Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2021-134 | januari 2023

Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens

Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid

OPDRACHTGEVER: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2021-134 | januari 2023

Berekening vliegtuiggeluid 2020 rond civiele en militaire luchthavens

Berekeningen in het kader van de programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid

OPDRACHTGEVER: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

AUTEUR(S):

R.H. Hogenhuis	NLR
S.J. Heblij	NLR
H.W. Veerbeek	NLR

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

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	**Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu**
CONTRACTNUMMER	**3910145603**
EIGENAAR	**NLR**
NLR DIVISIE	**Aerospace Operations**
VERSPREIDING	**Beperkt**
RUBRICERING TITEL	**ONGERUBRICEERD**

GOEDGEKEURD DOOR:																			
AUTEUR							**REVIEWER**							**BEHERENDE AFDELING**					
R.H. Hogenhuis							B.J. Hoekerswever							M.H. Nagelsmit					
DATUM	1	0	0	1	2	3	DATUM	1	0	0	1	2	3	DATUM	1	0	0	1	2	3

Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) opdracht gegeven om blootstelling-responsrelaties op te stellen voor diverse Nederlandse luchthavens. Dit onderzoek wordt gedaan in het kader van de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV). Het NLR heeft ten behoeve van dit onderzoek gegevens berekend waarmee inzicht verkregen wordt in het door vliegtuigen geproduceerde geluid rondom luchthavens in het jaar 2020. Hierbij gaat het om zowel civiel als militair vliegtuiggeluid.

Het RIVM heeft een keuze gemaakt voor geluidmaten waarvoor blootstelling-responsrelaties kunnen worden afgeleid. Daarom zijn meerdere berekeningen per luchthaven uitgevoerd waarbij meerdere geluidmaten zijn berekend, zoals kosteneenheden, L_{den}, L_{night}, Number Above en Time Above.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor 5 civiele luchthavens inclusief Schiphol, 7 Nederlandse militaire vliegbases en de NAVO vliegbasis Geilenkirchen in Duitsland. De berekeningen zijn gedaan met het Nederlands rekenmodel en waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van de wettelijke rekenvoorschriften voor Ke en L_{den} berekeningen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de voorschriften voor Schiphol, voor de andere civiele luchthavens en voor de militaire luchthavens. Voor Schiphol zijn tevens resultaten aangeleverd met het Doc.29 geluidmodel.

Om een goede duiding van de resultaten mogelijk te maken beschrijft deze rapportage diverse uitgangspunten en aannames die ten grondslag liggen aan de berekeningen. Daarnaast verschaft de rapportage informatie over de betrouwbaarheid van de rekenresultaten en over de mogelijke interferentie van vliegverkeer van en naar verschillende luchthavens.

Inhoudsopgave

Afkortingen 5

1 Introductie 6

2 Berekende geluidmaten 7

2.1 Geluidmaten voor individuele vliegtuigbewegingen 7

2.2 Geluidmaten voor meerdere vliegtuigbewegingen 8

2.2.1 Kosteneenheden 9

2.2.2 L_{den} en L_{night} 9

2.2.3 Number Above en Time Above 10

3 Toegepaste rekenmethode 11

3.1 Uitgevoerde berekeningen 11

3.2 Berekeningsmethodiek 12

3.2.1 Invoergegevens 13

3.2.2 Rekenproces 14

3.3 Uitgangspunten berekeningen 15

3.3.1 Uitgangspunten gehanteerde rekenmethode 15

3.3.2 Uitgangspunten met betrekking tot het vliegverkeer 16

3.3.3 Uitgangspunten met betrekking tot de vliegroutes 17

3.3.4 Luchthavenspecifieke uitgangspunten 19

3.4 Betrouwbaarheid geluidberekeningen 24

3.4.1 Gevolgen voor de diverse luchthavens 26

4 Interferentie tussen verschillende luchthavens 28

4.1 Inleiding 28

4.2 Niederrhein 29

4.3 Luik 30

5 Referenties 31

Appendix A Beschrijving rekengebieden 32

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AIP	Aeronautical Information Publication
AMB	Algemeen Maatschappelijk Belang
dB	Decibel
dB(A)	A-gewogen decibel
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
IFR	Instrument Flight Rules
Ke	Kosteneenheid
L	Geluidniveau
L_A	A-gewogen geluidniveau
L_{Amax}	Maximaal A-gewogen geluidniveau of piekniveau
L_{AE}	Equivalent geluidniveau
L_{den}	Day-Evening-Night Geluidbelasting
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
NA	Number Above
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NLR	Koninklijke NLR - Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
NRM	Nederlands rekenmodel
OMIS	Operationeel Management Informatie Systeem
PAMV	Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid
RMI	Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SEL	Sound Exposure Level
SKHV	Stichting Koninklijke Luchtmacht Historische Vlucht
SPL	Sound Pressure Level
TA	Time Above
VFR	Visual Flight Rules

1 Introductie

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) opdracht gegeven om te onderzoeken of blootstelling-responsrelaties kunnen worden opgesteld voor diverse Nederlandse luchthavens. Dit onderzoek wordt gedaan in het kader van de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid (PAMV). Het NLR heeft ten behoeve van dit onderzoek gegevens berekend waarmee inzicht verkregen wordt in het door vliegtuigen geproduceerde geluid rondom luchthavens in het jaar 2020. Hierbij gaat het om zowel civiel als militair vliegtuiggeluid.

Het RIVM heeft een keuze gemaakt voor geluidmaten waarvoor blootstelling-responsrelaties kunnen worden onderzocht. Daarom zijn meerdere berekeningen per luchthaven uitgevoerd waarbij meerdere geluidmaten zijn berekend. Deze rapportage gaat over de berekeningen die het NLR voor het RIVM heeft uitgevoerd. Hierbij wordt ingegaan op de volgende onderwerpen:

- Overzicht van de berekende geluidmaten en een toelichting bij de betekenis van deze geluidmaten (hoofdstuk 2).
- Beschrijving van de invoergegevens en de methode waarmee deze geluidmaten berekend zijn, inclusief duiding van de gemaakte aannames en keuzes en inzicht in de betrouwbaarheid van de berekende gegevens (hoofdstuk 3).
- Inzicht in locaties waar geluid van verkeer vanaf meerdere luchthavens hoorbaar is (hoofdstuk 4).

2 Berekende geluidmaten

Geluid ontstaat door drukveranderingen. Het geluidniveau (L) wordt daarbij uitgedrukt in ‘decibel’ (dB). Het geluidniveau wordt ook wel ‘sound pressure level’ (SPL) genoemd. Vliegtuiggeluid is samengesteld uit een mix van frequenties, met elk een eigen intensiteit. Omdat het menselijk gehoor niet voor elke frequentie even gevoelig is, worden de frequenties vaak gewogen voordat het geluidniveau bepaald wordt.

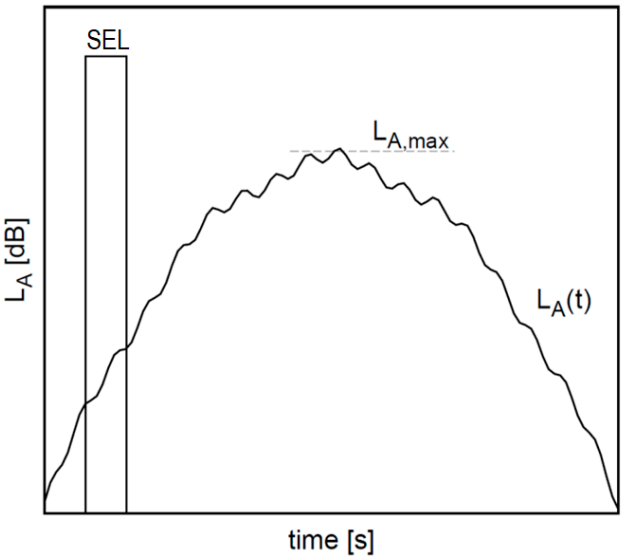
De A-weging wordt hierbij in de praktijk het meest gebruikt voor vliegtuiggeluid. Het A-gewogen geluidniveau (L_A) wordt uitgedrukt in ‘A-gewogen decibel’ (dB(A)). Hierbij worden de frequenties waarvoor het menselijk gehoor minder gevoelig is minder zwaar meegewogen dan de frequenties waarvoor het menselijk gehoor wel gevoelig is. Vliegtuiggeluid kan in verschillende geluidmaten uitgedrukt worden. De geluidmaten voor luchtvaart zijn op hoofdlijnen in twee groepen in te delen:

1. Geluidmaten voor elke vliegtuigbeweging afzonderlijk. Het geluid van individuele vliegtuigbewegingen wordt *geluidniveau* genoemd.
2. Geluidmaten voor meerdere vliegtuigbewegingen samen. Het geluid van meerdere vliegtuigbewegingen samen wordt *geluidbelasting* genoemd.

Een vliegtuigbeweging betreft één start, of één landing. Beide bovengenoemde groepen geluidmaten zullen in de volgende twee paragrafen besproken worden.

2.1 Geluidmaten voor individuele vliegtuigbewegingen

Tijdens een vliegtuigpassage zal het (A-gewogen) geluidniveau eerst toenemen, een maximaal oftewel piekniveau bereiken (L_{Amax}) en vervolgens uitdoven. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 1, waarin het geluidniveau (L_A) is uitgezet tegen de tijd. De totale hoeveelheid geluid die gedurende de gehele duur van de passage wordt geproduceerd, kan worden opgeteld. Vervolgens kan deze over een bepaalde periode gelijk worden verdeeld. Indien het geluid verdeeld wordt over een periode van één seconde, wordt dit het ‘Sound Exposure Level’ (SEL) genoemd. Dit wil zeggen dat het SEL het geluidniveau is dat, indien de vliegtuigpassage één seconde zou duren, dezelfde hoeveelheid geluidenergie zou produceren als de gehele beschouwde vliegtuigpassage. De SEL is dus een optelling van alle geluidenergie die gedurende een vliegtuigpassage wordt geproduceerd (zie Figuur 1).



Figuur 1: Verschillende geluidmaten tijdens vliegtuigpassage

In deze studie zijn zowel L_{Amax} als SEL niveaus bepaald per vliegtuigbeweging.

2.2 Geluidmaten voor meerdere vliegtuigbewegingen

Geluidmaten voor meerdere vliegtuigbewegingen samen geven de geluidbelasting weer. Er zijn verschillende maten die de geluidbelasting omschrijven. De geluidniveaus van alle individuele vliegtuigbewegingen worden hiervoor op een voorgeschreven manier bij elkaar opgeteld. Hierbij kan voor de verschillende geluidmaten rekening gehouden worden met:

- De hoeveelheid geluid dat elk vliegtuig produceert (het geluidniveau)
- Het aantal vliegtuigbewegingen gedurende een periode
- Het tijdstip van de vliegtuigbewegingen.

De volgende geluidmaten voor de geluidbelasting zijn in deze rapportage opgenomen:

1. Kosteneenheden (zie paragraaf 2.2.1)
2. L_{den} (zie paragraaf 2.2.2)
3. L_{night} (zie paragraaf 2.2.2)
4. NA_x (zie paragraaf 2.2.3)
5. TA_x (zie paragraaf 2.2.3)

Al deze geluidmaten zullen worden berekend op een grid met gelijkmatig verdeelde punten. Daarbij zal voor ieder punt een losse berekening worden uitgevoerd om de waarde van de geluidmaat in het betreffende punt te vinden (zie paragraaf 3.2.2 voor meer uitleg over het rekenproces en Appendix A voor informatie over de gehanteerde rekengebieden).

2.2.1 Kosteneenheden

De geluidmaat Kosteneenheden (Ke) is gebaseerd op het vliegverkeer gedurende een jaar en wordt bepaald door piekniveaus (L_{Amax}) van afzonderlijke vliegtuigbewegingen op te tellen, waarbij een nachtstraffactor wordt toegekend aan bewegingen gedurende de avond en de nacht, waardoor deze bewegingen zwaarder meewegen. De Ke geluidmaat wordt toepast voor handhavingsberekeningen voor Nederlandse militaire luchthavens en voor de zonebewaking voor vliegbasis Geilenkirchen.

De formule voor de geluidbelasting uitgedrukt in Kosteneenheden is als volgt:

$B = 20 \log (\sum N \times 10^{LAmax/15}) - 157$, uitgedrukt in Ke

Waarin:

- B = geluidbelasting
- L_{Amax} = het piekniveau ten gevolge van één vliegtuigpassage, uitgedrukt in dB(A) en buitenshuis bepaald.
- N = nachtstraffactor afhankelijk van de periode van het etmaal waarin de vliegtuigpassage plaatsvindt. Door deze nachtstraffactor zal een vliegtuigbeweging tijdens de avond of nacht zwaarder meewegen in een Ke-berekening dan een vliegtuigbeweging tijdens de dag waarbij de waarde als volgt varieert over het etmaal:
  - 08:00-18:00 uur N = 1
  - 18:00-19:00 uur N = 2
  - 19:00-20:00 uur N = 3
  - 20:00-21:00 uur N = 4
  - 21:00-22:00 uur N = 6
  - 22:00-23:00 uur N = 8
  - 23:00-06:00 uur N = 10
  - 06:00-07:00 uur N = 8
  - 07:00-08:00 uur N = 4
- ∑ = sommering van de bijdragen van alle relevante vliegtuigbewegingen die gedurende één jaar starten van of landen op de luchthaven.

2.2.2 Lden en Lnight

De L_{den} (Day-Evening-Night) en L_{night} zijn geluidmaten waarin, voor een willekeurige te onderzoeken periode, de bijdragen van alle vliegtuigbewegingen gedurende die periode worden meegenomen.

De L_{den} wordt berekend voor het gehele etmaal en kent drie tijdsblokken:

- De dagperiode van 7 tot 19 uur
- De avondperiode van 19 tot 23 uur
- De nachtperiode van 23 tot 7 uur.

De L_{den} kan met de volgende formule bepaald worden:

$L_{den} = 10 \log (\sum (10^{SELday/10}) + \sum (10^{(SELevening+5dB(A))/10}) + \sum (10^{(SELnight+10dB(A))/10})) - 10 \log(T)$, uitgedrukt in dB(A),

Waarin:
SEL = sound exposure level (zie paragraaf 2.1), uitgedrukt in dB(A) en buitenshuis bepaald. Hierbij is SEL_{day} het sound exposure level van een passage gedurende de dag, $SEL_{evening}$ het sound exposure level van een passage gedurende de avond en SEL_{night} het sound exposure level van een passage gedurende de nacht, waarbij een nachtstraffactor wordt toegekend aan passages gedurende de avond en nacht.
∑ = sommering van de bijdragen van alle vliegtuigen die in de onderzochte periode starten van of landen gedurende de dag, avond of nacht.
T = het aantal seconden in de onderzochte periode, in het geval van de berekeningen voor dit onderzoek, is dit een heel jaar, met uitzondering van Schiphol waar ook berekeningen zijn gedaan voor de periode voor en tijdens de corona pandemie.

De L_{den} wordt rondom vele luchthavens gebruikt om de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer te bepalen en is dus een standaardmaat voor vliegtuiggeluid. Voor civiele luchthavens wordt de L_{den} gebruikt voor handhaving.

De L_{den} kan voor willekeurige periodes worden bepaald, waarbij het eindresultaat wordt genormaliseerd naar de beschouwde periode (de waarde van deze geluidmaat zal daarom dezelfde orde van grootte hebben ongeacht of deze bijvoorbeeld voor een dag of een jaar bepaald wordt en hangt slechts af van de gemiddelde geluidniveaus gedurende de beschouwde periode).

De L_{night} wordt op bepaald zonder nachtstraffactor (er wordt dus geen 10 dB(A) opgeteld bij de SEL_{night}) en voor de periode van 2300u tot 0700u.

2.2.3 Number Above en Time Above

De Number Above geluidmaat wordt aangeduid met NA_x en geeft een indicatie hoe vaak een L_{Amax} waarde van X dB(A) gedurende een bepaalde periode wordt overschreden. Zo geeft de NA_{60} aan hoe vaak op een bepaald punt een geluidniveau groter dan 60 dB(A) voorkomt.

De Time Above, oftewel TA_x, is een vergelijkbare maat met NA_x, waarbij deze maat niet aangeeft hoe vaak, maar hoe lang een geluidniveau van X dB(A) wordt overschreden gedurende een bepaalde periode. Zo geeft de TA_{60} bijvoorbeeld aan hoeveel seconden een geluidniveau van 60 dB(A) of meer voorkomt.

Bij het bepalen van de totale TA_x waarde in een rekenpunt, wordt iedere individuele vliegtuigbeweging geanalyseerd. De complete beweging wordt verdeeld in segmenten, waarbij ieder segment een deel van de totale 3D vliegbaan beschrijft. Vervolgens worden het geluidniveau en de duur van ieder segment bepaald. Door het geluidniveau en de tijdsduur per segment te combineren wordt de TA_x bepaald.

3 Toegepaste rekenmethode

Dit hoofdstuk gaat nader in op de berekeningen om de verschillende geluidmaten, zoals genoemd in het voorgaande hoofdstuk, te bepalen. Hierbij komt het volgende aan bod:

- Eerst wordt een overzicht gegeven van de luchthavens en periodes waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd (zie paragraaf 3.1).
- Daarna volgt een algemene beschrijving van de gehanteerde berekeningsmethodiek (zie paragraaf 3.2).
- Vervolgens worden de uitgangspunten van de diverse berekeningen beschreven, bijvoorbeeld met betrekking tot de verkeersverdeling en de vliegroutes (zie paragraaf 3.3).
- Tot slot wordt ingegaan op de aannames die gedaan worden bij de berekeningen en het effect dat deze aannames hebben op de betrouwbaarheid van de uitkomsten (zie paragraaf 3.4).

3.1 Uitgevoerde berekeningen

Voor dit onderzoek zijn geluidberekeningen uitgevoerd voor in totaal dertien luchthavens en luchtmachtbases:

- Schiphol
- Eelde
- Lelystad Airport
- Rotterdam the Hague Airport
- Maastricht Aachen Airport
- Leeuwarden
- De Kooy
- Deelen
- Volkel
- Eindhoven
- Woensdrecht
- Gilze- Rijen
- Geilenkirchen

Voor alle luchthavens zijn berekeningen uitgevoerd voor 2020. Alleen voor Schiphol is gerekend met het gebruiksjaar 2020, wat loopt van 1 november 2019 tot en met 31 oktober 2020. Om inzicht te geven in de verdeling van geluid over de dag zijn de resultaten berekend voor de volgende tijdsblokken:

- 06:00-07:00
- 07:00-08:00
- 08:00-09:00
- 09:00-18:00
- 18:00-19:00
- 19:00-20:00
- 20:00-21:00
- 21:00-22:00
- 22:00-23:00
- 23:00-06:00

Dit geldt niet voor geluidmaten die over het gehele etmaal of een specifieke periode bepaald dienen te worden, zoals de Ke, L_{den} en L_{night}. Daarnaast komt bij een aantal luchthavens in sommige tijdsblokken geen verkeer voor, waardoor voor die periodes geen gegevens aangeleverd zijn (zie Tabel 1). Indien op bepaalde luchthavens geen verkeer in de nachtperiode plaatsvond, is ook geen L_{night} beschikbaar.

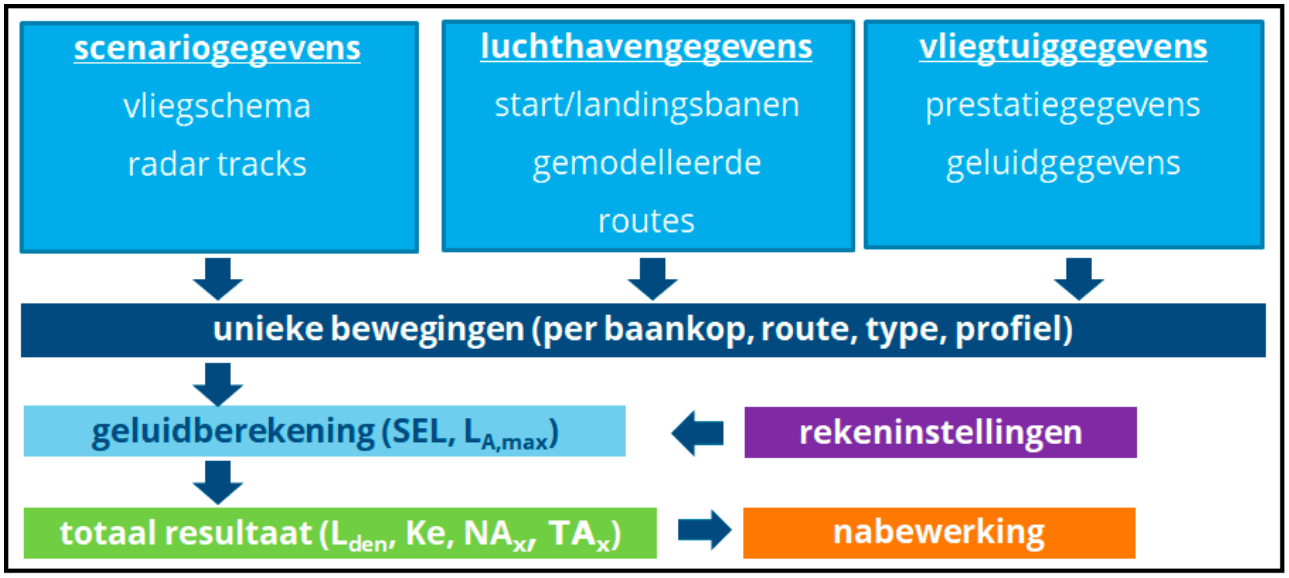
Tabel 1: periodes met verkeer per luchthaven

	06-07	07-08	08-09	09-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-06
Schiphol	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Maastricht Aachen Airport	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Deelen				x	x	x	x	x	x	x
Eindhoven	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eelde	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Gilze- Rijen			x	x	x	x	x	x	x	x
De Kooy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lelystad Airport		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Leeuwarden	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rotterdam the Hague Airport	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Volkel	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Woensdrecht			x	x						
Geilenkirchen		x	x	x	x	x	x	x		

3.2 Berekeningsmethodiek

Alle uitgevoerde berekeningen zijn uitgevoerd volgens de wettelijk voorgeschreven rekenvoorschriften voor het bepalen van de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer in Ke en L_{den}. De berekeningen van de overige geluidmaten zijn gebaseerd op een van beide rekenvoorschriften.

Figuur 2 geeft een globaal overzicht van geluidberekeningen met het Nederlandse rekenmodel. Voordat een berekening gestart kan worden dienen alle relevante invoergegevens verzameld te worden en zodanig verwerkt te worden dat ze in het rekenmodel gebruikt kunnen worden. De invoergegevens en het rekenproces zullen in het vervolg van deze paragraaf nader worden toegelicht.



Figuur 2: Overzicht geluidberekeningen

De berekeningen betreffen zogeheten gridberekeningen. Bij gridberekeningen wordt het geluid berekend op een set gelijkmatig verdeelde punten binnen een rechthoekig gebied dat is afgebakend door coördinaten in het Rijksdriehoekstelsel.

3.2.1 Invoergegevens

Om vliegtuiggeluid nabij een luchthaven te berekenen zijn drie types invoergegevens nodig (zie de bovenste drie blokken in Figuur 2):

- Scenariogegevens
- Luchthavengegevens
- Vliegtuiggegevens

Deze paragraaf geeft nadere uitleg over deze invoergegevens en in paragraaf 3.3 staat beschreven welke invoergegevens voor deze studie gebruikt zijn.

De scenariogegevens bevatten de volgende informatie voor iedere vliegtuigbeweging:

- Vliegtuigtype: dit is van belang omdat vliegtuigprestaties en geluidproductie verschillen voor verschillende types.
- Starttijd of landingstijd: hiermee wordt bepaald welke nachtstraffactor toegepast dient te worden in de Ke en L_{den} berekeningen en wordt vastgesteld in welk tijdsblok een beweging valt.
- Vluchttype: start of landing.
- Gebruikt baanuiteinde: hiermee wordt bepaald in welke richting een vliegtuig vliegt.
- Radargegevens: hiermee wordt de gevlogen route bepaald (niet voor alle vliegverkeer zijn radargegevens beschikbaar).

- Gevolgde procedure: de procedure bepaalt de vliegtuigprestaties tijdens een vliegtuigbeweging. De procedure kan op hoofdlijnen op twee manieren bepaald worden:
    1. Met behulp van radargegevens (door het hoogteverloop van een radartrack te analyseren, kan bepaald worden welke procedure is gevolgd).
    2. Op basis van vliegplaninformatie waarin staat welke procedure gevolgd is. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de berekening van geluid rondom militaire vliegbases met uitzondering van Geilenkirchen.

Luchthavengegevens bevatten informatie over zaken die gerelateerd zijn aan de luchthaven en omvatten de volgende gegevens:

- Coördinaten van de uiteindes van de startbaan of startbanen.
- Ligging van de gemodelleerde routes voor gevallen waarbij geen radargegevens beschikbaar zijn.

Vliegtuiggegevens beschrijven wat de vliegtuigprestaties zijn gedurende een vliegtuigbeweging. Vliegtuigprestaties betreffen het verloop van de hoogte, vliegsnelheid en stuwkracht van een vliegtuig als functie van de afgelegde weg. De vliegtuigprestaties zijn beschreven in zogeheten vliegprofielen of prestatieprofielen.

Tevens zijn gegevens beschikbaar over de geluidproductie van een vliegtuig, zodat voor de gehele vliegbaan kan worden bepaald hoeveel geluid een vliegtuig produceert. De geluidgegevens betreffen zogeheten geluidtabellen. Deze tabellen specificeren geluidniveaus als functie van de afstand van de waarnemer tot het vliegtuig en van de stuwkracht van het vliegtuig.

3.2.2 Rekenproces

Om met behulp van de invoergegevens tot een geluidberekening te komen, dienen een aantal rekeninstellingen gedefinieerd te worden. Dit betreft bijvoorbeeld de volgende zaken:

- Omvang van het rekengebied; hiermee wordt gedefinieerd met welk rekengrid wordt gerekend (zowel de hoekpunten van het rekengebied als de afstand tussen gridpunten).
- Definitie van de gewenste geluidmaat (dient er bijvoorbeeld een L_{Amax} of SEL berekend te worden).

Als de rekeninstellingen gedefinieerd zijn en de invoergegevens beschikbaar zijn, kan een geluidberekening worden uitgevoerd voor iedere individuele vliegtuigbeweging. Met behulp van het grondpad (deze volgt uit de radartrack of de gemodelleerde route) en het hoogteprofiel (deze is gedefinieerd in een prestatieprofiel) wordt een 3D vliegbaan gemaakt, waarbij op ieder moment de 3D positie, de snelheid en de stuwkracht van het vliegtuig bekend zijn. De snelheid en stuwkracht worden bepaald aan de hand van het prestatieprofiel voor de gevlogen vliegprocedure.

De vliegbaan wordt in segmenten opgedeeld en vervolgens wordt voor ieder segment de afstand tussen het vliegtuig en een rekenpunt bepaald. Met behulp van de geluidtabel kan met deze afstand en de stuwkracht bepaald worden hoe hoog het geluidniveau op de grond is. In het geval van een L_{Amax} berekening wordt slechts het hoogste geluidniveau gedurende de gehele passage meegenomen, terwijl voor een SEL berekening de bijdrage van ieder segment wordt meegenomen. Op deze wijze wordt voor ieder rekenpunt de gewenste geluidwaarde voor een individuele passage bepaald.

Indien gebruik gemaakt wordt van gemodelleerde routes wordt hierbij ook routespreiding toegepast, waardoor rekening gehouden wordt met het feit dat niet ieder vliegtuig exact dezelfde route volgt. Hierbij worden geluidberekeningen uitgevoerd voor diverse deelroutes, waarbij op iedere deelroute een fractie van het verkeer geplaatst wordt.

De volgende stap is om de bijdragen van iedere individuele vliegtuigbeweging per rekenpunt op te tellen om zo tot een totale geluidbelasting per rekenpunt te komen. Bij deze optelling worden waar nodig nachtstraffactoren toegepast, waardoor vliegtuigbewegingen die gedurende de avond of nacht plaatsvinden zwaarder meetellen dan vliegtuigbewegingen die tijdens de dag plaatsvinden.

Bovenstaande methodiek wordt toegepast om de in hoofdstuk 2 beschreven geluidmaten te bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de wettelijke voorschriften voor het bepalen van de Ke en L_{den} geluidbelasting. De berekening van de andere geluidmaten is ook gebaseerd op deze methodes, waarbij de geluidmaten bepaald worden op basis van tussenproducten van de Ke of L_{den} berekeningen.

Na afronding van de berekeningen kunnen eventuele nabewerkingen van de resultaten uitgevoerd worden, zoals het maken van contouren. Voor deze studie zijn de berekeningsresultaten in het door het RIVM gevraagde uitvoerformaat (tekstbestanden) omgezet en zullen de resultaten verder verwerkt worden door het RIVM.

3.3 Uitgangspunten berekeningen

Bij de berekeningen worden diverse uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten worden in deze paragraaf nader beschreven. Hierbij gaat het zowel om algemene uitgangspunten die gelden voor alle of een deel van de berekeningen (paragraaf 3.3.1, 3.3.2 en 3.3.3), als om luchthaven specifieke uitgangspunten (paragraaf 3.3.4).

3.3.1 Uitgangspunten gehanteerde rekenmethode

De berekeningen worden uitgevoerd met het Nederlands rekenmodel (NRM) en voor Schiphol is ook een berekening uitgevoerd met het Doc.29 rekenmodel. Waar mogelijk wordt gebruik gemaakt van de wettelijke rekenvoorschriften voor Ke en L_{den} berekeningen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de voorschriften voor Schiphol, voor de andere civiele luchthavens en voor de militaire luchthavens.

Bij handhavingsberekeningen voor civiele luchthavens wordt de geluidbelasting uitgedrukt in L_{den} terwijl voor militaire luchthavens de Ke gehanteerd wordt. Bij het bepalen van de geluidmaten die niet voor de handhaving gebruikt worden (zoals de L_{den} voor militaire luchthavens) wordt zoveel mogelijk aangesloten bij het rekenvoorschrift zoals dat voor de handhavingsberekeningen wordt toegepast, maar dient opgemerkt te worden dat hierbij geen sprake is van een formeel rekenvoorschrift dat voor de betreffende berekening gehanteerd kan worden.

De vliegtuiggegevens zijn vastgelegd in de zogeheten appendices. Voor de uitgevoerde berekeningen zijn dezelfde versies van deze appendices gebruikt als voor andere berekeningen zoals militaire handhavingsberekeningen. Daarbij zijn voor de verschillende luchthavens verschillende uitgangspunten, rekenvoorschriften en appendices gebruikt:

- Voor Schiphol berekeningen met het NRM is zoveel mogelijk uitgegaan van de regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol (RMI, ref [1]). De berekening maakt gebruik van appendices versie 12.3 (ref. [2]). Waar

nodig is deze aangevuld met bijvoorbeeld indelingen voor vliegtuigtypes die nog niet op Schiphol vlogen ten tijde van de publicatie van de RMI en de appendices. Voor Schiphol is naast de berekeningen met het NRM ook een L_{den} berekening met het Doc.29 geluidmodel (zie ref. 13) uitgevoerd.

- Voor Eelde, Lelystad Airport, Rotterdam the Hague Airport en Maastricht Aachen Airport worden vergelijkbare uitgangspunten gehanteerd als bij berekeningen voor het planbureau voor de leefomgeving (PBL). Hierbij is aangesloten bij het rekenvoorschrift voor de berekening van de L_{den}-geluidbelasting in dB(A) voor overige burgerluchthavens (ref. [3]) en is gebruik gemaakt van informatie zoals beschikbaar in appendices versie 13.3 (ref. 4) en geactualiseerde modelroutes.
- Voor de militaire luchthavens is aangesloten bij de handhavingsberekeningen zoals die voor het jaar 2020 zijn uitgevoerd:
    - Leeuwarden: zie referentie [5] voor meer informatie.
    - De Kooy: zie referentie [6] voor meer informatie.
    - Deelen: zie referentie [7] voor meer informatie.
    - Volkel: zie referentie [8] voor meer informatie.
    - Eindhoven: zie referentie [9] voor meer informatie.
    - Woensdrecht: zie referentie [10] voor meer informatie.
    - Gilze- Rijen: zie referentie [11] voor meer informatie.
    - Geilenkirchen: zie referentie [12] voor meer informatie.

De berekeningen worden uitgevoerd op rekengrids waarvan de afmetingen in Appendix A staan. De omvang van de rekengrids is vastgesteld in overleg met het RIVM, waarbij op verzoek van het RIVM is gekozen voor een afstand van 100 meter tussen de gridpunten. Deze stapgrootte is kleiner dan voorgeschreven in de rekenvoorschriften, waardoor een fijnmaziger resultaat verkregen wordt.

Ke berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een afkap van 65 dB(A). Dit wil zeggen dat L_{Amax} waarden lager dan 65 dB(A) buiten beschouwing worden gelaten bij het berekenen van de Ke geluidbelasting. Deze afkap is uitsluitend toegepast bij berekeningen voor de vliegbasis Leeuwarden, omdat daar de Ke handhavingsberekeningen ook worden uitgevoerd met het toepassen van de 65 dB(A) afkap. Voor de civiele luchthavens wordt geen afkap toegepast.

De ondergrens voor de L_{Amax}, SEL, NA_x en TA_x geluidberekeningen is 45 dB(A), lagere niveaus worden niet meegenomen. Wel kan de nauwkeurigheid van berekeningen afnemen voor lagere geluidniveaus. Paragraaf 3.4 gaat nader op in op de nauwkeurigheid van de berekeningen.

De bepaling van geluidbelastingsmaten die zijn gebaseerd op SEL geluidniveaus (L_{den} en L_{night}), is uitgevoerd door eerst de SEL niveaus per individuele vliegtuigbeweging te bepalen en door deze vervolgens op de juiste manier bij elkaar op te tellen. Doordat niveaus van minder dan 45 dB(A) niet zijn meegenomen kan een kleine onderschatting van de geluidbelasting ontstaan, met name in gebieden met een lage geluidbelasting.

3.3.2 Uitgangspunten met betrekking tot het vliegverkeer

Voor de berekeningen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van reeds beschikbare invoergegevens. Er is wel verschil in de gebruikte bronnen voor de civiele en militaire luchthavens. Per luchthaven kunnen er specifieke kenmerken zijn ten aanzien van hoe het vliegverkeer bij de berekeningen is meegenomen (zie daarvoor ook paragraaf 3.3.4.).

Voor Schiphol zijn verkeersgegevens gebruikt die continu verzameld worden via de luchtverkeersleiding Nederland (LVNL). Voor de overige civiele luchthavens zijn vluchtgegevens over 2020 opgevraagd bij de luchthavens. Waar nodig zijn deze vluchtgegevens verbeterd en aangevuld om de nauwkeurigheid van de rekenresultaten te verhogen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om correcties en aanvullingen van vliegtuigtypes en de gebruikte start- of landingsbaan.

Voor militaire berekeningen worden de gegevens gebruikt die zijn gehanteerd voor de jaarberekeningen van 2020. De vluchten van het militaire verkeer worden geregistreerd door de lokale luchtverkeersleiders in het zogenoemde operationeel management informatie systeem (OMIS). Deze gegevens worden jaarlijks aan het NLR verstrekt voor het berekenen van de geluidbelasting in Kosteneenheden. Vliegtuigbewegingen van het burgermedegebruik en vliegtuigbewegingen van het helikopterverkeer van politie en ambulance worden deels buiten OMIS geregistreerd. De toegepaste vertaalslag van vluchtregistratie naar invoer voor het rekenmodel is identiek aan wat bij de jaarlijkse Ke berekeningen wordt toegepast.

Voor Geilenkirchen worden de vliegplangegevens door de luchtverkeersleiding geregistreerd en vervolgens aan het NLR aangeleverd. Hierbij wordt geen gebruik gemaakt van OMIS. De gegevens worden door het NLR gecontroleerd en waar nodig verbeterd en aangevuld (zie ook referentie [12]).

Op militaire vliegbases vinden naast het gangbare verkeer met bijvoorbeeld straaljagers, helikopters en militaire transporttoestellen ook vliegtuigbewegingen plaats met kleine toestellen van minder dan 6.000 kg. Bij de militaire jaarberekeningen worden deze toestellen niet meegenomen (conform het rekenvoorschrift voor deze berekeningen).

Het kleine verkeer betreft toestellen met een lage geluidproductie en het aantal vliegtuigbewegingen met kleine toestellen is lager dan het aantal bewegingen met grotere toestellen. Daardoor heeft het niet meenemen van dit verkeer weinig tot geen impact op de geluidbelasting (in Ke of L_{den}). Wel kan het niet meenemen van dit verkeer leiden tot een onderschatting van de waarden van NA_x en TA_x voor relatief lage waarden van x (bijvoorbeeld minder dan 65 dB(A)). In paragraaf 3.3.4 is voor luchthavens waarbij dit aan de orde is een indicatie gegeven van de aantallen vliegtuigbewegingen met klein verkeer en daar waar het gaat om relatief grote aantallen bewegingen wordt waar dit relevant is ingegaan op de geluidproductie en routes van dit verkeer.

Vanaf Volkel en Leeuwarden vinden helikoptervluchten plaats van in het kader van Algemeen Maatschappelijk Belang (AMB), waarbij het gaat om vluchten met politie- en traumahelikopters. Deze vluchten zijn meegenomen in de berekeningen. Vanwege de aard van de vluchten kunnen deze vliegtuigbewegingen in de praktijk tot lokaal heel andere blootstelling leiden dan in de berekeningen is aangenomen. Dit komt doordat deze helikopters geen vaste routes volgen omdat de gevlogen route afhangt van de plaats waar de inzet van de politie- en traumahelikopters gewenst is (in tegenstelling tot ander verkeer dat doorgaans tussen twee luchthavens of van en naar oefengebieden vliegt). Politiehelikopters zullen in sommige situaties langere tijd boven een klein gebied cirkelen, waardoor lokaal relatief veel geluid geproduceerd kan worden.

3.3.3 Uitgangspunten met betrekking tot de vliegroutes

De berekeningen voor Schiphol zijn volledig gebaseerd op radargegevens. Daar waar deze gegevens niet geschikt zijn voor een berekening wordt het eindresultaat opgeschaald om te corrigeren voor vliegtuigbewegingen die niet zijn doorgerekend. Voor berekeningen van het geluid rondom regionale civiele luchthavens (Rotterdam, Maastricht, Eelde en Lelystad) wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van radartracks. Voor de vliegtuigbewegingen waarbij dit niet

mogelijk is, wordt een berekening uitgevoerd op basis van een gemodelleerde route. Bij Lelystad is geen sprake van verkeer dat met radartracks doorgerekend kan worden waardoor alle verkeer met gemodelleerde routes doorgerekend wordt.

Voor militaire luchthavens zijn geen radargegevens beschikbaar die geschikt zijn voor het uitvoeren van de berekeningen. Daarnaast ontbreekt het ook aan een geautomatiseerde koppeling van radartracks aan vluchtregistraties. Daarom wordt voor deze luchthavens volledig gebruik gemaakt van gemodelleerde vliegroutes. Dit geldt ook voor berekeningen voor civiele vliegtuigbewegingen op Eindhoven en de Kooy. Dit zijn militaire luchthavens met civiel medegebruik en bij die luchthavens wordt alle verkeer met gemodelleerde routes doorgerekend. Alleen bij vliegbasis Geilenkirchen wordt wel gebruik gemaakt van radartracks, waarbij evenals voor Schiphol gebruik gemaakt wordt van een correctiefactor voor verkeer dat niet doorgerekend kan worden. Deze aanpak is in lijn met de jaarberekeningen zoals uitgevoerd voor de militaire luchthavens.

Daar waar de gemodelleerde routes, zoals die doorgaans gebruikt worden, niet lang genoeg zijn om in het gehele rekengebied geluidberekeningen uit te kunnen voeren, zijn deze routes verlengd. Daarbij is gekeken naar de ligging van de routes zoals die gepubliceerd zijn in de zogeheten Aeronautical Information Publication (AIP), waarin per luchthaven de vliegroutes gepubliceerd worden, maar ook naar radargegevens.

Tabel 2 vat bovenstaande samen en geeft per luchthaven of vliegbasis aan of gebruik gemaakt wordt van radartracks, gemodelleerde routes, of een combinatie van radartracks en gemodelleerde routes.

Tabel 2: periodes met verkeer per luchthaven

	Radar	Gemodelleerd	Combinatie
Schiphol	x		
Maastricht Aachen Airport			x
Deelen		x	
Eindhoven		x	
Eelde			x[1]
Gilze- Rijen		x	
De Kooy		x	
Lelystad Airport		x	
Leeuwarden		x	
Rotterdam the Hague Airport			x
Volkel		x	
Woensdrecht		x	
Geilenkirchen	x		

[1] Bij de berekeningen voor Groningen Eelde kan slechts een beperkt deel van het totale aantal vliegtuigbewegingen (ruim 3%) met een radartrack doorgerekend worden omdat er weinig groot verkeer is.

3.3.4 Luchthavenspecifieke uitgangspunten

Voor een aantal luchthavens gelden één of meer specifieke uitgangspunten. Deze uitgangspunten staan in deze paragraaf per luchthaven beschreven. Hierbij komen alleen luchthavens aan bod waarvoor sprake is van luchthavenspecifieke uitgangspunten.

Schiphol

Voor Schiphol zijn de berekeningen niet gedaan voor het kalenderjaar 2020, maar voor het gebruiksjaar 2020. Dit liep van 1 november 2019 tot en met 31 oktober 2020. De resultaten voor Schiphol zijn opgesplitst in een periode voor en tijdens de coronapandemie. Deze periodes zijn door het RIVM vastgesteld van 1 nov 2019 tot en met 31 maart 2020 en van 1 april tot en met 31 oktober 2020.

Voor Schiphol zijn de gegevens per dag en per uur berekend, zodat het mogelijk is om desgewenst per uur van iedere individuele dag inzicht te geven in het door vliegtuigen geproduceerde geluid.

Gezien de omvang van het rekengrid voor Schiphol, is gekozen voor een afstand van 500 meter tussen de rekenpunten voor Schiphol (bij alle andere luchthavens is dit 100 meter). Uiteindelijk zijn de resultaten na afronding van de berekeningen verfijnd door middel van interpolatie, waardoor de gegevens alsnog op een 100 bij 100 meter grid aan het RIVM geleverd zijn.

Tijdens het onderzoek naar de Doc.29 implementatie voor Schiphol is de verfijning van het rekengrid met behulp van het contouralgoritme van het Nederlands rekenmodel (NRM) vergeleken met twee andere interpolatiemethodes (zie ref. 13). Hierbij is het resultaat van deze methodes vergeleken met een berekening op een verfijnd grid. Hieruit kwam naar voren dat het zogeheten BivariateSpline interpolatie-algoritme uit de SciPy bibliotheek van Python de beste resultaten gaf. Daarom is dat algoritme toegepast voor de gridverfijning van de resultaten van de Schiphol berekeningen. De verfijning is toegepast op alle aan het RIVM geleverde eindresultaten voor Schiphol.

Lelystad Airport

In tegenstelling tot de berekeningen voor de overige regionale civiele luchthavens (Rotterdam, Eelde en Maastricht Aachen Airport) worden voor de berekeningen voor Lelystad Airport geen radartracks gebruikt. Dit komt doordat op deze luchthaven grotendeels sprake is van klein verkeer. Bij dit verkeer is het in de meeste gevallen niet mogelijk gebruik te maken van radargegevens. Daarom is voor deze luchthaven alleen gebruik gemaakt van gemodelleerde routes.

De gemodelleerde vliegroutes voor verkeer dat op instrumenten vliegt (IFR verkeer) lopen tot buiten het rekengebied van Lelystad Airport. De twee vliegroutes voor verkeer dat onder zichtcondities vliegt (VFR verkeer) eindigen binnen het rekengebied. Dit betreft een route richting het noordoosten, die eindigt ter hoogte van de Noordoostpolder en een route richting het zuidoosten die eindigt nabij Harderwijk.

Er is voor gekozen om deze routes niet te verlengen om de volgende redenen:

- Het is niet mogelijk om een goede representatieve route te modelleren omdat het verkeer vanaf deze punten verder vliegt in verschillende richtingen, waarbij er geen nauwkeurige informatie beschikbaar is over de verdeling van verkeer over deze richtingen.
- Daarnaast volgt het verkeer geen vaste routes, waardoor het lastig is om een gemodelleerde route te maken die de werkelijke routes goed representeert.

- Vanaf de eindpunten van de routes krijgen piloten meer vrijheid bij het kiezen van de vlieghoogte, waardoor het ook lastiger wordt om de vliegprestaties te modelleren en waardoor het dus ook lastiger wordt om de geluidbelasting te berekenen.

Op basis van radargegevens blijkt dat het verkeer vanaf de eindpunten van de routes voor het vliegen op zicht in diverse richtingen vliegt, maar dat het grootste deel van het verkeer globaal over de meren rondom Flevoland vliegt (Ketelmeer, Veluwemeer, Gooimeer en IJsselmeer), waarbij het meeste verkeer rondom het oostelijke deel van Flevoland vliegt. Er zal echter vliegtuiggeluid van vliegverkeer van en naar Lelystad hoorbaar zijn in de gehele provincie Flevoland en in omliggende gebieden zoals de Noordoostpolder en het noordelijke deel van de Veluwe. Dit zal resulteren in een hogere geluidbelasting dan de berekende geluidbelasting en in hogere waarden van NA_x en TA_x voor lagere waarden van x (minder dan 65 dB(A)).

Leeuwarden

In lijn met de jaarberekening is de Ke geluidbelasting voor Leeuwarden berekend met een afkap van 65 dB(A) (zie ook paragraaf (3.3.1). Bij de berekeningen van andere geluidmaten is geen afkap toegepast.

Vanaf Leeuwarden vinden vluchten plaats die vallen onder ‘burgermedegebruik’. Vluchten die in OMIS geregistreerd zijn, worden meegenomen in de berekeningen. Daarnaast zijn voor 2020 minder dan 500 bewegingen geregistreerd van vaste vleugelvliegtuigen die vallen onder het burgermedegebruik. Dit betreffen allemaal bewegingen van vliegtuigen met een startgewicht lager dan 6.000 kg. De door dit verkeer gevlogen routes zijn niet bekend en de bijdrage aan de totale geluidsbelasting zal verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de geluidbelasting ten gevolge van de militaire jachtvliegtuigen.

Om bovenstaande redenen is de bijdrage van het burgermedegebruik door vaste vleugelvliegtuigen en die buiten OMIS geregistreerd zijn, niet nader beschouwd. Zoals eerder vermeld wordt AMB verkeer wel meegenomen.

De Kooy

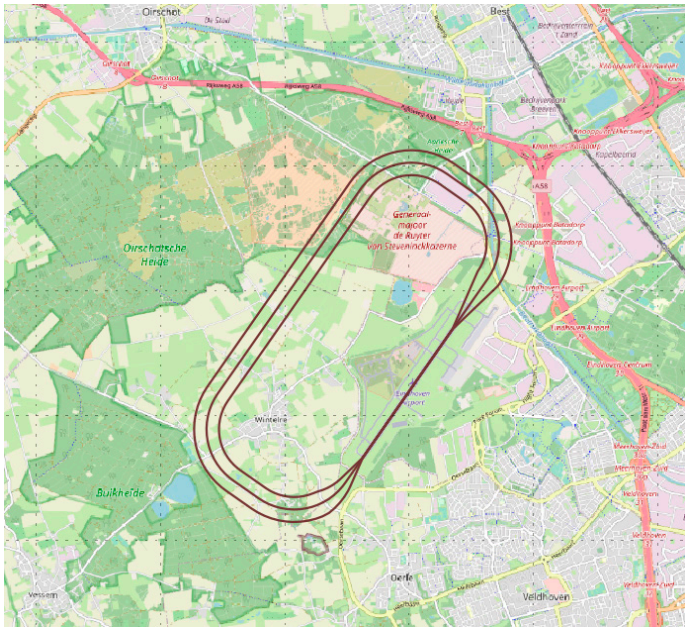
Verkeer van en naar De Kooy met een maximaal startgewicht van minder dan 6.000 kg wordt geregistreerd in OMIS. Deze vliegtuigbewegingen zijn vervolgens ook meegenomen bij alle uitgevoerde berekeningen.

Deelen

Vanwege het beperkte aantal bewegingen is de geluidbelasting op deze luchthaven beperkt in verhouding tot alle andere beschouwde luchthavens. Daarnaast is het aantal personen dat in de directe omgeving van deze luchthaven woont ook beperkt. Daarom zijn voor Deelen geen berekeningen uitgevoerd van de Ke, NA_x en TA_x.

Eindhoven

Bij de berekeningen voor Eindhoven is het kleine verkeer (lichter dan 6.000 kg) dat onder zichtcondities vliegt (VFR verkeer) niet meegenomen in de berekeningen. Het betreffen ongeveer 8.900 vliegtuigbewegingen waarvan 4.900 circuitbewegingen. Deze 4.900 vliegtuigbewegingen blijven in de directe nabijheid van de luchthaven en volgen een vliegpatroon dat grotendeels samenvalt met, of binnen de in Figuur 3 afgebeelde route valt. Vertrekkend en aankomend klein verkeer (de overige ongeveer 4.000 bewegingen) vliegt hoofdzakelijk over de Oirschotse Heide en passeert het Wilhelminakanaal ten westen van Oirschot. Een klein deel van dit verkeer volgt routes aan de oostkant van de luchthaven. Daarbij wordt de rijksweg A2 gevolgd en wordt aan de noordzijde van Veldhoven afgebogen naar de luchthaven.

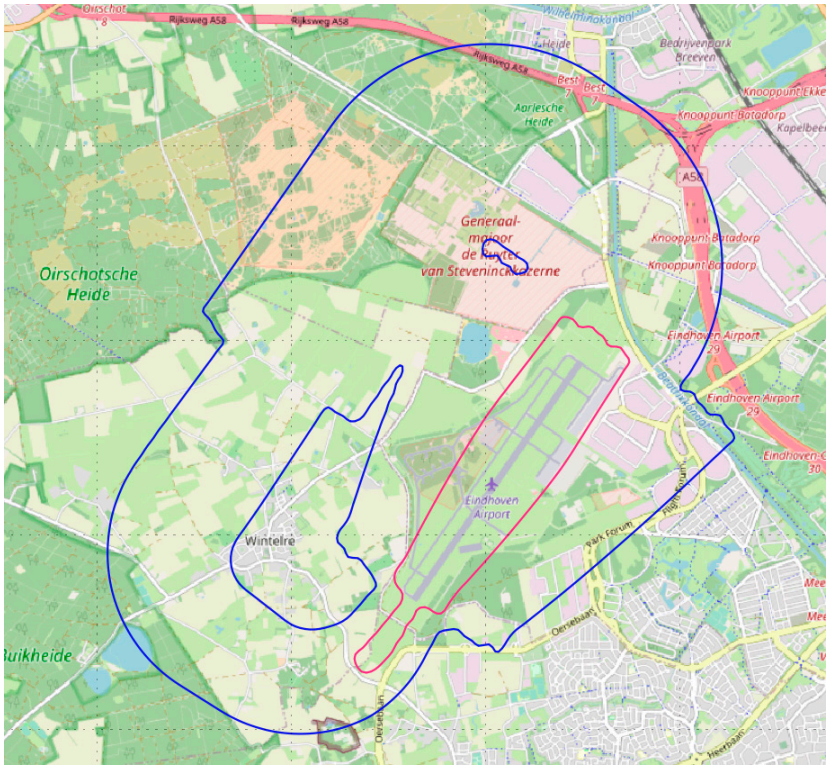


Figuur 3: Circuitroute klein verkeer Eindhoven

Zoals eerder aangegeven wordt de geluidbelasting van dit kleine verkeer niet meegenomen (conform het Ke rekenvoorschrift) en is de bijdrage aan de geluidbelasting in bijvoorbeeld Ke en L_{den} ook verwaarloosbaar klein.

Van de 8.900 vliegtuigbewegingen wordt ongeveer de helft van de vliegtuigbewegingen uitgevoerd door vliegtuigen die vallen in geluidcategorie 003 (Cessna 172) en de helft in categorie 008 (Katana DV20, dit is de stilste categorie licht verkeer). Dit verkeer vliegt vrijwel allemaal tussen 0900 en 1800 uur. Voor de meest luidruchtige van deze twee (categorie 003) is een L_{Amax} berekening uitgevoerd om een indicatie te geven van de ligging van de geluidcontouren. De berekening houdt in dat op de route uit Figuur 3 een circuitvlucht wordt doorgerekend die op een hoogte van 1000ft vliegt. Het vliegtuig klimt dus na de start tot een hoogte van 1000ft, en handhaaft deze vlieghoogte tot de nadering wordt ingezet. Figuur 4 geeft het resultaat van de berekening.

Wat opvalt in Figuur 4, zijn de 2 kleinere blauwe contouren die binnen de grote 45 dB(A) L_{den} contour liggen. De 45 dB(A) lijkt als het ware om Wintelre heen te lopen, wat het gevolg is van de route die om Wintelre heen gemodelleerd is. In de praktijk zullen de vliegers ook proberen niet over de woonkern van Wintelre te vliegen. Dat neemt echter niet weg dat het zeker voor zal komen dat in Wintelre niveaus van boven 45 dB(A) op zullen treden als gevolg van overvliegende kleine vliegtuigen. De 65 dB(A) contour ligt alleen op en in de zeer nabije omgeving van de luchthaven. Daarmee laat het resultaat van de berekening zien dat het kleine vliegverkeer niet zal leiden tot hoge geluidniveaus in Wintelre en dus ook niet in locaties op vergelijkbare afstand van de luchthaven. De contouren voor categorie 008 zullen aanzienlijk kleiner zijn aangezien de geluidproductie van deze categorie vliegtuigen lager is.



Figuur 4: 45(blauw) en 65 (rood) dB(A) contouren circuitvlucht categorie 003

Op basis van de berekening kan geconcludeerd worden dat er voor de (woon)locaties in de directe omgeving van de luchthaven een onderschatting zal zijn van de TA_x en de NA_x resultaten voor zover deze betrekking hebben over de lagere geluidniveaus.

Woensdrecht

Op Woensdrecht vindt zeer incidenteel burgermedegebruik plaats dat niet in OMIS geregistreerd wordt. In alle gevallen betreft dat gemotoriseerd vliegverkeer van toestellen lichter dan 6.000 kg. Voor dit vliegverkeer zijn geen afzonderlijke routes in het model beschikbaar. Aangezien het hier gaat om minder dan 100 vliegtuigbewegingen en de effecten daarvan niet of nauwelijks in de resultaten terug te vinden zullen zijn, zijn deze vliegtuigbewegingen bij de berekeningen niet meegenomen.

Gilze-Rijen

Een (beperkt) deel van het vliegverkeer op Gilze-Rijen betreft vliegtuigbewegingen van de Stichting Koninklijke Luchtmacht Historische Vlucht[2] (SKHV). Hierbij gaat het voor een belangrijk deel om vliegtuigbewegingen in het weekend. Slechts een beperkt deel van dit verkeer is meegenomen in de berekeningen (alleen indien dit verkeer een maximaal startgewicht heeft van meer dan 6.000kg). Van het SKHV verkeer heeft alleen de B-25 Mitchel een startgewicht boven de 6.000 kg, vliegtuigbewegingen van dit type zijn bij alle berekeningen meegenomen. Naast de SKHV vluchten zijn er ook vluchten van de lokale zweefvliegclub die apart geregistreerd worden, voor zover het vluchten van gemotoriseerde vliegtuigen betreffen.

In 2020 werden ongeveer 2.000 vliegtuigbewegingen geregistreerd van vliegtuigen lichter dan 6.000kg. Deze vliegtuigbewegingen zijn niet in de berekeningen meegenomen. Bijna 75% van deze vliegtuigbewegingen (± 1.400) zijn circuitvluchten, vluchten die zich dus in de directe nabijheid van en boven de luchthaven afspelen. Van de SKHV

[2] https://kluhv.nl/

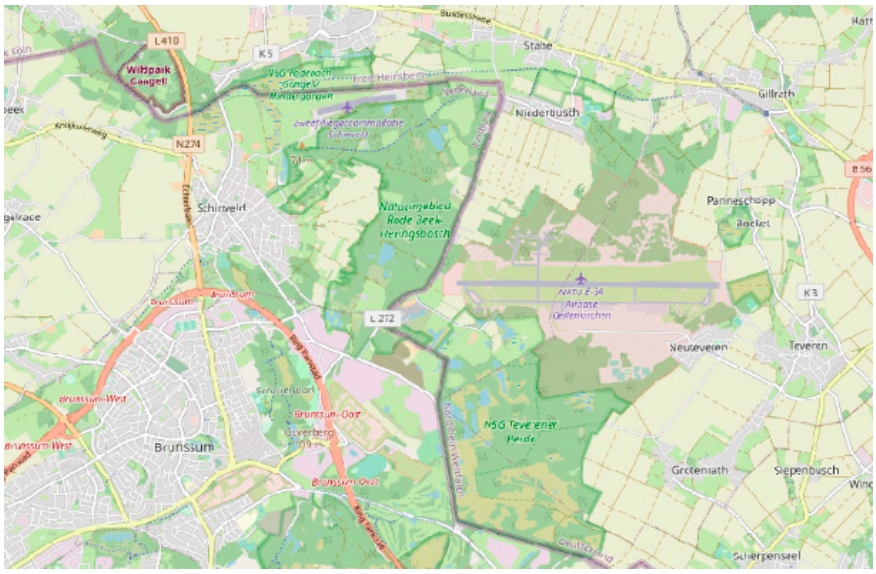
vluchten, zijn de vliegtuigbewegingen van het type T6 Harvard naar verwachting het meest luidruchtig. Passages van deze types zorgen al snel voor geluidniveaus van boven 45 dB(A) in Rijen of in Gilze. In 2020 werden door de T6 bijna 300 vliegtuigbewegingen uitgevoerd, waarvan het merendeel circuitvluchten betrof.

Een punt waarop een deel van het SKHV verkeer afwijkt van ander verkeer is dat vluchten veelal in de nabije omgeving van de vliegbasis plaatsvinden. Daar waar het niet gaat om circuitvluchten, vinden deze vluchten in de wijdere omgeving van de vliegbasis plaats. Ook voor het beperkte deel van deze bewegingen dat wordt doorgerekend zal slechts een start en een landing worden meegenomen (dit is conform de reguliere methode waarmee niet-circuit verkeer wordt doorgerekend). Daarmee kan het voorkomen dat dergelijke vluchten langer hoorbaar zijn dan aangenomen in de berekening. Deze langere hoorbaarheid kan een effect kan hebben op de respons vanuit de wijdere omgeving van de vliegbasis, terwijl dit effect niet uit de berekeningen blijkt.

Het niet meenemen van het lichte verkeer zal leiden tot een beperkte onderschatting van de TA_x en de NA_x resultaten. Voor zover deze betrekking hebben op de lagere geluidniveaus. De effecten zijn naar verwachting het grootst voor de woonkernen Rijen (waaronder onder ook Hulten), Molenschot, Gilze en de wijk aan de westzijde van Tilburg.

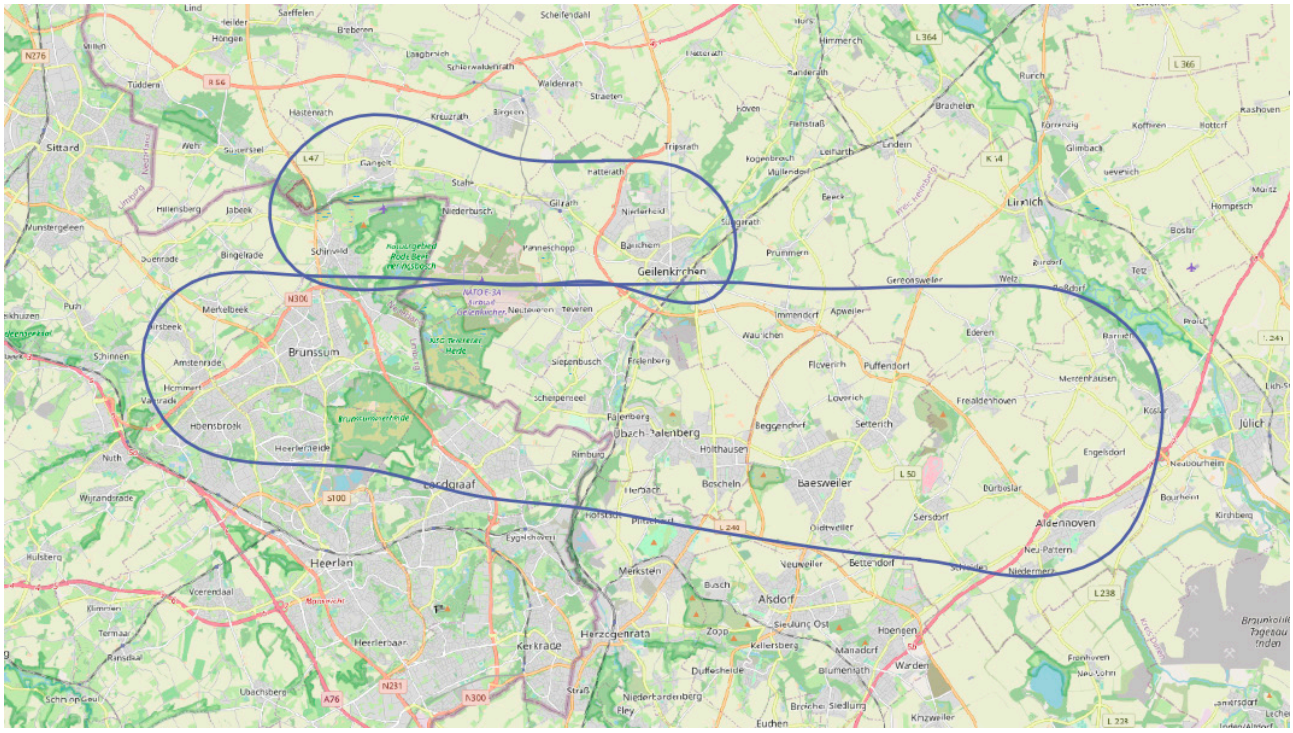
<u>Geilenkirchen</u>

Figuur 5 laat zien dat de vliegbasis Geilenkirchen net over de grens in Duitsland ligt. Omdat de geluidproductie boven Duits grondgebied niet van belang is voor Nederlandse jaarberekeningen, worden de invoergegevens, die nodig zijn om deze geluidproductie te bepalen, niet verzameld. Daarom is het geluid geproduceerd door starts in oostelijke richting en landingen uit oostelijke richting ook niet worden bepaald bij de berekeningen ten behoeve dit onderzoek.



Figuur 5: Ligging van vliegbasis Geilenkirchen

Een aanzienlijk deel van de totale geluidbelasting rondom de vliegbasis Geilenkirchen wordt veroorzaakt door circuitvluchten. Dit betreft trainingsvluchten die na de start niet doorvliegen naar een andere luchthaven, maar die een rondje vliegen om vervolgens weer te landen of een doorstart te maken op vliegbasis Geilenkirchen. Figuur 6 toont twee circuitvluchten, waarvan er één in noordelijke richting vliegt en één in zuidelijke richting.



Figuur 6: Voorbeeld van circuitvluchten Geilenkirchen

Om de geluidproductie van circuitvluchten goed in kaart te kunnen brengen wordt de radartrack van dit soort bewegingen opgeknipt, waardoor er een separate radartrack voor het eerste deel (de start) en voor het tweede deel van de vliegtuigbeweging (de landing) beschikbaar is. Deze radartracks kunnen vervolgens worden gebruikt voor het berekenen van de geluidbelasting.

Zoals reeds beschreven wordt geen geluid berekend voor landingen aan de Duitse zijde van de basis. Indien een circuit ten zuiden van de basis wordt gevlogen, kan het voorkomen dat de radartrack van deze circuitvlucht boven zuidoost Limburg wordt opgeknipt, meestal ter hoogte van Landgraaf en Kerkrade. Omdat het tweede deel van de circuitvlucht een landing aan de Duitse zijde van de basis betreft, zal het deel van deze route over Nederland in deze gevallen niet meer worden meegenomen in de geluidberekeningen, waardoor de geluidbelasting dicht bij de grens in zuidoost Limburg onderschat wordt.

Voor Geilenkirchen is geen informatie beschikbaar over verkeer met een maximaal startgewicht van minder dan 6.000 kg. Dit verkeer wordt niet meegenomen bij de jaarberekeningen en daarom heeft het NLR ook geen informatie over de precieze aantallen vliegtuigbewegingen met deze toestellen. Daarom is dit verkeer niet meegenomen. Dit betreft relatief stil verkeer, waardoor het effect op de totale geluidbelasting (Ke of L_{den}) zeer klein zal zijn. Wel zullen de NA_x en TA_x onderschat worden voor lage waarden van het geluidniveau (met name voor waarden van *x* van minder dan 65 dB(A)).

3.4 Betrouwbaarheid geluidberekeningen

De betrouwbaarheid van de resultaten van de geluidberekeningen wordt bepaald door een relatief groot aantal factoren. Deze factoren hebben te maken met vereenvoudigingen (aannames) in het model ten opzichte van de werkelijkheid en met onnauwkeurigheden, onzekerheden en vereenvoudigingen (aannames) in de gebruikte

invoergegevens. Op hoofdlijnen kunnen de aspecten die hierbij een rol spelen worden ingedeeld in één van de volgende vier categorieën:

1. **Variatie of spreiding**: diverse aspecten hebben tot gevolg dat voor een bepaalde vlucht of dag de berekende niveaus te hoog en zijn en vervolgens voor andere vluchten of dagen de berekende niveaus te laag zijn. Dergelijke effecten zullen elkaar minimaal deels uitmiddelen en hebben daarmee een beperkt effect op de jaarlijkse geluidbelasting. In de Engelstalige literatuur worden modellen voor geluidbelasting ook expliciet omschreven als modellen voor 'long-term average noise exposure'. Het valt te verwachten dat ook bij metrieken als NA_x en TA_x uitmiddeling minimaal deels compenseert voor spreiding: vluchten die bijvoorbeeld berekend worden op 75 dB(A) kunnen in praktijk best eens tot 80 dB(A) leiden, maar andersom kan een vlucht die onder nominale condities op 80 dB(A) wordt berekend in praktijk tot 75 dB(A) leiden. Alleen bij de meer extreme waarden zal dit niet meer opgaan: de hoogst en laagst berekende waarden van het model zullen in praktijk waarschijnlijk nog hoger respectievelijk lager uitvallen.
2. **Uitzonderlijke situaties**: Een aantal aspecten komt slechts in uitzonderlijke situaties voor, zoals doorstarts. Het effect op de geluidbelasting uitgedrukt in bijvoorbeeld L_{den} of Ke, maar ook op de geluidsmaten als NA_x en TA_x zal daarmee beperkt zijn.
3. **Lokale effecten**: Effecten van bijvoorbeeld afscherming, reflecties, terreinhoogte, waarnemingshoogte en type ondergrond kunnen lokaal tot systematische afwijkingen leiden. Dit speelt met name als het vliegverkeer vanuit deze locatie gezien relatief laag aan de horizon staat.
4. **Afstandsafhankelijk**: Als laatste zijn er onzekerheden die typisch toenemen met de afstand tot de luchthaven, zoals verschillen tussen de gemodelleerde routes en profielen, extrapolatie van gegevens en propagatie onder niet-standaardomstandigheden. Dit betekent automatisch ook dat bij een lagere geluidbelasting de onzekerheden groter worden.

Onder de aanname dat voor eerste categorieën geldt dat onnauwkeurigheden elkaar over een langere periode minimaal deels zullen opheffen en dat de invloed van categorie 2 en 3 op het geheel beperkt is, vormt de vierde categorie met afstandsafhankelijke aspecten de belangrijkste beperking voor de betrouwbaarheid van de resultaten. De mate waarin de eerste en tweede categorie de resultaten beïnvloed zullen naar verwachting vergelijkbaar zijn voor alle luchthavens in Nederland, waarbij de impact van bijvoorbeeld weersomstandigheden van luchthaven tot luchthaven kan verschillen. Lokale verschillen in terreinhoogte zijn ook sterk luchthavenafhankelijk en zullen vooral in het zuidoosten van Nederland een rol spelen.

De lokale effecten zullen variëren afhankelijk van ruimtelijke ordening. Hierbij maakt het uit of een gebied bijvoorbeeld bebouwd is of dat het gaat om een landelijk gebied. Hoe de lokale effecten per luchthaven uitpakken is niet te voorspellen, maar in het algemeen zullen in stedelijk gebied grotere verschillen optreden tussen de berekende en werkelijk optredende geluidbelasting dan in landelijk gebied. Dit komt bijvoorbeeld doordat:

- In bebouwd gebied meer sprake is van reflectie of juist afscherming van geluid ten gevolge van bebouwing.
- In bebouwd gebied vaker sprake is van een hardere ondergrond die meer geluid reflecteert dan een zachte ondergrond (zoals aangenomen in de berekeningen).
- In bebouwd gebied een hoger achtergrondgeluidniveau optreedt waardoor vliegtuiggeluid vaker deels of geheel gemaskeerd wordt.

Wat betreft de niveaus van individuele vluchten en afgeleide geluidsmaten lijkt het verstandig om bij niveaus van 70 dB(A) SEL en lager de nodige voorzichtigheid te betrachten. De relatie tussen SEL en L_{Amax} is sterk afhankelijk van vliegsnelheid en vlieghoogte, maar zeker op grotere afstanden van de luchthaven zijn de bijbehorende L_{Amax} niveaus zo'n 15 dB(A) lager. Daarmee zou een soortgelijke waarschuwing gelden voor niveaus van 55 dB(A) L_{Amax} en lager. De keuze voor 70 dB(A) SEL is mede gebaseerd op het feit dat lagere niveaus over het algemeen weinig of geen effect

meer hebben op de geluidbelastingniveaus die typisch worden bepaald. Dit wil ook zeggen dat er historisch gezien minder aandacht is besteed aan het modelleren van lagere geluidniveaus. Daarnaast geldt voor een aantal van de genoemde voorbeelden van onzekerheden dat deze optreden bij of vlak onder 70 dB(A) SEL dan wel 55 dB(A) L_{Amax}. Naarmate de berekende niveaus verder onder deze waarden zakken, mag daarmee verwacht worden dat de onzekerheden verder toenemen en de resultaten steeds minder betrouwbaar worden.

3.4.1 Gevolgen voor de diverse luchthavens

Zoals hierboven beschreven zijn de eerste drie categorieën algemene zaken die bij iedere luchthaven voor zullen komen waarbij doorgaans geen uitspraak gedaan kan worden over hoe de gevolgen van deze zaken zich per luchthaven onderling verhouden. De enige uitzondering hierop is dat doorstarts (die vallen onder de 2^{e} categorie) bij militaire bases wel meegenomen worden in de berekening, omdat hier door de luchtverkeersleiding geregistreerd wordt wanneer er sprake is van een doorstart. Voor de 4^{e} categorie kunnen tot op zekere hoogte uitspraken gedaan worden over hoe aspecten die in deze categorie vallen verschillend uitwerken voor verschillende luchthavens.

Schiphol

Wat betreft de geluidbelasting geldt dat voor een grote luchthaven als Schiphol een bepaalde contour verder van de luchthaven ligt dan voor andere civiele luchthavens. Hierdoor mag verwacht worden dat bijvoorbeeld de 48 dB(A) L_{den} bij Schiphol, bij gelijke modelleringsaanpak, grotere onzekerheid kent dan dezelfde contour bij een regionale luchthaven. De hoogte van de geluidbelasting is echter niet allesbepalend. Zo kan bijv. 48 L_{den} opgebouwd zijn 100.000 overvluchten met een SEL-waarde van 70 dB(A), maar ook uit 10.000 vluchten van 80 dB(A). In het laatste geval zullen de onzekerheden naar verwachting lager zijn. Dit laatste geval speelt op plekken dichterbij de luchthaven, onder of nabij vliegroutes waar relatief minder verkeer vliegt. Zo is het aantal bewegingen vanuit en naar het noorden naar of vanaf de Polderbaan aanzienlijk hoger dan het aantal bewegingen naar of vanaf de Zwanenburgbaan, waardoor in het verlengde van de Zwanenburgbaan minder verkeer plaatsvindt. Dit wil zeggen dat een geluidbelasting van bijvoorbeeld 60 dB(A) L_{den} in een punt ten noorden van de Zwanenburgbaan waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een kleiner aantal luidere bewegingen, dan een punt met een 60 dB(A) geluidbelasting ten noorden van de Polderbaan.

Overige civiele luchthavens

Bij de overige civiele luchthavens geldt dat de hoeveelheid verkeer duidelijk lager is dan op Schiphol. Dit wil zeggen dat bij een bepaalde waarde van de geluidbelasting, de gemiddelde bijdrage per beweging hoger zal zijn dan bij Schiphol en dat de nauwkeurigheid naar verwachting hoger is.

Bij deze luchthavens is echter een deel van of zelfs al het verkeer doorgerekend met gemodelleerde routes, hetgeen zal leiden tot een grotere onnauwkeurigheid. Met name bij Maastricht Aachen Airport en Rotterdam-The Hague Airport zal dit effect meevallen, omdat een aanzienlijk deel van het verkeer is doorgerekend met radargegevens. Aangezien dit het grote verkeer betreft gaat het daarbij ook om het verkeer dat relatief de hoogste bijdrage levert aan de totale geluidbelasting. Zoals beschreven in paragraaf 3.3.4 is voor Groningen Eelde slechts ongeveer 3% van het verkeer met radartracks doorgerekend en is voor Lelystad alleen gebruik gemaakt van gemodelleerde routes. Hierdoor zal de nauwkeurigheid van de uitkomsten voor deze luchthavens lager zijn, met name op grotere afstand van de luchthavens.

Militaire luchthavens

Algemeen geldt dat voor militaire berekeningen de onzekerheden naar verwachting groter zijn. In de eerste plaats wordt er (Geilenkirchen uitgezonderd) gebruik gemaakt van gemodelleerde routes in plaats van radargegevens. Daarnaast zijn de technische mogelijkheden en operationele vrijheden van militaire toestellen (inclusief helikopters) groter dan van civiele passagierstoestellen, waardoor het vlieggedrag minder voorspelbaar wordt en waardoor meer afwijkingen van de modellering op zullen treden. Dit speelt met name op grotere afstand van de vliegbases, maar in mindere mate ook al op korte afstand van deze luchthavens.

Zoals aan het begin van deze paragraaf reeds benoemd houdt de luchtverkeersleiding van militaire vliegbases bij welke vliegtuigbewegingen er plaatsvinden. Hierdoor kunnen ook doorstarts meegenomen worden in de berekeningen.

Zoals beschreven in paragraaf 3.2 en 3.3 zijn voor militaire luchthavens niet alle bewegingen van verkeer lichter dan 6.000kg meegenomen. Doordat deze toestellen een relatief lage geluidproductie hebben, heeft het niet meenemen van dit verkeer weinig tot geen impact op de geluidbelasting (in Ke of L_{den}). Wel kan het niet meenemen van dit verkeer leiden tot een onderschatting van de waarden van NA_x en TA_x voor relatief lage waarden van x (bijvoorbeeld minder dan 65 dB(A)).

4 Interferentie tussen verschillende luchthavens

In sommige gebieden in Nederland is vliegverkeer van meerdere luchthavens hoorbaar. Dit betekent dat de gerapporteerde hinder in deze gebieden dus mogelijk niet aan verkeer van één luchthaven toegeschreven kan worden. Dit hoofdstuk gaat hier nader op in.

4.1 Inleiding

Van de onderzochte studiegebieden zijn er enkele waar vliegtuigbewegingen overvliegen van verschillende luchthavens. In onderstaande tabel is een overzicht gegevens van de onderlinge afstanden tussen de luchthavens.

Tabel 3: onderlinge afstanden in kilometers tussen luchthavens

Luchthaven	ICAO	EHAM	EHBK	EHDL	EHEH	EHGG	EHGR	EHKD	EHLE	EHLW	EHRD	EHVK	EHWO
Amsterdam Airport Schiphol	EHAM												
Maastricht Aachen Airport	EHBK	171											
Deelen	EHDL	81	128										
Eindhoven	EHEH	105	66	76									
Eelde	EHGG	152	252	128	203								
Gilze Rijen	EHGR	84	93	85	33	206							
De Kooy	EHKD	68	234	121	169	123	151						
Lelystad Airport	EHLE	55	173	50	113	102	108	72					
Vliegbasis Leeuwarden	EHLW	122	258	130	199	56	193	73	87				
Rotterdam the Hague Airport	EHRD	45	149	99	86	195	55	110	93	167			
Volkel	EHVK	98	83	46	33	174	55	155	90	175	94		
Woensdrecht	EHWO	101	116	126	72	241	43	167	139	220	57	98	
Geilenkirchen	ETNG	175	20	123	72	243	102	235	171	253	157	81	131

Voorbeelden zijn o.a. Eindhoven op ongeveer 33 km van zowel de vliegbasis Volkel als van de vliegbasis Gilze-Rijen. Voor zover er sprake is van overlappende rekengebieden (zie de kaartjes van de rekengebieden in Appendix A) kunnen resultaten van de geluidberekeningen worden gesommeerd indien gewenst.

Naast de Nederlandse luchthavens waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd, zijn er nog enkele grotere buitenlandse luchthavens dicht bij de Nederlandse grens en bij een van de Nederlandse luchthavens. De vliegtuigbewegingen van deze luchthavens vinden ook boven Nederland plaats en kunnen daar waargenomen worden:

1. Geilenkirchen (Duitsland), tegen de Nederlandse grens in Zuid-Limburg. Voor deze vliegbasis zijn in het kader van deze studie geluidberekeningen uitgevoerd (zie paragraaf 3.1).
2. Luik (België), ruim 20 km van de Nederlandse grens en ruim 36 km van Maastricht-Aachen Airport;
3. Niederrhein (Duitsland), tegen de Nederlandse grens en ongeveer 30 km van de vliegbasis Volkel;
4. Kleine-Brogel (België), minder dan 10 km van de Nederlandse grens en ongeveer 30 km van de luchthaven Eindhoven.

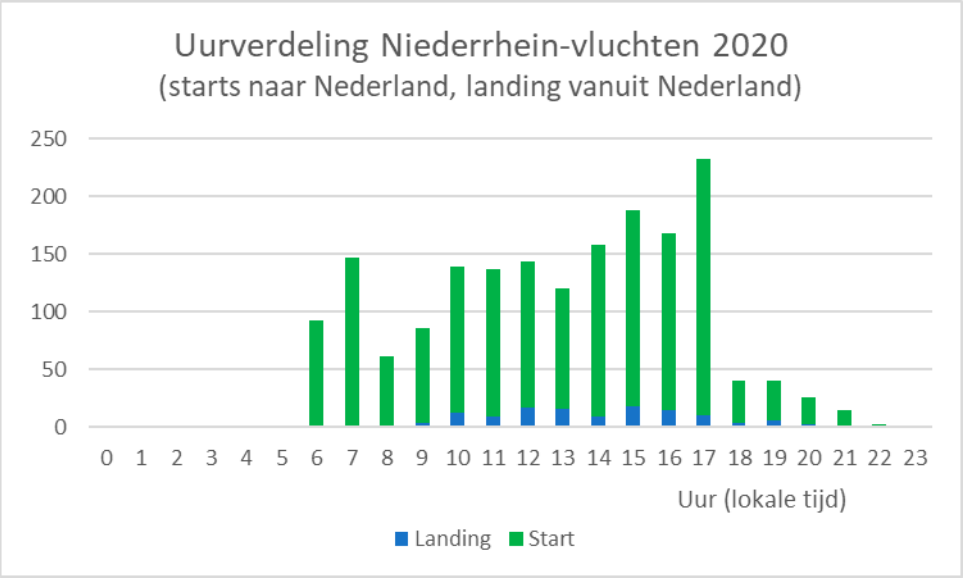
Naast de grotere buitenlandse luchthavens zijn er ook kleinere luchthavens, zowel in Nederland als net over de grens, waarvan het verkeer zou kunnen interfereren met de gebruikte rekengebieden. Deze luchthavens zijn in het kader van deze studie niet nader beschouwd.

Het vliegverkeer van Luik en Niederrhein is beschikbaar in het FANOMOS systeem van NLR. Op basis van deze gegevens is nader geïnventariseerd om hoeveel vliegtuigbewegingen het gaat, hoe die over de dag verdeeld zijn en hoe vaak er over Nederland wordt gevlogen.
Over verkeer vanaf de vliegbasis Kleine-Brogel zijn geen detailgegevens bekend. Wel laten radargegevens zien dat vliegverkeer van en naar deze basis plaatsvindt nabij de Nederlandse grens en ook boven Nederlands grondgebied. Zo wordt onder andere gevlogen in gebieden dicht bij de Belgische grens in Noord-Brabant hetgeen daar kan leiden tot hoorbaar geluid. Daarnaast vinden ook vliegtuigbewegingen over Nederlands grondgebied plaats, waarbij verkeer bijvoorbeeld richting Volkel of naar het noorden (richting Waddenzee) vliegt. In het laatste geval vliegt het verkeer doorgaans vanaf de vliegbasis, globaal over vliegbasis Gilze-Rijen, op grote hoogte in noordelijke richting.

4.2 Niederrhein

De luchthaven Niederrhein (ook wel Weeze) beschikt over één start- en landingsbaan, die in oost-west richting ligt (aanduiding 09-27). Omdat de luchthaven, ter hoogte van de gemeente Bergen (Limburg), net over de grens ligt betekent dit dat starts in westelijke richting en landingen uit het westen over Nederland zullen vliegen.

In 2020 waren er 1.675 starts in westelijke richting (90% vloog daadwerkelijk over Nederland) en 125 landingen uit het westen (95% over Nederland). Ter referentie: in 2019 waren dit er respectievelijk 4.000 en 520. De verdeling van vluchten is in Figuur 7 weergegeven.



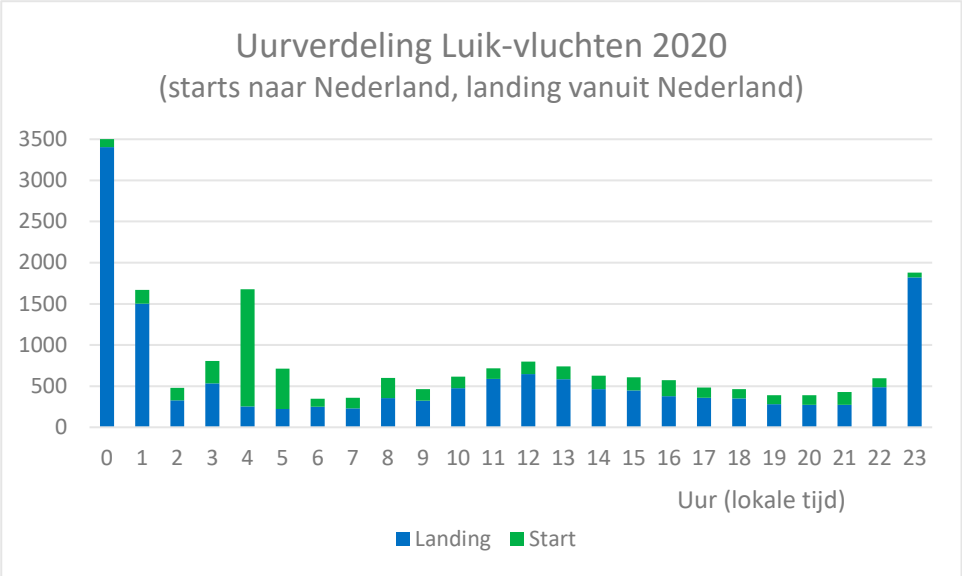
Figuur 7: Verdeling vliegtuigbewegingen Niederrhein (alle starts naar Nederland en landing vanuit Nederland)

Startend verkeer draait kort na de start een bocht richting het noorden waardoor het verkeer snel weer boven Duits grondgebied komt en waardoor het geluid met name hoorbaar is in het gebied ten oosten van Bergen en Nieuw-Bergen. Landend verkeer komt vanuit diverse richtingen waarbij het laatste deel van de nadering in een rechte lijn over de gemeente Bergen naar de luchthaven vliegt. Eerder in de naderingen komt verkeer op grotere hoogte ook over woonplaatsen zoals Gennep en Venray.

4.3 Luik

De luchthaven Luik in België beschikt over twee parallelle start- en landingsbanen, die in de richting noordoost-zuidwest liggen (aanduiding 04L-22R en 04R-22L). De luchthaven ligt op ongeveer 20 kilometer van de grens, ten zuidwesten van Maastricht. Dit geeft met name voor startend verkeer richting Nederland de mogelijkheid om af te buigen voordat Nederland wordt overvlogen. Hierbij geldt dat ook vluchten vlak langs de Nederlandse grens hoorbaar kunnen zijn, vooral tijdens de stillere uren van het etmaal (dat wil zeggen, periodes waarin het niveau van het achtergrond geluid laag is, waardoor het vliegtuiggeluid beter hoorbaar is). Het landende verkeer vanuit het noordoosten, of startend naar net noordoosten, komt deels over Zuid-Limburg, waarbij bijvoorbeeld de gemeente Eijsden-Margraten kan worden overvlogen.

In 2020 waren er 5.125 starts in noordoostelijke richting (10% vloog daadwerkelijk over Nederland) en 14.830 landingen uit het noordoosten (11% over Nederland). Ter referentie: in 2019 waren dit vergelijkbare aantallen, respectievelijk 4.710 en 14.700. De verdeling van vluchten is in Figuur 8 weergegeven.



Figuur 8: Verdeling vliegtuigbewegingen Luik (alle starts richting Nederland en landing vanuit de richting Nederland)

Figuur 8 laat zien dat een aanzienlijk deel van het verkeer gedurende de nacht plaats vindt. Omdat in die periode weinig tot geen verkeer plaatsvindt op de luchthavens van Maastricht en Geilenkirchen zal verkeer van en naar Luik een belangrijke bijdrage leveren aan de hinder en slaapverstoring in Zuid-Limburg ten gevolge van nachtelijk vliegverkeer.

5 Referenties

1. RMI; Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu, van 13 oktober 2014, nr. IENM/BSK-2014/214652.
2. Versie 12.3 Appendices rekenvoorschrift geluidbelasting vliegtuigen, Ministerie van Infrastructuur en Milieu; 15 oktober 2014; IENM/BSK-2014/222125.
3. Voorschrift voor de berekening van de Lden-geluidbelasting in dB(A) voor overige burgerluchthavens, Bijlage 1 als bedoeld in artikel 4 van de Regeling burgerluchthavens, mei 2012.
4. Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidbelasting in Lden voor de overige burgerluchthavens bedoeld in artikel 8.1 van de Wet luchtvaart. Geluidsniveaus, prestatiegegevens en indeling naar categorie (versie 13.3), NLR-CR-96650, Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium, G.J.T. Heppe, oktober 2015.
5. B.J. Hoekerswever, *De geluidbelasting rondom de vliegbasis Leeuwarden voor het jaar 2020*, NLR-CR 2021 014 Hzv 1, april 2 021.
6. B.J. Hoekerswever, *De geluidbelasting rondom het Maritiem Vliegkamp De Kooy voor het jaar 2020*, NLR-CR-2021-017, mei 2021.
7. B.J. Hoekerswever, *De geluidbelasting rondom de vliegbasis Deelen voor het jaar 2020*, NLR-CR-2021-016, mei 2021.
8. C.Q. Diekman, *De geluidbelasting rondom de vliegbasis Volkel voor het jaar 2020*, NLR-CR-2021-013, maart 2021.
9. B.J. Hoekerswever, *De geluidbelasting rondom de militaire luchthaven Eindhoven voor het jaar 2020*, NLR-CR-2021-011, januari 2021.
10. C.Q. Diekman, *De geluidbelasting rondom de vliegbasis Woensdrecht voor het jaar 2020*, NLR-CR-2021-015, april 2021.
11. R. de Jong, *De geluidbelasting rondom de vliegbasis Gilze-Rijen voor het jaar 2020*, NLR-CR 2021 012, maart 2021.
12. R.H. Hogenhuis, *Berekening van de geluidbelasting op Nederlands grondgebied nabij de vliegbasis Geilenkirchen als gevolg van vliegverkeer in 2020*, NLR-CR-2021-044, april 2021.
13. S.J. Heblij, J. Derei, *Methodenrapport Doc29*, NLR-CR-2019-076

Appendix A Beschrijving rekengebieden

Deze appendix geeft een overzicht van de gebieden waarvoor geluidberekeningen zijn uitgevoerd. Tabel A 1 geeft informatie over de rekengebieden voor de verschillende luchthavens. De tabel toont de Rijksdriehoekscoördinaten van de hoekpunten van de grids en geeft aan wat de stapgrootte is (de afstand tussen de rekenpunten).

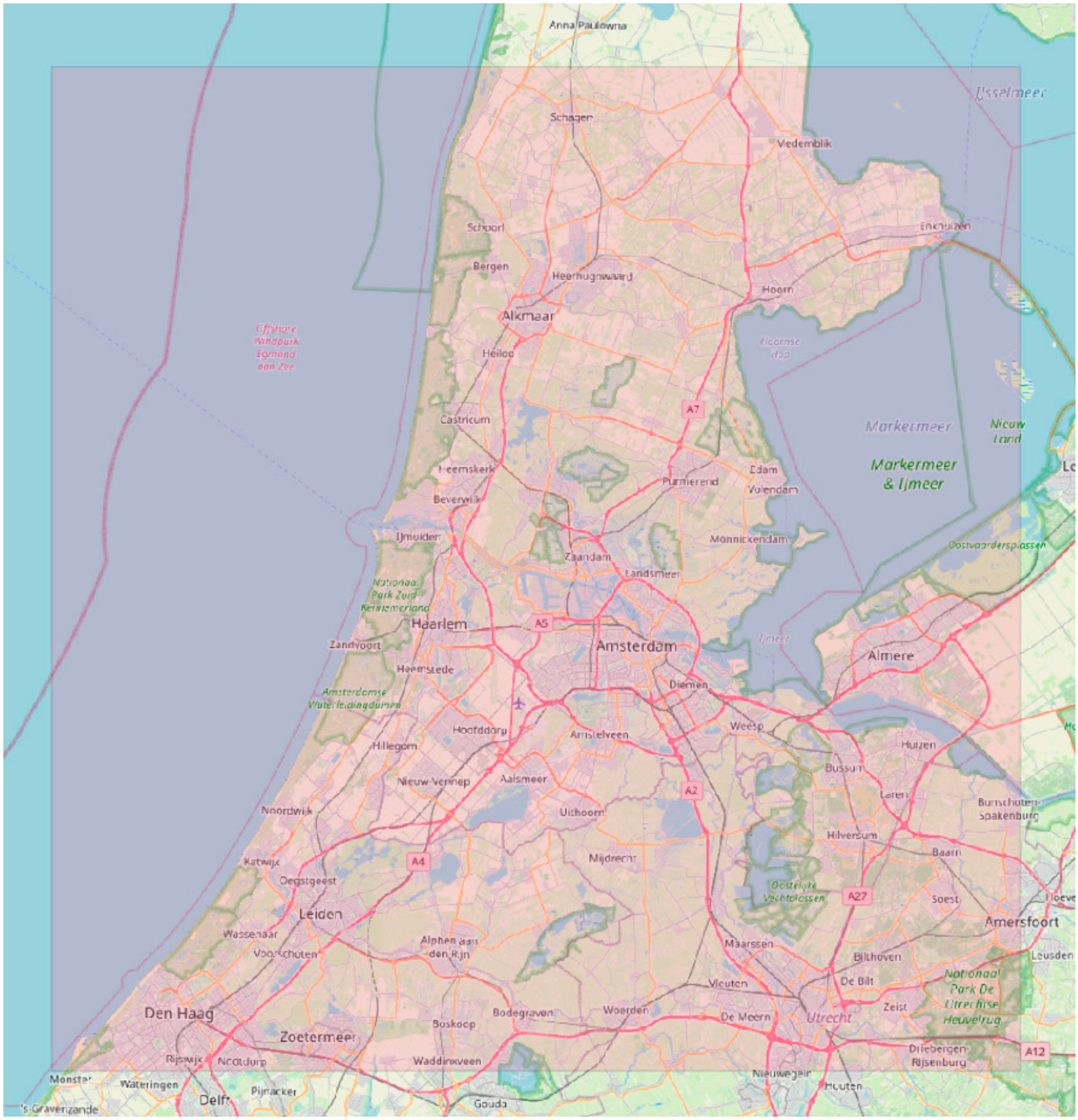
Tabel A 1: Beschrijving van gebruikte rekengebieden

Grid	x-links	x-rechts	y-onder	y-boven	stapgrootte
Schiphol	70.000	155.000	450.000	538.000	500[3]
Eelde	214.000	254.000	556.000	591.000	100
Lelystad Airport	138.000	212.000	481.000	521.000	100
Rotterdam the Hague Airport	65.000	128.000	420.000	455.000	100
Maastricht Aachen Airport	170.000	205.000	306.000	350.000	100
Leeuwarden	156.000	201.000	568.000	602.000	100
De Kooy	107.000	120.000	540.000	556.000	100
Deelen	185.000	191.000	449.000	456.000	100
Volkel	168.000	206.000	391.000	423.000	100
Eindhoven	135.000	180.000	363.000	406.000	100
Woensdrecht	77.000	95.000	375.000	397.000	100
Gilze-Rijen	112.000	132.000	381.000	411.000	100
Geilenkirchen	170.000	205.000	306.000	338.000	100

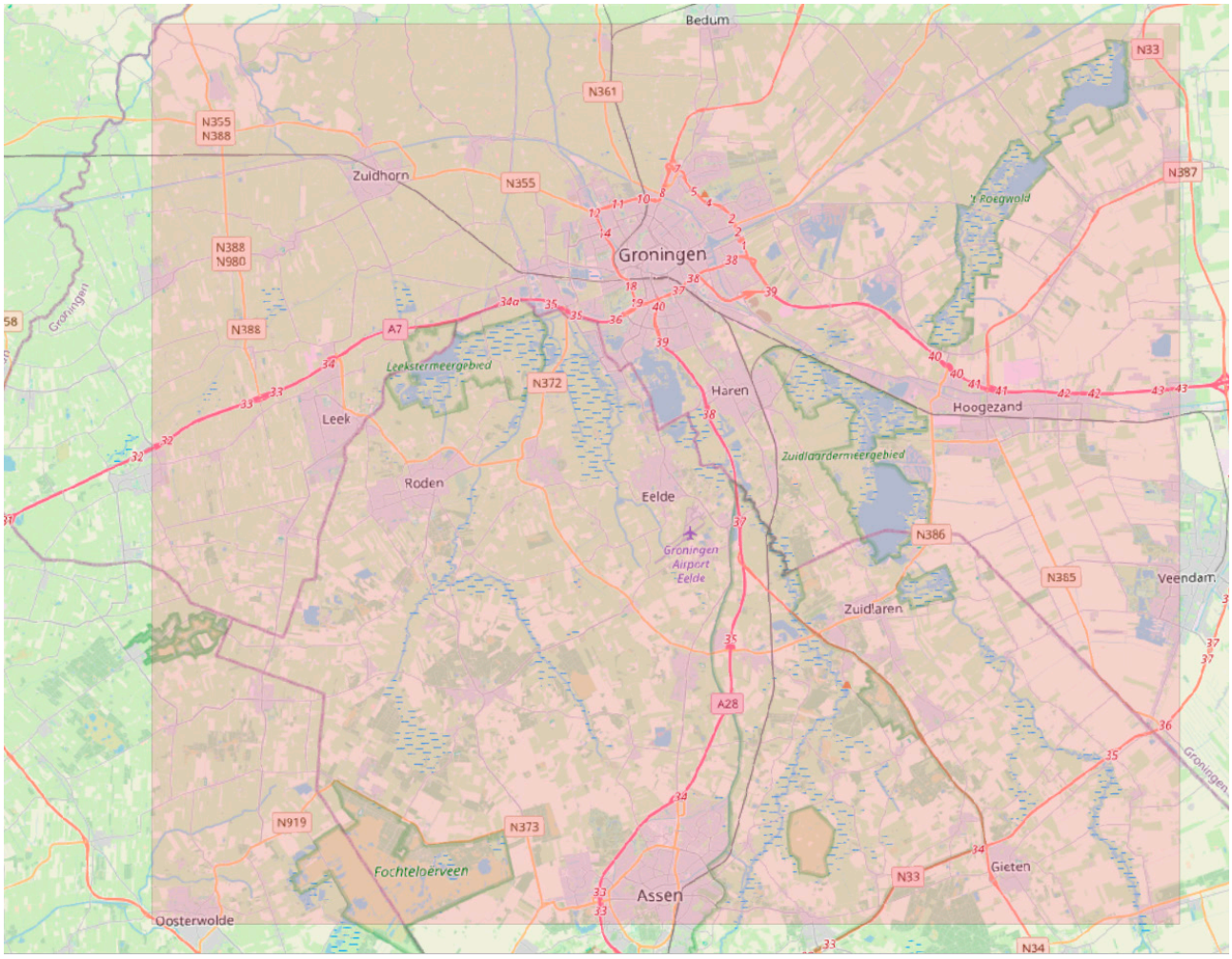
Figuur A 1 tot en met Figuur A 14 tonen de ligging van de rekengebieden van de uitgevoerde berekeningen.

[3] De uiteindelijke resultaten zijn door middel van interpolatie verfijnd naar een 100 bij 100 meter grid (zie paragraaf 3.3.4)

Figuur A 1: Totaaloverzicht van alle rekengebieden

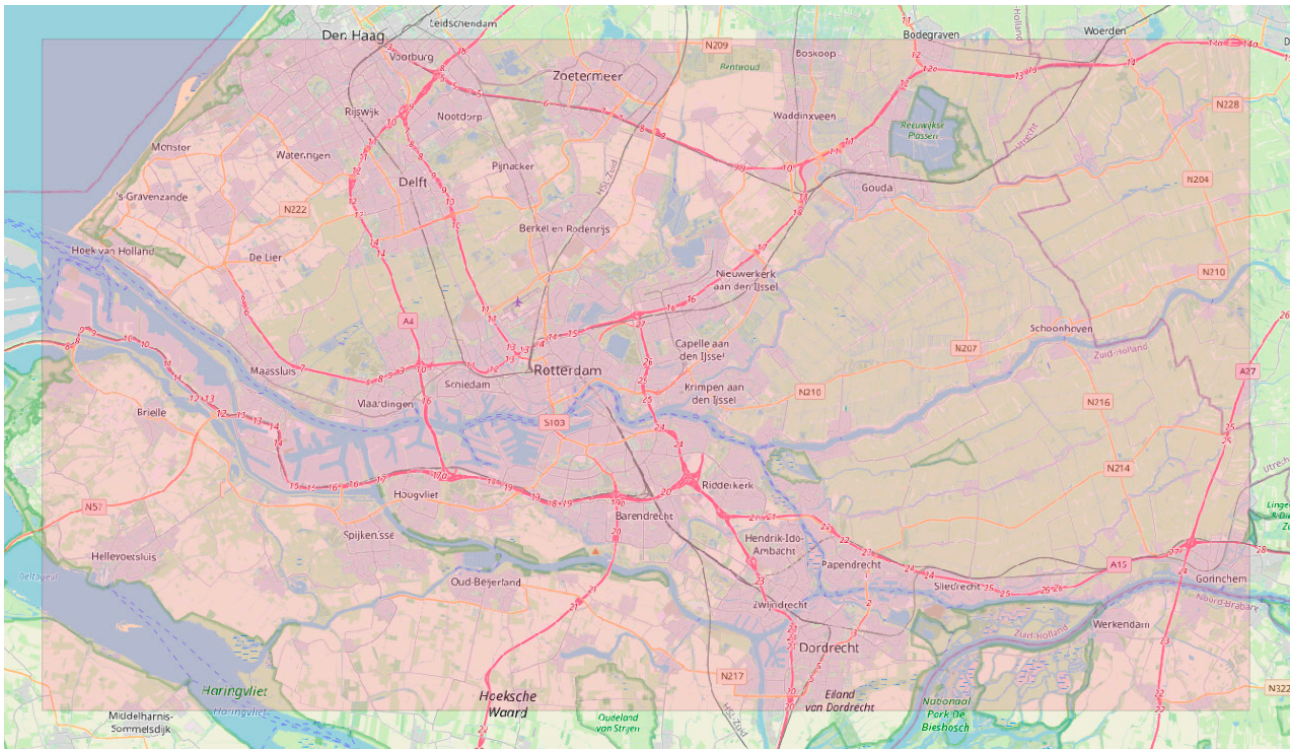


Figuur A 2: Rekengebied voor Schiphol

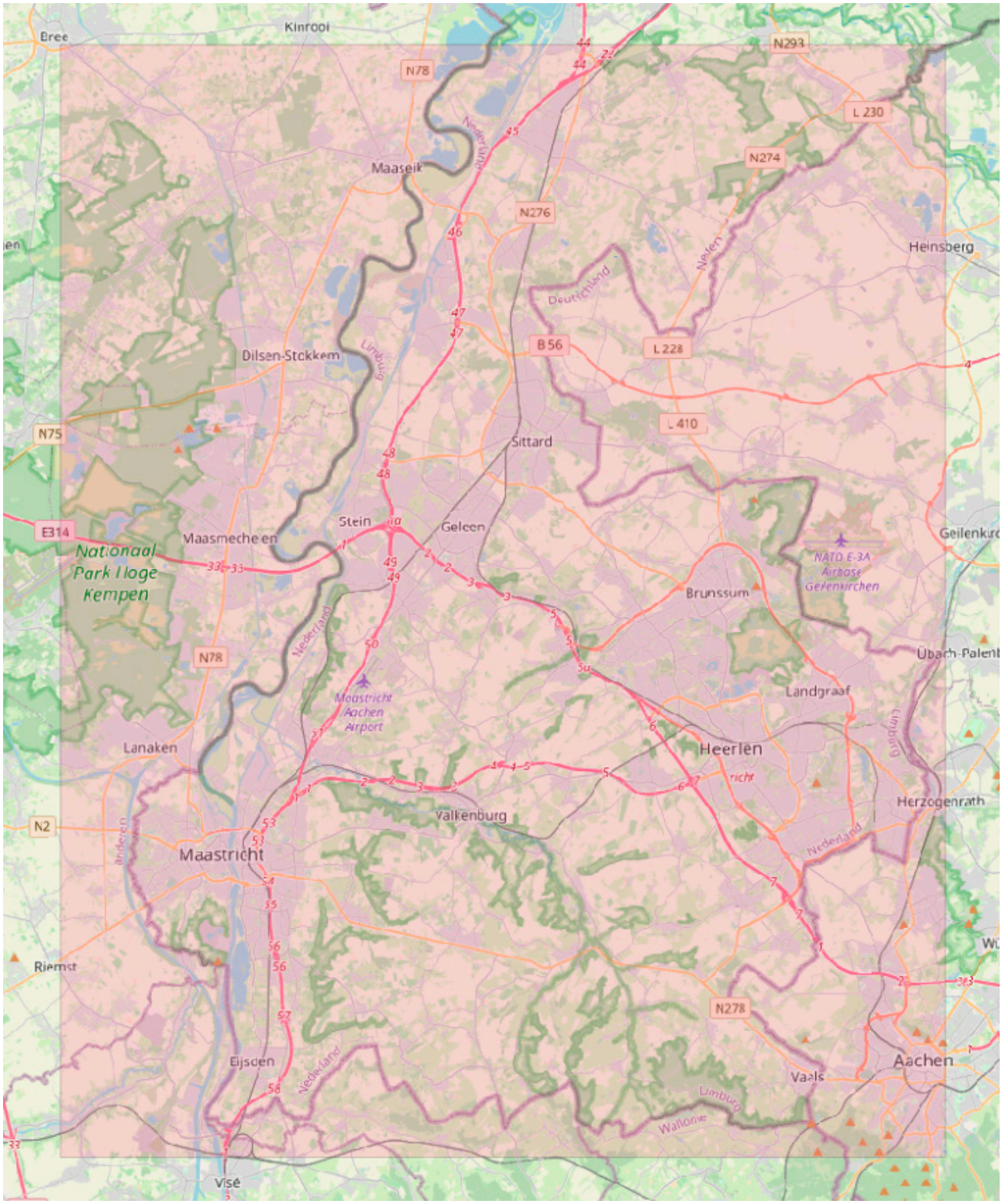


Figuur A 3: Rekengebied voor Eelde

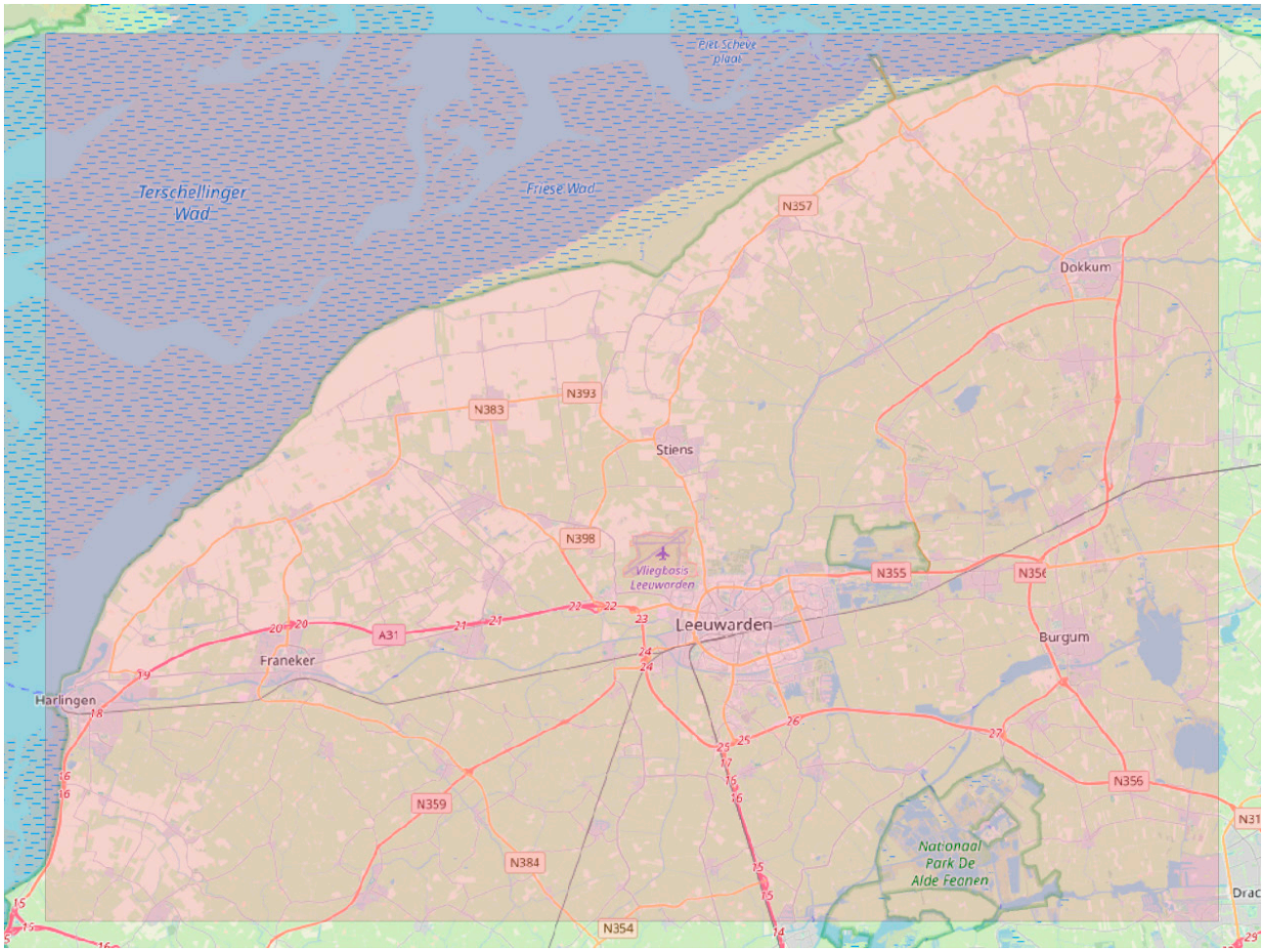
Figuur A 4: Rekengebied voor Lelystad Airport



Figuur A 5: Rekengebied voor Rotterdam the Hague Airport

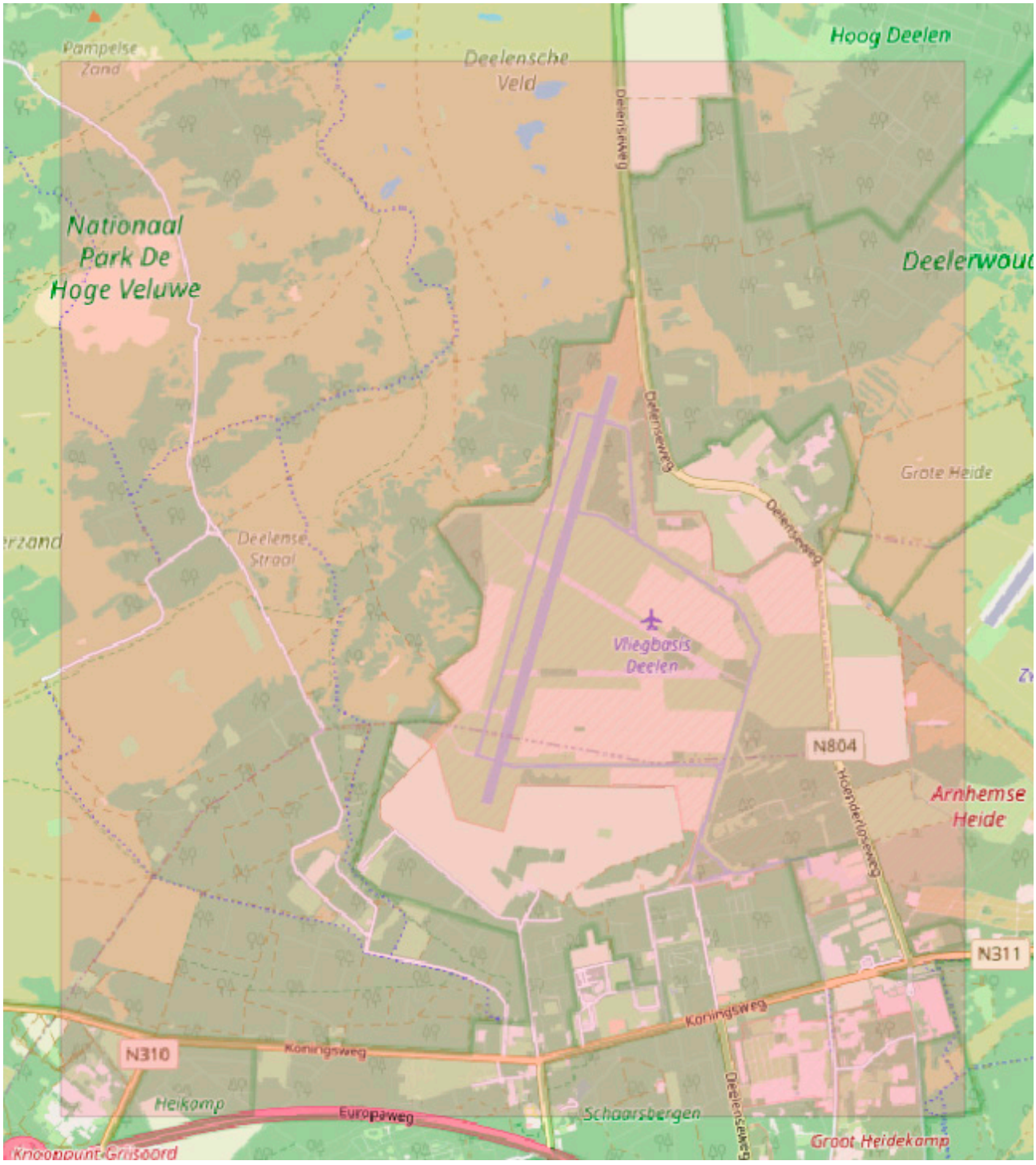


Figuur A 6: Rekengebied voor Maastricht Aachen Airport

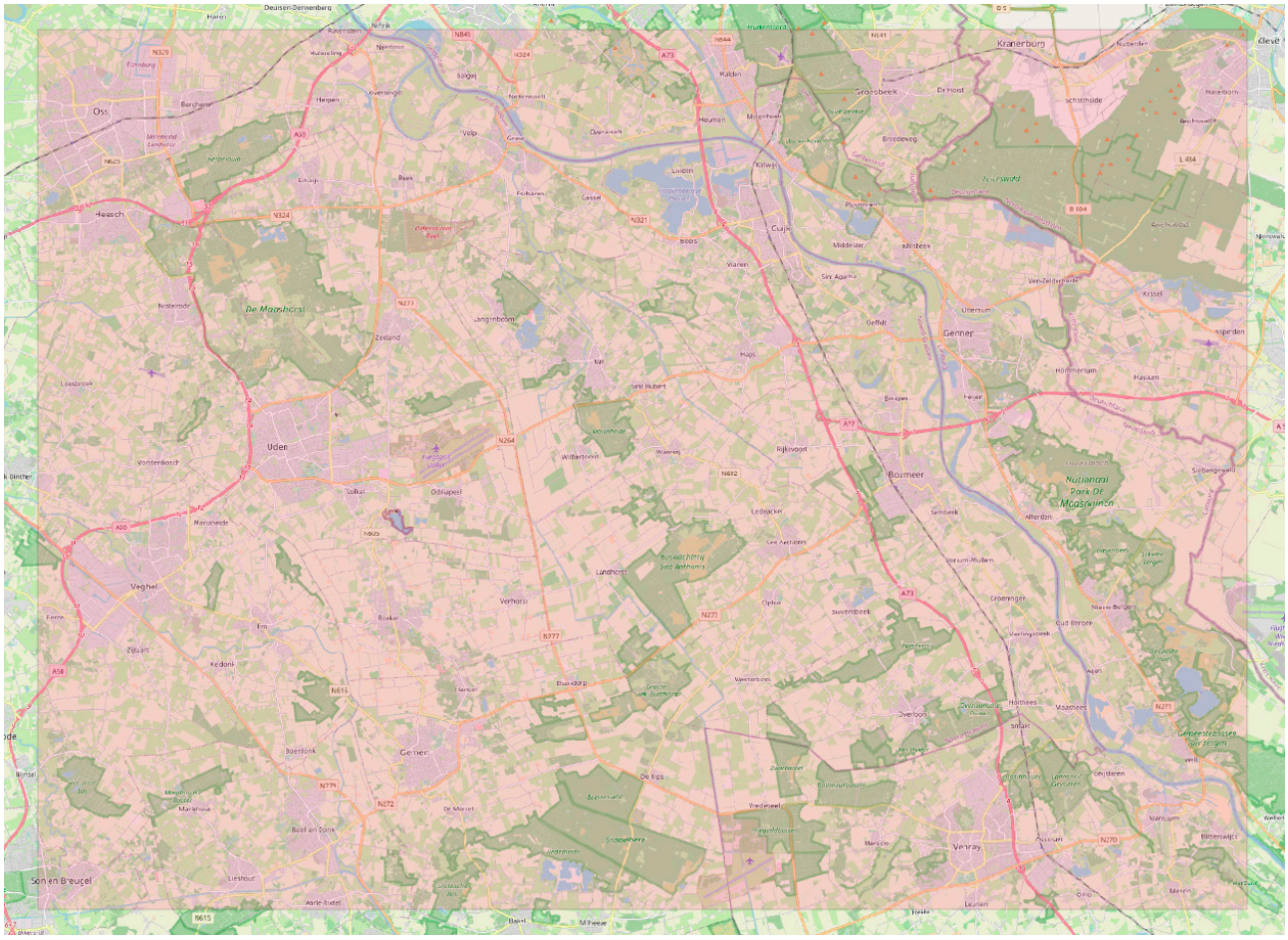


Figuur A 7: Rekengebied voor Leeuwarden

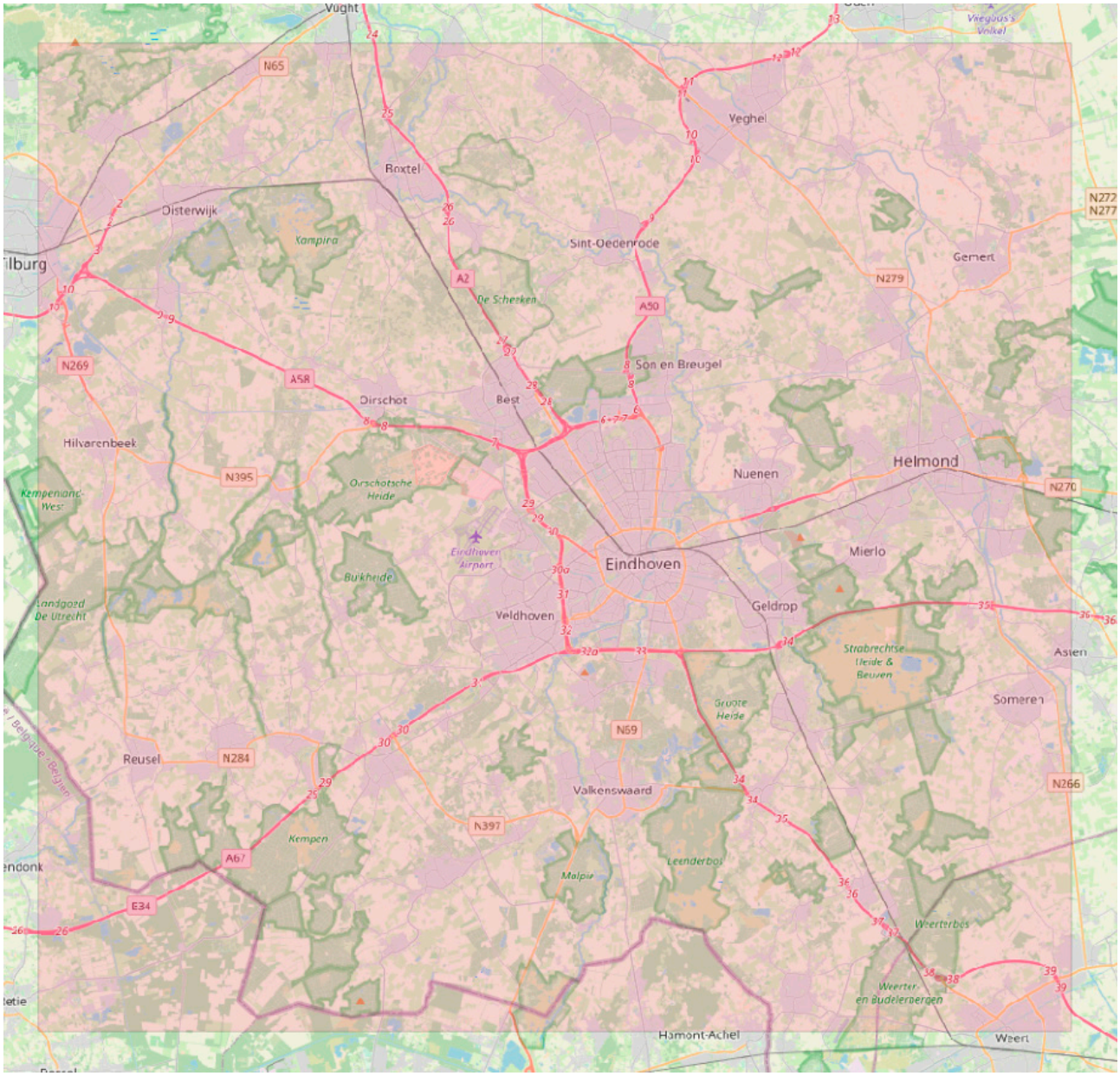
Figuur A 8: Rekengebied voor De Kooy



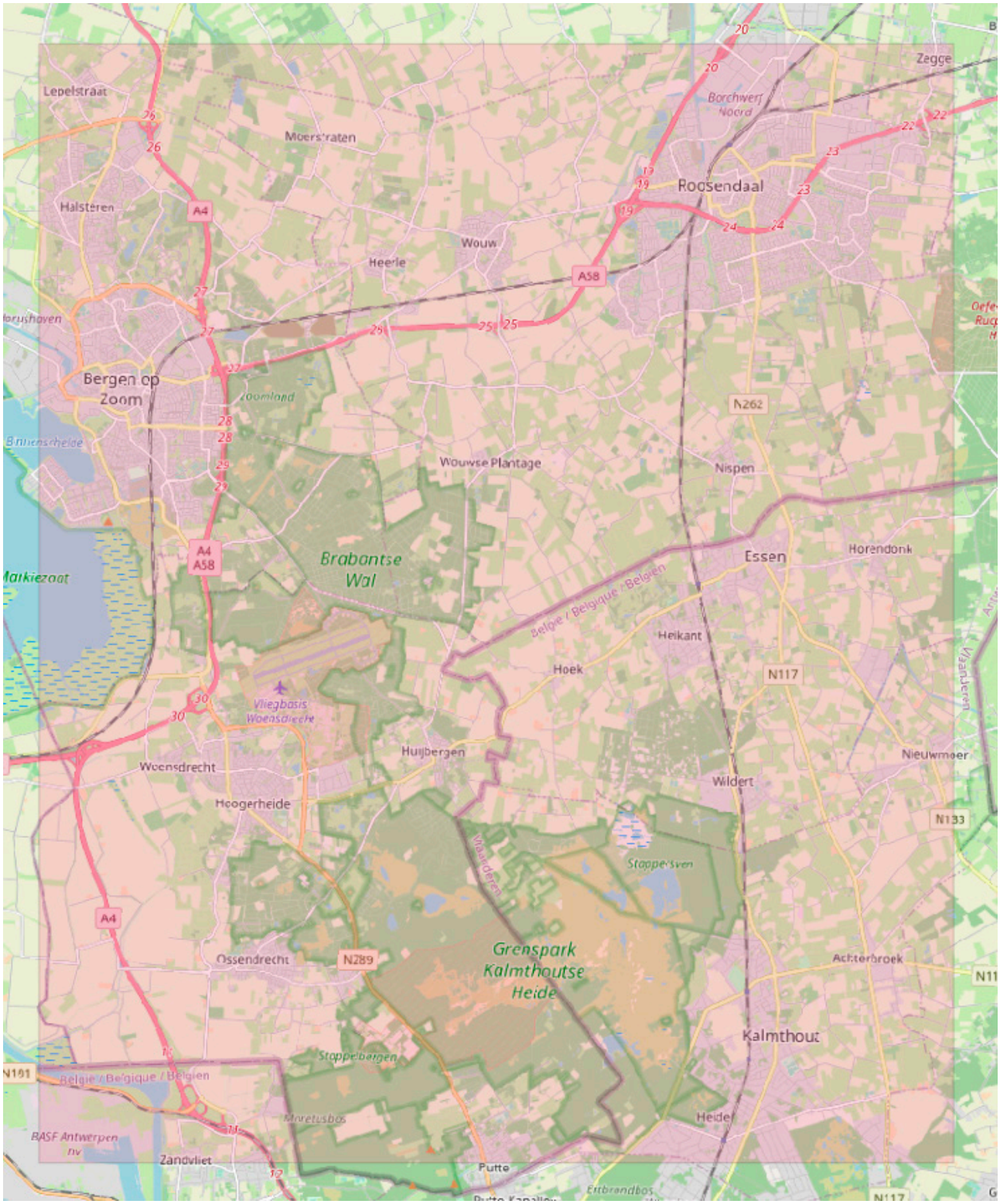
Figuur A 9: Rekengebied voor Deelen



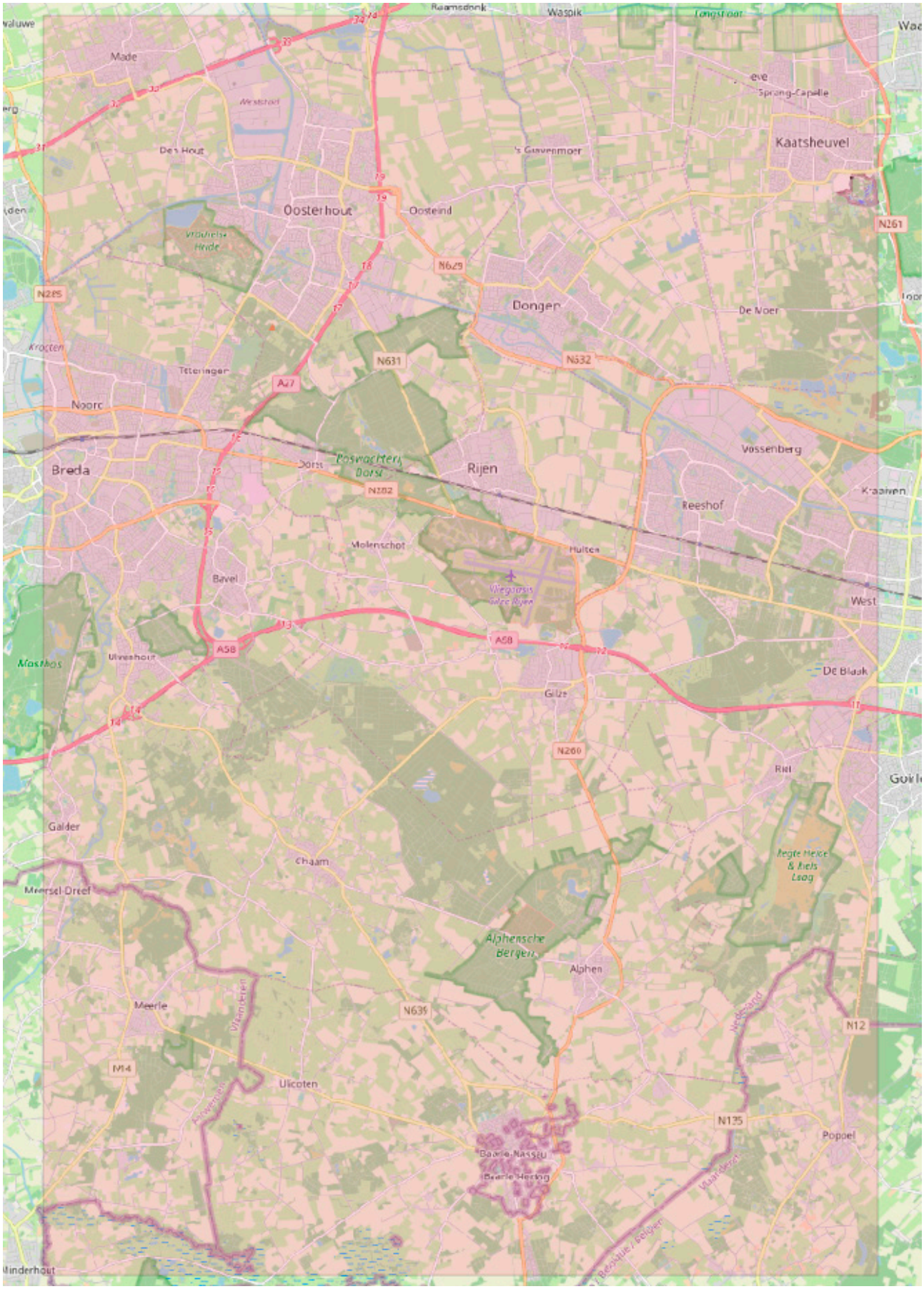
Figuur A 10: Rekengebied voor Volkel



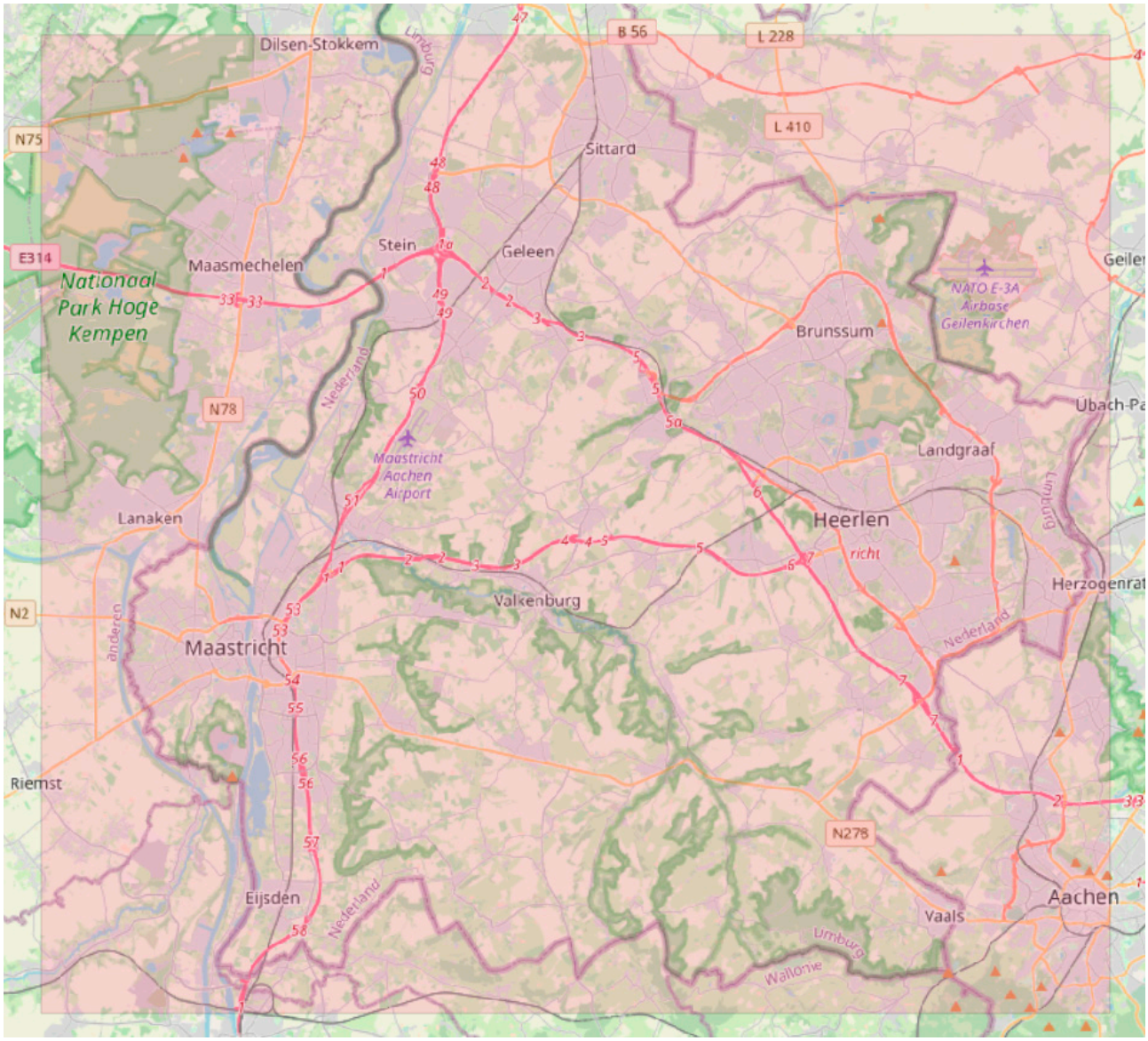
Figuur A 11: Rekengebied voor Eindhoven



Figuur A 12: Rekengebied voor Woensdrecht



Figuur A 13: Rekengebied voor Gilze-Rijen



Figuur A 14: Rekengebied voor Geilenkirchen

Dedicated to innovation in 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 kennisorganisatie met de diepgewortelde wil om te blijven vernieuwen en zet zich in voor een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart.
De combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en toonaangevende onderzoeksfaciliteiten, maakt snel innoveren mogelijk. NLR vormt in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbrugt de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk. Daarnaast werkt NLR als Groot Technologisch Instituut ruim tien jaar in de TO2-federatie samen aan toegepast onderzoek in Nederland.

Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en twee satellietvestigingen, draagt NLR bij aan een veilige en duurzame maatschappij en werkt met partners in vele (defensie)programma's, onder andere aan complexe composieten constructies voor verkeersvliegtuigen en aan doelgericht gebruik van het F-35-jachtvliegtuig. Daarnaast geeft NLR invulling aan Nederlandse en Europese (klimaat)doelstellingen conform de Luchtvaartnota, de European Green Deal, Flightpath 2050, en door deelname aan programma's zoals Clean Sky en SESAR.

Voor meer informatie bezoek: **www.nlr.nl**

Postal address
PO Box 90502
1006 BM Amsterdam, The Netherlands
e) info@nlr.nl **i)** www.nlr.org

Royal NLR
Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
p) +31 88 511 3113

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