaar 2040. Deze achtergrondgegevens komen uit PreSRM. Vervolgens is gerekend op basis van tienjarige meteorologie (periode 2005 – 2014), conform afspraken binnen het NNM.

Toegepaste rekenmodellen

De volgende rekenmodellen zijn toegepast:

- De emissies van het helikopterverkeer zijn berekend met de NLR-rekentool LEAS-iT (Local Aviation Emissions in Airport Scenarios - inventory Tool) versie 9.1.2, zie Appendix A.
- De depositieberekeningen zijn uitgevoerd met het voorgeschreven model AERIUS Lucht, zie Appendix B.
- De luchtkwaliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met de STACKS luchtvaartmodule versie 2023.1, zie Appendix C.

3.2 Berekeningen emissies

Het Defensie Helikopter Commando (DHC) beschikt over vier helikoptertypes die gebruik kunnen maken van de helikopterlandingsplaatsen. Voor de berekeningen is uitgegaan van een bepaalde verdeling van het aantal vluchten over de verschillende helikoptertypes. Tabel 16 laat zien dat het vooral de transporthelikopters Chinook en Cougar zijn die gebruik maken van de HLP's.

Tabel 16: Verdeling van vliegtuigbewegingen over helikoptertypes.

Chinook	Cougar	Apache	NH90
50%	30%	10%	10%

Het uitgangspunt is dat de HLP's gedurende het hele jaar gebruikt kunnen worden en dat gedurende de winterperiode ook in de avonduren gevlogen zal worden. Tabel 17 geeft de verdeling van het vliegverkeer over de etmaalperioden en maanden, waarbij verondersteld wordt dat binnen een etmaalperiode het vliegverkeer evenredig verdeeld is over de uren en dat het verkeer in de zomer en winter ook evenredig verdeeld is over de maanden.

Tabel 17: Verdeling van de vliegbewegingen over de dag en zomer, winter.

Etmaalperiode	5 zomermaanden	7 wintermaanden
09:00 tot 17:00	100%	60%
17:00 tot 23:00	0%	40%
23:00 tot 09:00	0%	0%

Uit deze verdeling over het etmaal en het jaar kan een gemiddelde etmaalweegfactor bepaald worden, deze is 1,35. Bij berekeningen waarbij rekening gehouden is met hoveren (HVO's), is per vliegbeweging (aankomst en vertrek) een hovertijd van 2 minuten aangehouden.

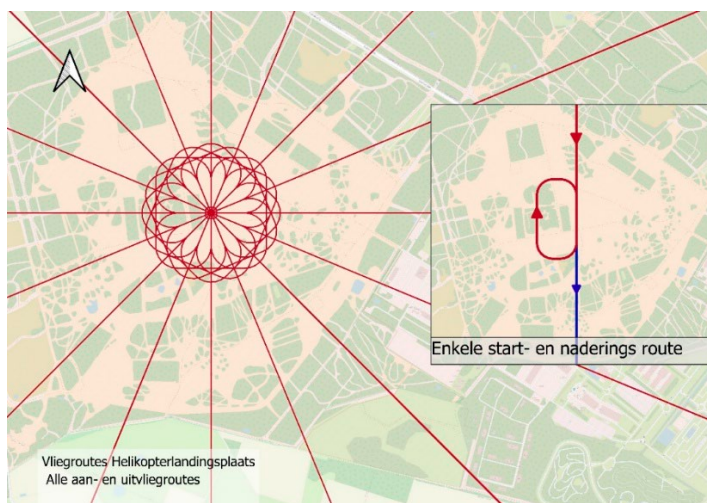
Tabel 18: Overzicht totaal berekende emissies binnen Behoeft 12 in kg/jaar, per scenario. Binnen deze berekening zijn alleen airborne emissies beschouwd.

Scenario	NO _x	PM _{2,5}	PM ₁₀
750 bewegingen zonder hovering	318,7	8,2	8,2
750 bewegingen met hovering	488,5	12,4	12,4
3.500 bewegingen zonder hovering	1.487,2	38,1	38,1
3.500 bewegingen met hovering	2.279,6	57,9	57,9
8.500 bewegingen zonder hovering	3.611,9	92,6	92,6
8.500 bewegingen met hovering	5.536,1	140,6	140,6

Voor het berekenen van de emissies van HLP's is gebruik gemaakt van LEAS-iT versie 9.1.2. Dit is een andere versie dan van de overige behoeftes (9.0.14). Reden voor afwijken is geweest dat in versie 9.1.2 een aanpassing is doorgevoerd om zware turboshaft helikopters zoals de genoemde helikopters op de HLP's nauwkeuriger te kunnen modelleren.

Voor het aanvliegen naar en het vertrekken van een HLP bestaan geen vaste routes. Bij de berekeningen is daarom als uitgangspunt gehanteerd dat de locaties vanuit alle richting aangevlogen kunnen worden en dat het terrein ook in alle richtingen verlaten kan worden. Voor de naderingen is een procedure toegepast waarbij de helikopters eerst over het HLP vliegen en dan via een circuitroute de landing uitvoeren.

Voor het modelleren van de routes is de kompasroos verdeeld in 16 sectoren, waarbij het vliegverkeer evenredig verdeeld wordt over alle aan- en uitvliegrichtingen. Figuur 15 laat zien welk beeld er ontstaat als alle routes tegelijk in beeld gebracht worden. De inzet in deze figuur toont een nadering met circuit vanuit het noorden (rood) en een start naar het zuiden (blauw).



Figuur 15: Vliegroutes HLPs.

3.3 Resultaten stikstofdepositie

De depositie is doorgerekend voor de volledige behoefte van 8.500 helikopterbewegingen. Hieruit worden de depositiebijdragen bij 750 en 3.500 bewegingen afgeleid. De volledige behoefte leidt in zeven gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Strabrechtse Heide & Beuven, Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven en Moerputten & Bossche Broek. De maximale depositie bevindt zich in Kempenland-West (0,04 mol/ha/jaar) bij 8.500 bewegingen. Bij 3.500 bewegingen zijn er vier gebieden met (bijna) overbelasting: Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Strabrechtse Heide & Beuven, Kempenland-West en Kampina & Oisterwijkse Vennen. De maximale depositie bevindt zich ook dan in Kempenland-West (0,02 mol/ha/jaar). Bij 750 bewegingen worden er geen gebieden met (bijna) overbelasting geïdentificeerd.

Wanneer HVO niet wordt meegenomen in de berekeningen, gaan de hoeveelheid gebieden, hexagonen en maximale deposities omlaag. In Tabel 19 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de drie scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie bij met en zonder HVO.

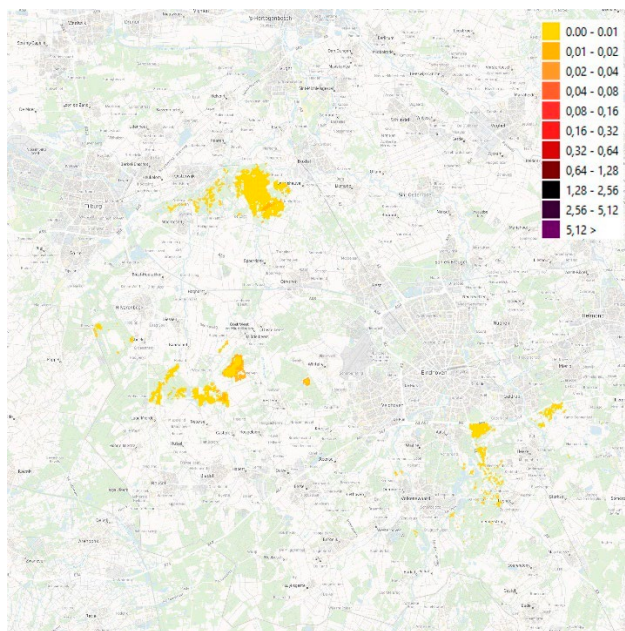
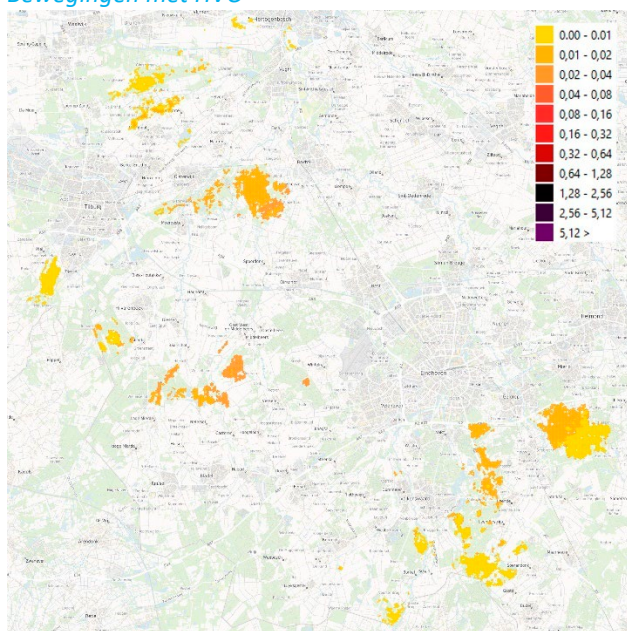
Tabel 19: Samenvatting van de gebieden in de buurt van helikopterlandingsplaats Oirschot met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied bij 8.500, 3.500 en 750 helikopterbewegingen.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	8.500 bewegingen met HVO		8.500 bewegingen zonder HVO	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Leenderbos, Grootte Heide & De Plateaux	2.146	1.736	0,02	547	0,01
Strabrechtse Heide & Beuven	1.550	1.479	0,02	363	0,01
Kempenland-West	998	941	0,04	650	0,01
Regte Heide & Riels Laag	340	329	0,01	0	0,00
Kampina & Oisterwijkse Vennen	1.335	1.160	0,03	914	0,01
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	1.346	730	0,01	0	0,00
Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek	252	98	0,01	0	0,00

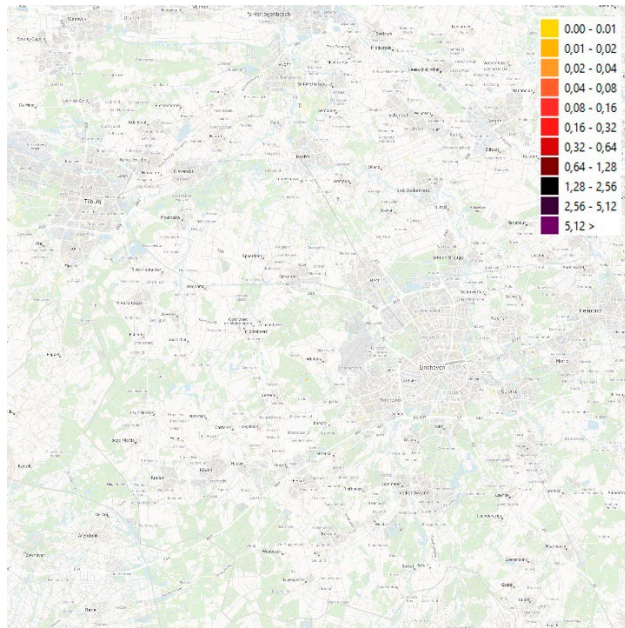
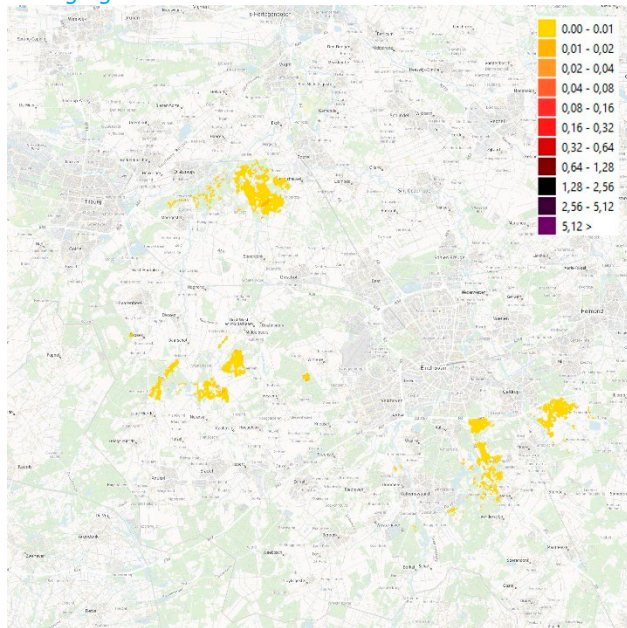
N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	3.500 bewegingen met HVO		3.500 bewegingen zonder HVO	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Leenderbos, Grootte Heide & De Plateaux	2.146	374	0,01	0	0,00
Strabrechtse Heide & Beuven	1.550	109	0,01	0	0,00
Kempenland-West	998	786	0,02	5	0,01
Kampina & Oisterwijkse Vennen	1.335	1.106	0,01	0	0,00

De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn berekend voor de gebieden Kempenland-West, Kampina & Oisterwijkse Vennen en Leenderbos, Grootte Heide & De Plateaux (relatief het dichtst bij de helikopterlandingsplaats Oirschot). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in *Figuur 16* waarin de gebieden geel/oranje staan gekleurd het 8.500 en 3.500 scenario voor zowel met als zonder HVO.

Bewegingen met HVO



Bewegingen zonder HVO



Figuur 16: (Bijna) overbelaste hexagonen bij 8.500 (links) en 3.500 (rechts) helikopterbewegingen met en zonder HVO in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond helikopterlandingsplaats Oirschot, betreffende de gebieden: Kempenland-West, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Strabrechtse Heide & Beuven, Leenderbos, Groote Heide & De Plateaux, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Regte Heide & Riels Laag en Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek.

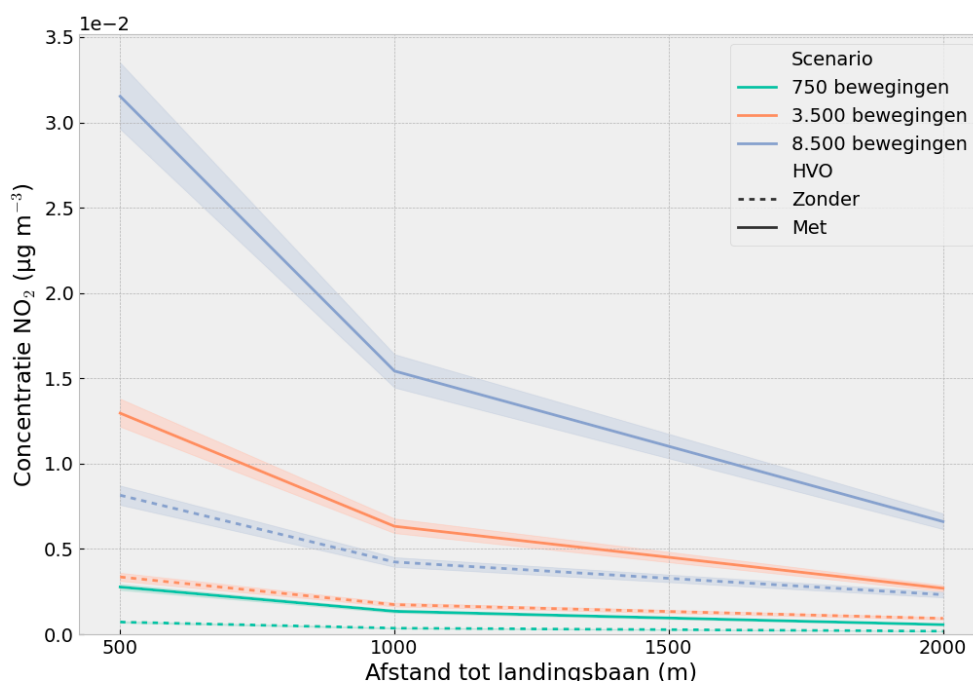
3.4 Resultaten luchtkwaliteit

De resultaten voor de luchtkwaliteit worden niet per vliegveld beschreven, maar als gemiddelde concentratiebijdragen van helikopterbewegingen op leefniveau. Voor de stoffen NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ zijn locatie-onafhankelijke concentraties gemodelleerd met het verspreidingsmodel STACKS (Appendix C). Hierbij zijn de

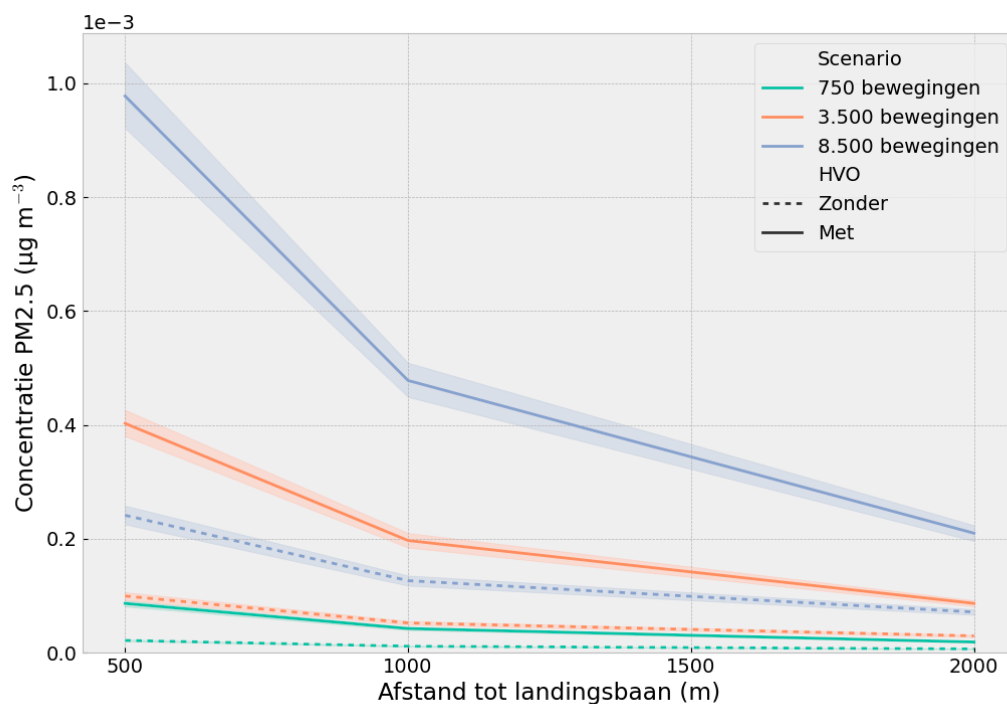
concentraties op leefniveau berekend op vaste rekenpunten op 500, 1.000 en 2.000 meter van de landingsplaats op twee geselecteerde vliegbases. De selectie van vliegbases is gebaseerd op significante verschillen in achtergrondconcentratie en gemiddelde windsnelheid, factoren die een sterke invloed hebben op de gemodelleerde concentraties. De berekeningen zijn uitgevoerd met toekomstige achtergrondconcentraties voor het jaar 2040 en meerjarige meteorologische gegevens van 2005 tot 2014.

Figuur 17, Figuur 18 en Figuur 19 tonen de gemiddelde concentratie op 500, 1.000 en 2.000 meter afstand tot de landingsplaats voor respectievelijk NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ in microgrammen per kubieke meter. Elk figuur toont waarden voor zes scenario's: 750, 3.500 en 8.500 vliegbewegingen op jaarbasis, allen met en zonder HVO. De concentraties schalen redelijk lineair met het aantal bewegingen en de concentraties halveren ongeveer bij een verdubbeling van de afstand tot de landingsbaan. De betrouwbaarheidsintervallen zijn een orde van grootte 10 kleiner dan de gemodelleerde concentratie.

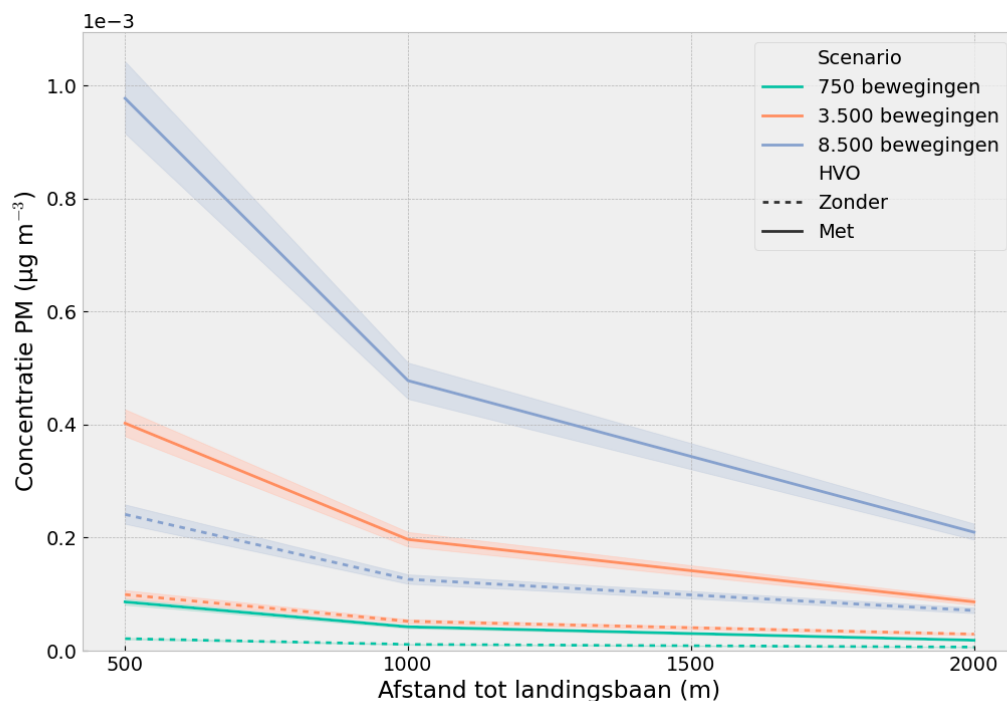
De onzekerheidsbanden (ofwel de spreiding van gemodelleerde concentraties op gelijke afstand van de landingsbaan in diverse richtingen) worden kleiner met toenemende afstand tot de landingsplaats, omdat de uitgestoten gassen en deeltjes diffuseren. Uitstoot op lage hoogte, op of nabij de landingsplaats, draagt relatief meer bij aan grondconcentraties (op 1,5 meter) dan uitstoot op grotere hoogte. Naarmate de afstand tot de landingsplaats toeneemt, verspreiden de stoffen zich gelijkmatiger over de ruimte.



Figuur 17: Gemiddelde NO₂-concentraties als functie van afstand tot de landingsplaats (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-2} (een honderdste microgram). Zie de GCN voor typische achtergrondwaarden in Nederland ter referentie.



Figuur 18: Gemiddelde PM_{2.5}-concentraties als functie van afstand tot de landingsplaats (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-3} (een duizendste microgram). Zie de GCN voor typische achtergrondwaarden in Nederland ter referentie.



Figuur 19: Gemiddelde NO₂-concentraties als functie van afstand tot de landingsplaats (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-3} (een duizendste microgram). Zie de GCN voor typische achtergrondwaarden in Nederland ter referentie.

4 Behoefte 13 – Korte smalle onverharde landingsbaan tactisch luchttransport

Defensie heeft de wens om in Nederland een onverharde landingsbaan met gras, gravel split of zand te realiseren (zogenoemde dirtstrip). Hiermee kan getraind worden met landen en opstijgen op onverharde banen, iets waarvoor defensie nu naar het buitenland moet. Dit hoofdstuk gaat in op de milieueffecten stikstofdepositie en luchtkwaliteit door het gebruik van onverharde landingsbanen (dirtstrips).

Voor het realiseren van een dirtstrip bestaan verschillende opties:

- Realisatie van een dirtstrip op een bestaande luchthaven.
- Realisatie van een dirtstrip buiten één van de bestaande luchthavens (koppeling aan bestaande oefenterreinen).

Voor de realisatie van een dirtstrip op een bestaande luchthaven, komen in beginsel vier luchthavens in aanmerking:

- Deelen: Bestaande landingsbaan
- Gilze-Rijen: Secundaire baan, in oostelijke richting
- De Peel: Bestaande landingsbaan.
- Twente: Secundaire baan, parallel aan hoofdbaan

Indien de dirtstrip niet op een bestaande luchthaven gerealiseerd wordt, dient rekening gehouden te worden met de minimale eisen waar een dirtstrip aan moet voldoen. Een dirtstrip bestaat uit onverharde ondergrond zoals gras, gravel split of zand en heeft een afmeting van 1.600m x 25m.

Voor zoeklocaties anders dan de bestaande luchthavens is niet voor elke afzonderlijke locatie een berekening uitgevoerd. Voor deze locaties zijn de emissiebronnen van De Peel als het ware opgepakt en gepositioneerd op de diverse locaties. In het deelrapport van Antea voor Behoefte 13 is dit nader uitgewerkt (1).

De kwantitatieve behoefte die in het NRD wordt genoemd komt neer op 625 vliegbewegingen per jaar, waarbij een deel daarvan in het buitenland uitgevoerd kan blijven worden. De minimale behoefte binnen de Nederlandse landsgrenzen komt neer op 240 vliegbewegingen per jaar.

4.1 Invoergegevens en uitgangspunten

Voor het berekenen van de stikstofdepositie en de luchtkwaliteit is een veelheid aan invoergegevens en uitgangspunten nodig. De belangrijkste invoergegevens en uitgangspunten van dit deelonderzoek zijn in deze paragraaf toegelicht, zoals de beschouwde bronnen, de beschouwde stoffen en de toegepaste rekenmodellen. Een gedetailleerdere beschrijving van de uitgangspunten, invoergegevens en methoden welke zijn gebruikt de stikstofdepositie en luchtkwaliteit te berekenen van de eerdergenoemde scenario's is gegeven in Appendix A tot en met C.

Beschouwd vliegtuigtype

De berekeningen voor de dirtstrip zijn uitgevoerd met de C-130 als representatief vliegtuig waarmee de 'dirtstripoefeningen' worden uitgevoerd. Inmiddels is bekend dat dit toestel op termijn vervangen gaat worden door

de Embraer C390M. Ten tijde van de onderzoeken voor de PlanMER waren onvoldoende gegevens bekend over de C-390M om deze in het berekeningsmodel mee te nemen. Voor het doel van de PlanMER waarbij de resultaten voor de dirtstrip opties onderling vergeleken worden, volstaat het toepassen van de C-130 als representatief vliegtuigtype.

Te beschouwen bronnen

In deze studie zijn voor de onderzochte activiteiten de volgende emissiebronnen beschouwd:

- vluchtfase van vliegtuigen (Appendix A);
- bandenslijtage bij de landing (Appendix D).

Er wordt verondersteld dat er bij deze activiteit amper wordt getaxied, waarmee deze emissie buiten beschouwing is gelaten. Er is voor deze berekening ook geen rekening gehouden met APU⁴-emissies. Grondbronnen die samenhangen met luchtvaartactiviteiten zijn binnen deze studie buiten beschouwing gelaten, in lijn met het toepassingsbereik van dit PlanMER.

Stoffen

De beschouwde stoffen in het kader van luchtkwaliteit zijn stikstofdioxide (NO₂), fijn stof (PM₁₀) en zeer fijn stof (PM_{2,5}). In het kader van stikstofdepositie is naast NO₂ ook de NH₃-emissie relevant. Voor de vliegtuigbronnen geldt echter dat deze geen NH₃ emitteren.

Meegenomen luchthavens

Voor luchtkwaliteit is gekeken naar locatiegebonden karakteristieken die bepalend zijn voor de verspreiding van emissies, en daarmee voor luchtkwaliteit. Deze karakteristieken zijn samengevat als de lokale achtergrondconcentratie en de lokale meteorologie. De lokale achtergrondconcentratie is voor NO₂ relevant, omdat de chemische interacties die plaatsvinden in de atmosfeer voor NO₂ worden meegenomen in de modellering. Als indicator van, voor luchtkwaliteit relevante, verschillen in lokale meteorologie, is de windsnelheid beschouwd. Het uitgangspunt is dat het doorrekenen van een aantal locaties met onderscheidende NO₂-achtergrondconcentraties dan wel windsnelheden voldoende beeld geeft van de mogelijke locatie gebonden spreiding in concentratiebijdragen ten gevolge van de voorgenomen activiteit. Voor deze behoefte liggen de locatiekarakteristieken vrij dicht bij elkaar. Er is derhalve gekozen om één locatie door te rekenen: Deelen.

Voor stikstofdepositie zijn drie dirtstrip locaties doorgerekend, te weten De Peel, Gilze-Rijen, Deelen en Twente.

Studiegebied

Stikstofdepositie is berekend met het daarvoor verplicht gestelde model AERIUS (de versie is verschillend per berekening zie Appendix B voor detaillering per modelrun). AERIUS berekent de depositie in alle relevante hexagonen in Natura 2000-gebieden tot een afstand van 25 km van een bron. Meer informatie over AERIUS is te vinden in Appendix B.

Voor luchtkwaliteit zijn de berekeningen uitgevoerd in een vooraf vastgesteld bestand met rekenpunten. In deze studie waarin is gekeken naar de effecten als functie van afstand tot de landingsbaan, zijn 150 rekenpunten neergelegd op 500, 1.000 en 2.000 meter van de landingsbaan (50 rekenpunten per afstand, zie Figuur 20). Op deze wijze kunnen afstandsafhankelijke concentratiebijdragen worden vastgesteld, ongeacht de richtingen waarin de emissies zich verspreiden.

⁴ De vliegtuighulpmotor die meestal in de staart van het vliegtuig is geplaatst.



Figuur 20: Ligging van de rekenpunten in het studiegebied rondom de dirtstrip (rode lijn in centrum van de figuur) van vliegbasis Deelen.

Rekenjaren

Als rekenjaar is uitgegaan van 2040, conform het NRD. Dit houdt in dat – waar dit relevant is voor NO_2 – is gerekend met achtergrondconcentraties zoals deze zijn voorspeld voor het jaar 2040. Deze achtergrondgegevens komen uit PreSRM. Vervolgens is gerekend op basis van tienjarige meteorologie (periode 2005 – 2014), conform afspraken binnen het NNM.

Toegepaste rekenmodellen

De volgende rekenmodellen zijn toegepast:

- De emissies van het vliegverkeer zijn berekend met de NLR-rekentool LEAS-iT (Local Aviation Emissions in Airport Scenarios - inventory Tool), versie 9.0.14, zie Appendix A.
- De depositieberekeningen zijn uitgevoerd met het voorgeschreven model AERIUS, zie Appendix B.
- De luchtkwaliteitsberekeningen zijn uitgevoerd met de STACKS luchtvaartmodule versie 2023.1 zie Appendix C.

4.2 Berekeningen emissies

De hoeveelheid emissies zijn tussenresultaten ten behoeve van de uiteindelijke berekeningen voor de impact van de specifieke behoeftes op stikstofdepositie en luchtkwaliteit. De emissieresultaten van de berekeningen aan de vliegbases zijn samengevat in Tabel 20 en worden uitgedrukt in kg/jaar.

Tabel 20: Overzicht totaal berekende emissies binnen Behoeft 13 in kg/jaar, voor 240 en voor 625 bewegingen. Voor het overzicht worden alleen emissies bij vliegbasis Deelen getoond. Emissies voor de andere velden zijn in dezelfde orde grootte.

Scenario	NO _x		PM2,5		PM10	
	240 bewegingen	625 bewegingen	240 bewegingen	625 bewegingen	240 bewegingen	625 bewegingen
Airborne	3.292,9	8.575,3	20,1	52,3	20,1	52,3
Bandenslijtage	x	x	3,9	10,1	19,3	50,3
Totaal	3.292,9	8.575,3	24,0	62,4	39,4	102,6

4.3 Resultaten stikstofdepositie

De resultaten van de berekeningen aan de vliegbases zijn samengevat in de tabellen van dit hoofdstuk. Drie vliegbases zijn berekend voor stikstofdepositie volgens een scenario met 240 bewegingen en een scenario met 625 bewegingen. Dit zijn de bases in De Peel, Gilze-Rijen, Deelen en Twente. Per bron wordt vervolgens een overzicht gegeven hoeveel hexagonen er per relevant Natura 2000-gebied (bijna) overbelast zijn.

De evaluatie van de depositie heeft dus alleen betrekking op de hexagonen die (bijna) overbelast zijn. Dat wil zeggen dat de kritische depositiewaarde (KDW) van het meest kritische habitattypen lager is dan de waarde uit de Grootschalige Depositiekaart Nederland (GDN) plus 70 mol/ha/jaar:

$$KDW < GDN + 70 \text{ mol/ha/jaar}$$

Per gebied wordt weergegeven op hoeveel (bijna) overbelaste hexagonen een toename van depositie wordt berekend volgens de scenarioberekening. Naast de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen wordt ook de maximale depositie weergegeven. Let op; deze hexagoon⁵ met de maximale depositie in een gebied hoeft in de twee verschillende scenario's niet dezelfde te zijn.

4.3.1 Dirtstrip De Peel

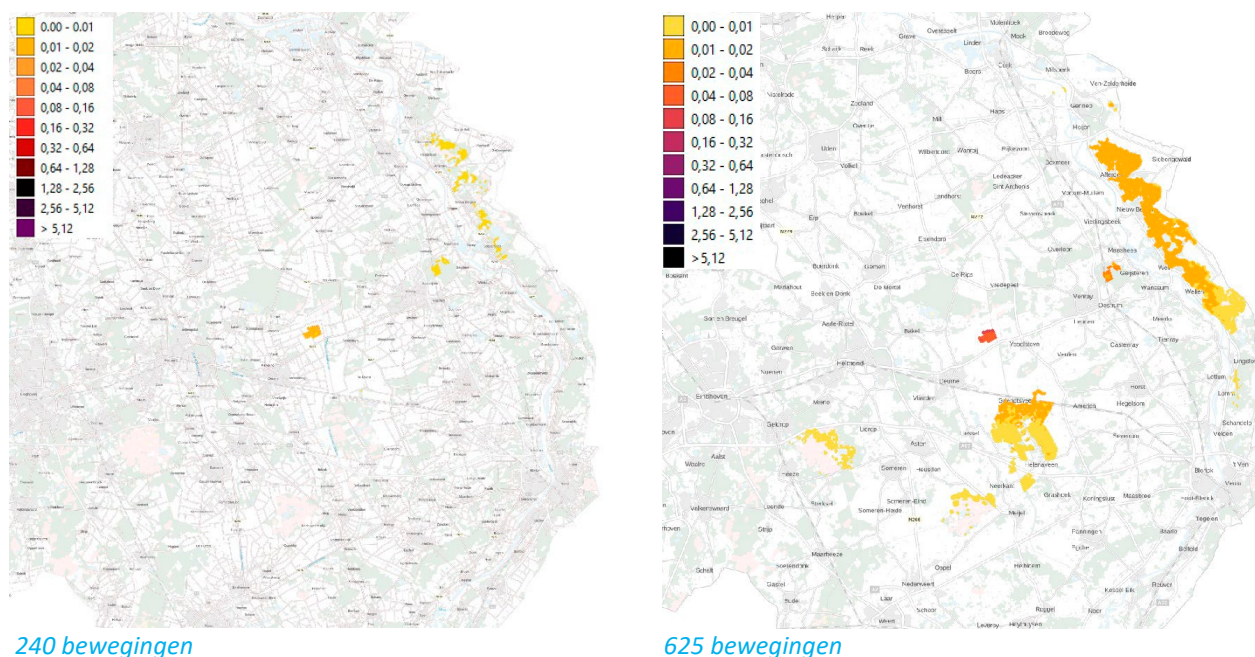
De depositie in de twee beoogde situaties (240 en 625 bewegingen) leidt in zeven gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Groote Peel, Deurnsche Peel & Mariapeel, Strabrechtse Heide & Beuven, Maasduinen, Boschhuizerbergen, Zeldersche Driessen en Oeffelter Meent. De maximale depositie bevindt zich in de Deurnsche Peel & Mariapeel (0,12 mol/ha/jaar) bij 625 bewegingen. In Tabel 21 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

⁵ In de Aeries berekening wordt elk van de Natura 2000 gebieden opgedeeld in hexagonen met een oppervlak van één hectare en wordt vervolgens per hexagoon de depositie berekend.

Tabel 21: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis De Peel met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied bij 240 bewegingen en bij 625 bewegingen.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	240 bewegingen		625 bewegingen	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Deurnsche Peel & Mariapeel	2.395	267	0,04	2.395	0,12
Maasduinen	4.741	3.578	0,01	4.510	0,02
Strabrechtse Heide & Beuven	1.550	0	0	488	0,01
Oeffelter Meent	46	0	0	9	0,01
Groote Peel	1.327	0	0	306	0,01
Boschhuizerbergen	107	105	0,01	105	0,03
Zeldersche Driessen	30	12	0,01	26	0,01

De meeste en zwaarste overbelaste hexagonen zijn berekend voor de gebieden Maasduinen en de Deurnsche Peel & Mariapeel (respectievelijk ten oosten/noordoosten en zuiden van vliegbasis De Peel). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 21 waarin de gebieden geel/oranje staan gekleurd in beide scenario's.



Figuur 21: (Bijna) overbelaste hexagonen bij 240 en bij 625 bewegingen in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis De Peel, betreffende de gebieden: Deurnsche Peel & Mariapeel, Maasduinen, Strabrechtse Heide & Beuven, Oeffelter Meent, Groote Peel, Boschhuizerbergen en Zeldersche Driessen.

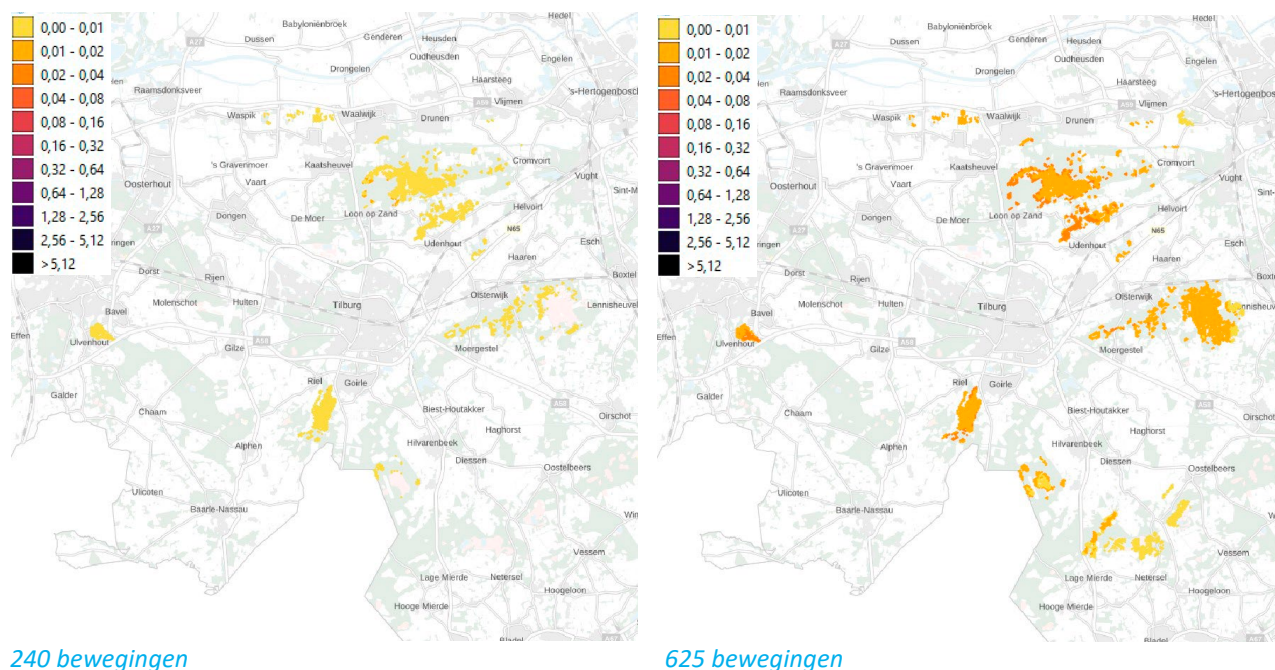
4.3.2 Dirtstrip Gilze-Rijen

De depositie in de twee beoogde situaties (240 en 625 bewegingen) leidt in zeven gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Ulvenhoutse Bos, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek en Langstraat. De maximale depositie bevindt zich in de Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (0,03 mol/ha/jaar) bij 625 bewegingen. In Tabel 22 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 22: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Gilze-Rijen met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied bij 240 bewegingen en bij 625 bewegingen.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	240 bewegingen		625 bewegingen	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Kempenland-West	998	52	0,01	724	0,02
Kampina & Oisterwijkse Vennen	1.335	363	0,01	1.159	0,02
Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen	1.346	1197	0,01	1.210	0,03
Langstraat	89	81	0,01	83	0,02
Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek	252	5	0,01	66	0,01
Regte Heide & Riels Laag	340	327	0,01	329	0,03
Ulvenhoutse Bos	112	109	0,01	112	0,02

De meeste en zwaarste overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen (ten noordoosten van vliegbasis Gilze-Rijen). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 21 waarin de gebieden geel/oranje staan gekleurd in beide scenario's.



Figuur 22: (Bijna) overbelaste hexagonen bij 240 en bij 625 bewegingen in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Gilze-Rijen, betreffende de gebieden: Kempenland-West, Regte Heide & Riels Laag, Kampina & Oisterwijkse Vennen, Ulvenhoutse Bos, Loonse en Drunense Duinen & Leemkuilen, Vlijmens Ven, Moerputten & Bossche Broek, Langstraat, Loevestein, Pompveld & Kornsche Boezem, Rijntakken en Lingegebied & Diefdijk-Zuid.

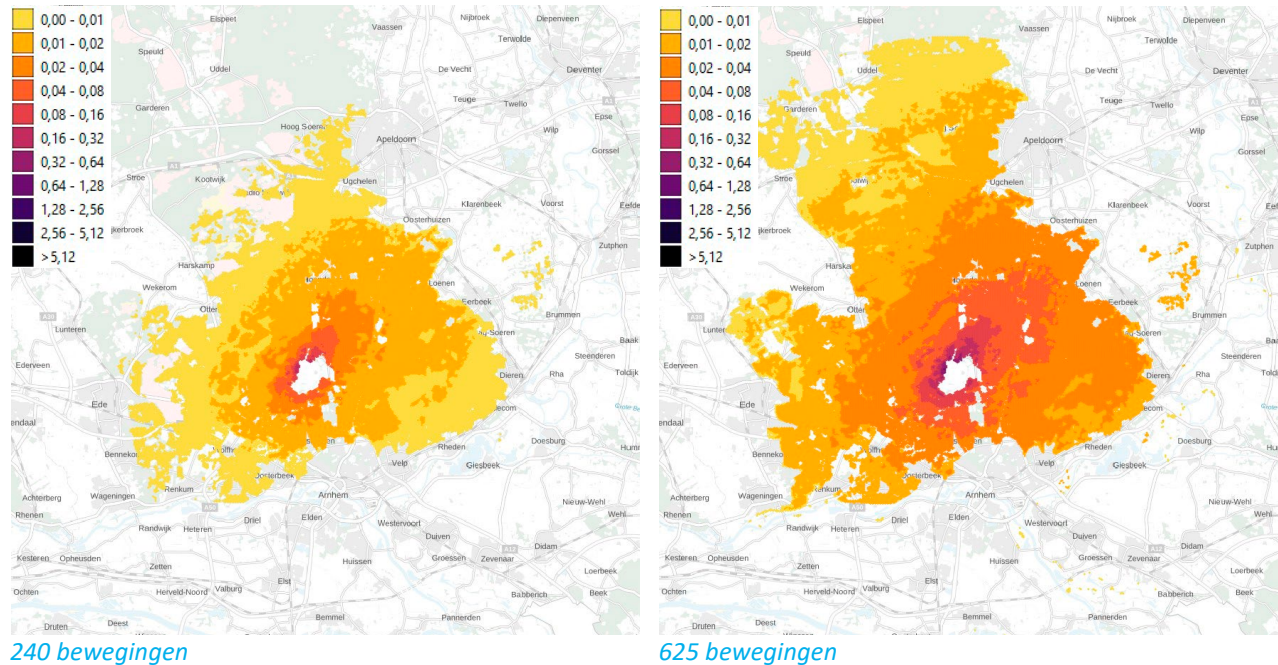
4.3.3 Dirtstrip Deelen

De depositie in de twee beoogde situaties (240 en 625 bewegingen) leidt in drie gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Rijntakken, Veluwe en Landgoederen Brummen. De maximale depositie bevindt zich op de Veluwe (0,68 mol/ha/jaar) bij 625 bewegingen. In Tabel 23 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 23: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Deelen met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied bij 240 bewegingen en bij 625 bewegingen.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	240 bewegingen		625 bewegingen	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Veluwe	72.000	38.067	0,26	59.098	0,68
Rijntakken	3.999	4	0,01	182	0,01
Landgoederen Brummen	351	275	0,01	310	0,02

De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn berekend voor het gebied de Veluwe. Vliegbasis Deelen ligt middenin dit gebied. De depositie in de Veluwe is duidelijk te herkennen in Figuur 23 waarin de gebieden geel/oranje /rood staan gekleurd in beide scenario's.



Figuur 23: (Bijna) overbelaste hexagonen bij 240 en bij 625 bewegingen in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Deelen, betreffende de gebieden: Rijntakken, Veluwe en Landgoederen Brummen.

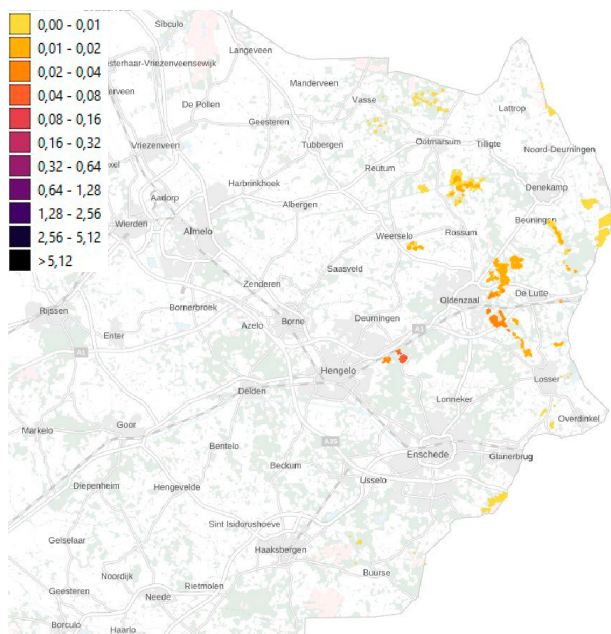
4.3.4 Vliegveld Twente

De depositie in de twee beoogde situaties (240 en 625 bewegingen) leidt in 12 gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Buurserzand & Haaksbergerveen, Witte Veen, Aamsveen, Dinkelland, Borkeld, Lonnekermeer, Landgoederen Oldenzaal, Lemselermaten, Wierdense Veld, Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek, Springendal & Dal van de Mosbeek, Bergvennen & Brecklenkampse Veld en Engbertsdijkerven. De maximale depositie bevindt zich op Lonnekermeer (0,21 mol/ha/jaar) bij 625 bewegingen. In Tabel 24 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder de twee scenario's de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

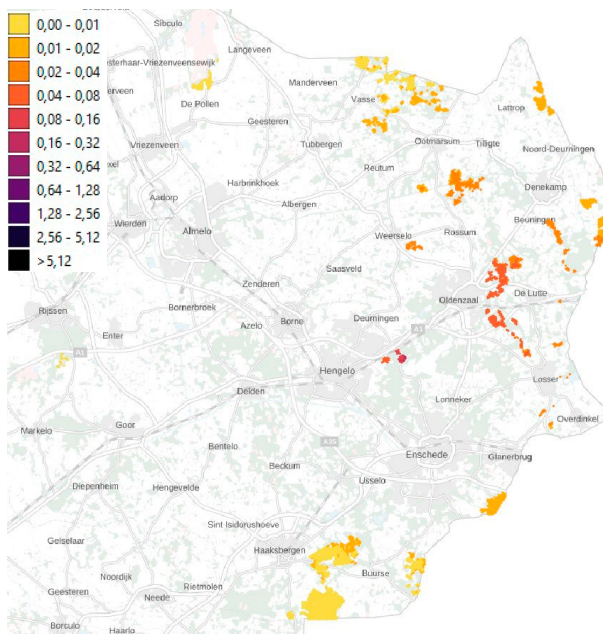
Tabel 24: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegveld Twente met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied bij 240 bewegingen en bij 625 bewegingen.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	240 bewegingen		625 bewegingen	
		Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Springendal & Dal van de Mosbeek	517	81	0,01	467	0,02
Borkeld	237	0	0,00	17	0,01
Engbertsdijkerven	928	0	0,00	68	0,01
Dinkelland	574	281	0,01	281	0,03
Buurserzand & Haaksbergerveen	897	10	0,01	883	0,02
Landgoederen Oldenzaal	385	334	0,03	334	0,08
Witte Veen	144	2	0,01	140	0,01
Aamsveen	123	73	0,01	122	0,02
Lonnekermeer	45	45	0,08	45	0,21
Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek	305	207	0,01	207	0,03
Bergvennen & Brecklenkampse Veld	104	25	0,01	104	0,02
Lemselermaten	48	35	0,01	35	0,03

De meeste en hoogste overbelaste hexagonen zijn respectievelijk berekend voor de gebieden Buurserzand & Haaksbergerveen (ten zuidwesten van vliegveld Twente) en Lonnekermeer (grenzend aan het vliegveld). De depositie in de gebieden is duidelijk te herkennen in Figuur 24 waarin de gebieden rood/roze staan gekleurd in beide scenario's.



240 bewegingen



625 bewegingen

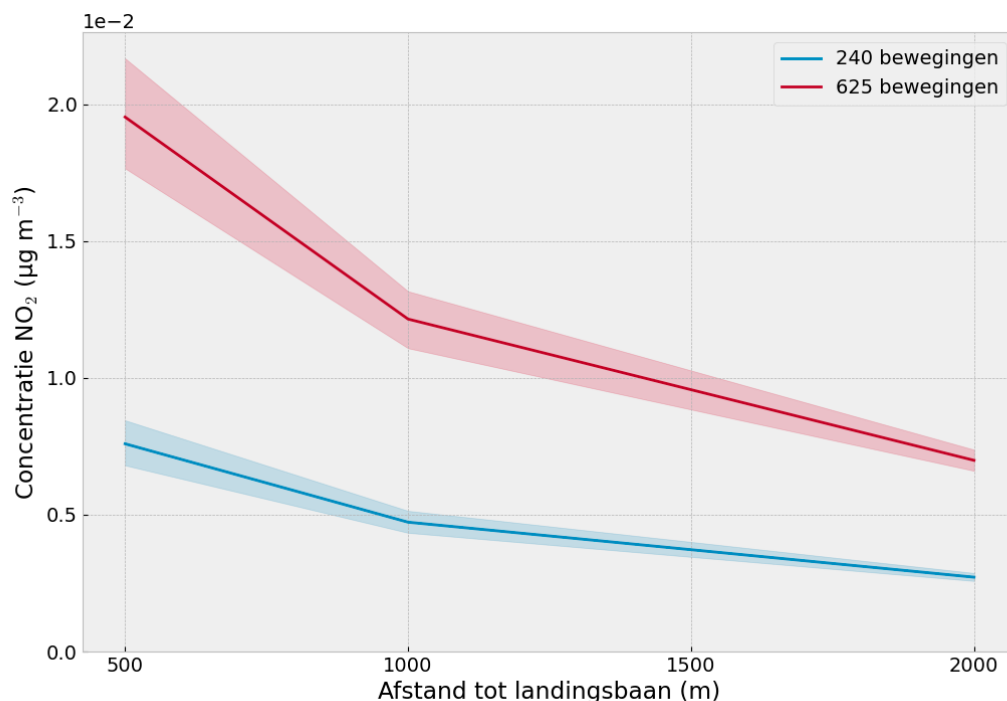
Figuur 24: (Bijna) overbelaste hexagonen bij 240 en bij 625 bewegingen in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegveld Twente, betreffende de gebieden: Korenburgerveen, Stelkampsveld, Buurserzand & Haaksbergerveen, Witte Veen, Aamsveen, Dinkelland, Borkeld, Lonnekermeer, Landgoederen Oldenzaal, Sallandse Heuvelrug, Lemselermaten, Boetelerveld, Wierdense Veld, Achter de Voort, Agelerbroek & Voltherbroek, Springendal & Dal van de Mosbeek, Bergvennen & Brecklenkampse Veld, Engbertsdijksvennen, Vecht- en Beneden-Reggegebied en Bargerveen.

4.4 Resultaten luchtkwaliteit

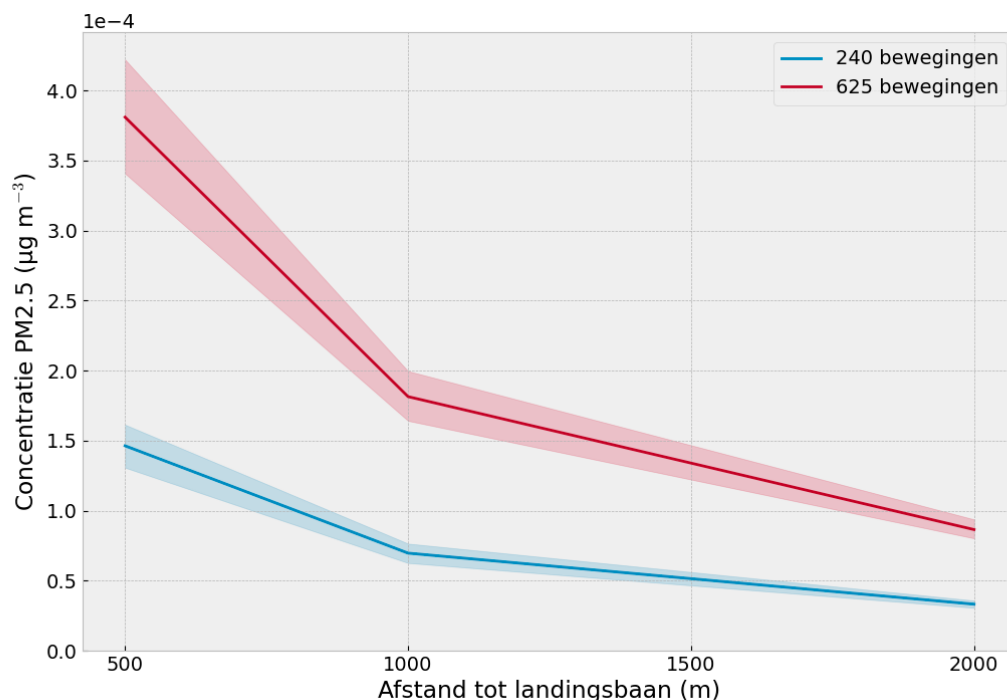
De resultaten voor de luchtkwaliteit worden niet per vliegveld beschreven, maar als gemiddelde concentratiebijdragen van C-390 transportvliegtuigen op leefniveau. Voor de stoffen NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ zijn locatie-onafhankelijke concentraties gemodelleerd met het verspreidingsmodel STACKS (Appendix C). Hierbij zijn de grondconcentraties berekend op vaste rekenpunten op 500, 1.000 en 2.000 meter van de dirtstrip op één geselecteerde vliegbases. Op basis van de resultaten van voorgaande behoeftes is geconcludeerd dat de concentraties op diverse locaties niet sterk van elkaar verschillen. Daarom zal het resultaat van een locatie met een doorsnee achtergrondconcentratie en windsnelheid, factoren die een sterke invloed kunnen hebben op de gemodelleerde concentraties, representatief zijn als locatie onafhankelijk resultaat. De berekeningen zijn uitgevoerd met toekomstige achtergrondconcentraties voor het jaar 2040 en meerjarige meteorologische gegevens van 2005 tot 2014.

Figuur 25, Figuur 26 en Figuur 27 tonen de gemiddelde concentratie op 500, 1.000 en 2.000 meter afstand tot de dirtstrip voor respectievelijk NO₂, PM_{2,5} en PM₁₀ in microgrammen per kubieke meter. Elk figuur toont waarden voor twee scenario's 240 sorties en 625 sorties op jaarbasis. De concentraties schalen redelijk lineair met het aantal bewegingen en de concentraties halveren ongeveer bij een verdubbeling van de afstand tot de dirtstrip. De betrouwbaarheidsintervallen zijn een orde van grootte 10 kleiner dan de gemodelleerde concentratie.

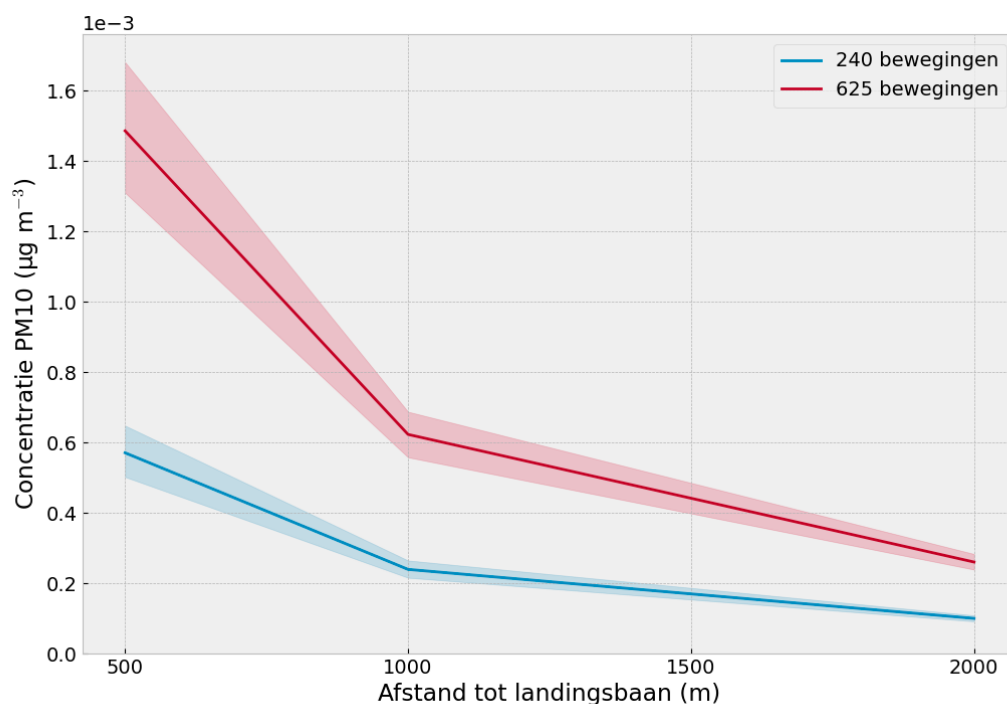
De onzekerheidsbanden (ofwel de spreiding van gemodelleerde concentraties op gelijke afstand van de landingsbaan in diverse richtingen) worden kleiner met toenemende afstand tot de dirtstrip, omdat de uitgestoten gassen en deeltjes diffuseren. Uitstoot op lage hoogte, op of nabij de dirtstrip, draagt relatief meer bij aan grondconcentraties (op 1,5 meter) dan uitstoot op grotere hoogte. Naarmate de afstand tot de landingsbaan toeneemt, verspreiden de stoffen zich gelijkmatiger over de ruimte.



Figuur 25: Gemiddelde NO_2 -concentraties als functie van afstand tot de dirtstrip (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-2} (een honderdste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde NO_2 -achtergrond bedroeg voor Deelen in 2023 ca. $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 26: Gemiddelde $\text{PM}_{2.5}$ -concentraties als functie van afstand tot de dirtstrip (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-4} (een tienduizendste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde $\text{PM}_{2.5}$ -achtergrond bedroeg voor Deelen in 2023 ca. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 27: Gemiddelde PM10-concentraties als functie van afstand tot de dirtstrip (500-2.000 meter). De banden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer van het gemiddelde. NB: de waarden op de verticale as zijn weergegeven als een veelvoud van 1×10^{-3} (een duizendste microgram). Ter vergelijking: de jaarlijks gemiddelde PM10-achtergrond bedroeg in 2023 ca. $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5 Gecombineerde behoefte

Defensie heeft één gecombineerde behoefte aan vliegactiviteiten geformuleerd. In dit hoofdstuk is voor de luchthaven Deelen de stikstofdepositie gegeven voor de gecombineerde behoefte. Voor de bijdrage van Behoefte 13 wordt verwezen naar Hoofdstuk 4.

De gecombineerde behoefte aan vliegactiviteiten voor vliegbasis Deelen bestaat uit twee onderdelen:

- 240 bewegingen C-130 vanaf een onverharde landingsbaan conform Behoefte 13;
- 14.200 helikopterbewegingen voor extra ruimte voor helikopteractiviteiten op Deelen, locatie specifieke Behoefte 27.

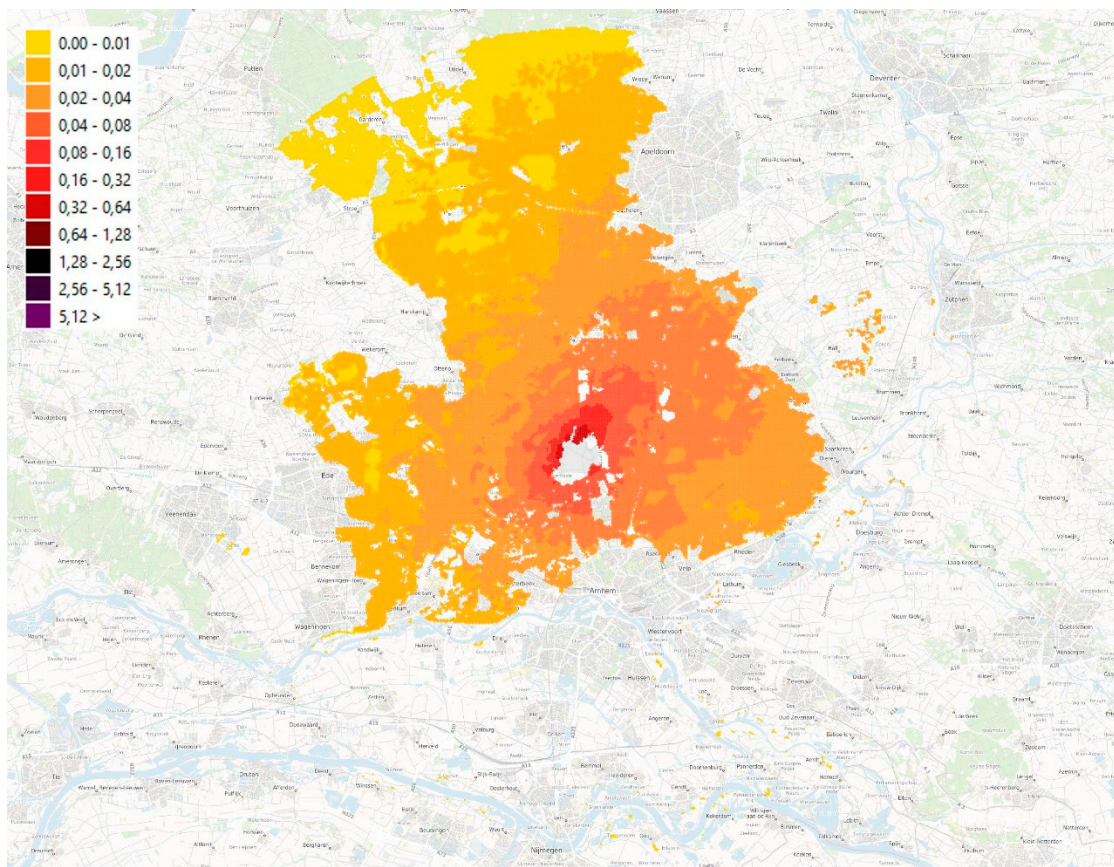
Wat het laatstgenoemde punt betreft, daar gaat het om vliegbewegingen die door het DHC 'uitgeplaatst' worden naar Deelen. De kenmerken van de vliegbewegingen die vallen onder de onverharde baan (dirtstrip), zijn beschreven in Hoofdstuk 4.

De depositie in de doorgerekende gecombineerde behoefte leidt in vier gebieden tot (bijna) overbelaste hexagonen waarin de toename groter is dan 0,00 mol/ha/jaar. Deze gebieden met (bijna) overbelasting zijn: Veluwe, Rijntakken, Landgoederen Brummen en Binnenveld. De maximale depositie bevindt zich op de Veluwe (0,60 mol/ha/jaar). In Tabel 25 is een overzicht gegeven van de relevante Natura 2000-gebieden met onder het gecombineerde scenario de hoeveelheid (bijna) overschreden hexagonen en de maximale depositie.

Tabel 25: Samenvatting van de gebieden in de buurt van vliegbasis Deelen met de hoeveelheid (bijna) overbelaste hexagonen en de maximale depositie per gebied in de gecombineerde behoefte.

N2000-gebied	Totaal aantal hexagonen	Hexagonen (bijna) overbelast met toename	Maximale depositie [mol/ha/jaar]
Veluwe	74.957	60.636	0,60
Rijntakken	4.113	267	0,02
Landgoederen Brummen	351	310	0,03
Binnenveld	42	35	0,01

De meeste en zwaarste overbelaste hexagonen zijn berekend voor de Veluwe. Vliegbasis Deelen ligt midden in dit gebied. De depositie in de Veluwe is duidelijk te herkennen in Figuur 28 waarin de gebieden oranje/rood staan gekleurd.



Figuur 28: (Bijna) overbelaste hexagonen bij de gecombineerde behoefte in N2000-gebied binnen een straal van 25 km rond vliegbasis Deelen, betreffende de gebieden: Veluwe, Rijntakken, Landgoederen Brummen en Binnenveld.

6 Aannames en Beperkingen

De studie zoals beschreven in dit rapport is een effectenanalyse, berekend met beschikbare modellen en data. Vanwege de omvang en het indicatieve karakter van deze studie zijn een aantal aannames en versimpelingen toegepast. Hier wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste aannames en beperkingen voor voorliggende studie.

Model-brede onzekerheden

De model-technische onzekerheden die voortkomen uit het gebruik van STACKS (ten behoeve van luchtkwaliteitsberekeningen) zijn opgenomen in de Nieuw Nationaal Model (NNM)-documentatie (2). Voor AERIUS is in 2011 een notitie opgesteld die de onzekerheden in kaart brengen (3).

Vliegtuigbronnen in AERIUS

AERIUS maakt in de berekening geen onderscheid tussen een vliegtuigbron en een standaard schoorsteen en houdt dan ook geen rekening met specifieke kenmerken van vliegtuigbronnen: snelheid van de vliegtuigen, de horizontale uittrede van de gassen uit de motoruitlaat en de vortex die bij de vleugeltippen ontstaat. Als gevolg van deze kenmerken treedt er bij vliegtuigen ondanks een hoge warmte-inhoud, in de vluchtfase geen significante pluimstijging op. Het invoeren van de werkelijke warmte-inhoud van de uitlaatgassen in AERIUS leidt daardoor tot een onderschatting van de depositie (er wordt immers een pluimstijging berekend die hoger is dan in werkelijkheid optreedt). Ook voor de taxifase geldt dat de pluimstijging zeer beperkt is. Advies van de Commissie m.e.r. en RIVM is om voor luchtvaartbronnen de warmte-inhoud bij de invoer in AERIUS op nul te stellen maar voor de taxi-fase wel een hoogte van 18 m in te stellen ter verrekening van een beperkte pluimstijging. Dit advies is opgesteld voor de luchthaven Lelystad maar is achterhaald. Momenteel beoordeeld RIVM welke uittredehoogte gehanteerd moet worden. Deze zal naar waarschijnlijkheid tussen de 6 en 12 meter worden bijgesteld. De warmte-inhoud van de luchtvaartbronnen in deze studie is conform het advies op nul gesteld.

Verband tussen emissies en concentraties

Voor luchtvaart wordt zoals gebruikelijk voor bronnen een afkapgrens gehanteerd van 3.000 voet. De gevolgde onderschatting van de effecten op leefniveau is voor luchtkwaliteit zeer klein gebleken. Daarentegen worden bronnen die zich tussen 500 meter en 3.000 voet (ca. 914 meter) begeven binnen de luchtkwaliteitssommen op 500 meter neergelegd, wat leidt tot een overschatting van deze bronbijdragen aan concentraties op leefniveau. Ook dit effect is echter zeer klein.

Warmte-inhoud

Na het uitvoeren van de luchtkwaliteitsberekeningen zijn er beperkingen aan het licht gekomen in de rekenmethode waarop een verbeterde versie is doorgerekend. Dit betreft een herziene aanname t.a.v. de warmte-inhoud van de emissiepluimen. De verbeteringen hebben het meeste effect op het taxiën en ook in mindere mate op het airborne gedeelte, en hebben daarmee voornamelijk betrekking op Behoefte 8. Uit een impactanalyse is gebleken dat deze verbeteringen leiden tot een afname tussen circa 14 en 21% voor Behoefte 8 en tot een ca. 2% afname voor Behoefte 12 en 13 (hele behoefte). Gezien de aard van de studie en de relatief beperkte impact is ervoor gekozen de eerdere resultaten te rapporteren. Dit leidt immers tot een conservatieve (te hoge) inschatting van de effecten. Daarnaast komt de vergelijkbaarheid tussen velden niet in het geding, omdat de impact voor alle velden binnen eenzelfde gelijk is.

7 Referenties

1. **Group, Antea.** *Deelrapport behoefte XIII: Korte, onverharde landingsbaan tactisch luchttransport.* 2025.
2. **Informatiepunt Leefomgeving.** IPLO. *Nieuw Nationaal Model.* [Online] 04 04 2025.
<https://iplo.nl/thema/lucht/vaststellen-luchtkwaliteit/nieuw-nationaal-model/>.
3. **RIVM.** *Toelichting Depositieberekeningen AERIUS.* Bilthoven : RIVM, 2011.

Appendix A Vliegverkeer emissieberekening met LEAS-iT

De emissies van het vliegverkeer zijn berekend met de NLR rekentool LEAS-iT (Local Aviation Emissions in Airport Scenario's - inventory Tool), versie 9.0.14 Met LEAS-iT kunnen de emissies van de volgende gassen/stoffen zijn berekend:

- 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)

Deze Appendix beschrijft de 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 vliegtuig opstelplaats (VOP) en de start/landingsbaan en bestaat de vluchtfase uit het daadwerkelijke vlieggedeelte (start, klim, dalend en horizontaal vliegen van het vliegtuig nabij de luchthaven).

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

$$\text{Emissie} = \text{aantal motoren} \cdot \text{tijdinterval} \cdot (\text{brandstofstroom} \cdot \text{emissie-index})_{\text{gemiddelde over tijdinterval}}$$

Waarbij:

- Emissie: Hoeveelheid van de beschouwde stof (gas) 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 stof (gas) 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 vluchtfase zijn vervolgens bepaald door de emissies van alle deelsegmenten te sommeren. De totale emissies van het vliegverkeer in de taxifase zijn met dezelfde formule bepaald als die voor de vluchtfase waarbij echter voor voornoemd tijdsinterval de taxitijd wordt gehanteerd.

Appendix 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 dat de motor gebruikt;
- Start/landingsbaan;
- Taxiroute dan wel vliegroute;
- Prestatieprofiel;
- Aantal vliegtuigbewegingen;
- De brandstofstroom, NO_x, CO, HC en indien beschikbaar de PM10 emissie indices of 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).

De invoerbestanden voor de emissieberekeningen ten behoeve van luchtkwaliteitsberekeningen en stikstofdepositieberekeningen zijn iets anders van aard, omdat luchtkwaliteitsberekeningen een tijdsverdeling van emissies vergen, terwijl de stikstofdepositie per jaartotaal wordt berekend.

Vliegtuigtypes, aantal motoren en motortypes

Voor alle behoeftes zijn in het invoerbestand vliegtuigen gegroepeerd naar vliegtuigtype, motortype, naar uur van de dag en naar dag van de week. Daarnaast is het bekend met hoeveel motoren het is uitgerust. Bij de berekeningen is het uitgangspunt dat alle aanwezige motoren op het vliegtuig draaien bij zowel taxiën als vliegen.

Start- en landingsbaan en vliegroutes

Per locatie is de oriëntatie van de start- en landingsbaan bekend. De vliegroutes starten en/of eindigen vanaf deze locaties. De vliegroutes waarvan gebruik is gemaakt bij de modellering van de vliegtuigemissies betreffen de nominalen van de gemodelleerde routes zoals gebruikt in het geluidsonderzoek. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de gebruikte routes voor Behoefte 12 geïdealiseerde routes zijn, verdeeld over de windroos omdat er weinig tot geen beschikbare informatie is over de verwachte vliegroutes van helikopterlandingsplaatsen.

Prestatiegegevens

Hoogte en grondsnelheid van het vliegtuig zijn als functie van de afgelegde weg opgenomen in de zogenaamde vliegtuig prestatieprofielen. Voor de emissieberekeningen zijn de meest actuele prestatieprofielen toegepast. Daartoe zijn de prestatiegegevens zoals gehanteerd voor de geluidberekening gebruikt.

Brandstofstroom en emissiekenmerken van de motoren

De brandstofstroom en emissie kentallen van luchtverontreinigende stoffen zijn afhankelijk van het motortype en de gashandelstand. De gebruikte bron voor brandstof- en emissie kentallen zijn de referenties A.1, A.2, A.3 en van defensie ontvangen gegevens. De gegevens van defensie zijn niet gepresenteerd omdat de samenstelling van het vliegverkeer en/of de brandstofstroom en emissie kentallen niet openbaar zijn.

Taxitijden en taxi-emissies

- Taxi-emissies voor Behoefte 8 zijn bekend vanuit de huidige operatie.
- Taxi-punten zijn willekeurig gekozen op het veld. Gebaseerd op expert judgement.

- Taxi-emissies voor Behoeft 13 zijn niet toegepast, want dit is vanuit de huidige operatie niet bekend. Vandaar dat taxi-emissies niet zijn toegepast.

Tijdsverdeling t.b.v. luchtkwaliteitsberekeningen

Ten behoeve van de luchtkwaliteitsberekeningen wordt in de vorm van een weekschema het aantal vluchten in elk specifiek uur – als seizoenssom – opgegeven. De seizoenen beslaan hier de zomer (31 weken) en de winter (21 weken). Uiteindelijk representeren de invoergegevens dus een zomer- of een winterweek, en leveren de twee seizoenssommen een jaartotaal op.

Appendix A.2 Rekengrid

De vliegtuigemissie berekeningen zijn uitgevoerd in een rekengrid. Dit rekengrid is een 3D rechthoekig grid waarbij posities zijn aangegeven in het rijkdriehoekscoördinatenstelsel. Het grid loopt in west-oost, noord-zuid en hoogte richting.

Ieder rekengrid, met uitzondering van de rekengrids voor Behoeft 12, heeft een grootte van 50 x 50 km rondom de luchthaven. De emissies als gevolg van vliegverkeer zijn meegenomen tot een hoogte van 3.000 voet (ca. 914.4 m). Het midden van het grid komt - uitgedrukt in Rijkdriehoekscoördinaten - overeen met luchthaven referentielocatie. Dit rekengebied komt ongeveer overeen met het gebied dat de gemodelleerde vliegverkeer routes van de luchthaven omvat. Buiten dit rekengebied is overigens ook de emissiebijdrage van het vliegverkeer aan de lokale luchtkwaliteit als verwaarloosbaar te beschouwen vanwege de relatief grote hoogte waarop de vliegtuigen vliegen.

De berekeningen zijn uitgevoerd van grondniveau tot en met 3.000 ft hoogte (ca. 914 m). In de berekeningen wordt nabij de grond fijnmaziger gerekend dan op grotere hoogtes omdat de emissies nabij de start- en landingsbaan relatief geconcentreerd worden uitgestoten en deze daarnaast een relatief grote impact hebben op de concentraties op leefniveau welke op hun beurt weer van belang zijn voor de stikstofdepositie en de lokale luchtkwaliteit.

Voor de uitgevoerde berekeningen is het grid opgedeeld in een aantal hoogtelagen, waarbij de afmetingen van de gridcellen variëren met de hoogte. Vanwege de rubricering van de data is ervoor gekozen om bij de berekening van de emissies voor het militair verkeer met minder hoogtelagen te werken. De emissies voor het militaire verkeer zijn met de volgende celgroottes berekend:

- 1500 m x 1500 m x 750 ft (l x b x h)
- 12.500 m x 12.500 m x 750 ft (l x b x h)
- 25.000 m x 25.000 m x 1.500 ft (l x b x h)

Appendix A.3 Berekening

Uit de start/landingsbaan, route en prestatieprofiel gegevens is het 4-dimensionale (ruimte-tijd) vliegp pad van het vliegtuig gegenereerd. Op basis van de snelheid, hoogte en de veranderingen daarin is langs de vliegbaan de gashendelstand bepaald. Deze gashendelstand is vervolgens gecombineerd met brandstofstroom en emissie gegevens van de motoren. Daarna is per gridcel⁶ bepaald hoeveel emissies door het vliegtuig worden uitgestoten in de cellen die door de vliegbaan worden doorkruist.

⁶ Hiervoor wordt voor elke vliegbaan de doorsnijdingen met de cellen berekend. Per cel worden van de emissies de locatie en de hoeveelheid emissies berekend.

Om de emissies voor het volledig verkeersscenario te berekenen, is bovenstaande berekening voor iedere - in het scenario voorkomende - combinatie van vliegtuigtype, motortype, baan, vliegroute en vliegprocedure uitgevoerd waarbij de emissie hoeveelheid is vermenigvuldigd met het aantal vliegtuigbewegingen voor de betreffende combinatie. Door de emissies van alle voorkomende combinaties per cel te sommeren en het zwaartepunt van de emissies per cel te bepalen is uiteindelijk de emissie en bijbehorende ruimtelijke verdeling voor het volledige scenario vastgesteld.

Een emissiebestand ten behoeve van de luchtkwaliteitsberekeningen (lees: een zomer- óf een winterbestand) bevat voor elke cel; elke dag van de week; elk uur van de dag:

- De seizoenstotale emissie;
- Het seizoenstotale brandstofverbruik;
- De gemiddelde locatie (x, y, z) van het brandstofverbruik binnen de cel;
- De gemiddelde snelheid van het vliegverkeer;
- De seizoenstotale verblijfstijd (per vluchtfase);
- Het aantal vliegbewegingen binnen de cel.

Ten behoeve van de stikstofdepositieberekening zijn de jaartotalen per cel bij elkaar opgeteld, zodat het emissiebestand enkel bestaat uit:

- De gemiddelde locatie (x, y, z) van het brandstofverbruik binnen de cel;
- De totale NO_x emissie per cel.

Referenties

- A.1 Emissiedatabase luchtvaart – Informatie Leefomgeving (iplo.nl), geraadpleegd 9 januari 2024
- A.2 Air Emissions Guide For Air Force Mobile Sources, Air Force Civil engineer Center, June 2020
- A.3 ICAO Aircraft Engine Databank, ICAO Aircraft Engine Emissions Databank | EASA (Europa.eu), geraadpleegd 30 juni 2023

Appendix B AERIUS rekentool

Werking van AERIUS

AERIUS berekent voor alle bronnen, met uitzondering van het wegverkeer, de verspreiding van de emissies en de depositiebijdrage tot een afstand van 25 km van de bron, met het Operationele Prioritaire Stoffen model (OPS). OPS rekent op basis van door de gebruiker ingevoerde of default bronkenmerken en brononafhankelijke gegevens over de meteorologische condities, terreinruwheid en landgebruik. De bronkenmerken die voor vliegtuigbronnen worden ingevoerd betreffen locatie (x, y), emissiehoogte, warmte-inhoud en omvang van de emissie. De warmte-inhoud wordt gebruikt voor het bepalen van de pluimstijging (veroorzaakt door het temperatuurverschil tussen de motor uitlaatgassen en de omgeving). De depositie van het wegverkeer wordt door AERIUS berekend met Standaardrekenmethode 2 (SRM2). Op grond van de specifieke kenmerken van deze emissies is SRM2 voor de berekening van de bijdrage van verkeersemisies aan de (lokale) depositie beter geschikt dan OPS. SRM2 is echter alleen toepasbaar tot 5 km van de weg: vanaf 5 km wordt de weg daarom toch berekend met OPS.

AERIUS-versies

Gezien het NPRD-traject al meer dan een jaar loopt, zijn verschillende modelversies van AERIUS gebruikt. De opdrachtgever heeft besloten deze niet in dit stadium te willen actualiseren. In Tabel 26, Tabel 27, Tabel 28 en Tabel 29 is voor respectievelijk Behoeft 8, 12, 13 en de gecombineerde behoeften een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken van de verschillende depositie berekeningen die zijn uitgevoerd ten behoeve van het PlanMER.

Tabel 26: Kenmerken AERIUS-berekeningen voor Behoeft 8.

Vliegveld	Uitgevoerd door	Rekenjaar	Modelversie	Berekeningsdatum
Leeuwarden	DNV	2024	2023.1.2	22/03/2024
Volkel	DNV	2024	2023.1.2	21/03/2024
Gilze-Rijen	DNV	2024	2023.1.2	22/03/2024
Eindhoven	DNV	2024	2023.1.2	20/03/2024
Woensdrecht	DNV	2024	2023.1.2	21/03/2024
150 sorties	DNV	2025	2024.2.1	19/05/2025
De Peel	DNV	2024	2023.1.2	28/03/2024
150 sorties	DNV	2025	2024.2.1	19/05/2025
Eelde	DNV	2024	2024.0.1	17/10/2024
150 sorties	DNV	2025	2024.2.1	19/05/2025
Twente	DNV	2024	2024.0.1	17/10/2024
150 sorties	DNV	2025	2024.2.1	19/05/2025
Lelystad	DNV	2024	2024.0.1	03/12/2024

Tabel 27: Kenmerken AERIUS-berekeningen voor Behoeft 12.

Vliegveld	Uitgevoerd door	Rekenjaar	Modelversie	Berekeningsdatum
Oirschot	DNV	2024	2024.2	02/05/2025

Tabel 28: Kenmerken AERIUS-berekeningen voor Behoeft 13. Emissies zijn teruggeschaald door Antea.

Vliegveld	Uitgevoerd door	Rekenjaar	Modelversie	Berekeningsdatum
De Peel	DNV	2024	2024.2.1	19/05/2025
Gilze-Rijen	DNV	2024	2024.2.1	19/05/2025
Deelen	DNV	2024	2024.2.1	19/05/2025
Twente	DNV	2024	2024.2.1	19/05/2025

Tabel 29: Kenmerken AERIUS-berekeningen voor de gecombineerde behoeften.

Vliegveld	Uitgevoerd door	Rekenjaar	Modelversie	Berekeningsdatum
Deelen	DNV	2025	2024.1.2	21/02/2025
De Peel	DNV	2025	2024.0.1	16/01/2025

Appendix C STACKS voor vliegverkeer – modellering bijdrage luchtvaart

Verspreidingsmodel STACKS

Het STACKS-model is gebaseerd op het Nieuw Nationaal Model (Ref. C.1) met uitbreidingen, modificaties en verbeteringen voor integrale toepassing op verkeerswegen en vliegverkeer. STACKS is door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W)⁷ goedgekeurd voor toepassing op alle wegen. Het standaard STACKS-model is onderdeel van Geomilieu (een softwarepakket van DGMR).

Aan STACKS is een module toegevoegd voor de berekening van vliegverkeer. De STACKS luchtvaartmodule maakt geen deel uit van de DGMR-software, maar is eigendom van het NLR. De module voor de berekening van de vliegtuigbijdragen betreft geen standaardberekeningen waarvoor goedkeuring kan worden aangevraagd. Dit wordt met name veroorzaakt doordat er geen netwerk van metingen bestaat waarmee de berekeningen gevalideerd kunnen worden⁸. De methodiek is inmiddels zodanig geaccepteerd dat toenmalige ministeries VROM en V&W gezamenlijk besloten hebben om deze rekenmethodiek de basis te laten zijn van de (NO₂) concentraties zoals in de saneringstool en monitoringstool zijn opgenomen voor de Schiphol-locatie (Ref. C.2).

Rekenmethode luchtvaart-gerelateerde emissiebronnen

De verspreiding van rookpluimen (zie Figuur 29) is beschreven door de verspreidingsparameters σ_z (sigma-z, in de verticale richting), σ_y (sigma-y, in de dwarsrichting) en in het geval van klimmen en dalen ook door σ_x (sigma-x, in transversale richting). In “STACKS voor luchthavens”, ofwel “luchtvaartmodule”, is dit concept voor de vliegtuigbewegingen op en nabij de luchthaven ook toegepast. Deze parameters zijn voor de verschillende segmenten van de vliegtuigbeweging apart berekend. Hierbij zijn de volgende segmenten onderscheiden:

- Start en landing (op, of op minder dan 100 m hoogte van, de start- of landingsbaan);
- Klim- en daaltraject;
- Kruisend vliegtuig op een bepaalde hoogte;
- Taxiën van de startbaan naar de pier en van de pier naar de startbaan.



Figuur 29: De verspreiding van rookpluimen.

⁷ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/regelingen/2011/07/04/overzicht-goedgekeurde-rekenmethoden>

⁸ Een uitzondering hierop is de RIVM meetcampagne voor ultra fine particles (UFP). Daarbij bleek het model de UFP metingen goed te beschrijven (zie “Metingen en berekeningen van ultrafijn stof van vliegverkeer rond Schiphol”, RIVM Rapport 2019-0074).

Daarnaast kan het proefdraaien en emissies door brandstofoverslag, de APU's, GPU's en het platformverkeer ook als aparte bronnen zijn meegenomen. In deze Appendix wordt een toelichting gegeven voor deze berekeningsmethoden. Hierbij wordt de STACKS-methode vergeleken met andere modellen voor de luchtvaart, waaruit blijkt dat het model in veel gevallen minstens even goed rekening houdt met relevante aspecten als internationaal gebruikelijk is. Van de omzetting in pluimen van vliegtuigmotoren zijn in de literatuur niet veel gegevens beschikbaar. In hoofdzaak zijn er drie belangrijke rekenmodellen te vinden:

- ADMS met submodules voor luchthavens (VK);
- Lasport (Duitsland);
- EDMS (VS).

Deze modellen hebben een redelijk brede toepassing, zijn (deels) gevalideerd en dus bruikbaar als referentiemateriaal voor STACKS. De modellen zijn bovendien redelijk goed in de literatuur beschreven. We vergelijken de werkwijze van STACKS met deze modellen. Daar waar nodig zijn keuzes die bij de modellering binnen STACKS zijn gemaakt nader onderbouwd door naar deze modellen te verwijzen.

Eerst wordt toegelicht hoe met de ruimtelijkheid van emissies en de concentraties ter gevolge wordt. Vervolgens wordt ingegaan op de pluimmodellering zoals deze in STACKS wordt toegepast. Tenslotte is aandacht gegeven aan specifieke rekenaspecten van de eerdergenoemde vluchtsegmenten en van specifieke stoffen.

Appendix C.1 Rekenresolutie in tijd en ruimte

De LEAS-iT-emissieresultaten zijn ten behoeve van de STACKS-berekeningen geaggregeerd in cellen. Iedere cel in het rekengebied heeft in horizontale richting een omvang van 250m × 250m (lengte × breedte), waarbij de hoogte van de cellen toeneemt met hoogte⁹. Iedere cel bevat informatie op uurbasis over het brandstofverbruik van alle vliegbewegingen die de cel dat uur doorkruisen en de gemiddelde locatie van brandstofverbruik, tezamen met de totale uitstoot, het aantal doorkruisingen en de totale verblijfstijd van de vliegbewegingen. Deze informatie wordt verder verrijkt met de gemiddelde warmte-inhoud van de pluim die wordt uitgestoten. Op deze wijze is een gedetailleerd beeld van de luchtvaart-gerelateerde emissies beschikbaar die als invoer voor de verspreidingsberekeningen dient. Niet elke cel in het ruimtelijk domein bevat vliegtuigemissies, zodat niet alle cellen doorgerekend hoeven te worden. In de praktijk is het denkbaar dat de emissies van vliegtuigen, uitgestoten in een bepaalde cel, door de straalmotorwerking van het vliegtuig in een andere cel belanden. In het model wordt hiermee geen rekening gehouden. Afgezien van het starten op de startbaan is deze verplaatsing gering.

Met STACKS (en in algemene zin met het NNM) zijn alleen grondconcentraties berekend, formeel op 1,5 m hoogte. De berekende concentraties zijn afhankelijk van de hoogte waarop de emissies in het model worden geëmitteerd. Uit eerdere modelberekeningen is gebleken dat emissies boven een hoogte van 500 m een verwaarloosbaar effect hebben op de grondconcentraties. Alle bronnen die zich boven de 500 m bevinden zijn binnen voorliggende studie wél doorgerekend: hierbij zijn deze bronnen (op horizontale resolutie) geaggregeerd en op een bronhoogte van 500 m gezet. In de praktijk betekent dit een vermindering van het aantal rekencellen en daarmee ook een vermindering van de benodigde rekentijd. Deze actie leidt tot een lichte (lees: verwaarloosbare) overschatting van grondconcentraties.

⁹ De cellen worden van elkaar gescheiden op hoogten (vanaf de grond tot LTO-hoogte) van 10, 50, 100, 200, 350 en 500 meter.

Naast de ruimtelijke verspreiding van emissiepunten is de tijdsresolutie en de verdeling van de emissies over het tijddomein van invloed op de uiteindelijk berekende concentraties, door de interactie die plaatsvindt met de (uur)variabele meteorologie uit PreSRM. De informatie van emissiebronnen op uurbasis leidt tot een dagverdeling, die voor alle dagen van de week worden herhaald. Er wordt dus vanuit de emissies geen onderscheid gemaakt tussen de dagen van de week. Dit effect middelt zich uit over een jaar. Wel wordt er gerekend met een winter- en een zomerseizoen: door de structurele verschillen in meteorologie over beide seizoenen, heeft de onderlinge emissieverdeling over de seizoenen invloed op de uiteindelijke berekening. Hier wordt dus rekening mee gehouden.

Het STACKS-model berekent voorts de bijdragen van alle emissies op een groot aantal rekenpunten. Deze bronbijdragen worden, afhankelijk van de stof, per uur opgeteld bij een achtergrondconcentratie: de GCN. De achtergrondconcentratie wordt daarbij per vierkante kilometer vanuit de GCN-database uitgelezen. Dit geschiedt met behulp van het hulpprogramma PreSRM, dat is voorgeschreven voor gebruik bij vergunningverlening en vaststelling bestemmingsplannen.

Appendix C.2 Pluimdynamiek

Algemeen

De verspreiding van gassen en deeltjes uit de uitlaat van een vliegtuig gaat anders dan de verspreiding uit stationaire bronnen, zoals schoorstenen. Het betreft dan vooral de pluimstijging en de initiële verdunning. Omdat vliegtuigen een relatief grote warmte-emissie hebben, is het van belang rekening te houden met de pluimstijging van de uitlaatgassen van het vliegtuig. De situatie is echter gecompliceerd, omdat een vliegtuig een horizontaal traject volgt (de taxi- of startbaan) en een stijgtraject (respectievelijk daaltraject), waarbij de pluim niet recht omhoog wordt uitgestoten. Ook de snelheid van het vliegtuig, de obstructie van het vliegtuig zelf en het effect van vortices (luchtwervelingen) spelen een rol in het verspreidingsgedrag van de pluim, zie volgende secties.

De pluimstijging bij vliegtuigpluimen wordt berekend door toepassing van de pluimstijgformule voor neutrale atmosferen; eventuele (gedeeltelijke) inversiepenetratie in en door de inversie geschiedt door een zogenaamde top-hat benadering: de verticale uitgestrektheid van de pluim wordt gesteld op 2 maal σ_z ; het deel van de pluim dat onder de menglaaghoogte blijft, wordt in de menglaag verspreid; het andere deel wordt verondersteld de grond niet meer te bereiken in het rekendomein. Ten behoeve van de pluimstijgberekening worden de emissiegegevens uit LEAS-iT aangevuld met informatie over de gemiddelde warmte-emissie E in megawatt (MW) per motor binnen iedere cel en voor ieder week-uur. Dit gebeurt met behulp van het gemiddelde brandstofverbruik (FF) per motor in de desbetreffende cel, een energetische waarde van Jet-A1 brandstof van 43,5 MJ/kg en een gemiddelde thermische efficiëntie van de motoren (η):

$$E(MW) = 43,5 \times FF \times (1 - \eta).$$

Het emissiebestand bevat per cel van 250m × 250m en laagafhankelijke hoogte steeds een gemiddelde hoogte van de vliegbewegingen. De pluimstijging wordt bij deze gemiddelde hoogte van de vliegtuigen opgeteld.

Vectoriële snelheid

De snelheid van het vliegtuig heeft een sterk beperkend effect op de pluimstijging. In de diverse vluchtfasen wordt daarom de vectoriële snelheid (combinatie van windsnelheid en vliegtuigsnelheid) berekend. Deze gecombineerde snelheid bepaalt immers in welk luchtpakket de emissies worden verdund. Door in de pluimstijgberekening de vectoriële verplaatsingssnelheid te nemen in plaats van de windsnelheid wordt een lagere pluimstijging berekend,

afhankelijk van de vluchtfase. Door de grote snelheid van het vliegtuig tijdens starten en landen is de pluimstijging in deze gevallen zeer beperkt en bedraagt deze hooguit enkele tientallen meters. Dezelfde aanpassing wordt doorgevoerd voor taxiënde toestellen; het effect van de snelheid van het vliegtuig op de effectieve snelheid is daar echter veel minder.

Ook uit diverse literatuurgegevens blijkt dat de bronsnelheid een significante invloed heeft op de verspreiding. In buitenlandse luchthavenmodellen wordt hier verschillend mee omgegaan. In Ref. C.6 voor Zürich wordt in dit geval een vaste pluimstijghoogte voor (alle) vliegtuigemissies aangenomen van 50 m. In EDMS wordt gekozen voor een vaste pluimstijghoogte van 12 m en een initiële waarde van σ_{z0} van ruim 4 m, ongeacht de snelheid en ongeacht het type vliegtuig (Ref. C.4 en C.7). Uit studies van Carruthers et al. (Ref. C.3) ten behoeve van het ADMS-model blijkt dat de pluimstijging niet als een vaste waarde aangenomen kan worden maar afhangt van het starttraject, en dus afhankelijk is van de snelheid van het vliegtuig: des te lager de snelheid van het vliegtuig, des te groter de pluimstijging. In STACKS is daarom gekozen voor een vergelijkbare benadering: een pluimstijgformule met de vectoriële snelheid (windsnelheid en vliegsnelheid gecombineerd).

Initiële dispersie en vortex-effect

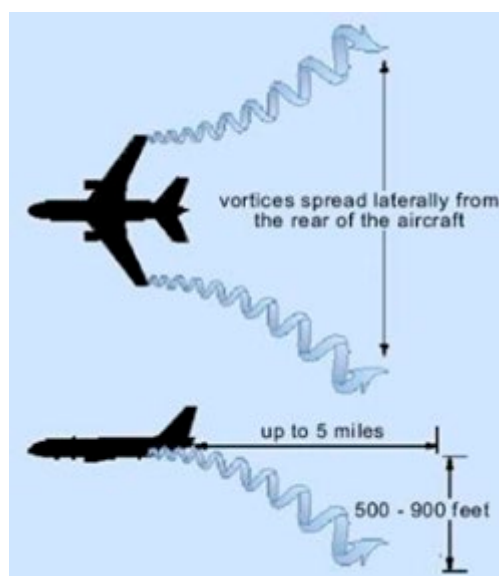
In STACKS wordt naast de vectoriële snelheidsoptelling ook rekening gehouden met de initiële dispersie direct achter de motoren. Deze laatste is van aanzienlijk belang, omdat er een dubbele werking uitgaat van de jet (impuls) en de warmte-uitstoot (bij een startend vliegtuig oplopend tot boven de 100 MW). Nog een aspect dat in de modellering meegenomen wordt betreft de effecten van de vortex, die onmiddellijk ontstaat als het vliegtuig loskomt van de startbaan (of nog niet is geland). Een vortex is een rolwervel, die ontstaat vanaf de vleugeltip. Het verschijnsel uit zich in de vorm van (meestal) twee tegen elkaar indraaiende cilindervormige luchtmassa's (z.g. vortices) op enige afstand achter het vliegtuig (zie Figuur 30). Deze vortices kunnen groot van omvang zijn: klein direct achter het vliegtuig en snel in grootte toenemend met toenemende afstand achter het vliegtuig (tot op enkele km). De sterkte van de vortex wordt bepaald door het gewicht, de snelheid en de vorm van vleugels van het vliegtuig. De belangrijkste is het gewicht; ofwel, hoe groter een vliegtuig, hoe sterker de vortex. Deze vortices hebben een neerwaartse beweging met pluimdaling als gevolg. De pluimdaling achter het vliegtuig neemt ook toe met toenemende afstand achter het vliegtuig. Daardoor is het effect op de verspreiding van de emissies dus tweeledig: er is sprake van extra dispersie en een verlaging van de pluimhoogte.



Figuur 30: De dubbele vortex achter een vliegtuig (links schematisch, rechts in een werkelijke situatie).

In literatuur is gezocht naar de mate van daling en extra turbulentie door dit vortex-effect. Informatie hierover is weinig beschikbaar; in het handboek luchtkwaliteit van ICAO (ICAO, 2011, 2015, Ref. C.15) komt het woord vortex zelfs niet voor. Janicke (2014, Ref. C.14) geeft aan dat een vortex een pluimdaling veroorzaakt, hetgeen in verschillende modellen anders is uitgewerkt. Dat er daling optreedt wordt ook al gemeld door Brasseur et al. (1998, Ref. C.13). Daarbij geven zij aan dat de maximale daling (normaliter 100-200 m) vaak niet bereikt wordt doordat de atmosferische turbulentie de vortexbewegingen eerder domineert. Maar in stabiele luchtlagen (typische ochtend- en avondsituaties) is

het vortex-effect gedempt. Unterstrasser en Stephan (2020, Ref. C.17) vermelden ook dat de pluim 100-200 m lager kan komen dan de emissiehoogte. In een dissertatie van P. Choroba (2006, Ref. C.19) is het risico bestudeerd van een vortex-encounter van een ander vliegtuig, afhankelijk van positie en leeftijd van de vortex. Daar wordt vermeld dat de gemiddelde daling van de vortex ten opzichte van de vlieghoogte na 2,5 minuut 200 m bedraagt. Aloysius en Wrobel (2008, Ref. C.18) bestudeerden het pluimgedrag middels Large Eddy Simulaties: een numerieke techniek om stromingen en turbulentie te simuleren. Zij tonen dat de horizontale en verticale verspreiding tamelijk snel achter het vliegtuig (minder dan een minuut) afmetingen bereikt van 50-80 m. De vortex-turbulentie duurt echter langer, tot enkele minuten. Unterstrasser et al. (2014, Ref. C.16) voerden Large Eddy Simulatie-berekeningen uit tot 6 minuten na emissie; uit hun analyses is op te maken dat de pluimdaling zich uitstrekt tot maximaal 250 m onder het emissieniveau. Tevens concluderen de auteurs dat de pluimen uiteindelijk tot bijna 700 m breed kunnen zijn. Deze studie richtte zich op grotere hoogten (kruishoogte) waar de atmosferische turbulentie gering is, maar het geeft wel de potentie van de vortexwerking aan. Een lidarstudie aan de emissies van een 747-400 vliegtuig (R. Sussmann, 1999, Ref. C.21) toont als resultaat een pluimoppervlak van 4.500 m² na één minuut, overeenkomend met een sigma-waarde (σ -waarde) van bijna 70 m. Lidarobservaties door Bennet et al. (2010, Ref. C.20) laten zien dat door deze pluimdaling de emissies inderdaad zelfs tot grondniveau kunnen komen terwijl het vliegtuig op grotere hoogte (over)vliegt. ICAO geeft aan in een brochure (2020) dat de daling van de vortex achter een vliegtuig na 8 km circa 150-300 m kan bedragen (zie Figuur 31). In een RIVM-studie (Ref. C.8) over vliegtuigemissies (weliswaar op grotere hoogten) worden ook grote waarden voor σ_{z_0} genoemd: 83 m bij een snelheid van 250 m/s en op 100 m afstand achter het toestel. Al deze studies tonen aan dat deze extra dispersie en waargenomen pluimdaling niet genegeerd kan worden. In STACKS is de uitwerking hiervan uiteindelijk aangepast aan de resultaten van een validatiestudie naar ultrafijnstof (UFP) concentraties.



Figuur 31: Vortex achter een vliegtuig (bron: ICAO, 2020).

In de studie naar UFP, uitgevoerd door het RIVM en ESC (Erbrink 2019, Ref. C.12), zijn metingen aan UFP vergeleken met modelberekeningen. In deze studie is het vortex-effect meegenomen in de modelberekeningen, omdat anders de metingen zich minder goed lieten verklaren. Uit die studie is afgeleid dat de metingen het beste beschreven konden worden wanneer een pluimdaling van 250 m wordt gekozen in combinatie met een initiële dispersie van 150 m voor startende en landende vliegtuigen (als 1σ -waarde), waarvan 100 m wordt toegeschreven aan de vortexwerking en 50 m wordt toegeschreven aan de obstructie van het vliegtuig. Deze waarden zijn goed in lijn met de waarden die in de literatuur vermeld worden, zoals hierboven is beschreven. Deze parameterwaarden zijn in het STACKS-verspreidingsmodel opgenomen, zie Tabel 30. Daarbij is ervoor gekozen om de waarden aan de conservatieve kant te nemen.

Tabel 30: Parameterwaarden die gebruikt zijn binnen STACKS voor pluimdaling en initiële dispersie voor de vluchtfasen in de landing and take-off (LTO) cyclus.

Parameter	Vluchtfase	Waarde
Pluimdaling wegens vortex	Klimmen, dalen	250 m
Initiële pluimdispersie wegens vortex	Klimmen, dalen	100 m
Pluimstijgvermindering wegens obstructie van het vliegtuig	Klimmen, dalen, taxi	50%
	APU, proefdraaien	75%
Initiële pluimdispersie wegens obstructie van het vliegtuig	Klimmen, dalen	50 m
	Taxi	10 m

De vermelde pluimstijgvermindering wordt gebruikt om de berekende pluimstijging mee te vermenigvuldigen. Deze komt dus bovenop de pluimstijgcorrectie door de vectoriële optelling van windsnelheid en snelheid van het vliegtuig. De initiële pluimdispersie representeert de standaarddeviatie van de Gaussische pluimverspreiding (1σ -waarde). Het feit dat de grootte van de vortex en het effect van pluimdaling achter het vliegtuig onder meer afhangen van de afstand achter het vliegtuig wordt in STACKS niet meegenomen. De pluimdaling wordt begrensd door de bodem. Hier volgt een toelichting op de dispersieberekening voor elk van de stadia van de vliegtuigbeweging.

Appendix C.3 Dispersiemodellering per vluchtfase

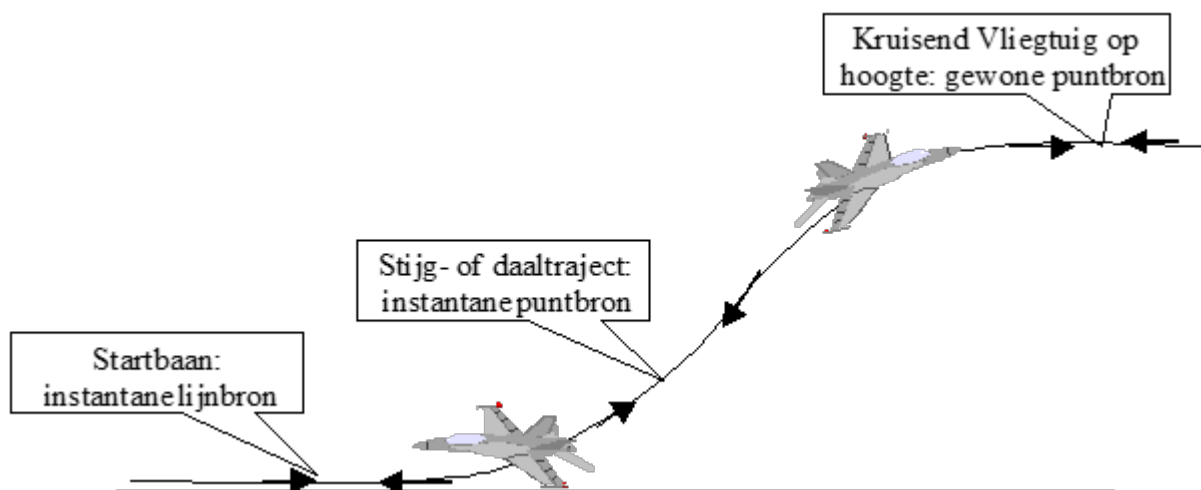
Modellering op de start- en landingsbaan

Het traject over de start- en landingsbaan wordt in het rekenmodel beschreven als een bewegende lijnbron van waaruit de emissies met de wind mee worden verspreid:

- De start- en landingsbaan is middels twee coördinaten in STACKS gedefinieerd. Indien uit de verblijfstijd binnen een cel per vluchtfase blijkt dat de meeste bewegingen (op basis van tijd) binnen de cel bestaan uit startende of landende vliegtuigen, worden de emissies van deze cel aan deze startbaan toegekend. Een cel op een startbaan wordt gemodelleerd als een lijnbron met de richting van de startbaan en de lengte van de cel;
- Het emissiebestand bevat per cel standaard steeds de gemiddelde hoogte van alle vliegtuigen die zich in dat uur in de cel bevinden. Als pluimstijging wordt normaliter de eindstijging gebruikt en dat is correct voor alle afstanden groter dan een paar honderd m tot een km. Voor kortere afstanden tot 1.000 m van het receptorpunt is de eindstijging naar alle waarschijnlijkheid nog niet bereikt en wordt een afstandsafhankelijke pluimstijgformule gebruikt. Voor de start- en landingsbaan is het bovendien beter de gemiddelde hoogte te vertalen naar een hoogte waarop de vliegtuigen zich daadwerkelijk zullen bevinden. Het deel van de startbaan dat zich in de cel bevindt, wordt als lijnbron behandeld; de lijnbron wordt opgedeeld in kleine puntbronnetjes. Indien de puntbron zich binnen 1.000 m van een baankop bevindt, wordt de emissiehoogte naar 5 m teruggebracht (de pluimstijging blijft onverminderd van kracht);
- De pluim van het startende vliegtuig wordt verspreid in de lucht, met als parameters σ_z en de lijnbronbenadering voor σ_y . Deze laatste wordt berekend zoals in het Paarse Boekje (Ref. C.5) beschreven is. Deze pluim wordt met de wind mee verspreid als een lijnbron.

Modellering van het klim- en daaltraject

Het klim- en daaltraject (zie Figuur 32) wordt gekenmerkt door een emissie over een zeker hoogtetraject tot (of “vanaf” in het geval van daling) LTO-hoogte¹⁰. Alles boven LTO-hoogte wordt niet meegenomen, omdat deze hoogte slechts een zeer gering percentage van de tijd binnen de menglaag valt. Andere modellen maken eenzelfde benadering; Lasport behandelt emissies ook tot LTO-hoogte. Overigens zullen emissies vanaf die hoogte weinig invloed meer hebben op grondniveau, ook als de pluim binnen de menglaag valt.



Figuur 32: Vliegtuigen worden in deze versie van STACKS op unieke wijze behandeld, afhankelijk van de locatie in het klim- en daaltraject.

Waar normaliter louter rekening wordt gehouden met dispersie in laterale (y) richting en in verticale (z) richting, wordt op het klim- en daaltraject ook rekening gehouden met dispersie in transversale (x) richting, zie Figuur 29. De transversale dispersie, in vaktaal σ_x , wordt voor vliegtuigen gelijkgesteld aan de instantane dispersie van σ_y en σ_z daar waar de atmosfeer zich op lokaal niveau isotroop gedraagt¹¹. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijkheid, waar de emissie over een geïnclineerd pad plaatsvindt. De relevantie hiervan is beperkt, omdat de vliegtuigen, eenmaal in de lucht, relatief weinig bijdragen aan de grondconcentraties. Uit de berekeningen voor de luchthaven Schiphol is gebleken dat boven 350 m de totale bijdragen van alle vliegtuigen aan de NO_2 -grondconcentraties altijd kleiner is dan $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Modellering op kruishoogte

Een kruisend vliegtuig wordt gemodelleerd als een gewone puntbron. Dit is mogelijk omdat de (emissie)kenmerken van alle vliegbewegingen uiteindelijk worden samengevat in een gemiddeld punt per ruimtelijke cel van $250 \text{ m} \times 250 \text{ m}$ (met laagafhankelijke hoogte). Op kruishoogte is het niet meer van belang om de precieze hoogte in het model op te nemen omdat deze vluchtfase doorgaans boven de menglaag wordt uitgevoerd. De impact wordt sterker bepaald door de dispersieparameters σ_y en σ_z . Grondcontact wordt pas gemaakt als σ_z (en dus ook σ_y) een grote waarde heeft, al is de verdunning dan doorgaans al zodanig sterk dat de bijdrage aan lokale grondconcentraties gering blijft. Een precieze modellering van het kruisgedeelte van de vliegtuigbeweging is daarom niet aan de orde.

Modellering van het taxi-traject

Het taxiën geschiedt met de waarden die uit de emissiebestanden zijn uitgelezen: emissies, rijsnelheid en warmte-emissie. Hierbij wordt per cel gekeken of er meer wordt getaxied binnen dat uur dan dat er andere

¹⁰ 3.000 ft (voet), of 914 m.

¹¹ Dat wil zeggen: op een schaal van tientallen meters tot ruwweg 100 m. In het Nieuw Nationaal Model is dit een algemene aanname voor de verspreiding van gassen en deeltjes in de atmosfeer.

vliegtuigbewegingen plaatsvinden. In dat geval worden deze emissies toegeschreven aan taxiën. Omdat de warmte-emissie van de vliegtuigen in deze fase nog substantieel is, wordt rekening gehouden met de pluimstijging. Hierbij wordt ook gerekend met de vectoriële optelling van windsnelheid in het betreffende uur uit PreSRM en de rijsnelheid (en rijrichting) van het vliegtuig. Taxi-emissies worden gemodelleerd als bewegende lijnbron. Deze lijnbronmodellering geschiedt door de emissies die volgen uit de rekencellen te projecteren op het dichtstbijzijnde taxiwegsegment. Bij de concentratieberekening wordt de lijnbron verder opgedeeld in een beperkt aantal puntbronnen die over de lijn zijn verdeeld. Het aantal puntbronnen hangt daarbij af van de afstand tot het receptorpunt.

Appendix C.4 Stof-specifieke modelleringskenmerken

NO₂-vorming

Voor de meeste stoffen die geëmitteerd worden, voldoet bovenbeschreven aanpak. Voor NO_x wordt de berekeningsmethode als boven beschreven dan ook gevolgd. NO₂ is echter een speciale component, omdat deze (mede) gevormd wordt in de atmosfeer. Dat vereist speciale voorzieningen in het rekenmodel. De vorming van NO₂ uit NO en ozon is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid ozon, van de fotostationaire processen (Ultraviolet en temperatuur) en van mengingsprocessen in de atmosfeer. Voor verkeerswegen wordt in STACKS de SRM2 aanpak voor wegverkeer gevolgd. Hoewel vliegtuigen als verkeer opgevat kunnen worden, kan voor de NO₂-vorming niet de werkwijze voor wegverkeer gevolgd worden. Voor wegverkeer is de omzettingssnelheid geheel door een empirische formule bepaald bij een gegeven emissiesterkte. Deze emissies zijn bij vliegtuigen heel anders. Voor vliegtuigen wordt daarom in hoofdzaak weer gebruik gemaakt van de NNM-chemie. De formules om de omzetting te berekenen zijn onverkort toegepast, echter steeds in de instantane pluim; dit is immers vereist voor de atmosferische chemie. Voor de instantane pluim wordt de afstandsafhankelijke formule uit het NNM toegepast, vermeerderd met de initiële dispersie van de pluim. Deze werkwijze berekent duidelijk hogere NO₂-vormingen dan de wegmodule. Dit is ook aannemelijk, omdat vliegtuigen geïsoleerde (bewegende) bronnen zijn die zich bovendien op grotere hoogten dan grondniveau bewegen. Dat maakt dat de beschikbaarheid van ozon groter is met als gevolg een hogere NO₂-fractie.

De NO₂-vorming geschiedt door integratie van de NO₂ en NO_x concentraties over het instantaan pluimprofiel (Ref. C.5). Op de startbaan wordt de NO₂/NO_x verhouding berekend door integratie over het dwarsprofiel over de lijnbron van de startbaan, in principe op dezelfde manier als bij een puntbron. Bij klimmen en dalen is er echter een extra aspect: de pluim wordt nu ook over een bepaald hoogtetraject verspreid. Daardoor is de pluim op te vatten als een serie instantane rookwolken, die elk op 'hun eigen hoogte' verspreid worden, met in drie richtingen (in plaats van twee) de instantane dispersie parameter σ_i ; de instantane pluim verdunt bij klimmen en dalen dus iets sneller dan bij een gewone puntbron.

Voorts wordt in STACKS een initiële fractie NO₂ in de pluim aangenomen, afhankelijk van de beschouwde fase van de vliegtuigbeweging (zie Tabel 31). Dit maakt dat bij de uitlaat al, afhankelijk van de vluchtfase, een aanzienlijke concentratie NO₂ aanwezig kan zijn. Dicht bij wegen is de beschikbaarheid van ozon beperkt door de overvloed aan NO en is de menging geenszins homogeen. In Ref. C.9 worden gemeten verhoudingen van NO₂/NO_x gegeven die variëren van 50% in de stedelijke omgeving van Londen tot 80% voor landelijke omgevingen. Dichtbij wegen worden waarden van 15% tot 30% gerapporteerd. De verhoudingen voor de directe omgeving van de luchthaven worden niet gegeven. In STACKS wordt de omzetting voor vliegtuigemissies met NNM-formuleringen berekend, die uitkomen op gemiddeld 60-75%. De berekende waarden ten gevolge van wegverkeeremissies, berekend door STACKS, liggen ook in de bandbreedte van 15% tot 30%. Op wat grotere afstanden is deze ratio hoger.

Tabel 31: Initiële NO₂-percentages per vluchtfase zoals gebruikt binnen STACKS.

Vluchtfase	Initieel NO ₂ percentage	Referentie
Starten	4,5%	A. Garcia-Naranjo en C. W. Wilson (2005, Ref. C.22)
Klimmen	5,3%	A. Garcia-Naranjo en C. W. Wilson (2005, Ref. C.22)
Dalen	15%	A. Garcia-Naranjo en C. W. Wilson (2005, Ref. C.22)
Taxiën	37,5%	A. Garcia-Naranjo en C. W. Wilson (2005, Ref. C.22)
Proefdraaien	15%	O.b.v. andere vluchtfasen
Stationair (APU)	40%	S. Kinsey et al. (2007, Ref. C.23)

Als we kijken naar hoe andere modellen omgaan met NO₂-vorming, dan blijkt dat voor de situatie bij luchthavens weinig gegevens beschikbaar zijn. De diverse modellen gaan hier heel verschillend mee om. In EDMS bijvoorbeeld wordt voor de omzetting een empirisch verband genomen, de zogenaamde DEFRA-functie¹² (Ref. C.11), die er op neerkomt dat de omzettingsfractie varieert van 95% bij een NO₂-concentratie van 10 µg/m³ tot 46% bij 100 µg/m³ (afnemend tot 37% bij 200 µg/m³). In andere modellen wordt een vaste omzettingsfractie genomen, bijvoorbeeld 15% in ADMS, tot het jaar 2005. Hiervan wordt al gezegd dat deze waarde voor de praktijk te laag zal zijn. In het Duitse rekenmodel Lasport (Lasat voor luchthavens) wordt ook een vaste omzetting van 15% aangenomen (Ref. C.10). Deze 15% aanname is duidelijk te laag; de initiële uitstoot is in sommige gevallen immers al veel hoger.

In de somming van de afzonderlijke bronbijdragen dient rekening gehouden te worden met de interactie tussen de bijdragen van de diverse bronnen (afname van ozon en toename van NO₂). Het niet verrekenen van de ozonconsumptie kan, afhankelijk van de brongrootte, zeer lokaal tot niet-realistische (te hoge) NO₂ concentraties leiden. Immers: er wordt dan verondersteld dat de ozonconcentratie (de GCN-waarde) niet afneemt, wat in werkelijkheid wel zo zal zijn. Verwacht wordt dat dit alleen impact heeft binnen ca. 1 km van de NO_x bronnen; op grotere bronafstanden is de impact niet groot, omdat de NO₂-concentraties ten gevolge van de bronnen dan relatief laag zal zijn.

PM₁₀

De PM₁₀-emissies worden gemodelleerd als inerte stof; depositie en vorming van secundaire stoffen worden verwaarloosd. Hoofdzakelijk bij het landen van de vliegtuigen vindt een instantane emissie van fijnstof plaats, door toedoen van wrijving tussen de banden en het asfalt. Deze wordt gemodelleerd als een gewone puntbron en wordt ter benadering volledig toegeschreven aan de locatie van de *touchdown*locatie. Voor deze emissie wordt geen pluimstijging in rekening gebracht; immers is niet duidelijk welke invloed de warmte-emissie van het vliegtuig heeft op de verspreiding van dit bandenstof.

PM_{2,5} en elementair koolstof (EC)

De PM₁₀-emissies worden tevens gebruikt voor het bepalen van de bijdragen van de luchthaven aan de PM_{2,5} en EC-concentraties. Dit gebeurt door de bijdrage van een specifieke bron (bijvoorbeeld van de APU's, of startende vliegtuigen) aan de totale concentraties te vermenigvuldigen met een schaalfactor die specifiek en representatief is voor PM_{2,5} en EC, zie Tabel 32. In de achtergrondconcentraties is het aandeel PM_{2,5} ruwweg 60% à 70% van de PM₁₀-concentraties. Voor de hoofdmotoremissies is dat in de regel niet zo: voor de PM₁₀-emissies van vliegtuigen wordt aangenomen dat deze volledig uit PM_{2,5} bestaat. Deze getallen zijn gehanteerd bij het bepalen van de PM_{2,5} en EC-concentraties uit de PM₁₀ bijdragen van de vliegtuigbronnen. PM_{2,5} en EC worden voorts op dezelfde wijze verspreid als PM₁₀.

¹² DEFRA staat voor Department for Environment, Food and Rural Affairs (U.K.).

Tabel 32: Percentages PM_{2,5} en EC in PM₁₀ voor verschillende emissiebronnen. De percentages voor de hoofdmotoren en de bandenslijtage zijn afkomstig uit Visschedijk et al. (Ref. C.24).

Emissiebron	PM _{2,5}	EC
Hoofdmotoren	100%	75,4%
Bandenslijtage	20%	0%
APU	80%	20%

Referenties

- C.1 "Het Paarse Boekje": Nieuw Nationaal Model, 1998. Verslag van het onderzoek van de Projectgroep. Revisie nationaal Model. InfoMil, Den Haag.
- C.2 E. Kokmeijer, J.J. Erbrink, 2009. "Bepaling bijdragen luchtvaartverkeer in het studiegebied Schiphol en omstreken ten behoeve van de saneringstool ST3". KEMA rapport 50964126-TOS/ECC 09-5392.
- C.3 D. Carruthers et al., 2006. Developments in ADMS-Airport to take into account of near field dispersion and applications to Heathrow Airport.. Proc. 11th Int. Conf. on Harmonisation within Atm. Disp. Modelling for regulatory Purposes.
- C.4 R. L. Wayson et al., 2003. The Use of LIDAR to Characterize Aircraft Exhaust Plumes. University of Central Florida. 96.th Annual Conference and Exhibition of the Air & Waste Management Association, San Diego , CA , June 22-26, 2003. Paper #69965.
- C.5 "Het Paarse Boekje". HET NIEUWE NATIONAAL MODEL, 1998. Model voor de verspreiding van luchtverontreiniging uit bronnen over korte afstanden. Rapportage over het onderzoek Revisie Nationaal Model en de besluitvorming daarover in de begeleidingscommissie. Projectgroep Revisie Nationaal Model. TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie - Apeldoorn.
- C.6 ALAQS project, Airport Local Air Quality, Sensitivity Analysis Zurich Airport 2004. Report EEC/SEE/2006/003. Eurocontrol, 2006.
- C.7 W. L. Eberhard, W. A. Brewer en R. L. Wayson, 2005. Lidar observation of jet engine exhaust for air quality. 2nd Symposium on Lidar Atmospheric Applications, San Diego, CA, 8-13 January 2005.
- C.8 E.W. Meijer, J.P. Beck en G.J.M. Velders, 1996. Modelling gas-phase and heterogeneous conversions of nitrogen oxides in the exhaust plume of an aircraft. A parameterization for global models. RIVM report no. 722201010.
- C.9 B. Y. Underwood, S. M. Brightwell, M. J. Peirce en C. T. Walker, 2001. Air Quality at UK Regional Airports in 2005 and 2010. A report produced for DETR.. AEAT/ENV/R/0453 Issue 2, AEA Technology plc, Warrington, Cheshire, UK.
- C.10 A. Celikel, N. Duchene, I. Fuller, E. Fleuti, P. Hofmann, 2006. Airport Local Air Quality Modelling: Zurich Airport Emissions Inventory Using Three Methodologies,. Proc. 11th Int. Conf. on Harmonization within Atm. Disp. Modelling for regulatory Purposes.
- C.11 R. Britter, S. Disabatino en E. Solazzo, 2005. Project For The Sustainable Development Of Heathrow Airport (Psdh), Model Intercomparison Study, Emissions And Dispersion Modelling System (EDMS),. University of Cambridge, dep. of engineering.
- C.12 ESC, 2019. Modelberekeningen aan ultra fine particles rond Schiphol op basis van de analyse van metingen. Rapport 2015R001 (beschikbaar bij RIVM).
- C.13 Brasseur et al., 1998. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. Atmospheric Environment Vol. 32, No. 13, pp. 2329—2418.
- C.14 U. Janicke, 2014. Dispersion and Local Air Quality Modelling. FORUM-AE Workshop 1, Manchester, 2014-01-09.
- C.15 ICAO, 2011, 2015. Airport Air Quality Manual. International Civil Aviation Organization, First Edition — 2011. Update in 2015: Doc 9889, Airport Air Quality Manual Order Number: 9889, ISBN 978-92-9231-862-8.

- C.16 S. Unterstrasser et al., 2014. *Dimension of aircraft exhaust plumes at cruise conditions: effect of wake vortices*. *Atm. Chem. Phys.*, 14, p 2713-2733.
- C.17 S. Unterstrasser en A. Stephan, 2020. *Far field wake vortex evolution of two aircraft formation flight and implications on young contrails*. *The Aeronautical Journal*, Volume 124, Issue 1275, May 2020, pp. 667-702.
- C.18 S. S. Aloysius en L. C. Wrobel, 2009. *Large eddy simulation of plume dispersion behind an aircraft in the take-off phase*. *Environmental Fluid Mechanics* volume 9, pages457–470.
- C.19 P. Choroba, 2006. *Comprehensive study of the wake vortex phenomena to the assessment of its incorporation to ATM for safety and capacity improvements*. PhD study, Zilina, Slovak Republic.
- C.20 M. Bennett et al., 2010. *Lidar observations of aircraft exhaust plumes*. *J. of atm. and oceanic techn.*, vol 27, 1638-1651.
- C.21 R. Sussmann, 1999. *Vertical dispersion of an aircraft wake: aerosol-lidar analysis of entrainment and detrainment in the vortex regime*. *J. Geoph. Res.*, 104 (D2), 2117-2129.
- C.22 A. Garcia-Naranjo en C. W. Wilson, 2005. *Primary NO₂ from aircraft engines operating over the LTO cycle*. Report RC110187/05/01. Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield.
- C.23 S. Kinsey, M. T. Timko, S. C. Herndon, E. C. Wood, Z. Yu, R. C. Miake-Lye, P. Lobo, P. Whitefield, D. Hagen, C. Wey, B. E. Anderson, A. J. Beyersdorf, C. H. Hudgins, L. Thornhill, E. Winstead, R. Howard, R. I. Bulzan, K. B. Tacina en W. B. Knighton, 2007. *Determination of the emissions from an aircraft auxiliary power unit (APU) during the Alternative Aviation Fuel Experiment (AAFEX)*. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 62, 420–430424.
- C.24 A. Visschedijk, W. Appelman, J. Hulskotte en P. Coenen, 2007. *Onderhoud van methodieken Emissieregistratie 2006-2007*. Apeldoorn: TNO.

Appendix D Bandenslijtage

Deze appendix beschrijft de berekening van emissies als gevolg van bandenslijtage bij landen (touchdown) ten behoeve van de NPRD. Door wrijving tussen vliegtuigband en asfalt bij landen vindt bandenslijtage plaats. De slijtage vindt vooral plaats op en direct na het eerste moment van contact tussen banden en de baan. De aangenomen contactlocaties bevinden zich telkens aan weerszijden van de landingsbaan, rekening houdend met de landingsdrempel bij desbetreffende luchthaven.

Er is een berekening gemaakt van de hoeveelheid fijnstof (PM10 en PM2,5) die hierbij vrijkomt, waarbij de hoeveelheid fijnstof afhankelijk is van het maximaal startgewicht (MTOW) van het vliegtuig. Per locatie/baankop worden deze emissies geaggregeerd, daarmee rekening houdend met het aantal landingen dat op deze baankop plaatsvindt. Deze berekening is gebaseerd op gegevens die staan beschreven in Ref. D.1, waarbij is gekeken naar het verschil in bandenmassa over tijd en het aantal landingen dat heeft plaatsgevonden binnen deze tijd. Met een empirische formule wordt de bandenslijtage afgeleid per vliegbeweging met behulp van het MTOW. Binnen voorliggende studie wordt aangenomen dat het gehele verlies aan bandenmassa eindigt als PM10 in de atmosfeer. Dit is een conservatieve aanname die compenseert voor dat slijtage van de landingsbaan en van de remmen niet expliciet worden meegenomen de berekening, waar deze wel tot fijn stof leiden (Ref. D.2). Op basis van Ref. D.2 wordt aangenomen dat het aandeel PM2,5 in bandenslijtage-emissies 20% van PM10 bedraagt, zoals ook in Tabel 32 is aangeduid.

Referenties

- D.1 K.M. Morris, 2006. *“An estimation of the tyre material erosion from measurements of aircraft tyre wear.”*
NV/KMM/1131/14.18. 3 april 2006
- D.2 Eurocontrol, 2005. *Aircraft Particulate Matter Emission Estimation through all Phases of Flight*. EEC/SEE/2005/0014



Accelerating
the future
of aerospace

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het onderzoekscentrum Koninklijke NLR werkt op objectieve en onafhankelijke wijze met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

NLR is ruim 100 jaar een ambitieuze toegepast onderzoeksorganisatie, gedreven om te blijven vernieuwen ten behoeve van een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart. Op objectieve en onafhankelijke wijze leggen we nu het fundament voor een toekomstgericht betekenisvolle, maatschappelijke impact.

In een snel veranderende wereld zijn de behoeftes op het gebied van mobiliteit en stabiliteit continu in beweging. Bewust van de maatschappelijke urgentie, zorgt NLR ervoor dat kansrijke concepten snel het daglicht zien en transformeren in disruptieve oplossingen dan wel incrementele verbeteringen. Dat kunnen we door de combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en de inzet van onze toonaangevende onderzoeksfaciliteiten. Daarbij vormt NLR in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbruggen we de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk.

NLR neemt het voortouw om Nederlandse en Europese doelstellingen te realiseren. Met onze partners werken we daarbij hard aan een veerkrachtig en duurzaam mobiliteitssysteem, en ondersteunen we de Nederlandse Defensie op alle militaire domeinen waarbij ruimtevaart en cyberspace een alsmaar prominentere rol vervullen. Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en onze twee satellietvestigingen draagt NLR zo bij aan een veilige en duurzamere maatschappij, waarbij we de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven verstevigen.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Postal address

PO Box 90502
1006 BM Amsterdam, The Netherlands
✉ info@nlr.nl 🌐 www.nlr.org

Royal NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
☎ +31 88 511 3113

Voorsterweg 31
8316 PR Marknesse, The Netherlands
☎ +31 88 511 4444