Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2019-076 | november 2019

Methodenrapport Doc29

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

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

De werkzaamheden van het NLR beslaan het volledige spectrum van Research Development Test & Evaluation (RDT&E). Met zijn kennis en faciliteiten kunnen bedrijven terecht bij het NLR voor validatie, verificatie, kwalificatie, simulatie en evaluatie. Zo overbrugt het NLR de kloof tussen onderzoek en toepassing in de praktijk. Het NLR werkt zowel voor overheid als industrie in binnen- en buitenland. Het NLR staat voor praktische en innovatieve oplossingen, technische expertise en een lange termijn ontwerpvisie. Hierdoor vindt NLR's cutting edge technology zijn weg naar succesvolle lucht- en ruimtevaartprogramma's van OEM's zoals Airbus, Embraer en Pilatus. Het NLR draagt bij aan (defensie)programma's zoals ESA's IXV re-entry voertuig, de F-35, de Apache-helikopter en Europese programma's als SESAR en Clean Sky 2.
Opgericht in 1919 en met 600 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2017 een omzet van 76 miljoen euro. 81% hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

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

Dedicated to innovation in aerospace

Methodenrapport Doc29

Probleemstelling

In de afgelopen decennia werd de geluidbelasting veroorzaakt door het vliegverkeer van Schiphol berekend met het Nederlandse Rekenmodel (NRM). Naar aanleiding van een advies van de Commissie voor de milieueffectrapportage wordt dit model nu vervangen door een rekenmethode gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), ook wel bekend als ECAC Doc29. Dit is een voor Europa geharmoniseerde methode om de geluidbelasting rondom civiele luchthavens te bepalen. Hoewel de rekenmethode (of rekenkern) zelf vastligt, omvat een complete implementatie meer, zoals werkafspraken, vaste invoergegevens en nabewerkingstappen van de resultaten.

Beschrijving van de werkzaamheden

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het NLR in samenwerking met To70 een complete Doc29 implementatie voor Schiphol ontworpen. Deze implementatie omvat het totaal aan werkafspraken, de vaste invoergegevens, de rekenkern en de nabewerkingstappen van de resultaten.

RAPPORTNUMMER
NLR-CR-2019-076

AUTEUR(S)
S.J. Heblij
J. Derei

RUBRICERING RAPPORT
ONGERUBRICEERD

DATUM
november 2019

KENNISGEBIED(EN)
Vliegtuiggeluidseffecten op de omgeving

TREFWOORD(EN)
Doc29

Het ontwerpproces is vastgelegd in dit rapport. Voor veel van de beschreven elementen geldt dat tijdens het ontwerpproces meerdere oplossingsrichtingen zijn overwogen. Ook deze alternatieven worden, inclusief de gemaakte keuzes en bijbehorende afwegingen beschreven.

Resultaten

Dit rapport beschrijft diverse elementen van de implementatie, zoals de substitutie. Dit is de methode die bepaalt hoe een bepaald vliegtuigtype in de praktijk wordt gekoppeld aan een vliegtuigtype dat in het geluidmodel beschikbaar is. De methode is uitgewerkt in een substitutieprotocol. Ook wordt de afleiding van alle start- en naderingsprofielen behandeld. Deze vliegprestatiegegevens vormen een belangrijk onderdeel van de vaste invoergegevens die worden gebruikt bij het berekenen van de geluidbelasting. Een derde voorbeeld van een element dat is vastgelegd in dit rapport is de kalibratie van de dosis-effect-relaties. Deze relaties, die gebruikt worden om op basis van een berekende geluidbelasting hinder en slaapverstoring te voorspellen, waren origineel gebaseerd op een berekende geluidbelasting met NRM. Aangezien hinder of slaapverstoring op een bepaalde locatie niet zou mogen wijzigen door toepassing van een nieuw rekenmodel, zijn de relaties gekalibreerd voor het gebruik van Doc29.

Toepasbaarheid

Dit rapport kent meerdere mogelijke toepassingen. Het is in de eerste plaats een verantwoording voor de keuzes die zijn gemaakt tijdens het ontwerpproces. Daarnaast kan het als naslagwerk dienen bij toekomstige aanpassingen aan de implementatie. Verder kan het dienen als startpunt of voorbeeld op het moment dat op ECAC Doc29 wordt overgegaan bij andere luchthavens.

NLR
Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam
p) +31 88 511 3113
e) info@nlr.nl i) www.nlr.nl

Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2019-076 | november 2019

Methodenrapport Doc29

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR(S):

S.J. Heblij NLR
J. Derei NLR

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.

OPDRACHTGEVER	**Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat**
CONTRACTNUMMER	31142974
EIGENAAR	**Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat**
NLR DIVISIE	**Aerospace Operations**
VERSPREIDING	**Beperkt**
RUBRICERING TITEL	**ONGERUBRICEERD**

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	**REVIEWER**	**BEHERENDE AFDELING**
S.J. Heblij	A.B. Dolderman	M.J.A. van Eenige
DATUM	DATUM	DATUM

Inhoudsopgave

Afkortingen 6

1 Introductie 9
- 1.1 Aanleiding 9
- 1.2 Proces 9
- 1.3 Afbakening 10
- 1.4 Overzicht documentatie 11
- 1.5 Leeswijzer 12

2 Substitutie 13
- 2.1 Beschikbare methoden voor substitutie 13
- 2.2 Keuze substitutiemethode 14
- 2.3 Werking substitutieprotocol 16
  - 2.3.1 Benodigde gegevens voor substitutie 16
  - 2.3.2 Het substitutieprotocol 17
  - 2.3.3 Scoresysteem substitutie 18
  - 2.3.4 Correctiefactoren 19
- 2.4 Resultaten 20
  - 2.4.1 Voorbeelden van toegepaste substitutie 20
  - 2.4.2 Controle effectiviteit substitutie 20
- 2.5 Aanbevelingen 22

3 Afleiding profielen 24
- 3.1 Definities en condities 24
- 3.2 Afleiding startprofielen 25
  - 3.2.1 Methode afleiden profielen 26
  - 3.2.2 Aanpassing voor derating 30
  - 3.2.3 Resultaten 36
- 3.3 Afleiding naderingsprofielen 38
  - 3.3.1 Radartrackanalyse 39
  - 3.3.2 Aanpak en detailniveau 39
  - 3.3.3 Toewijzing van profielen 43
  - 3.3.4 Afleiding snelheidsprofielen 44
  - 3.3.5 Maximum snelheid en schaling 45
  - 3.3.6 Flap scheduling 45
  - 3.3.7 Afleiding stuwkrachtsverloop 46
  - 3.3.8 Transitiesegmenten 47
  - 3.3.9 Resultaten 47
- 3.4 Aanbevelingen 48

4 Hybride database 50
- 4.1 Brongegevens en verwerking 50
- 4.2 Clustering 52

4.2.1 Clusterniveau 52
4.2.2 Bijzonderheden clustering MER en gelijkwaardigheid 53
4.3 Kwaliteitsaspecten hybride databases 54
4.4 Methode vervangende en ontbrekende clusters 55
4.4.1 Grondpadselectie 55
4.4.2 Vliegtuiggegevens 56
4.4.3 Koppelen vliegtuiggegevens en grondpaden 56
4.4.4 Straal- en propellerverkeer 57
4.4.5 Niet aangemaakte clusters en correctiefactoren 58
4.5 Aanbevelingen 58

5 Contouren en tellingen 60
5.1 Aanleiding onderzoek contouralgoritme 60
5.2 Opties voor het contouralgoritme en telmethode 61
5.3 Onderzoek naar de verschillende opties 63
5.4 Beschrijving telproces 65

6 Correctie Dosis effect relatie 67
6.1 Opties en keuze methode 67
6.2 Herberekening realisatie gebruiksjaren 2004-2006 70
6.3 Kalibratie DER 70
6.3.1 Eerste kalibratie (Lden) 70
6.3.2 Tweede kalibratie (Lden) 72
6.3.3 Derde kalibratie (Lden) 73
6.3.4 Derde kalibratie Lnight 75
6.4 Resultaten 76
6.4.1 Extra analyses 76
6.4.2 Eindresultaat nieuwe DERs en beoordeling RIVM 77
6.5 Aanbevelingen 78

7 Instellingen 79
7.1 Correctie atmosferische demping geluidtabellen 79
7.2 Condities voor akoestische impedantie 79

Referenties 80

Appendix A Substitutie 82
Appendix A.1 Voorbeelden bepalen correctiefactoren startend verkeer 82
Appendix A.2 Referentiegegevens vliegtuigtypes 83
Appendix A.3 Voorbeelden substitutie 84
Appendix A.4 Lijst met overeenkomende fabrikantnamen 85

Appendix B Afleiding profielen 86
Appendix B.1 Derate varianten 86
Appendix B.2 Toegepaste derate-schema per vliegtuigtype 86
Appendix B.3 Generiek derate-schema 87

Appendix B.4 Varianten naderingsprofielen 87
Appendix B.5 Snelheidsschaling 88
Appendix B.6 Flapscheduling 89

Appendix C Technical Challenge 91
Appendix C.1 Extrapolatie startprofielen 91
Appendix C.2 Gemodelleerde vlieghoogte startend verkeer 93

Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AIP	Aeronautical Information Publication
AIRMOD	EAEG Aircraft Noise Modelling Task Group
ANP	Aircraft Noise and Performance
BADA	Base of Aircraft Data
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CDA	Continuous Descent Approach
DERs	Dosis-Effect-Relaties
EASA	European union Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
EGH	Ernstige Gehinderd
EPNdB	Effective Perceived Noise in decibel
ESV	Ernstig Slaapverstoord
ft	Feet (voet)
ICAO	International Civil Aviation Organization
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
ILS	Instrument Landing System
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
INM	Intergrated Noise Model
KLM	Koninklijke Luchtvaart Maatschappij
kts	Knots (knopen of zeemijl per uur)
lbf	Pounds-force (4,448 Newton)
LVNL	Luchtverkeersleiding Nederland
MER	Milieu Effect Rapport
MDG	Modelling and Databases Group
MHG	Maximale Hoeveelheid Geluid
min	Minuut
MTOM	Maximum Take Off Mass
MTOW	Maximum Take Off Weight
NADP	Noise Abatement Departure Procedure
NNHS	Nieuwe Normen en Handhavingsstelsel
NRM	Nederlandse Rekenmodel
ORS	Omgevingsraad Schiphol
RF	Reduced Flap
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RMI	Regeling Milieu-Informatie Schiphol

TARs	Terminal Approach Radars
UK CAA	United Kingdom Civil Aviation Authority
VVC	Verfijnde Vloot Classificatie

Deze pagina is opzettelijk blanco.

1 Introductie

1.1 Aanleiding

In verband met het Nieuwe Normen en Handhavingsstelsel (NNHS) stelt Amsterdam Airport Schiphol een Milieu Effect Rapport (MER) op. Aanvankelijk werden de geluidberekeningen voor dit MER uitgevoerd met het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid en de bijbehorende invoergegevens [Ref 1,2]. In een tussentijds advies van augustus 2016 adviseerde de Commissie voor de milieueffectrapportage om de methoden aan te passen waarmee het effect van bepaalde procedurewijzigingen op de geluidbelasting rond luchthaven Schiphol wordt berekend.

Dit advies was aanleiding voor de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat om het NRM te vervangen door een rekenmethode gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), ook wel bekend als ECAC Doc29 [Ref 3,4,5]. ECAC Doc29 beschrijft een voor Europa geharmoniseerde methode om de geluidbelasting rondom civiele luchthavens te bepalen. Het document beschrijft vooral de *Doc29 rekenmethode* (of rekenkern) tot in detail en is wat dat betreft te vergelijken met het rekenvoorschrift voor het NRM.

Het resultaat van een geluidberekening is echter niet alleen afhankelijk van de rekenkern: ook de invoergegevens en de nabewerking van het resultaat zijn belangrijk. De invoergegevens, voorschriften en werkwijzen die tot nu toe werden gebruikt voor berekeningen met het NRM zijn slechts beperkt bruikbaar voor berekeningen met ECAC Doc29. Daarnaast was de introductie van een nieuwe rekenmethode een logisch moment om te kijken waar er kansen lagen om de berekening van de geluidbelasting te verbeteren en te moderniseren.

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het NLR in samenwerking met To70 daarom een complete *Doc29 implementatie* voor Schiphol ontworpen. Deze implementatie omvat het totaal aan werkafspraken, de vaste invoergegevens, de rekenkern en de nabewerkingstappen van de resultaten.

Het doel van dit rapport is het vastleggen van het ontwerpproces van de Doc29 implementatie. De focus ligt hierbij op invoergegevens en de nabewerkingen van het resultaat. De rekenkern zelf ligt immers al vast in de vierde editie van ECAC Doc29 [Ref 4]. Dit rapport beschrijft niet alleen het eindresultaat van de ontworpen implementatie. Tijdens het ontwerpproces zijn voor de meeste elementen meerdere oplossingsrichtingen overwogen. Ook deze alternatieven worden, inclusief de gemaakte keuzes en bijbehorende afwegingen beschreven.

1.2 Proces

Bij de ontwikkeling van de Doc29 implementatie voor Schiphol waren diverse partijen betrokken. Vanuit de vier partijen met de meeste betrokkenheid, namelijk het ministerie, NLR, To70 en Schiphol is een kernteam geformeerd. Het ministerie was hierin de opdrachtgever, het NLR de ontwikkelaar en To70 de controlerende en adviserende partij. Schiphol was aangesloten vanwege de relatie met het MER NNHS, als expert en als primaire gebruiker van de nieuwe implementatie. Op enkele specifieke onderdelen hebben zowel Schiphol als To70 ook bijdrages geleverd aan de ontwikkeling. Op de onderdelen waarbij dit het geval is, wordt dat in dit rapport specifiek benoemd.

Daarnaast zijn door het ministerie sessies met experts/gebruikers georganiseerd met vertegenwoordigers van een aantal aanvullende partijen. Dit waren de Commissie voor de mer, de ORS, LVNL, KLM, Frontier en Adecs Airinfra. Het doel van deze sessies was om vanuit deze partijen te peilen in hoeverre verdere verbeteringen en detailleringen van de modellering wenselijk waren en in hoeverre deze aanpassingen de praktische uitvoerbaarheid van de methode in de weg zouden kunnen staan. Een gedeelte van de ontwerpbeslissingen is tijdens of naar aanleiding van deze overleggen met experts genomen.

Nadat het ontwerpproces was afgerond is de nieuwe implementatie in juni 2017 gepresenteerd in het delegatieoverleg van de Omgevingsraad Schiphol (ORS). Op 7 juli 2017 heeft het College van Advies van de ORS ingestemd met de Doc29 implementatie voor Schiphol.

Hoewel deze instemming het einde markeerde van het ontwerpproces, zijn een aantal van de gemaakte keuzes in het najaar van 2018 nog ter sprake gekomen in de Technical Challenge (TC) van het MER NNHS. Deze Technical Challenge betrof een extra, onafhankelijke technische controle, georganiseerd door Schiphol om de kwaliteit van de berekeningen in het kader van het MER te borgen. Opmerkingen en discussies in relatie tot de TC zijn niet in de hoofdtekst van dit rapport verwerkt, maar apart opgenomen in Appendix C.

1.3 Afbakening

Het doel van de opdracht was het ontwerpen van een implementatie van ECAC Doc29 voor de luchthaven Schiphol. Het belangrijkste element hierin was het opstellen van een transparante, eenduidige methode om de geluidbelasting te bepalen, specifiek in het gebied dat voor de normering en handhaving relevant is. Dit is het gebied vanaf de grens van het luchthaventerrein tot aan de 48 dB(A) Lden of 40 dB(A) Lnight contour.

De implementatie is specifiek afgestemd op Schiphol. De keuzes die hierbij zijn gemaakt zijn niet automatisch ook de voor de hand liggende keuzes voor andere nationale luchthavens. Grote delen van de implementatie zijn namelijk afgestemd aan de hand van praktijkgegevens afkomstig van de vliegoperatie op Schiphol. Op het moment dat praktijkgegevens van andere luchthavens zouden zijn gebruikt, zou het resultaat anders zijn geweest. Verder geldt dat bij het ontwerp van de implementatie rekening is gehouden met de beschikbaarheid van gegevens. Voor andere luchthavens zijn mogelijk minder gegevens beschikbaar, waardoor het kan zijn dat de voor Schiphol gehanteerde implementatie praktisch niet uitvoerbaar is op deze andere luchthavens.

Verder geldt nog dat ECAC Doc29 niet geschikt is voor het bepalen van de geluidbelasting als gevolg van vliegbewegingen van helikopters[1]. Op dit moment wordt het gebruik van een alternatief rekenmodel voor helikopters onderzocht. Dat rekenmodel is echter nog niet uitontwikkeld en een implementatie voor gebruik op Schiphol is dan ook nog niet beschikbaar.

[1] Helikopters zijn als geluidbron veel complexer dan vliegtuigen met vaste vleugels en worden ook op een andere manier geopereerd. Ook zijn er relatief grote verschillen tussen verschillende type helikopters. Deze aspecten zorgen ervoor dat helikopters niet goed gerepresenteerd kunnen worden in Doc29 [Ref. 3, Appendix B3]

1.4 Overzicht documentatie

Er zijn diverse publicaties die een relatie hebben met dit rapport. Hieronder volgt een overzicht van deze (aanstaande) publicaties.

1. To70 presentatie “Delegatieoverleg Doc29 – Geluidbelasting op basis van Doc29 en actualisatie gelijkwaardigheid” van juni 2017. Deze presentatie geeft een samenvatting van de implementatie, een overzicht van vergelijkende resultaten en van de actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming.
2. NLR Rapport “Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen” van oktober 2018 [Ref 6]. In dit rapport wordt een trendvalidatie van de nieuwe implementatie beschreven. Hiervoor worden trends in de berekende geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer gevalideerd met trends in de geluidbelasting op basis van metingen.
3. UK CAA Rapport “Peer Review of Noise Modelling using ECAC Doc. 29 for Amsterdam Schiphol Airport” van oktober 2018 [Ref 12]. Dit rapport beschrijft het resultaat van een onafhankelijke beoordeling van de Doc29 implementatie.
4. Schiphol Group Rapport “MER ‘Nieuw Normen- en Handhavingsstelsel Schiphol’ 2018” concept van november 2018. [Ref 15]. Dit rapport bevat geactualiseerde resultaten van het MER, waarbij voor de bepaling van de geluidbelasting gebruik is gemaakt van de Doc29 implementatie voor Schiphol.
5. NLR Rapport “Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol - Methode zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol” van februari 2019 [Ref 7]. Dit rapport heeft veel overeenkomsten met voorliggend rapport. Een belangrijk verschil is echter dat alleen het eindresultaat wordt beschreven en het minder detail bevat over de gemaakte keuzes.
6. De “Regeling Milieu Informatie Schiphol” [Ref 17]. De aanpassing van deze bestaande regeling in verband met de formele invoering van het NNHS en de implementatie van Doc29 is momenteel in voorbereiding.
7. To70 Rapport “Gelijkwaardige bescherming omgeving Schiphol – Actualisatie gelijkwaardigheidscriteria Schiphol” (in voorbereiding).
8. To70 rapportage over de analyse van de verschillen in geluidbelasting tussen het NRM en Doc29 (in voorbereiding).

Dit rapport beschrijft alleen de implementatie zelf en geeft daarmee een overzicht van de methodes zoals toegepast binnen de Doc29 implementatie voor Schiphol. De doelgroep van dit rapport zijn lezers die redelijk goed ingevoerd zijn in de berekeningsmethoden van vliegtuiggeluid. Voor minder goed ingevoerde lezers is de hierboven genoemde publicatie 5 wellicht een beter alternatief.

Dit rapport bevat slechts zeer beperkt resultaten van de nieuwe implementatie van het model. Voor resultaten, vergelijkingen met het NRM en de actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming wordt verwezen naar de hierboven genoemde publicaties 1, 2, 7 en 8.

1.5 Leeswijzer

Alle volgende hoofdstukken van dit rapport beschrijven onderdelen van de nieuwe Doc29 implementatie voor Schiphol. Hoofdstuk 2 beschrijft de substitutie. Dit is de methode die bepaalt hoe een bepaald vliegtuigtype in de praktijk word gekoppeld aan een vliegtuigtype dat in het geluidmodel beschikbaar is, de zogenaamde proxy. De gekozen methode voor de substitutie is uitgewerkt in een substitutieprotocol. Dit is een protocol dat als doel heeft dat de keuze voor een bepaalde proxy eenduidig verloopt en niet afhankelijk is van de inzichten van diegene die de substitutie uitvoert.

Hoofdstuk 3 behandelt de afleiding van alle start- en naderingsprofielen die zijn opgesteld. Voor startend verkeer is de opgestelde set met profielen redelijk vergelijkbaar met de set die beschikbaar is voor het NRM. Belangrijk verschil is echter dat een kalibratie van de profielen op basis van radargegevens heeft plaatsgevonden. Hierdoor sluiten de profielen beter aan bij de praktijk. Voor naderingen is de set met profielen veel uitgebreider dan bij het NRM. Op basis van een analyse van het hoogteverloop uit radargegevens kan nu voor elke in praktijk uitgevoerde vlucht het best bijpassende profiel worden geselecteerd.

Hoofdstuk 4 geeft een beschrijving van gebruikte hybride databases of hindersomdatabases. Deze databases zijn in principe niet anders dan bij het NRM, maar de clustering (het aggregatieniveau) is voor berekeningen met Doc29 wel aangepast. Verder werd in het verleden bij het ontbreken van clusters altijd teruggevallen op een geluidberekening op basis van gemodelleerde routes. In dit geval is echter een methode ontwikkeld voor het reconstrueren van ontbrekende clusters. Dit wordt gedaan op basis van gegevens van vluchten die, ondanks dat ze tot andere clusters behoren, wel representatief zijn voor het betreffende cluster.

In hoofdstuk 5 worden twee nabewerkingsstappen behandeld, namelijk het maken van contouren en het uitvoeren van tellingen van woningen, ernstig gehinderde personen en ernstig slaapverstoorde personen. Beide nabewerkingen werden ook toegepast binnen het NRM en in principe was het niet nodig geweest de gebruikte methoden aan te passen. Er waren echter redenen om opnieuw naar de achterliggende methoden van deze nabewerkingsstappen te kijken en de gebruikte methoden te moderniseren.

Hoofdstuk 6 beschrijft de kalibratie van de dosis-effect-relaties. Deze relaties, die gebruikt worden om op basis van een berekende geluidbelasting hinder en slaapverstoring te voorspellen, waren origineel gebaseerd op een berekende geluidbelasting met NRM. Bij het opstellen van de relaties is namelijk zelf gerapporteerde hinder uit de enquêtes gecorreleerd aan een met NRM berekende geluidbelasting. Aangezien hinder of slaapverstoring op een bepaalde locatie niet zou mogen wijzigen door toepassing van een nieuw rekenmodel, zijn de relaties gekalibreerd voor het gebruik van Doc29.

In hoofdstuk 7 worden de toegepaste instellingen van de Doc29 rekenmethode behandeld. Dit betreft het corrigeren van de geluidtabellen naar een specifieke atmosferische demping en de toegepaste condities voor de correctie van de akoestische impedantie.

2 Substitutie

Voor een geluidberekening zijn geluid- en vliegprestatiegegevens nodig van verschillende vliegtuigtypen. ECAC Doc29 wordt beschikbaar gesteld samen met een database van deze geluid- en vliegprestatiegegevens. Deze zogenaamde Aircraft Noise and Performance (ANP) Database wordt beheerd door EUROCONTROL en bevat gegevens voor een groot aantal verschillende vliegtuigtypes.

In de luchtvaart zijn echter veel verschillende vliegtuigtypen in gebruik. Daarnaast kan één vliegtuigtype met verschillende motortypes zijn uitgerust, wat invloed kan hebben op de geluidniveaus en de vliegprestaties. Niet van alle combinaties van vliegtuigtype en motortype zijn de voor de geluidberekening benodigde geluid- en prestatiegegevens beschikbaar in de ANP database. Daarom ontstaat er de noodzaak om voor de vliegtuigtypes (of vliegtuig/motortypecombinaties) die hebben gevlogen en/of in de toekomst worden verwacht, te bepalen welke modelgegevens worden toegepast. Het koppelen van een vliegtuigtype uit de praktijk aan een 'modeltype' waarvoor de benodigde gegevens beschikbaar zijn wordt substitutie genoemd.

Het uitvoeren van de substitutie kan op verschillende manieren. Paragraaf 2.1 gaat in op de verschillende methoden die zijn overwogen. Vervolgens bespreekt paragraaf 2.2 de keuze voor één van deze methoden, inclusief de gemaakte afwegingen. Ook wordt hier uitgelegd waarom de gekozen methode verder is uitgewerkt in de vorm van een protocol. Het protocol zelf wordt besproken in paragraaf 2.3. Ten slotte presenteert paragraaf 2.4 enkele resultaten en wordt daarbij de werking van het protocol getoetst. Daarnaast worden enkele aanbevelingen gegeven voor de toekomst.

2.1 Beschikbare methoden voor substitutie

Op hoofdlijnen zijn er drie methoden voor de substitutie:

1. Classificatie
2. Eén-op-één substitutie
3. Substitutie met toepassing van correcties

Deze verschillende methoden worden hieronder kort toegelicht:

Classificatie

Classificatie is de methode die voorheen in gebruik was voor het NRM bij berekeningen voor Schiphol [Ref 1]. Bij classificatie wordt op basis van een beperkt aantal kenmerken een aantal klassen (of groepen) gedefinieerd, waarin toestellen op basis van deze kenmerken kunnen worden ingedeeld. Voor elke klasse wordt één representatief type aangewezen, samen met een bijbehorende set geluid- en vliegprestatiegegevens in het geluidmodel. Alle vliegtuigtypes binnen een klasse worden vervolgens doorgerekend met de gegevens van het representatieve type. Binnen het NRM werd deze indeling de 'Verfijnde Vloot Classificatie' (VVC) genoemd. De indeling was in de eerste plaats gebaseerd op het maximaal startgewicht (9 klassen). Binnen deze gewichtsklassen werd vervolgens onderscheid gemaakt naar de relatieve geluidniveaus op basis van certificatiewaarden (4 klassen). Dit leverde in theorie 36 verschillende klassen. In praktijk lag dit aantal lager, omdat niet alle combinaties (meer) in gebruik waren.

Eén-op-één substitutie

Bij substitutie worden in principe alle vliegtuig/motortypecombinaties die hebben gevlogen en/of in de toekomst worden verwacht doorgerekend met de geluid- en vliegprestatiegegevens die voor de desbetreffende combinatie

beschikbaar zijn. Op het moment dat er geen gegevens zijn voor een bepaalde combinatie, dan wordt deze combinatie in de berekening gesubstitueerd: het vervangen van een ontbrekende combinatie door een combinatie waarvoor wel de benodigde gegevens beschikbaar zijn. De best bijpassende combinatie waarmee wordt gerekend, wordt hierbij de proxy genoemd.
De term één-op-één substitutie komt voort uit het feit dat de gegevens van de proxy één-op-één worden overgenomen en toegepast voor het ontbrekende type. Hierbij wordt aangenomen dat de gegevens van de proxy voldoende representatief zijn voor het ontbrekende type.

Substitutie met toepassing van correcties
Substitutie met toepassing van correcties werkt in eerste instantie hetzelfde als één-op-één substitutie. Op het moment echter dat een proxy wordt ingezet, worden correcties toegepast op basis van de verschillen in geluidprestaties tussen de proxy en het te substitueren type [Ref. 4]. De correcties worden hierbij bepaald op basis van de verschillen in geluidcertificatieniveaus.

2.2 Keuze substitutiemethode

In het proces voorafgaand aan de implementatie van Doc29 is nagedacht over verschillende manieren waarop de substitutie kan plaatsvinden. Hierbij zijn allereerst de drie methoden overwogen zoals beschreven in paragraaf 2.1. Bij de keuze voor één van deze methoden hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld:

- Binnen het NRM werd gebruik gemaakt van classificatie. Dit was hiermee het startpunt en tevens een minimumniveau: minder nauwkeurigheid en/of verfijning ten opzichte van de huidige situatie was ongewenst.
- De classificatiemethode werd ondertussen gezien als relatief grof: de verschillen tussen opeenvolgende geluidcategorieën bedroegen bijvoorbeeld 3 dB. Dit zou bijvoorbeeld kunnen betekenen dat bij vlootvernieuwing het nieuwe toestel, ondanks dat het stiller is, in dezelfde categorie valt als het oude.
- Eén-op-één substitutie kan ook in bepaalde gevallen vrij grof zijn. Het kan namelijk zijn dat een proxy, ondanks dat het de best bijpassende keuze is, relatief veel verschilt in geluidniveaus van het type dat gesubstitueerd moet worden.
- ECAC Doc29 erkent alle drie genoemde substitutiemethoden, maar geeft een aanbeveling voor het gebruik van substitutie met toepassing van correcties.

Gezien het streven naar een hoog detailniveau in verband met de gewenste nauwkeurigheid en de aanbeveling vanuit Doc29 was de keuze voor de methode ‘substitutie met toepassing van correcties’ een voor de hand liggende keuze.

De keuze voor de methode is slechts een keuze op hoofdlijnen. De methode zelf moet daarna nog worden ingevuld. Hierbij spelen in elk geval de volgende twee keuzes:

- De keuze voor substitutie op basis van alleen het vliegtuigtype, of voor substitutie op basis van de combinatie van het vliegtuigtype en het motortype.
- De keuze voor een methode om de beste proxy vast te stellen voor een type dat gesubstitueerd dient te worden.

EASA houdt een database bij met geluidcertificatiegegevens: de EASA certification noise levels database. Deze database maakt daarbij onderscheid, niet alleen naar vliegtuigtype, maar ook naar motortype en een aantal andere kenmerken, zoals maximaal start- en landingsgewicht en eventuele toegepaste modificaties. In onderstaand voorbeeld (Tabel 1) wordt voor de Boeing 777-300 aangegeven wat de invloed is van het motortype op de

certificatieniveaus. De verschillen die optreden zijn hier enkel het effect van de toegepaste motor. Alle overige kenmerken (gewichten, modificaties) zijn identiek.

Tabel 1: Spreiding in geluidcertificatieniveaus voor de Boeing 777-300 als gevolg van motorkeuze [Ref. 24]

Certificatiepunt:	Spreiding in certificatieniveaus (min – max) EPNdB
Lateral	95.9 – 98.5
Flyover	93.1 – 96.2
Approach	99.9 – 101.1

Uit de tabel blijkt dat voor dit specifieke vliegtuigtype de verschillen in geluidniveaus als gevolg van de motorkeuze kunnen oplopen tot ongeveer 3 dB. Hoewel dergelijke verschillen niet voor alle vliegtuigtype zullen optreden, laat het voorbeeld wel zien hoe relevant het kan zijn om bij de substitutie rekening te houden met het motortype. Dit is de reden dat voor de Doc29 implementatie voor Schiphol de keuze is gemaakt om te werken met vliegtuig/motortypecombinaties.

Hierbij moet worden opgemerkt dat deze keuze alleen gemaakt kon worden omdat voor Schiphol per vlucht de informatie over het motortype ook beschikbaar is. Voor luchthavens waarbij deze informatie ontbreekt, ligt substitutie op basis van enkel het vliegtuigtype voor de hand. Verder geldt dat de keuze voor een hoger detailniveau, door ook het motortype mee te nemen, ook nadelen kent. Het aantal verschillende vliegtuig/motortypecombinaties is veel groter dan het aantal verschillende vliegtuigtypes. De gemaakte keuze heeft daarmee direct invloed op de complexiteit van de geluidberekening en vergroot de inspanning die nodig is voor het uitvoeren van een geluidberekening.

Er zijn verschillende manieren waarop de selectie van een proxytype kan worden uitgevoerd. Het doel hierbij is een proxytype te selecteren dat zo veel mogelijk lijkt op het type dat gesubstitueerd moet worden. Bij deze selectie kan rekening worden gehouden met een breed scala aan eigenschappen, zoals gewicht, fabrikant en geluidniveaus. Doc29 raadt het gebruik van een multi-criteria aanpak aan voor het identificeren van een proxy [Ref. 4]. Bij deze aanpak wordt het te substitueren vliegtuigtype vergeleken met de mogelijke proxytypen op de volgende punten:

- Motorcategorie (jet, turboprop, piston)
- Aantal motoren
- Motorinstallatie (vleugel/romp)
- Maximaal startgewicht (MTOW)
- Stuwkracht-gewichtsratio
- Geluidcertificatieniveaus
- Vliegtuigproducent
- Motorproducent

Ten tijde van het ontwerp van de Doc29 implementatie voor Schiphol werd van een Doc29 gebruiker verwacht om zelf aan de hand van een vergelijking van deze eigenschappen te bepalen welk proxytype het beste overeenkomt met het te substitueren type. Dit kon, tot op zekere hoogte, naar eigen inzicht. Het ministerie van IenW had echter bij de substitutie als voorwaarde gesteld dat het kiezen van een proxy op een eenduidige manier moet verlopen. Om deze reden is een substitutieprotocol opgesteld dat aan deze eis voldoet en welke voorziet in het automatisch selecteren van een alternatief. Dit gebeurt aan de hand een systeem waarbij punten worden toegekend bij elk van de vergelijkingen van de eigenschappen. Het vliegtuig in de ANP database dat in totaal de meeste punten krijgt, wordt geselecteerd als proxy.

Het voordeel van het protocol is dat de uitkomst wordt berekend, terwijl bij de originele methode van de gebruiker wordt gevraagd om bepaalde afwegingen te maken. Daardoor is de uitkomst van de originele methode niet eenduidig, terwijl dit bij het protocol wel het geval is. Het protocol zelf wordt in de volgende paragrafen verder beschreven.

In juli 2017, nadat het ontwerp van de Doc29 implementatie voor Schiphol gereed was, is in aanvulling op de ANP database een lijst met aanbevolen ANP substituties gepubliceerd. Deze lijst is gebaseerd op de hierboven genoemde multi-criteria aanpak en wordt op internationaal niveau onderhouden. Deze lijst zou mogelijk een alternatief kunnen zijn voor het substitutieprotocol. Dit wordt verder besproken in paragraaf 2.5.

2.3 Werking substitutieprotocol

2.3.1 Benodigde gegevens voor substitutie

Om voor een bepaalde combinatie van vliegtuigtype en motortype het representatieve type te kunnen bepalen zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Het vliegtuigtype conform de vigerende versie van ICAO DOC 8643,
- Het motortype.

Alle overige gegevens die nodig zijn voor substitutie zijn afgeleid uit databases op basis van deze twee kenmerken. Hiervoor is eerst een lijst met alle unieke vliegtuig/motortypecombinaties opgesteld. Vervolgens is voor al deze combinaties het bijbehorende recordnummer geselecteerd uit de:

- De EASA Certification Noise Level Database,
- De ICAO Aircraft Engine Emissions Databank

De uitgangspunten bij het selecteren van de recordnummers waren de volgende:

- Het MTOW is niet bekend vanuit de vluchtgegevens. Bij het selecteren van het betreffende EASA recordnummer is daarom voor de vliegtuig/motortypecombinatie in de EASA database het maximum beschikbare gewicht aangenomen.
- Als een vliegtuig/motortypecombinatie niet voorkwam in de EASA database is een EASA recordnummer gekozen behorende bij een vliegtuig/motortypecombinatie die voor hetzelfde vliegtuigtype de meeste operaties had op Schiphol in beschouwde periode.
- De keuze van het recordnummer in de ICAO database moest altijd overeenkomen met het motortype horende bij het geselecteerde EASA recordnummer.

Met behulp van deze gegevens en uitgangspunten is de relevante informatie uit de *EASA Certification Noise Level Database* en *ICAO Aircraft Engine Emissions Databank* verkregen. Deze informatie is vervolgens gebruikt in het substitutieprotocol.

Voor de EASA Certification Noise Level Database geldt dat deze database is ingedeeld in verschillende delen. De drie delen die relevant zijn voor het substitutieprotocol zijn de databases voor:

- Straalvliegtuigen – recordnummers beginnend met de letter ‘A’
- Zware propellervliegtuigen - recordnummers beginnend met de letter ‘B’
- Lichte propellervliegtuigen - recordnummers beginnend met de letter ‘C’

Voor bepaalde types vliegtuigen is het motortype niet opgenomen in de ICAO Aircraft Engine Emissions Databank. Dit speelt voor lichte straalvliegtuigen en alle propellervliegtuigen. Voor deze types ontbrak dan een deel van de benodigde gegevens voor substitutie en is daarom een iets vereenvoudigd substitutieprotocol toegepast. Dit wordt in paragraaf 2.3.3 verder toegelicht.

Om met het substitutieprotocol te kunnen werken, zijn ook de gegevens uit de EASA en ICAO databases bepaald voor de vliegtuigtypes die vanuit de *ANP database* zijn overgenomen en voorkomen in de set met Doc29 geluid- en prestatieprofielen (Doc29 GPP) voor Schiphol. Deze toegepaste recordnummers voor deze types zijn opgenomen in Appendix A.2.

2.3.2 Het substitutieprotocol

Het substitutieprotocol bepaalt per unieke vliegtuig/motortypecombinatie het meest representatieve vliegtuigtype, uit de lijst met vliegtuigtypes die voorkomen in de set prestatiegegevens voor Schiphol. Het bepalen van het meest representatieve type wordt gedaan op basis van een evaluatie van een aantal eigenschappen. In Tabel 2 is hiervoor een voorbeeld uitgewerkt voor een Airbus A320 met CFM56-5B4/3 motoren. Zoals in de tabel is te zien, krijgt een vliegtuig/motortypecombinatie per eigenschap een bepaalde score toegekend (zie 2.3.3). Deze score is berekend door de gegevens van vliegtuig/motortypecombinaties uit de ANP met de gegevens van combinaties uit de EASA en ICAO-emissions database te vergelijken. De combinatie (proxy) met de hoogste totaalscore wordt vervolgens in de berekeningen gebruikt.

Tabel 2: Voorbeeld substitutie voor een A320 met CFM56-5B4/3 motoren

	MAX	Proxy 1 (A320/CFM56-5A1)	Proxy 2 (A320/ V2522-A5)
Maximaal startgewicht	20	19,74	19,74
Vermogen ten opzicht van gewicht	15	14,01	14,01
Geluidcertificatiegegevens	10	3,3	4,1
Aantal motoren	10	10	10
ICAO *code*	6	6	6
Vliegtuigfabrikant	5	5	5
Motorfabrikant	5	5	0
Totaal	71	**63,05**	58,85

Een voorwaarde die wordt gesteld aan een proxy is dat een straalvliegtuig alleen kan worden gesubstitueerd door een ander vliegtuig met straalmotoren. Hetzelfde geldt voor lichte en zware propellervliegtuigen. Daarnaast geldt nog als voorwaarde dat voor een potentiële proxy alle benodigde gegevens aanwezig moeten zijn. Op het moment dat voor een bepaalde ANP type essentiële gegevens voor het gebruik van het protocol niet beschikbaar zijn vanuit de EASA en/of ICAO databases, wordt dit type als proxy uitgesloten. Hetzelfde geldt als voor het desbetreffende ANP type onvoldoende gegevens in de ANP database zijn opgenomen om vliegprestatieprofielen af te leiden (zie hoofdstuk 3). Tenslotte zijn een aantal zeer oude toestellen, die niet meer representatief zijn voor Schiphol, uitgesloten als proxy-kandidaat. De lijst met resterende proxy-kandidaten is opgenomen in Appendix A.2.

In de EASA database zijn per vliegtuig/motortypecombinaties de geluidcertificatiegegevens gespecificeerd. Na substitutie kan het zijn dat de geluidcertificatieniveaus van de proxy afwijken van de certificatieniveaus. In dit geval wordt hierop een correctie uitgevoerd (zie 2.3.4).

2.3.3 Scoresysteem substitutie

Om een proxy te bepalen zijn alle beschikbare vliegtuig/motortypecombinaties vergeleken met de combinatie waarvoor wordt gesubstitueerd. Het scoresysteem dat is gebruikt in het substitutieprotocol houdt rekening met maximaal 7 eigenschappen. In het volgende overzicht wordt de invoer en berekening van de punten per eigenschap gespecificeerd:

1. Maximaal startgewicht
    a. Het percentage (*pct*) dat het Maximum Take Off Mass (MTOM) van de proxy afwijkt van het te substitueren type: $20 - (|pct| * 20)$ punten. (0-20)
    b. Als het MTOM van de proxy 2 of meer keer groter is dan van het te substitueren type: 0 punten.
2. Vermogen ten opzichte van gewicht
    a. Het percentage (*pct*) dat de thrust to weight ratio van de proxy afwijkt van het te substitueren type: $15 - (|pct| * 15)$ punten. (0-15)
    b. Als de thrust to weight ratio van de proxy 2 of meer keer groter is dan van het te substitueren type: 0 punten.
3. Geluidcertificatiegegevens
    a. Als de cumulatieve, absolute afwijking van de laterale, flyover en approach geluidniveaus tussen proxy en het te substitueren type 6dB of kleiner is: $\left(1 - \left(\frac{|\Delta_{L_{lat}}| + |\Delta_{L_{flyover}}| + |\Delta_{L_{app}}|}{6}\right)\right) * 10$ punten. (0-10)
    b. Als de cumulatieve afwijking van de laterale, flyover en approach geluidniveaus tussen de proxy en het te substitueren type groter is dan 6dB: 0 punten
4. Aantal motoren
    a. In het geval van hetzelfde aantal motoren: 10 punten.
    b. In het geval van meer of minder motoren : 0 punten.
5. ICAO code
    a. Als de ICAO code van de proxy overeenkomt met het te substitueren type: 6 punten.
    b. Als de ICAO code van de proxy afwijkt van het te substitueren type: 0 punten.
6. Vliegtuigfabrikant
    a. Als de vliegtuigfabrikant van de proxy overeenkomt met het te substitueren type: 5 punten.
    b. Als de vliegtuigfabrikant van de proxy afwijkt van het te substitueren type: 0 punten.
7. Motorfabrikant
    a. Als de motorfabrikant van de proxy overeenkomt met het te substitueren type: 5 punten.
    b. Als de motorfabrikant van de proxy afwijkt van het te substitueren type: 0 punten.

De punten die bij de bovenstaande eigenschappen horen zijn per proxy binnen het substitutieprotocol gesommeerd om de meest representatieve proxy te bepalen. Uit het bovenstaande volgt dat de maximale score 71 bedraagt. Appendix A.3 bevat een aantal uitgewerkte voorbeelden van substitutie.

Wat betreft het aantal punten dat per vergelijking wordt toegekend geldt dat belangrijke eigenschappen, zoals een vergelijkbare grootte (of maximaal startgewicht) relatief zwaar meetellen. Op het eerste gezicht lijkt het vervolgens wellicht opmerkelijk dat verschillen in geluidcertificatieniveaus veel minder zwaar wegen. Hiervoor geldt echter dat later een correctie plaatsvindt (zie paragraaf 2.3.4). Dit verklaart waarom aan de vergelijking van 'vermogen ten opzichte van gewicht', wat van relatief grote invloed is op de vliegprestaties tijdens de start, meer punten zijn toegekend dan aan de vergelijking van geluidcertificatieniveaus.

Afgezien van bovengenoemde overwegingen blijft de keuze voor een bepaald aantal punten per vergelijking enigszins arbitrair. Ter controle van het huidige protocol is er wel onderzoek gedaan naar de effectiviteit van het protocol. Dit wordt in paragraaf 2.4 verder besproken. Er is echter geen onderzoek gedaan naar het effect van een andere puntenverdeling en/of het weglaten of toevoegen van criteria. Mogelijk is met verder onderzoek de effectiviteit van het protocol nog verder te verbeteren.

Afhankelijk van het type motoren en de grootte van het vliegtuig, kan het zijn dat bepaalde gegevens die benodigd zijn voor het toepassen van het substitutieprotocol, niet beschikbaar zijn. Eigenschap 2, het vermogen ten opzichte van het gewicht, is daarom alleen bepaald voor straalvliegtuigen met een maximum startgewicht van 20000 kg of meer. In de overige gevallen zijn voor eigenschap 2 geen punten gegeven. Eigenschap 4, het aantal motoren, is alleen vergeleken voor straalvliegtuigen. In de overige gevallen zijn voor eigenschap 4 geen punten gegeven. Eigenschap 3, de geluidcertificatiegegevens, is voor lichte propellervliegtuigen vergeleken op basis van enkel de take-off noise levels. Een afwijking groter dan 3 dB kreeg geen punten toegewezen. Bij een afwijking kleiner dan of gelijk aan 3 dB is het aantal toe te kennen punten berekend op basis van:

$$\left(1-\left(\frac{\left|\Delta_{L_{to}}\right|}{3}\right)\right)*10$$

Aanvullend wordt nog opgemerkt dat het kan zijn dat de namen van verschillende fabrikanten door de jaren heen gewijzigd zijn, bijvoorbeeld door overnames. Ook kan het zijn dat identieke producten onder verschillende namen worden geproduceerd of verkocht. In deze gevallen kunnen fabrikantennamen van het te substitueren type en de proxy verschillen, maar praktisch gezien wel gelijk zijn. Om bij de substitutie als gevolg hiervan suboptimale keuzes te voorkomen, zijn in dit soort situaties de verschillende fabrikantnamen als overeenkomstig beschouwd. De lijst met overeenkomende fabrikanten is opgenomen in Appendix A.4.

2.3.4 Correctiefactoren

Nadat het representatieve type is bepaald, zijn er correctiefactoren bepaald op basis van het verschil in geluidcertificatieniveaus van het te substitueren type en de proxy. Er zijn twee correctiefactoren bepaald: één voor starts en één voor landingen:

$$\Delta_{app} = L_{approach,sub} - L_{approach,proxy}$$

$$\Delta_{dep} = 10 * log_{10}\left(\frac{1}{2} * 10^{\left[\frac{L_{lateral,sub}-L_{lateral,proxy}}{10}\right]} + \frac{1}{2} * 10^{\left[\frac{L_{flyover,sub}-L_{flyover,proxy}}{10}\right]}\right)$$

De bepaling van de correctiefactor voor starts wijkt hierbij op één detail af van de methode zoals beschreven in Doc29 [Ref. 4]. In beide gevallen wordt de correctie bepaald op basis van de gemiddelde verschillen in de twee certificatiepunten. De originele methode bepaalt echter het rekenkundig gemiddelde, terwijl voor de Doc29 implementatie voor Schiphol, vanuit akoestisch oogpunt, is gekozen voor het gebruik van het energetisch gemiddelde. Deze keuze maakt de toegepaste substitutie iets conservatiever. Dit is met een aantal voorbeelden verder uitgewerkt in Appendix A.1.

Op het moment dat de substitutie voor een licht propellervliegtuig is uitgevoerd, dan is door gebrek aan gegevens de correctiefactor op een vereenvoudigde wijze bepaald:

$$\Delta_{app} = \Delta_{dep} = L_{take-off,sub} - L_{take-off,proxy}$$

De correctiefactoren zijn uitgedrukt in dB(A). In de berekening is de bepaalde correctiefactor toegepast op de berekende geluidblootstellingsniveaus van de proxy.

2.4 Resultaten

2.4.1 Voorbeelden van toegepaste substitutie

Voorafgaand aan elke Doc29 berekening dient te worden nagegaan of voor alle benodigde vliegtuig-/motortype combinaties reeds een proxy met bijbehorende correctiefactoren is bepaald. In het geval dat er enkele combinaties nog niet eerder zijn voorgekomen en dus niet in de substitutiedatabase zijn opgenomen, zal het substitutieprotocol worden gebruikt om hiervoor een proxytype te bepalen. In Appendix A.3 zijn een aantal voorbeelden weergegeven van vliegtuig-/motortype combinaties en resulterende proxytypen.

2.4.2 Controle effectiviteit substitutie

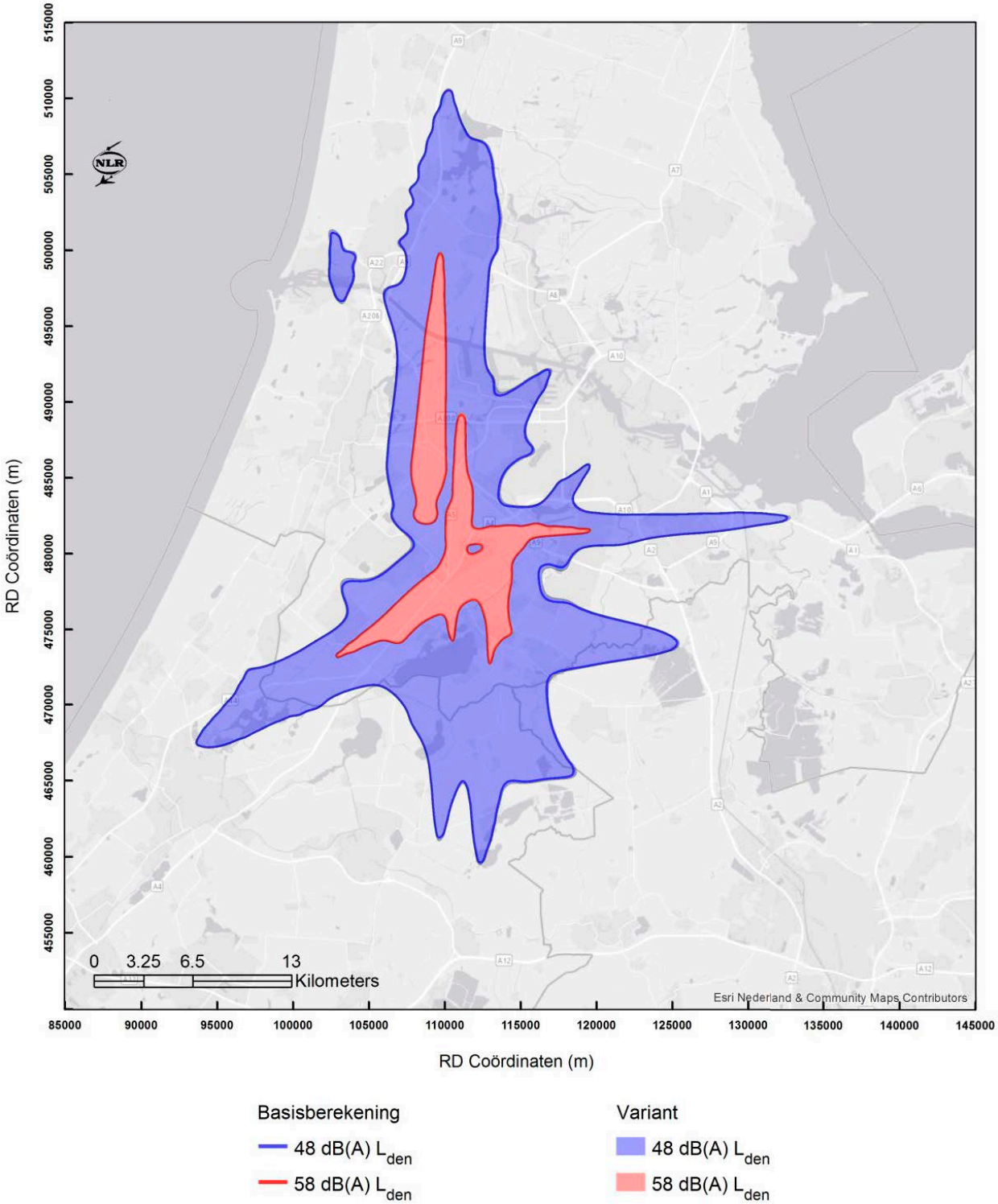
Het ontwerp van het substitutieprotocol heeft al plaatsgevonden in 2015. In dat jaar heeft het NLR in opdracht van ministerie van IenW een voorstudie gedaan naar de implementatie van Doc29. Het substitutieprotocol is sindsdien slechts nog op details gewijzigd. Uit deze eerdere studie zijn resultaten beschikbaar waarmee een indicatie van de effectiviteit van de substitutie kan worden verkregen [Ref. 8].

Het doel van de studie uit 2015 was het verkennen van effecten en/of gevoeligheden van keuzes (of gebruiksafspraken) die opgesteld moesten worden. Eén van de keuzes die op dat moment speelde was het wel of niet aanvullen van de ANP database. De toenmalige versie van de ANP database, versie 2.0, bevatte nog niet de gegevens voor de Embraer E170 en E190. Deze benodigde gegevens waren echter al wel beschikbaar via het Amerikaanse Integrated Noise Model (INM). Er is daarom een vergelijkende berekening gedaan tussen:

- Een berekening op basis van ANP 2.0, waarbij de Embraer E170 en E190 na toepassing van het substitutieprotocol werden doorgerekend met gegevens van de Bombardier CRJ900.
- Een berekening op basis van ANP 2.0, aangevuld met de gegevens van de Embaer E170 en E190 uit INM.

Het aantal bewegingen van de E170 en E190 bedroeg in deze berekening 14% van het totaal aantal vliegbewegingen. De resultaten van de vergelijking zijn opgenomen in Figuur 1.

Volledigheidshalve wordt hierbij opgemerkt dat de resultaten in Figuur 1 wellicht niet goed vergelijkbaar zijn met resultaten in andere delen van dit rapport. Dit komt omdat de studie uit 2015 gebaseerd was op relatief eenvoudige geluidberekeningen, waarbij geen gebruik is gemaakt van radargegevens.



Figuur 1: Resultaten gevoeligheidsanalyse substitutie (Basisberekening = excl. INM gegevens | Variant = met INM gegevens)

In Figuur 1 zijn de 48 en 58 L_{den} geluidcontouren van de basisberekening (zonder aanvullende gegevens, dus met toepassing van substitutie) weergegeven met blauwe en rode lijnen. De 48 en 58 L_{den} geluidcontouren van de variant (met aanvullende gegevens) zijn aangegeven met lichtblauwe en lichtrode vlakken. Uit de figuur volgt dat de resultaten nagenoeg identiek zijn. Voor 58 L_{den} zijn de verschillen op basis van dit figuur niet waarneembaar. Voor 48 L_{den} geldt voor de meeste locaties hetzelfde, maar zijn er lokaal enkele verschillen waar te nemen. Een analyse op de achterliggende resultaten laat zien dat het gemiddelde (absolute) verschil tussen beide berekeningen 0,11 dB(A) bedraagt. Deze resultaten laten zien dat het substitutieprotocol in dit specifieke geval in staat is om voor een relatief groot deel van de vloot vervangende gegevens te selecteren, zonder een grote invloed op de ligging van de contouren. Tegelijkertijd is er wel degelijk sprake van verschillen in resultaat. Hieruit volgt een aanbeveling, die in de volgende paragraaf wordt besproken.

2.5 Aanbevelingen

Het voorbeeld in paragraaf 2.4.2 laat zien dat het substitutieprotocol zonder een groot effect op de ligging van de contouren in staat is geweest om vervangende geluid- en vliegprestatiegegevens te selecteren op het moment dat deze voor een bepaald type vliegtuig niet beschikbaar zijn in de set met Doc29 geluid- en prestatieprofielen voor Schiphol. De verschillen in de uiteindelijk berekende geluidbelasting zijn beperkt, maar wel degelijk aanwezig. Onder de aanname dat resultaten op basis van gegevens die horen bij het vliegtuigtype nauwkeuriger zijn dan die op basis van substitutie, kan worden geconcludeerd dat substitutie leidt tot bepaalde onnauwkeurigheden. Vandaar de aanbeveling om op internationaal niveau te blijven streven naar een ANP database met een zo goed mogelijke dekking voor de diverse praktijksituaties.

Eén van de oorzaken van onnauwkeurigheden bij substitutie komt mogelijk voort uit het toepassen van de correctiefactoren op basis van verschillen in certificatieniveaus. Hoewel dit wordt aanbevolen vanuit Doc29 [Ref. 4] en dit ook zeker relevant lijkt (zie het voorbeeld in Tabel 1), zijn er twee onderliggende aannames van toepassing:

- Aanname één is dat verschillen in certificatieniveau in EPNdB representatief zijn voor verschillen in geluidniveaus in dB(A). Hoewel verwacht mag worden dat er een hoge mate van correlatie is tussen niveaus in EPNdB en dB(A), zal deze relatie nooit exact 1-op-1 zijn en zullen er hierdoor dus verschillen optreden.
- Aanname twee is dat verschillen op specifieke locaties (certificatiepunten) representatief zijn voor alle relevante locaties. Het is echter niet bekend in hoeverre dit zo is en in praktijk mag verwacht worden dat er hierdoor verschillen zullen gaan optreden.

Ook bij een goed onderhouden ANP database zal substitutie in bepaalde gevallen onontkoombaar blijven. Wel zijn er mogelijkheden om de substitutie in de toekomst nog verder te verbeteren. Eén van deze mogelijkheden is, zoals eerder genoemd in paragraaf 2.3.3, verder onderzoek te doen aan de toegepaste scores van het substitutieprotocol. Verder geldt dat na het afronden van het ontwerpproces van de Doc29 implementatie, in aanvulling op de ANP database, een lijst met aanbevolen ANP substituties is gepubliceerd. Deze lijst zou een alternatief kunnen zijn voor het gebruik van het substitutieprotocol. De lijst wordt op internationaal niveau onderhouden, wat beter past bij het principe van een voor Europa geharmoniseerde rekenmethode. Ook is vanuit nationaal perspectief geen inspanning nodig om de substitutiemethode actueel te houden. Het gebruik van de lijst kent echter ook twee nadelen. Ten eerste geldt dat voor de ANP substitutielijst, alle vliegtuigtypes in de ANP database geschikte proxykandidaten zijn. Voor een deel van de ANP types geldt echter dat er onvoldoende gegevens zijn opgenomen om vliegprestatieprofielen af te leiden (zie hoofdstuk 3) en dat deze types daarom niet zijn opgenomen in de set met Doc29 geluid- en prestatieprofielen voor Schiphol. Daarnaast is de lijst niet uitputtend en zal deze in een aantal gevallen dus geen

oplossing bieden. Dit zou betekenen dat in combinatie met het gebruik van de lijst, er ook een alternatieve methode beschikbaar moet zijn voor het geval dat de lijst geen of een onbruikbaar advies geeft.
Tevens in lijn met recente ontwikkelingen, is er wellicht nog een heel andere mogelijkheid om de substitutie verder te ontwikkelen, namelijk door middel van het gebruik van metingen van vliegtuiggeluid, zowel internationaal als nationaal. Wellicht kunnen meetgegevens in de toekomst gebruikt worden om de beste proxy te selecteren en/of om correctiefactoren af te leiden.

3 Afleiding profielen

Een belangrijk deel van de invoergegevens die worden gebruikt bij het uitvoeren van geluidberekeningen zijn de vliegprestatiegegevens. ECAC Doc29 wordt beschikbaar gesteld samen met een database van deze vliegprestatiegegevens. Deze zogenaamde Aircraft Noise and Performance (ANP) Database wordt beheerd door EUROCONTROL en EASA en bevat onder andere prestatiegegevens die zijn uitgewerkt in zogeheten vliegprestatieprofielen. Deze vliegprestatiesprofielen beschrijven in het geluidmodel het verloop van hoogte, snelheid en stuwkracht. De profielen die zijn opgenomen in de ANP database zijn echter generiek van aard en sluiten hierdoor vaak niet goed aan bij de operationele praktijk op Schiphol. Om deze reden zijn er op basis van de ANP database specifieke profielen voor start- en landingsoperaties van en naar Schiphol afgeleid.

Dit hoofdstuk beschrijft de afleiding van deze specifiek voor Schiphol opgestelde profielen. Enkele algemene onderwerpen die zowel voor de startprofielen als voor de landingsprofielen gelden worden besproken in paragraaf 3.1. De afleiding van de profielen is vervolgens voor de starts opgenomen in paragraaf 3.2 en voor de landingen in paragraaf 3.3. Ten slotte zijn de aanbevelingen opgenomen in paragraaf 3.4.

3.1 Definities en condities

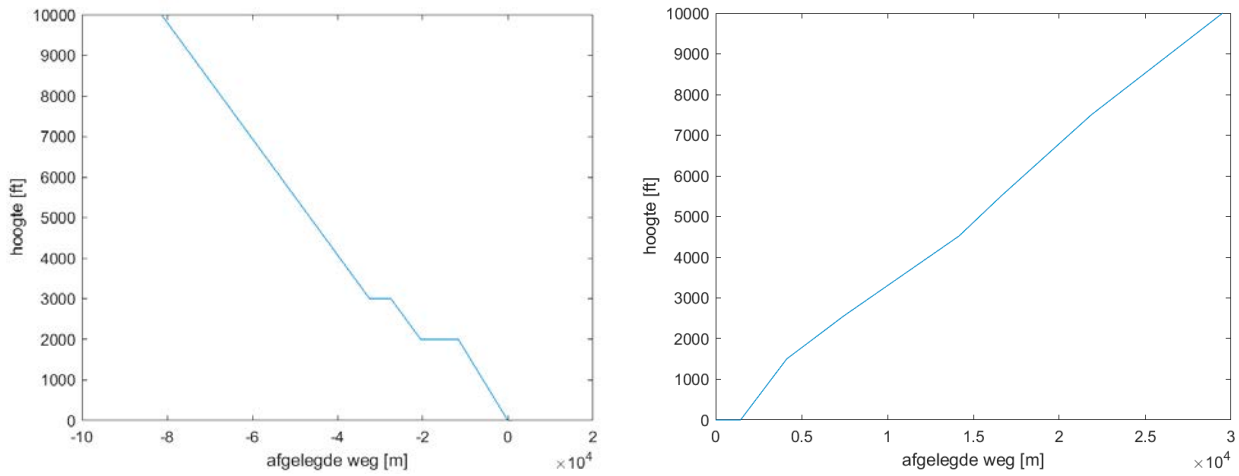
Zowel voor de starts als voor de landingen geldt dat de vliegprestatieprofielen op basis van de in ECAC Doc29 gehanteerde definities zijn opgebouwd uit achtereenvolgende vluchtsegmenten. Een segment wordt gedefinieerd door twee achtereenvolgende punten, met op deze punten een specificatie van:

- De vlieghoogte ten opzichte van het luchthaven niveau [ft]
- De vliegsnelheid [kts]
- De afgelegde weg langs het grondpad [ft]
- De vermogensparameter welke het brongeluidniveau bepaald. Afhankelijk van het type vliegtuig kan dit zijn:
    - De netto gecorrigeerde stuwkracht per motor [lbf]
    - De relatieve stuwkracht [%]
    - Het toerental [min^{-1}]

De ANP database specificeert de juiste vermogensparameter voor alle beschikbare vliegtuigtypes.

Zowel voor startend als landend verkeer loopt de afgelegde weg op in de vliegrichting. Voor starts begint deze op nul aan het begin van de startrol. Voor naderend verkeer is deze initieel negatief en bereikt de afgelegde weg de waarde nul op het landingspunt, gelegen op 291 meter na de (verschoven) baandrempel.

In Figuur 2 zijn als voorbeeld twee vliegprestatieprofielen weergegeven, één landing en één start. Het figuur geeft het hoogteverloop weer versus de afgelegde weg.



Figuur 2 Voorbeeld van het hoogteverloop voor landingen (links) met een horizontaal deel op 2000 en 3000 voet en een voorbeeld van het hoogteverloop voor starts (rechts)

Voor het afleiden van de prestatiegegevens dienen aannames te worden gemaakt over de atmosferische condities. Hierbij zijn de standaarden overgenomen die ECAC Doc29 en de bijbehorende ANP database hanteren [Ref. 4]. Dit betekent dat de atmosferische condities overeenkomen met de condities conform de ICAO standaardatmosfeer. De prestatiegegevens zijn afgeleid onder de aanname van een horizontale tegenwindcomponent van 8 knopen. Deze tegenwindcomponent, welke standaard van toepassing is binnen ECAC Doc29, is constant en dus niet afhankelijk van de vliegrichting of de vlieghoogte.

3.2 Afleiding startprofielen

Binnen het NRM werd voor de vliegprestatieprofielen voor startend verkeer (startprofielen) voor Schiphol onderscheid gemaakt naar:

- Startprocedure: onderscheid naar 4 verschillende startprocedures of Noise Abatement Departure Procedures (NADP): één NADP1 variant en drie varianten van de NADP2 procedure (zie paragraaf 3.2.1.3 voor meer informatie). Dit zijn ook de verschillende startprocedures die op Schiphol worden toegepast.
- Afstandsklasse: onderscheid naar (maximaal) 4 verschillende afstandsklasses op basis van de vlieglengte tot aan de eerste bestemming.

Deze situatie was het startpunt voor de afleiding van de Doc29 startprofielen. Wel geldt hierbij dat ECAC Doc29 (of eigenlijk de bijbehorende ANP database) onderscheid maakt naar maximaal 9 in plaats van 4 verschillende afstandsklasses. Het detailniveau binnen Doc29 is daarmee hoger. In theorie zou dit ruim een verdubbeling van het detailniveau geven, maar in praktijk is het effect kleiner. Niet alle vliegtuigtypes kunnen de langere afstanden vliegen en daardoor zijn de hogere afstandsklasses niet voor alle vliegtuigen beschikbaar.

Vanuit het kernteam waren er naast de kenmerken startprocedure en afstandsklasse geen wensen om nog meer onderscheid tussen de verschillende startprofielen te maken. Ook vanuit de overleggen met de experts zijn dergelijke wensen niet naar voren gekomen.

In eerste instantie zijn de startprofielen vervolgens afgeleid op basis van het hierboven genoemde onderscheid en de gegevens uit de ANP database. Dit proces wordt verder toegelicht in paragraaf 3.2.1. Het resultaat hiervan zijn

startprofielen, in lijn met de ANP database, op basis van maximaal beschikbaar motorvermogen. In praktijk wordt echter lang niet altijd gestart met behulp van het maximaal beschikbare motorvermogen. Aansluitend is daarom ook gekeken naar het toepassen van derating of het toepassen van derated thrust. De motivatie hierachter en de gevolgde methode worden verder besproken in paragraaf 3.2.2.

3.2.1 Methode afleiden profielen

De methode voor het aanmaken van startprofielen die de laatste jaren werd gebruikt is gebaseerd op het zo veel mogelijk aansluiten bij een voorbeeldprocedure uit de ANP database. Deze methode is bijvoorbeeld ook voor het NRM toegepast toen de NADP-2 startprocedures geïntroduceerd werden en er startprofielen moesten worden afgeleid voor deze startprocedure. De gehanteerde werkwijze is ook toegepast voor het afleiden van de startprofielen voor Doc29. Hierbij is gebruik gemaakt van de destijds meest recente versie van de ANP database. Dit was, op het moment van afleiden van de profielen, ANP versie 2.1. Nadien is versie 2.2 uitgebracht en wordt versie 2.3 verwacht (zie ook paragraaf 3.4).

Vanuit de ANP database wordt eerst een voorbeeldprocedure geselecteerd die de kenmerken vertoont van een ICAO-A procedure. Vervolgens wordt deze voorbeeldprocedure uit de ANP database enkel wat betreft volgorde van handelingen en bijbehorende hoogtes aangepast naar de andere startprocedures die van toepassing zijn op de luchthaven. De startprocedures (handelingen van een piloot) worden vervolgens met behulp van de prestatiegegevens uit de ANP database omgerekend naar een startprofiel (hoogte, snelheid en stuwkracht tegen afgelegde weg). Deze stappen worden achtereenvolgens worden toegelicht. Dit betreft een vrij gedetailleerde toelichting, met als doel het proces ook in de toekomst, bijvoorbeeld bij nieuwe uitgaves van de ANP database, herhaalbaar te maken.

3.2.1.1 Selecteren basisprofiel uit ANP database

Voordat de startprofielen worden aangemaakt, wordt voor elk vliegtuigtype eerst de meest geschikte voorbeeldprocedure uit de ANP database geselecteerd. Meest geschikt is hierbij gedefinieerd als een voorbeeldprocedure waaraan het minst hoeft te worden aangepast om de vier type startprocedures voor Schiphol af leiden. Bij de selectie van een voorbeeldprocedure kunnen zich de volgende situaties voordoen:

- Het vliegtuigtype heeft geen voorbeeldprocedures beschikbaar in de database. In dit geval kan er dus geen basisprocedure gekozen worden, zijn er geen profielen aangemaakt en is het vliegtuigtype niet beschikbaar om mee te rekenen, ook niet voor naderingen. Daarnaast wordt het betreffende vliegtuigtype uitgesloten als proxy-kandidaat voor het substitutieprotocol (zie ook paragraaf 2.3.2).
- Het vliegtuigtype is geen straalvliegtuig. Volgens het AIP worden dan geen NADP procedures ingezet en deze zijn dan ook niet aangemaakt voor de types. In plaats daarvan wordt de beschikbare procedure rechtstreeks overgenomen. Wel wordt deze eventueel hernoemd naar DEFAULT (als dit nog niet het geval is).
- Indien het vliegtuigtype wel een straalvliegtuig is en ook (eventueel meerdere sets) voorbeeldprocedures heeft, dan worden deze voorbeeldprocedures middels 3 testen beoordeeld op geschiktheid:
    - De procedure bestaat enkel uit Takeoff, Climb en Accelerate segmenttypes;
    - De procedure heeft de volgende volgorde: Takeoff (eventueel direct gevolgd door een korte acceleratie), één of meer klimsegmenten, één of meer acceleratiesegmenten, één of meer klimsegmenten;

    - Alle acceleratiesegmenten (na de initiële klim) worden met dezelfde vermogenstand gevlogen.
- Indien er één procedure is die op alle testen voldoet, wordt dit profiel de basisprocedure. Indien er eventueel meerdere geschikte sets zijn, wordt op basis van de naam gekozen (voorkeur ICAO_A);
- Indien er geen sets zijn die op alle punten voldoen wordt toch één van deze sets gekozen, waarbij eventueel op basis van de naam wordt gekozen (voorkeur ICAO_A, vervolgens DEFAULT).

Hierbij wordt nog opgemerkt dat de geselecteerde voorbeeldprocedure, voor het merendeel van de vliegtuigtypes, beschikbaar is voor meer startgewichten. Deze verschillende varianten van het profielen worden allemaal overgenomen uit de ANP database en alle hierna beschreven stappen worden uitgevoerd voor alle beschikbare afstandsklasses.

Idealiter zou voor elke vlucht op basis van het werkelijke startgewicht een profiel worden gekozen, dusdanig dat het werkelijke startgewicht zo goed mogelijk overeenkomt met het startgewicht dat wordt aangenomen voor het desbetreffende profiel. In praktijk zijn de startgewichten van vliegtuigen echter niet beschikbaar. Deze gegevens zijn slecht te verkrijgen, omdat maatschappijen dit als concurrentiegevoelige informatie beschouwen. Door het gebrek aan informatie is het niet mogelijk op om basis van werkelijke startgewichten een profiel te selecteren.

In plaats daarvan is de gebruikelijke methode gekozen, waarbij een vlucht wordt ingedeeld in een afstandsklasse, op basis van de vliegafstand tot de eerste bestemming. De gebruikte indeling is conform de aanbevolen indeling van Doc29 en de gebruikte startgewichten zijn conform de bij de verschillende afstandsklassen behorende startgewichten zoals gedefinieerd in de ANP database. Mocht er in de toekomst echter wel informatie beschikbaar komen over werkelijke startgewichten, dan wordt het aanbevolen om gemodelleerde startgewichten te controleren en eventueel aan te passen.

3.2.1.2 Aanpassingen basisprocedure uit ANP database

Indien de geselecteerde basisprocedure op één of meer punten niet voldoet aan de testcriteria (zie paragraaf 3.2.1.1) worden, waar mogelijk een aantal aanpassingen gedaan om het basisprocedure wel te laten voldoen:

- Indien de volgorde van de segmenten niet aan de verwachtingen voldoet, dan wordt de volgorde aangepast. Deze aanpassing bestaat in praktijk uit het verwijderen van (vaak zeer korte) klimsegmenten die zich midden in de acceleratiefase bevinden.
- Indien er acceleratiesegmenten zijn die (na de initiële klim) worden uitgevoerd in startvermogen, dan worden deze segmenten aangepast naar klimvermogen. Hierbij wordt ook de te behalen verticale klimsnelheid gereduceerd, omdat er minder vermogen beschikbaar is voor het klimmen en accelereren. Dit wordt zo gedaan dat voor beide situaties de verhouding van het gebruik van het vermogensoverschot aan klimmen en accelereren gelijk is[2].
- Indien er andere type segmenten zijn gebruikt, wordt dit op dit moment niet aangepast en wordt de procedure als ongeschikt gemarkeerd. Dit houdt in dat het type niet gebruikt kan worden, ook niet voor de naderingen.

De laatste situatie doet zich voor bij enkele relatief recent aan de ANP database toegevoegde vliegtuigtypes, namelijk de Boeing 777-300ER, Boeing 747-8 en de Boeing 787-8 met Trent-1000 motor. Dit komt omdat de startprocedures in de ANP database voor deze types gebruik maken van ‘Accelerate-percent’ segmenttypes. Dit type segment is nog niet gedefinieerd in ECAC Doc29 en de gebruikte software om de procedures om te zetten naar profielen kan dergelijke

[2] Deze aanpassing is gebaseerd op het constant houden van de parameter Ap van vergelijking 2-41 van de INM technical manual [Ref. 9].

procedures daardoor niet verwerken. Deze types zijn daarom middels substitutie (zie hoofdstuk 2) doorgerekend. Omdat het echter voor Schiphol relevante types zijn, verdient het de aanbeveling om de profielen voor de drie genoemde vliegtuigtypes in de toekomst wel aan te maken en toe te voegen. Hierbij kan worden gewacht op een volgende editie van Doc29 (waarbij naar alle verwachting dit segmenttype wel zal worden ondersteund), maar het is ook mogelijk om op basis van reeds beschikbare kennis te anticiperen op deze toevoeging, zie paragraaf 3.4.

3.2.1.3 Afleiden NADP-profielen

Op basis van de gekozen standaardprocedure worden de vier verschillende NADP-profielen aangemaakt. Hierbij worden waar nodig volgordes van procedurestappen verwisseld en eindhoogtes van procedurestappen aangepast.

Bij de NADP-1 procedure wordt klimvermogen geselecteerd op 1500 voet hoogte en begint de acceleratie op een hoogte van 3000 voet. Schematisch gezien zijn de NADP-1 procedures opgebouwd zoals weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3: Voorbeeld 1 - afleiden NADP-1 procedure

NADP1_15_30	Vermogen	Eindhoogte
Takeoff*	Takeoff	0
Climb	Takeoff	1500
Climb	Climb	3000
Accelerate (1-4x)	Climb	…
Climb	Climb	10000

Bij de 3 verschillende varianten van de NADP-2 procedure vindt de selectie van klimvermogen plaats op 800, 1000 of 1500 voet, tegelijkertijd met het begin van de acceleratiefase. Schematisch gezien zijn de verschillende NADP-2 procedures opgebouwd zoals weergegeven in Tabel 4, Tabel 5 en Tabel 6.

Tabel 4: Voorbeeld 2 - afleiden NADP-2 procedure (800 voet variant)

NADP2_08_08	Vermogen	Eindhoogte
Takeoff*	Takeoff	0
Climb	Takeoff	800
Accelerate (1-4x)	Climb	…
Climb	Climb	10000

Tabel 5: Voorbeeld 3 - afleiden NADP-procedure (1000 voet variant)

NADP2_10_10	Vermogen	Eindhoogte
Takeoff*	Takeoff	0
Climb	Takeoff	1000
Accelerate (1-4x)	Climb	…
Climb	Climb	10000

Tabel 6: Voorbeeld 4 - afleiden NADP-procedure (1500 voet variant)

NADP2_15_15	Vermogen	Eindhoogte
Takeoff*	Takeoff	0
Climb	Takeoff	1500
Accelerate (1-4x)	Climb	…
Climb	Climb	10000

**Bij een beperkt aantal profielen volgt er direct na de take-off een kort acceleratiesegment in take-off power. Indien dit bij het basisprofiel het geval is, dan wordt dit bij de afgeleide NADP-profielen ook toegepast.*

3.2.1.4 Omzetten procedure naar profiel

Nadat de procedures zijn aangemaakt of overgenomen, worden de procedures omgezet naar profielen. Hiervoor worden de procedures doorgerekend met behulp van de prestatiegegevens uit de ANP database voor het desbetreffende type en de prestatievergelijkingen uit Appendix B van volume II van Doc.29 [Ref. 4].

3.2.1.5 Verlengen van het profiel naar 20.000 voet

De basisprofielen die gebaseerd zijn op de ANP database eindigen bij het bereiken van een hoogte van 10000 voet. Op basis van eerder onderzoek is bekend dat het beëindigen van de geluidberekening op dit punt op bepaalde locaties een beperkte invloed kan hebben op de ligging van de 48 L_{den} contour [Ref. 8]. Hoewel het effect beperkt was, is dit onwenselijk. Vanuit dit eerdere onderzoek is daarom al aanbevolen om de profielen te verlengen naar een hoogte van 20000 voet.

Voor de methode van het verlengen zijn aanbevelingen vanuit ICAO/CAEP/ MDG toegepast[3]. Dit houdt in dat er een extra punt op 20000 wordt toegevoegd aan het profiel. De afgelegde weg voor dit punt wordt bepaald op basis van lineaire extrapolatie op basis van de vorige twee punten. De snelheid en de stuwkracht worden constant verondersteld.

3.2.1.6 Startpunt en modellering van intersectiestarts

Binnen het NRM werd standaard aangenomen dat de startrol begint op de baandrempel van de betreffende startbaan. Ook binnen Doc29 wordt dit normaal gesproken verondersteld. In praktijk is dit echter een niet erg realistische aanname. Het zou namelijk betekenen dat, nadat het vliegtuig de startbaan is opgedraaid, het eerst achteruit naar de baandrempel zou moeten, voordat met de startrol wordt begonnen. Op basis van analyses van aansluitingen van taxibanen op startbanen bleek het realistischer dat de startrol, afhankelijk van de gebruikte startbaan, minimaal 60 tot 80 meter na de baandrempel begint. Om onnodige complexiteit te voorkomen is vervolgens, mede in overleg met de experts, besloten in de modellering aan te nemen dat het begin van de startrol

[3] De toegepaste extrapolatie heeft naderhand een discussie opgeleverd tijdens de Technical Challenge. Voor meer informatie, zie Appendix C.1.

zich bevindt op 100 meter na de (verschoven) baandrempel. Het gevolg is dat vliegtuigen in de modellering hierdoor 100 meter later van de baan loskomen en de rest van het traject enkele meters lager vliegen.

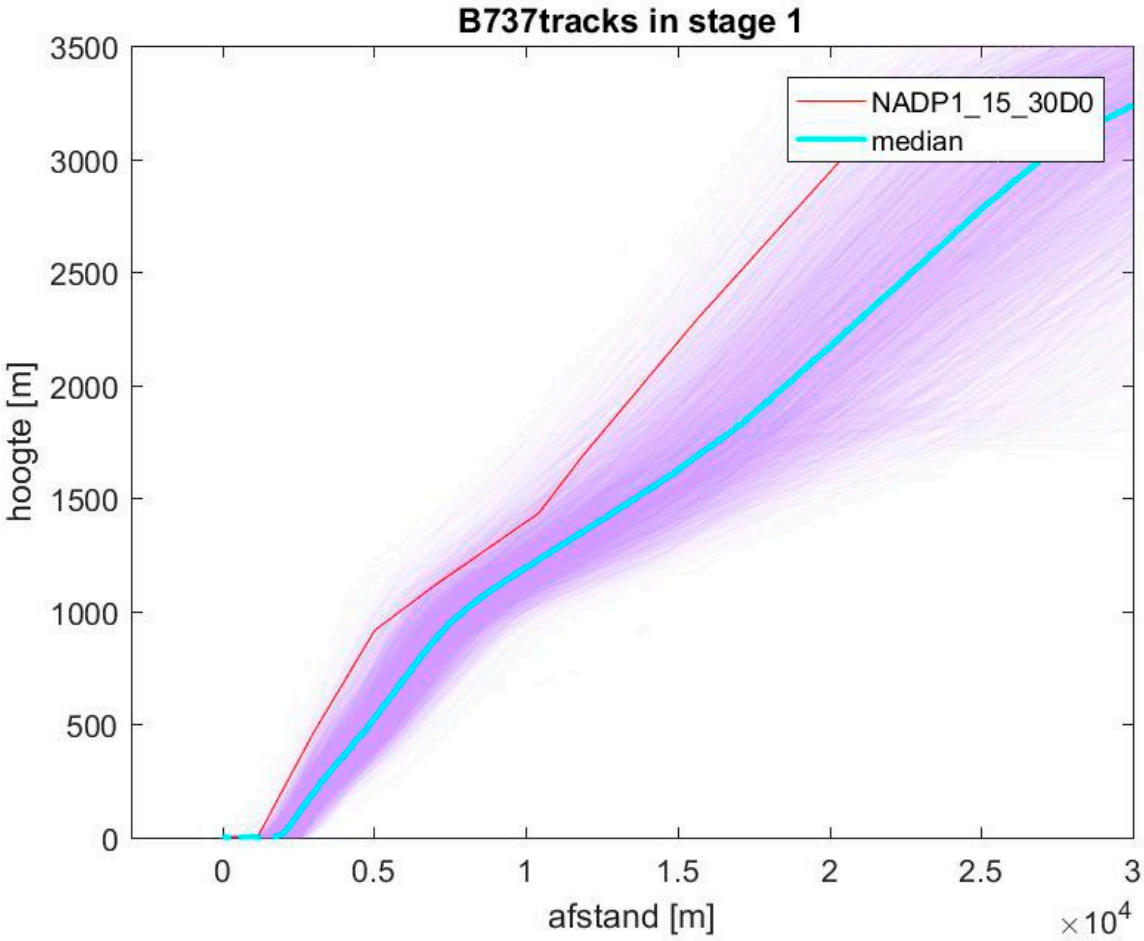
Een ander punt dat ook in de overleggen met experts naar voren kwam zijn de zogenaamde intersectiestarts. Dit is het fenomeen dat een gedeelte van de starts niet vanaf het begin van de startbaan vertrekt, maar de startbaan opkomt via een verderop gelegen taxibaan. Het is algemeen bekend dat dit in praktijk gebeurt en voor één van de startbanen waren er ook recente gegevens beschikbaar waaruit bleek hoe vaak dit voorkomt. Het was echter niet bekend of deze gegevens representatief waren voor andere startbanen en er was ook geen model dat kon voorspellen welke type vluchten gebruik maken van deze optie, welke intersecties hierbij worden gebruikt en onder welke omstandigheden dit wel of juist niet wordt gedaan. Op basis van:

- de kennis dat de meerderheid van de vluchten vanaf het begin van de baan vertrekt en dat het effect op de geluidbelasting beperkt zou zijn,
- het gebrek aan volledige informatie rondom het gebruik van intersectiestarts,
- het gebrek aan een model dat intersectiestarts kan voorspellen,

is tijdens de overleggen met de experts besloten dat de te behalen extra nauwkeurigheid van het modelleren van intersectiestarts niet opwoog tegen de extra complexiteit van modelleren en de benodigde inspanning om dit te realiseren. Dit zou daarmee een punt kunnen zijn waarop de modellering in de toekomst mogelijk nog verbeterd zou kunnen worden.

3.2.2 Aanpassing voor derating

Op het moment dat de profielen zoals afgeleid in paragraaf 3.2.1 worden vergeleken met de door de radarinstallaties geregistreerde hoogteverloop van uitgevoerde vluchten blijkt dat, met name voor de relatief lage afstandsklasses, de profielen over het algemeen steiler klimmen dan in praktijk. Het hoogteverloop dat in praktijk wordt gezien varieert van vlucht tot vlucht en dit geeft voor een groot aantal starts uiteindelijk een bundel aan registraties. Indien het gemodelleerde profiel wordt vergeleken met deze bundel blijkt dat het profiel vaak boven de bundel van radartracks komt te liggen. Een voorbeeld van deze situatie is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Voorbeeld van een startprofiel (rood) op basis van het maximaal beschikbare motorvermogen, vergeleken met een bundel aan radarregistraties (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan)

Er zijn heel veel mogelijke verklaringen voor de verschillen tussen de theorie en praktijk, zoals:

- Het gebruik van een vereenvoudigd vliegprestatiemodel
- Het gebruik van intersectiestarts *(zie paragraaf 3.2.1.6)*
- Het toepassen van derating
- Een hoger dan verwacht startgewicht
- Afwijkende atmosferische condities (met name temperatuur en wind)

Echter, de verwachting, ook gedeeld door de experts, is dat het toepassen van derating (het starten met minder dan het maximale motorvermogen) een belangrijke verklaring geeft. In praktijk wordt met straalvliegtuigen en turboprops vaak met minder vermogen gestart en/of geklommen, om de levensduur van de motor te verlengen en onderhoudskosten te besparen. Op basis hiervan is ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om startprofielen op basis van derating af te leiden.

3.2.2.1 Aanpassing afleiding profielen

Het gebruik van derating wordt niet standaard ondersteund op basis van de gegevens in de ANP database[4] of het deel van het Doc29 model dat procedures omzet in profielen. Een eerste stap in het onderzoek naar het toepassen derating was dan ook het ontwikkelen van een methode om profielen af te leiden waarbij derating kon worden toegepast.

Op het moment dat gestart wordt met gebruik van derating wordt met minder dan het maximale startvermogen gestart. Vooral op het moment dat deze reductie groot is, is het niet ongebruikelijk om ook minder dan het maximale klimvermogen verder te vliegen na de cutback. Als gevolg hiervan kan het voorkomen dat verticale snelheden in de acceleratiesegmenten van de full power procedures te optimistisch zijn en daardoor ook gereduceerd moeten worden. Er is immers minder vermogen beschikbaar en op het moment dat dezelfde klimsnelheden zouden worden vastgehouden, blijft er onvoldoende stuwkracht over voor de acceleratie. Bij het afleiden van de derated profielen is daarom rekening gehouden met de mogelijkheid om de volgende drie parameters te reduceren:

- Beschikbaar startvermogen
- Beschikbaar klimvermogen
- Verticale snelheden tijdens de acceleratiefases

Voor alle drie de parameters geldt dat wordt gewerkt met relatieve reducties, bijvoorbeeld het gebruik van 90% van het start- of klimvermogen en 80% van de verticale snelheden.

Om met gereduceerde vermogens te kunnen werken zijn de gegevens uit de ANP database uitgebreid met een set fictieve gegevens, specifiek het deel dat de definities van de motormodellen van de verschillende vliegtuigtypes bevat. Hier worden extra vermogensstanden toegevoegd die een geschaalde kopie zijn van de originele gegevens. Hierbij zijn alle regressiecoëfficiënten ten opzichte van de originele coëfficiënten met een bepaald percentage gereduceerd, bijvoorbeeld 20%. Op basis van deze extra vermogensstanden is het vervolgens mogelijk een stand te kiezen die, in dit specifieke voorbeeld 80% van de maximaal beschikbare stuwkracht levert.

Om de nieuwe coëfficiënten ook toe te laten passen, worden extra startprocedures gedefinieerd, waarbij de nieuwe vermogensstanden worden toegepast. In de definitie van deze nieuwe startprocedures wordt ook de verticale snelheid tijdens de acceleratiefase aangepast. In Tabel 7 is een voorbeeld weergegeven. Het bovenste deel van de tabel geeft de definitie van een standaard startprocedure, zonder toepassing van derating. Het onderste deel geeft een voorbeeld van een variant, waarbij wel derating is toegepast. In rood zijn de wijzigingen ten opzichte van de standaardprocedure weergegeven. Dit betreft een toevoeging op de naam (in dit geval D13 om aan te geven welke variant dit betreft), het gebruik van andere vermogensstanden en het verlagen van verticale klimsnelheid tijdens de acceleratiefase.

[4] Hierop geldt één uitzondering: De ECLIPSE500 kent wel startprocedures waarbij derating kan worden toegepast. Specifiek voor dit type wordt voor het toepassing van derating wel uitgegaan van de gegevens in de ANP database.

Tabel 7: Voorbeeld van de definitie van de startprocedures met toepassing van derating

ACFT_ID	Profile_ID	Step Type	Thrust Rating	Flap_ID	End Point Altitude (ft)	Rate Of Climb (ft/min)	End Point CAS (kt)
737700	NADP1_15_30	Takeoff	MaxTakeoff	T_5			
737700	NADP1_15_30	Climb	MaxTakeoff	T_5	1500		
737700	NADP1_15_30	Climb	MaxClimb	T_5	3000		
737700	NADP1_15_30	Accelerate	MaxClimb	T_ZERO		1747.6	194.9
737700	NADP1_15_30	Accelerate	MaxClimb	T_ZERO		2128.3	250
737700	NADP1_15_30	Climb	MaxClimb	T_ZERO	5500		
737700	NADP1_15_30	Climb	MaxClimb	T_00H	7500		
737700	NADP1_15_30	Climb	MaxClimb	T_00H	10000		
737700	NADP1_15_30D13	Takeoff	ReduceTakeoff	T_5			
737700	NADP1_15_30D13	Climb	ReduceTakeoff	T_5	1500		
737700	NADP1_15_30D13	Climb	ReduceClimb	T_5	3000		
737700	NADP1_15_30D13	Accelerate	ReduceClimb	T_ZERO		1398	194.9
737700	NADP1_15_30D13	Accelerate	ReduceClimb	T_ZERO		1703	250
737700	NADP1_15_30D13	Climb	ReduceClimb	T_ZERO	5500		
737700	NADP1_15_30D13	Climb	ReduceClimb	T_00H	7500		
737700	NADP1_15_30D13	Climb	ReduceClimb	T_00H	10000		

3.2.2.2 Kalibratie tegen radargegevens

Op basis van de hiervoor beschreven methode is het mogelijk om Doc29 startprofielen af te leiden waarbij met minder dan het maximale vermogen wordt gestart. Bij deze profielen verloopt de klim minder steil dan bij de originele startprofielen op basis van de ANP database en sluiten deze profielen beter aan bij de praktijk.

De vraag is echter hoeveel derating moet worden toegepast in welke situatie. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is besloten om diverse varianten van de derated profielen af te leiden en op basis van analyses vast te stellen welke variant het beste aansluit bij de praktijk. Hiermee worden de profielen gekalibreerd. De vergelijking met de praktijk vindt plaats op basis van radargegevens.

Voor de kalibratie is een dataset samengesteld van radargegevens van startende vluchten uit de gebruiksjaren 2004 en 2011. In deze jaren werd nog voornamelijk de NADP1 start uitgevoerd. De kalibratie van de profielen heeft dan ook plaatsgevonden op basis van NADP1 profielen. Vervolgens is aangenomen dat de voor de NADP1 profielen toegepaste kalibratie ook van toepassing is op de NADP2 profielen.

Deze aanname is in een later stadium nog wel gecontroleerd. Hiervoor is nog een tweede set met radargegevens samengesteld op basis van gegevens uit 2016. Deze set is niet direct toegepast voor de kalibratie omdat in dat jaar, en

dus ook in de set met radargegevens, de NADP1 en NADP2 startprocedures door elkaar werden gevlogen. Dit geeft een extra onzekerheid bij het koppelen van de profielen tegen de radargegevens. De set is echter wel gebruikt om het resultaat te controleren. Hierbij zijn NADP2 profielen vergeleken met de radargegevens van maatschappijen waarvan bekend was dat deze een bepaalde NADP2 procedure vlogen in dat jaar. De vergelijking zelf is opgenomen in paragraaf 3.2.3.

3.2.2.3 Opties en keuze toepassen derate

Nadat er een methode was om derating toe te passen op de profielen en er set met praktijkgegevens was om de profielen mee te vergelijken, moest nog besloten worden hoe de kalibratie exact zou worden uitgevoerd.

Op basis van ervaringen en gegevens van vliegtuigfabrikanten was het bekend dat voor een gegeven vliegtuigtype over het algemeen meer derating wordt toegepast als het vliegtuig relatief licht is, dus relatief ver beneden het maximale startgewicht vertrekt. Op basis hiervan lag het voor de hand om bij het toepassen van de kalibratie rekening te houden met de afstandsklasse, die het startgewicht van het toestel bepaalt. Het toe te passen percentage derate werd daarmee een functie van de (genormaliseerde) afstandsklasse van het vliegtuigtype. Het verloop van de toegepaste derating als functie van de (genormaliseerde) afstandsklasse wordt verder aangeduid met de term ‘derate-schema’.

Vervolgens zijn de volgende twee methodes overwogen voor het toepassen van de derating:

- Uniform derate-schema
- Type-afhankelijk derate-schema

Een uniform derate-schema wil zeggen dat alle vliegtuigtypen dezelfde derating krijgen toegepast, waarbij de derating alleen een functie is van de genormaliseerde afstandsklasse van het type. Uit analyses bleek echter dat in praktijk de mate van derating niet onafhankelijk is van vliegtuigtype. Zowel de fabrikant als het type lijken van invloed op de mate van derating die uit de radargegevens kan worden afgeleid. Verder leek bij relatief oude vliegtuigtypes geen of weinig derating te worden toegepast. Deze observatie werd ook ondersteund door informatie van vliegtuigfabrikanten. Hierdoor lag de keuze voor een uniform derate-schema niet voor de hand.

Bij een type-afhankelijk derate-schema wordt per vliegtuigtype de mate van derate bepaald, ook in dit geval als functie van de genormaliseerde afstandsklasse. Voor vliegtuigtypes die relatief veel voorkomen gaven testen van deze strategie plausibele resultaten. Echter, voor types die minder vaak voorkomen waren de resultaten niet altijd logisch. Bovendien was het niet altijd mogelijk om voor deze minder vaak voorkomende types een derate-schema af te leiden als functie van de afstandsklasse, omdat in de praktijk bijvoorbeeld maar één afstandsklasse werd gebruikt.

Omdat beide methodes nadelen hebben, is uiteindelijk voor een combinatie van beide methodes gekozen. Voor vliegtuigtypes die veel voorkomen op Schiphol is een specifiek derate-schema afgeleid. Voor de overige typen is gebruik gemaakt van een uniform derate-schema.

3.2.2.4 Bepalen derate-schema specifieke types

Voor vliegtuigtypen binnen de top 20 van meest voorkomende typen in de gebruikte referentiejaren is in principe een eigen derate-schema afgeleid. Echter, niet alle typen zijn opgenomen in de ANP database of hebben alle benodigde gegevens om profielen te maken in de database. De 13 typen waarvoor uiteindelijk een eigen schema is bepaald zijn opgenomen in Tabel 8.

Tabel 8: Vliegtuigtypen waarvoor een typespecifiek derate-schema is afgeleid

B744	B737	E190
A320	A319	A333
A321	B772	B733
F100	B763	B734
B735		

De gevolgde methode is gebaseerd op het minimaliseren van het hoogteverschil tussen de radargegevens en uiteindelijk toe te passen profielen. Hiervoor zijn eerst een groot aantal mogelijke profielen gegenereerd, waarbij een verschillende mate van derating is toegepast. Deze verschillende varianten van derating zijn vervolgens vergeleken met de radargegevens, waarbij de hoogteverschillen tussen de radargegevens en de profielen is bepaald. De variant die leidt tot de kleine hoogteverschillen is de best passende variant.

In eerste instantie zijn 59 varianten van derate profielen aangemaakt, op basis van een systematische variatie van de 3 eerder genoemde parameters : beschikbaar startvermogen, beschikbaar klimvermogen, verticale snelheden tijdens de acceleratiefases (zie paragraaf 3.2.2.1). Op basis van een analyse van welke van deze varianten ook aansluiten bij de praktijk, is de set gereduceerd tot 16 varianten. Deze derate varianten zijn gespecificeerd in Appendix B.1.

De keuze voor een bepaalde variant wordt gemaakt door per vliegtuigtype en afstandsklasse te bepalen welke variant leidt tot de kleinste kwadratische afwijking van het hoogteverschil. Hierbij is een weging toegepast, waarbij hoogteverschillen laag bij de grond zwaarder meetellen dan hoogteverschillen op grotere hoogte, omdat hoogteverschillen laag bij de grond ook meer invloed hebben op de geluidniveaus. De gebruikte weegfactor is 1 bij de grond en loopt lineair af naar 0.5 bij een hoogte van 3500 meter. Vanaf deze hoogte blijft de weegfactor constant op 0.5. De verschillen in hoogte zijn bepaald voor de eerste 30 kilometer na het begin van de startrol. Voor grotere afstanden geldt dat de desbetreffende gebieden buiten de 48 dB(A) Lden contour van de luchthaven liggen.

In principe is de kleinste kwadraten analyse leidend geweest in het vaststellen van het derate-schema. In bepaalde gevallen leek dit echter een onlogisch schema op te leveren. De verwachting is namelijk dat bij een toenemend startgewicht (bij een oplopende afstandsklasse) de mate van derating afneemt. Hoewel dit over het algemeen ook uit de analyse bleek, waren er ook enkele uitzonderingen. Voor deze uitzonderingen is gekeken of mogelijk een laag aantal achterliggende vluchten de uitzondering kon hebben veroorzaakt en/of er een wel passende variant beschikbaar was met een vergelijkbare kwadratische afwijking. De uiteindelijk toegepaste derate-schema’s per vliegtuigtype zijn opgenomen in Appendix B.2.

3.2.2.5 Bepalen van generiek derate-schema

Voor minder vaak voorkomende vliegtuigtypen is een generiek derateschema bepaald. De methode is identiek aan de methode zoals beschreven in de vorige paragraaf. De enige uitzondering is dat de analyse niet per vliegtuigtype is uitgevoerd, maar voor de verschillende vliegtuigtypen gezamenlijk. Het resulterende derate-schema is opgenomen in Appendix B.3.

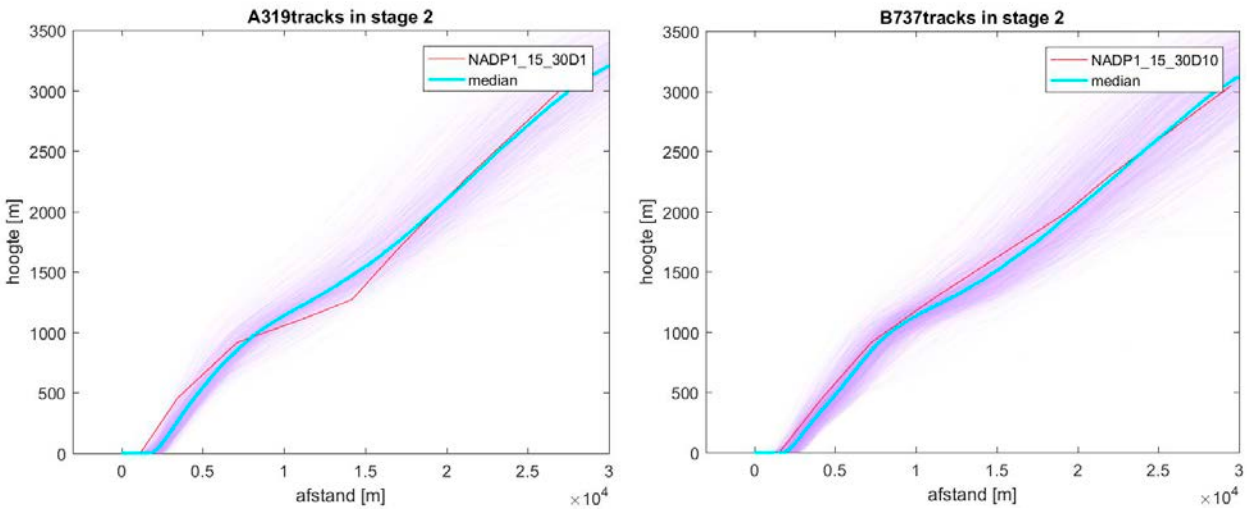
3.2.2.6 Toepassen derate

De afgeleide derate schema's zijn toegepast op de set met startprofielen zoals beschikbaar voor de luchthaven Schiphol. De profielen waarbij derating is toegepast komen in plaats van de profielen op basis van maximaal vermogen. Gebruikers hoeven daardoor niet zelf de derating toe te passen, maar gebruiken profielen waarbij één van de volgende situaties van toepassing is:

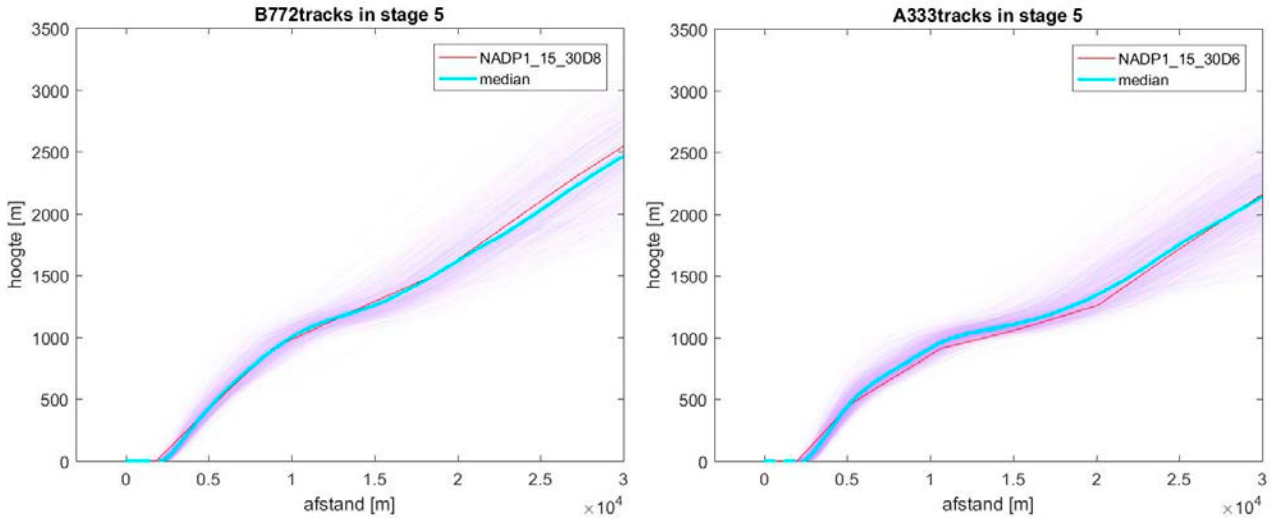
- Oud straalverkeer, propeller verkeer en klein verkeer: hierbij is geen derating toegepast
- Veelvoorkomend straalverkeer: hierbij is een eigen, type specifieke derating toegepast
- Overig straalverkeer: hierbij wordt een generiek derate schema aangehouden.

3.2.3 Resultaten

In Figuur 4 en Figuur 5 zijn enkele voorbeelden opgenomen van de gekalibreerde profielen, vergeleken met het werkelijke hoogteverloop uit radargegevens.



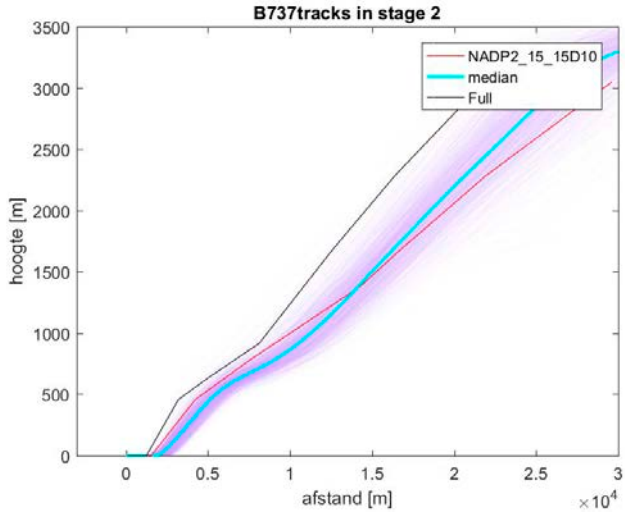
Figuur 4: Voorbeelden van gekalibreerde NADP1 startprofielen (rood) voor de Airbus A319 en de Boeing 737-700 voor afstandsklasse 2, vergeleken met een bundel aan radarregistraties (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan)



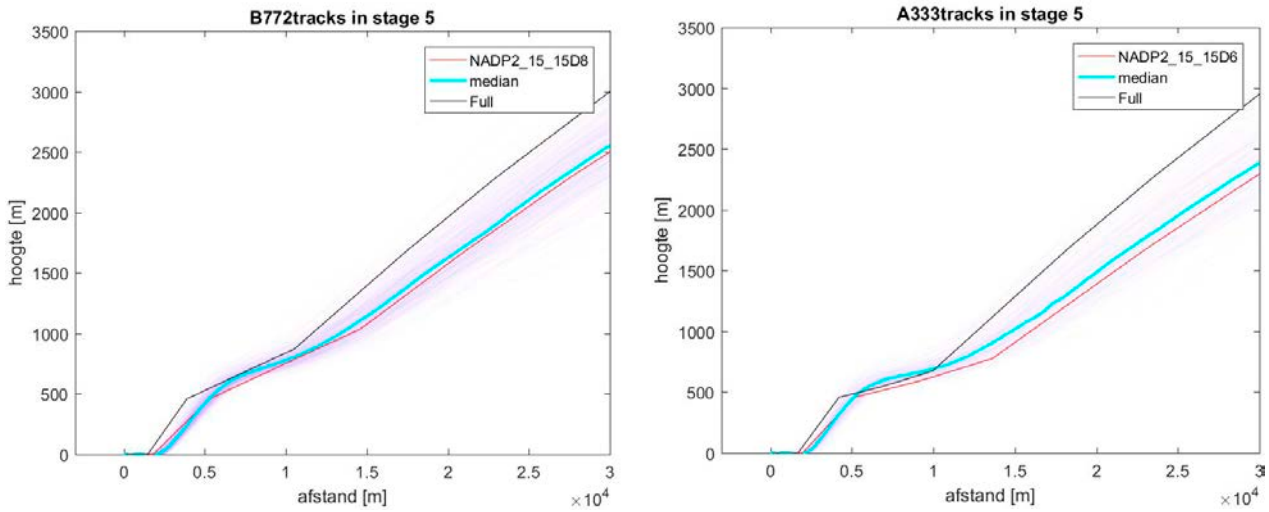
Figuur 5: Voorbeelden van gekalibreerde NADP1 startprofielen (rood) voor de Boeing 777-200 en de Airbus A330-300 voor afstandsklasse 5, vergeleken met een bundel aan radarregistraties (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan)

De figuren laten zien dat de mediaan van de radarbundels over het algemeen goed aansluit bij het gemodelleerde profiel. De afwijkingen zijn lokaal en betreffen zowel overschattingen als onderschattingen van het hoogteverloop.

Tijdens het expertoverleg waarbij deze resultaten zijn gepresenteerd zijn vragen gesteld over het toepassen van de op basis van NADP1 afgeleiden derate-schema's op de NADP2 startprofielen. Vervolgens zijn ter controle figuren gemaakt waarin NADP2 startprofielen zijn geplot tegen NADP2 radartracks uit gebruiksjaar 2016. In deze figuren zijn voor de radartracks alleen KLM en Transavia vluchten meegenomen, omdat voor deze maatschappijen op dat moment zeker was welke NADP2 procedure werd gevlogen. Een aantal voorbeelden zijn opgenomen in Figuur 6 en Figuur 7. Dit zijn dezelfde voorbeelden als in Figuur 4 en Figuur 5, maar dan voor de NADP2 startprocedure. De vergelijking voor de Airbus A319 ontbreekt in dit geval, omdat die niet in de vloot van de KLM of Transavia voorkomt.



Figuur 6: Voorbeeld van een gekalibreerde NADP2 startprofiel (rood) voor de Boeing 737-700 voor afstandsklasse 2, vergeleken met een bundel aan radarregistraties (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan) en het niet gekalibreerde profiel (zwart)



Figuur 7: Voorbeelden van gekalibreerde NADP2 startprofielen (rood) voor de Boeing 777-200 en de Airbus A330-300 voor afstandsklasse 5, vergeleken met een bundel aan radarregistraties (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan) en het niet gekalibreerde profiel (zwart)

De figuren laten zien dat de resulterende profielen redelijk goed aansluiten bij de mediaan van de radarbundel. Ook hier is er lokaal sprake van zowel onder als overschattingen van de hoogte. De figuren laten ook duidelijk zien dat het gemodelleerde hoogteverloop als gevolg van de kalibratie, ondanks het feit dat de kalibratie zelf is uitgevoerd op een andere startprocedure en radargegevens van 5 en 11 jaar eerder, veel beter aansluit bij de praktijk dan de ongekalibreerde profielen die standaard volgen uit het gebruik van de ANP database.

3.3 Afleiding naderingsprofielen

Naast de startprofielen moesten ook nieuwe naderingsprofielen worden afgeleid voor het gebruik van Doc29. De ANP database biedt hier weinig uitkomst, omdat voor het merendeel van de opgenomen vliegtuigtypes maar één naderingsprofiel is opgenomen, terwijl de in praktijk gebruikte naderingsprocedures van vlucht tot vlucht erg kunnen verschillen.

Binnen het NRM werd onderscheid gemaakt naar drie verschillende procedures: de 2000 voet nadering, de 3000 voet nadering en de Continuous Descent Approach (CDA). Voor deze drie procedures waren er, voor de meeste vliegtuigcategorieën, nog twee varianten, namelijk de full flaps en de reduced flaps variant. In totaal waren er dus maximaal 6 verschillende profielen in gebruik per vliegtuigcategorie.

Voor de 2000 voet naderingen werd binnen het NRM aangenomen dat alle vliegtuigen die deze procedure vliegen op hetzelfde punt beginnen aan het horizontale segment op 2000 voet. Hetzelfde geldt voor de 3000 voet naderingen. In praktijk zit hier variatie in: het ene vliegtuig vliegt een kort segment op 2000 voet, het andere vliegtuig een lang segment op 3000 voet. Op basis hiervan was er een breed gedragen wens om te onderzoeken of er in de modellering beter kon worden aangesloten bij de praktijk. Een eerste stap hierin was een analyse van snelheid en hoogte op basis van praktijkgegevens.

3.3.1 Radartrackanalyse

Het gedrag van het naderend verkeer op Schiphol is in kaart gebracht met behulp van radartrackanalyses. Hierin is gekeken naar zowel het verloop van hoogte als het verloop van snelheid tijdens de nadering. Voor de analyse zijn radartracks gebruikt van op Schiphol naderende toestellen uit de gebruiksjaren 2011 en 2016. Om deze relatief grote dataset beter verwerkbaar te maken zijn op basis van een systematische steekproef dagen uit de set geselecteerd. Hierbij is de set gereduceerd naar ongeveer 40% van de originele omvang. De resulterende set bevat ongeveer 180000 naderingen en is afkomstig van FANOMOS.

Het doel was vervolgens om de gegevens te gebruiken voor het vaststellen van de nieuwe naderingsprofielen. Hiervoor moest echter eerst een aanpak worden overeengekomen. Er zijn hiervoor diverse opties besproken. Deze opties worden in de volgende paragraaf besproken.

3.3.2 Aanpak en detailniveau

Voor het aanmaken van de hoogteprofielen van de Doc29 naderingsprofielen zijn vijf opties verkend:

1. Mediaan
2. Mediaan per route
3. Percentielwaarden
4. Kleinste afwijking
5. Vaste daalhoeken en horizontale segmenten

Mediaan
Bij deze methode wordt uit de radargegevens het mediane hoogteverloop van een groep vluchten bepaald en toegepast in het profiel. Dit mediane hoogteverloop wordt bepaald door op verschillende afstanden tot aan de landingsbaan de hoogte te bepalen waar 50% van de vluchten zich boven en 50% zich onder bevindt. Bij deze methode wordt voor de verschillende groepen alleen onderscheid gemaakt naar de verschillende naderingshoogtes, zoals ook wordt gedaan bij het NRM. Het detailniveau is daarmee ook gelijk en eigenlijk is de methode ook gelijk, met dat verschil dat de naderingsprofielen opnieuw gekalibreerd worden op basis van praktijkgegevens. Deze optie voldeed daarom maar heel beperkt aan de wens om meer rekening te houden met de praktijk, waarin een grote variatie aan verschillende naderingen wordt gevlogen. Op basis hiervan is er voor gekozen deze methode niet toe te passen.

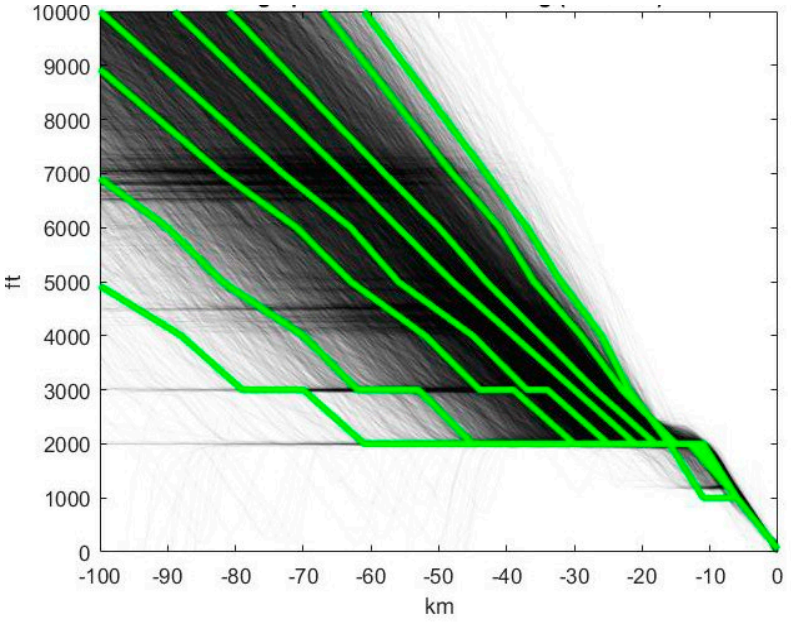
Mediaan per route
Deze methode maakt gebruik van hetzelfde principe als hiervoor beschreven methode, waarbij echter wel onderscheid wordt gemaakt naar de gevlogen naderingsroute. Het idee achter deze aanpak is dat de naderingsroute die wordt gevlogen, veel invloed heeft op het hoogteverloop. Deze aanpak is verder uitgewerkt en de eerste resultaten lieten inderdaad zien dat het naderingsprofiel van route tot route sterk kan verschillen.

Op zich kwam deze methode daarmee tegemoet aan de wens om meer rekening te houden met de grote variatie die in de praktijk wordt gezien. De methode is dan ook serieus overwogen, maar uiteindelijk niet gekozen vanwege twee praktische nadelen. Het eerste nadeel is dat er bij de introductie van nieuwe naderingsroutes in eerste instantie geen profielen beschikbaar zijn voor deze route. Daar komt bij dat de methode een statisch resultaat geeft. Eventuele veranderingen in praktijk, bijvoorbeeld door meer verkeersaanbod of een aanpassing van het luchtruim, komen niet

automatisch tot uiting in het resultaat van de geluidbelastingberekening. Vooral het feit dat ook andere methoden zijn overwogen die geen last hebben van deze twee nadelen, maakt dat deze aanpak uiteindelijk niet is gekozen.

Percentielwaarden

Uit een representatieve bundel radartracks wordt, op basis van gekozen percentielwaarden (bijvoorbeeld 10^{e} percentiel, 20^{e} percentiel, etc.) een aantal hoogteprofielen geconstrueerd. De gebruikte methode is identiek aan de hierboven beschreven methode voor het afleiden van de mediaan, met dit verschil dat niet alleen het 50^{e} percentiel (de mediaan) wordt bepaald maar een set aan percentielwaarden. Ook bij deze methode geldt dat nog wel onderscheid gemaakt wordt naar naderingshoogte. Een voorbeeld is weergegeven in Figuur 8.

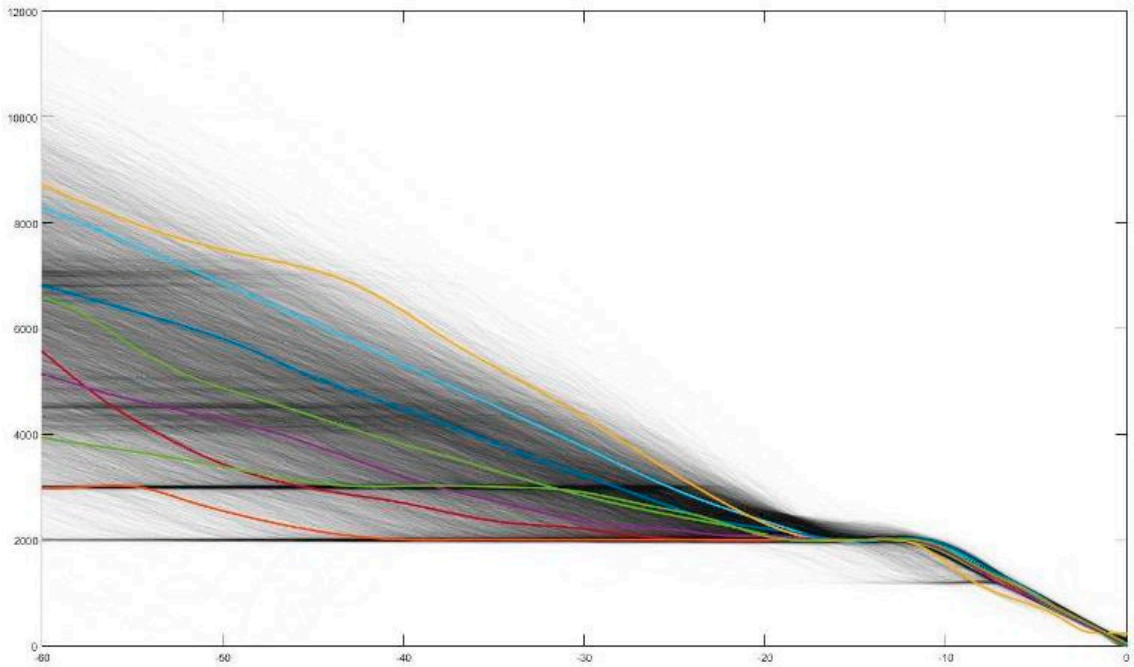


Figuur 8: Subprofielen op basis van percentielwaarden, in dit geval subprofielen van een 2000 voet nadering. De radargegevens zijn weergegeven in zwart, de resulteerde profielen op basis van percentielwaarden zijn weergegeven in groen

Binnen deze methode wordt niet alleen beter aangesloten op de praktijk, maar wordt ook het detailniveau verhoogd. Er ontstaan immers subprofielen: verschillende profielen die allemaal behoren tot een bepaalde groep, in dit geval de 2000 voet nadering. Dit betekent dat bij een eventuele keuze voor deze methode ook een toewijzing moet worden gedefinieerd: welke vlucht wordt aan welk profiel toegekend. Dit geldt ook voor de volgende twee beschreven methoden. De toewijzing wordt daarom apart in paragraaf 3.3.3 besproken.

Kleinste afwijking

De methode op basis van kleinste afwijking is gebaseerd op het selecteren van de meest representatieve vluchten uit de bundel met radargegevens. De profielen worden vervolgens gedefinieerd op basis van deze vluchten. Meest representatief is in dit geval gedefinieerd als zodanig dat de totale hoogteafwijking tussen alle vluchten en het meest passende profiel uit de set wordt geminimaliseerd op basis van de kleinste kwadraten methode. Praktisch gezien selecteert de methode eerst één representatieve vlucht, namelijk die vlucht waarvoor geldt dat de totale hoogteafwijking tussen deze vlucht en alle overige vluchten minimaal is. Vervolgens wordt een tweede representatieve vlucht gezocht, waarvoor geldt dat de totale hoogteafwijking tussen deze of de eerder geselecteerde vlucht en alle overige vluchten minimaal is. Dit proces wordt voorgezet tot het gewenste aantal representatieve vluchten is bereikt. In Figuur 9 is een voorbeeld opgenomen.



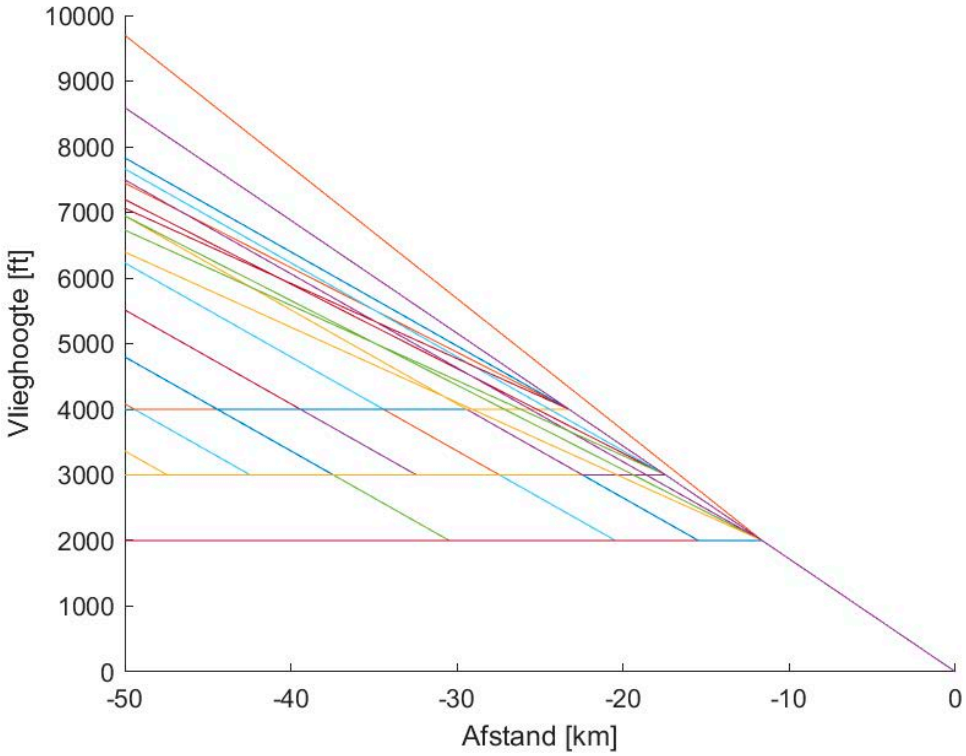
Figuur 9: Subprofielen op basis van de methode 'kleinste afwijking' waarbij uit de set met praktijkgegevens (zwart) een aantal vluchten wordt geselecteerd die samen zo representatief mogelijk zijn voor het geheel aan vluchten

Het voordeel van deze methode boven de aanpak op basis van percentielwaarden is dat de profielen gebaseerd zijn op werkelijk uitgevoerde vluchten en daarmee per definitie uitvoerbaar zijn. Ook blijkt dat de hoogteafwijking, indien vergeleken met de methoden op basis van percentielwaarden kleiner. Er zijn echter ook nadelen. Zoals ook in Figuur 9 is te zien kruisen de verschillende profielen elkaar en dit is minder goed uitlegbaar. Ook geldt dat de methode met het oog op de toekomst niet stabiel is. Op het moment dat een andere (nieuwere) set praktijkgegevens wordt gebruikt, is de selectie van representatieve vluchten mogelijk geheel anders. Dit geldt overigens ook voor de methode op basis van percentielwaarden.

Deze en de vorige methoden zijn wel in een expertoverleg voorgelegd als de potentiele oplossingsrichtingen. Op basis van discussies en wensen van de experts is uiteindelijk gekozen voor een variant van beide hierboven beschreven methoden, gebaseerd op vaste daalhoeken en horizontale segmenten. Deze methode wordt hieronder beschreven, samen met de redenen waarom uiteindelijk voor deze methode gekozen is.

Vaste daalhoeken en horizontale segmenten

Naar aanleiding van discussies met experts is gekozen voor het opstellen van een set verschillende profielen op basis van daalsegmenten met vaste daalhoeken en horizontale segmenten met vaste lengtes. Dit in tegenstelling tot de vorige twee beschreven methodes, waarbij daalhoeken continu kunnen variëren, horizontale segmenten niet exact horizontaal hoeven te zijn en er geleidelijke overgangen zijn tussen daalsegmenten en horizontale segmenten. Profielen op basis van vaste daalhoeken en horizontale segmenten worden ook wel gestileerde profielen genoemd en het gebruik ervan sluit aan bij de situatie die ook voor het NRM gold. Een belangrijk verschil is echter dat subprofielen worden gedefinieerd en gebruikt, zoals bij de vorige twee beschreven methoden. Het doel van het gebruik van subprofielen is dat de grote variatie in uitgevoerde naderingen beter wordt meegenomen in het modelleren. Figuur 10 laat het eindresultaat zien van deze methode, waarin te zien is dat een relatief groot aantal profielen is gedefinieerd met een grote variatie. Gezamenlijk dekken deze profielen de variatie af die in praktijk wordt gezien, veel beter dan in de oude situatie. Op basis van het figuur is de methode in de expertoverleggen ook wel de 'vorkmethode' genoemd.



Figuur 10: Naderingsprofielen volgens de vorkmethode

De redenen dat in het expertoverleg is gekozen voor het gebruik van gestileerde profielen zijn de volgende:

- De methode is eenvoudiger toepasbaar.
- De methode is beter uitlegbaar en sluit beter aan bij de tot nu toe gehanteerde methoden, zowel nationaal als internationaal.
- De methode is beter herhaalbaar omdat deze niet afhankelijk is van een set specifieke praktijkgegevens en daarom beter toekomstbestendig.

Net als voor de vorige twee methoden, geldt dat in combinatie met deze methode ook een toewijzing moet worden gedefinieerd die bepaalt welke vlucht aan welk profiel wordt toegekend. Deze toewijzingsmethode is beschreven in paragraaf 3.3.3.

De set met profielen in Figuur 10 is het eindresultaat van de methode. Er zijn echter een aantal iteraties aan vooraf gegaan waarbij wijzigingen zijn aangebracht aan de eerste ontwerpen:

- In eerste instantie waren 3 soorten naderingen gedefinieerd (zoals ook in het NRM), namelijk: 2000 voet naderingen, 3000 voet naderingen en CDA naderingen. Omdat sinds 2016 op Schiphol in bepaalde situaties ook 4000 voet naderingen worden uitgevoerd, zijn ook deze toegevoegd aan de set met Doc29 profielen voor Schiphol.
- In eerste instantie waren alle toegepaste daalhoeken gebaseerd op 3 graden daling, conform NRM. Hoewel deze hoek voor de eindnadering[5] eigenlijk altijd gebruikt wordt in verband met het Instrument Landing System (ILS), is ook onderzoek gedaan naar de daalhoeken die in praktijk worden gebruikt op de eerste delen van de profielen. Op basis hiervan is de daalhoek gereduceerd naar 2.5 graden op dit deel van de nadering.

[5] Het laatste deel van de nadering, afhankelijk van de procedure beginnend op een hoogte van 2000 tot 4000 voet en eindigend bij de baan.

- Specifiek voor CDA naderingen is op basis van analyses besloten om profielen met verschillende daalhoeken te definiëren, in combinatie met verschillende hoogtes waarbij de glide slope van het ILS wordt onderschept.
- In eerste instantie zijn meer varianten gedefinieerd. Bij analyses bleek dat een aantal van deze varianten in praktijk niet of nauwelijks gebruikt zouden worden, omdat er geen vluchten aan toe werden gewezen. De varianten die niet of nauwelijks werden toegewezen zijn verwijderd uit de set.

Een lijst met alle varianten (zoals weergegeven in Figuur 10) en de bijbehorende beschrijving is opgenomen in Appendix B.4.

3.3.3 Toewijzing van profielen

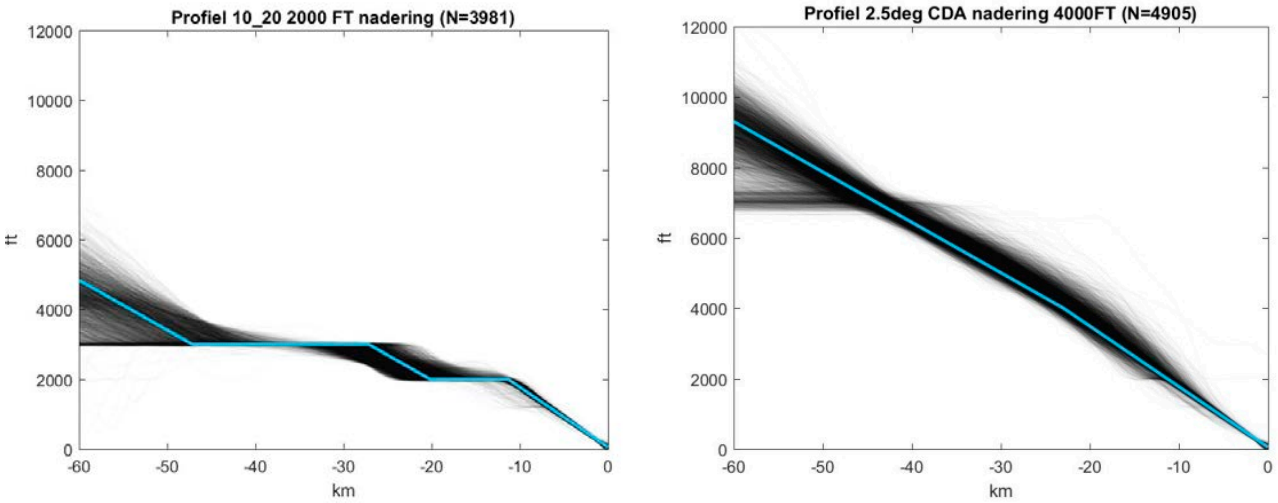
Aan welk profiel een radartrack moet worden toegewezen wordt bepaald met behulp van een toewijzingsformule. De formule maakt gebruik van de gewogen kleinste kwadraten methode, waarbij de set met naderingsprofielen wordt geëvalueerd. Het doel hierbij is het profiel te kiezen dat het beste past bij de vlucht, in de zin dat de hoogteafwijking tussen vlucht en profiel zo klein mogelijk is.

$$C_{i,j} = \sum_{i,j,k} \left(\frac{z_{pr_{j,k}} - z_{rt_{i,k}}}{z_{rt_{i,k}}} \right)^2$$

$C \quad = matching\ coefficient\ (lager\ is\ betere\ match)$
$z_{pr} = profiel\ hoogte$
$z_{rt} \ = radar\ track\ hoogte$ (minimaal 1 meter)
$i \quad = vlucht\ uit\ dataset$
$j \quad = naderingsprofiel\ uit\ set$
$k \quad = profielpunt\ (afstand\ tussen\ 12\ en\ 50km\ tot\ runway)$

De evaluatie vindt plaats op vaste afstanden tussen 12 en 50 km van de baandrempel, met een tussenruimte van 200 meter. De toewijzing is dus gebaseerd op een evaluatie van de hoogteverschillen op 191 locaties voor de baan. De reden dat de laatste 12 kilometer voor de baan niet wordt meegenomen is dat alle profielen hier hetzelfde daalpad hebben, conform het glijpad van de ILS. Evaluatie van hoogteverschillen in dit gebied draagt niets bij aan het resultaat.

Segmenten waarbij vliegtuigen laag vliegen tellen zwaarder mee doordat in de formule wordt gedeeld door de hoogte van de vlucht. Dit betekent dat de plekken waar het vliegtuig het laagst vliegt het meest bepalend zijn voor matching. In Figuur 11 is een voorbeeld te zien van alle radartracks die gematcht zijn aan twee bepaalde profielen op basis van de hierboven gedefinieerde formule.



Figuur 11: Toewijzen van radartracks aan twee verschillende profielen, links een 2000 voet nadering met ook een horizontaal segment op 3000 voet en rechts een CDA met een daalhoek van 2.5 graden tot 4000 voet

3.3.4 Afleiding snelheidsprofielen

Voor het afleiden van naderingsprofielen dient naast een hoogteverloop ook een snelheidsverloop te worden gedefinieerd. Ook hiervoor zijn gegevens gebruikt vanuit de praktijk, op basis van radargegevens. Omdat het snelheidsverloop sterk afhankelijk kan zijn van de gevlogen procedure, lag het voor de hand om de snelheidsgegevens voor een bepaald profiel af te leiden uit de radargegevens van vliegbanen die gekoppeld zijn aan het specifieke profiel waarvoor de snelheid moet worden afgeleid. Wel zijn hiervoor nog twee opties verkend:

1. Mediaan snelheidsprofiel
2. Mediaan snelheidsprofiel per vliegtuigtype

Bij zowel de eerste als tweede methode is er voor gekozen om per hoogteprofiel een mediaan snelheidsprofiel te berekenen. Deze mediaan is bepaald uit het snelheidsverloop van de 20% vluchten die het beste bij het gemodelleerde hoogteverloop passen (dat wil zeggen de laagste matchingscore hebben, zie paragraaf 3.3.3). Er is gekozen voor het op deze manier reduceren van de dataset om zo een snelheidsprofiel te vinden op basis van vliegbanen die zo dicht mogelijk bij het gemodelleerde hoogteprofiel liggen. Dit reduceert het risico dat een snelheidsprofiel wordt gekozen dat op bepaalde delen van het profiel slecht bij het hoogteverloop past, wat vervolgens zou kunnen leiden tot een onrealistisch stuwkrachtsverloop.

Er is voor de afleiding van de snelheidsprofielen vervolgens gekeken naar het wel of niet toepassen van een type-afhankelijkheid of gewichtsafhankelijkheid. Uit analyses bleek dat het selecteren op basis van vliegtuigtype in veel gevallen zou leiden tot een te kleine set van representatieve profielen. Hoewel dit praktische probleem had kunnen worden opgelost door meer radargegevens te verzamelen, bleek uit analyses dat het snelheidsverloop op Schiphol redelijk uniform is. Om deze reden is voor het mediane profiel zonder vliegtuigtype-afhankelijkheid gekozen. Omdat propellervliegtuigen vaak aanzienlijk langzamer vliegen dan straalverkeer, zijn voor propellervliegtuigen enkele aanpassingen gedaan. Dit wordt verder beschreven in paragraaf 3.3.5 en Appendix B.5. In deze appendix is ook een figuur opgenomen met daarin de toegepaste snelheidsprofielen.

3.3.5 Maximum snelheid en schaling

Elk vliegtuigtype heeft eigen snelheidslimieten, zowel minima als maxima. Daarom wordt op het afgeleide snelheidsprofiel een nabewerking toegepast op het moment dat het standaard snelheidsprofiel boven de maximumsnelheid of onder de minimumsnelheid zou komen. Dit proces is vliegtuigtype-afhankelijk. Per type geldt een maximum snelheid. Deze maximumsnelheid is in principe 250 knopen (voor 10000 voet en lager), maar niet hoger dan de hoogste snelheid die voor dat type beschikbaar is in de beschikbare profielen in de ANP database. Indien er geen standaardprofielen zijn, worden op basis van waarneming uit de ANP database de maximum snelheden aangehouden zoals opgenomen in Tabel 9.

Tabel 9: Maximaal toegepaste snelheid op het moment dat

Type vliegtuig (indeling ANP)	Maximum snelheid in knopen Calibrated Airspeed
Straalvliegtuig	250
Grote turboprop	170
Kleine turboprop	140
Groot propellorvliegtuig	150
Klein propellorvliegtuig	120

Naast een maximum snelheid geldt voor elk type ook een minimum snelheid. Deze is gelijk aan de eindnaderingsnelheid zoals kan worden bepaald op basis van de gegevens uit de ANP database. Dit minimum is daarmee afhankelijk van de laatste flapsetting die bij het profiel wordt toegepast (full flaps of reduced flaps).

Voor de vliegtuigtypen die een maximumsnelheid hebben van minder dan 250 knopen wordt een schaling van de snelheid toegepast. Dit houdt in dat voor deze vliegtuigtypen de snelheid vanaf een afstand van 30km tot de baan de snelheid geleidelijk wordt gereduceerd om een te radicale en daarmee onrealistische snelheidsafname te voorkomen rond de laatste punten van het profiel. Voor meer informatie over de toegepaste schaling, zie Appendix B.5.

3.3.6 Flap scheduling

Tijdens de nadering wordt een aantal flapsettings (klepstanden) doorlopen. Voor elk vliegtuigtype zijn verschillende flapsettings beschikbaar in de ANP database. De ANP database bevat echter geen gegevens waarmee kan worden bepaald bij welke snelheid welke flapsetting moet worden toegepast. Hoewel deze informatie in de toekomst wel wordt verwacht in de database, moest bij het afleiden van de naderingsprofielen worden gezocht naar een alternatief.

Een mogelijk alternatief is het toepassen van verschillende flapsettings op basis van de afstand tot aan de baan. Dit alternatief is niet heel erg realistisch, omdat de snelheden waarbij flaps moeten worden toegepast van vliegtuigtype tot vliegtype erg kunnen verschillen.

Een ander alternatief was een extra bron aanspreken buiten de ANP database om, zoals bijvoorbeeld BADA [Ref 20]. Op basis van deze database kan wel worden afgeleid welke klepstanden verschillende vliegtuigtypes aanhouden bij

verschillende snelheden. Een nadeel is dat dit alleen zou kunnen voor de vliegtuigtypes die ook in BADA zijn opgenomen, waardoor voor diverse types die wel in de ANP database beschikbaar zijn geen, of minimaal geen consistente profielen gemaakt hadden kunnen worden.

Deze afhankelijkheid is uiteindelijk vermeden door een generieke flapscheduling af te leiden op basis van de gegevens uit BADA. Door To70 is voor 20 vliegtuigtypes in kaart gebracht bij welke snelheden deze types bepaalde flaps selecteren. Uit deze gegevens is vervolgens een generiek verband afgeleid, dat wordt toegepast op alle vliegtuigtypes. Dit heeft als voordeel dat er geen afhankelijkheid is van BADA gegevens: ook types die niet in BADA beschikbaar zijn, zijn op deze manier toch te verwerken. Het nadeel van deze methode is de generieke flapscheduling mogelijk iets minder nauwkeurig is dan een vliegtype specifieke flapscheduling. Mocht in de toekomst de ANP database wel de benodigde informatie gaan leveren voor de flapscheduling, dan verdient het daarom de aanbeveling om de ANP informatie te gaan gebruiken. Voor meer informatie, zie 0.

Verder wordt nog opgemerkt dat voor een aantal vliegtuigtypes de ANP database geen of onvoldoende flapsettings bevat om naderingsprofielen te kunnen doorrekenen. In dat geval konden de naderingsprofielen niet worden aangemaakt en zijn ook geen startprofielen aangemaakt. Daarbij is het ANP type uitgesloten als proxy-kandidaat voor het substitutieprotocol (zie paragraaf 2.3.2). Dit geldt ook voor de set met ANP gegevens van de Boeing 737-800, het meest gebruikte vliegtuigtype op Schiphol. Dit type is daardoor in de berekeningen met behulp van het substitutieprotocol doorgerekend[6].

3.3.7 Afleiding stuwkrachtsverloop

Bij een gegeven hoogteverloop, snelheidsverloop en toegepaste flapsettings kan het stuwkrachtsverloop, conform ECAC Doc29 [Ref 4], worden bepaald op basis van krachtenevenwicht. Dit wordt in principe gehanteerd tot aan de landing.

Na de landingen, tijdens het decelereren geldt niet langer het principe van krachtenevenwicht. Aan het begin van de deceleratie wordt de stuwkracht verondersteld 20% te zijn van de maximale statische stuwkracht van het betreffende type, zoals gedefinieerd in de ANP database. De stuwkracht loopt vervolgens af naar 10% aan het einde van de deceleratie. De toegepaste stuwkracht op de grond is fictief: het beïnvloed namelijk niet meer de vertraging van het toestel, maar enkel het geluidniveau. De relatief hoge waarde van 20% is gekozen in verband met het toepassen van reverse thrust (straalomkeerders).

Het is voor Schiphol niet exact bekend in welke mate reverse thrust wordt toegepast en welke geluidniveaus hier het gevolg van zijn. De gekozen waarde van 20% is een standaardwaarde, overgenomen uit ECAC Doc29 bij gebrek aan operationele gegevens. Met behulp van nader onderzoek zou deze waarde bijgesteld kunnen worden om beter aan te sluiten bij de praktijk.

[6] Vluchten van de Boeing 737-800 zijn doorgerekend met behulp van substitutie met gegevens van voornamelijk de Boeing 737-700, of in combinatie met specifieke motortypes, die van de Airbus A320-211. Daarnaast is bij de databasebeheerders een verzoek neergelegd om te onderzoeken of het mogelijk is de ontbrekende gegevens alsnog aan te vullen.

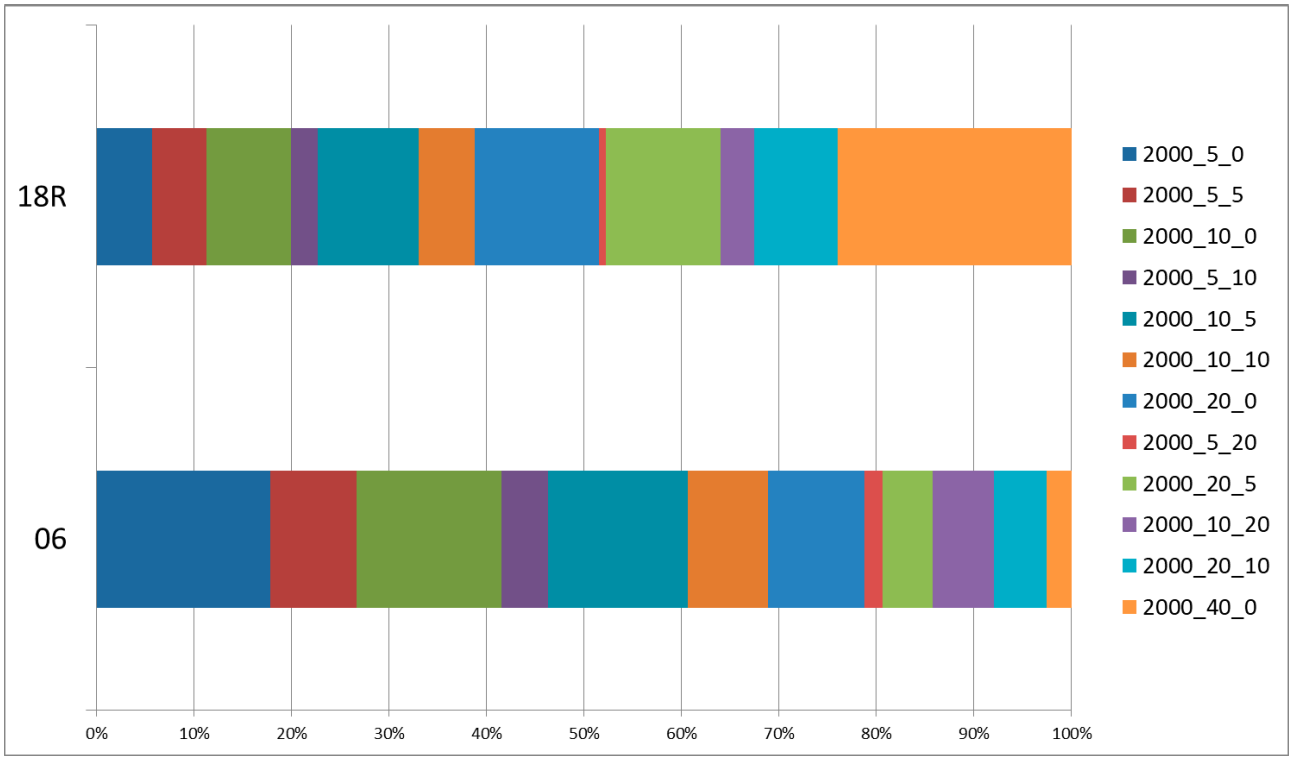
3.3.8 Transitiesegmenten

De huidige editie van Doc29 kent nog geen richtlijnen wat betreft het toepassen van zogenaamde transitiesegmenten voor naderingen. Dit zijn korte, extra segmenten die worden ingevoegd op het moment dat er grote stuwkrachtswisselingen in het profiel zijn, bijvoorbeeld op de overgang van een horizontaal vluchtsegment naar een daalsegment. Het transitiesegment wordt op deze locatie ingevoegd, met als doel om in de modellering over een relatief korte afstand de stuwkracht te laten oplopen of aflopen. Zonder een dergelijk transitiesegment loopt de stuwkracht nog over het gehele volgende segment op of af.

Transitiesegmenten worden wel gebruikt in INM en in voorbeeldberekeningen in Doc29. Daarnaast kijkt AIRMOD, de werkgroep die verantwoordelijk is voor het onderhoud van Doc29, ook naar het toevoegen van richtlijnen voor het toepassen van transitiesegmenten. Vooruitlopend daarop is besloten voor de naderingsprofielen ook transitiesegmenten toe te passen. Omdat er in de huidige editie van Doc29 nog geen richtlijnen voor zijn opgenomen, bestaat er een bepaalde vrijheid om dit te doen. Er is besloten transitiesegmenten toe te passen op en na de horizontale segmenten, tenzij het vorige segment ook een horizontaal segment is. In praktijk betekent dit dat transitiesegmenten worden ingevoegd op de overgang van daalsegmenten naar horizontale segmenten en andersom. Dit zijn ook de locaties waarop relatief abrupte veranderingen in stuwkracht worden verwacht.

3.3.9 Resultaten

In paragraaf 3.3.3 zijn al enkele voorbeelden gegeven die laten zien hoe de nieuwe naderingsprofielen aansluiten bij de verschillende vliegbanen die in de praktijk worden gezien. Door het toevoegen van subprofielen, sluit het gemodelleerde hoogteverloop nu beter aan bij de praktijk dan bij het NRM het geval was. De verdeling over de verschillende subprofielen is daarnaast mede afhankelijk geworden van de gebruikte landingsbaan en de naderingsroute. Het effect van deze verbetering is in Figuur 12 gevisualiseerd.



Figuur 12: Relatieve verdeling over de verschillende subprofielen bij 2000 voet naderingen op baan 18R en 06

In Figuur 12 is te zien dat, op basis van praktijkgegevens, bij baan 18R voor 2000 voet naderingen een andere verdeling over de subprofielen wordt toegepast dan bij baan 06. Bij baan 18R worden hierbij relatief gezien vaker profielen toegepast waarbij vliegtuigen al eerder op lage hoogte aankomen. Dit leidt tot de verwachting dat een 2000 voet nadering in de nieuwe modellering op baan 18R meer bijdraagt aan de geluidbelasting dan een 2000 voet nadering op baan 06. Dit onderscheid was binnen het NRM nog niet mogelijk.

3.4 Aanbevelingen

Zoals genoemd in paragraaf 3.2.2 zouden er naast derating meer oorzaken kunnen zijn voor het feit dat de standaard profielen op basis van de ANP database eerder van de baan loskomen en steiler klimmen dan wat in de praktijk wordt gezien. Mogelijk andere oorzaken zijn een hoger dan verwacht startgewicht, het gebruik van intersectiestarts en afwijkende atmosferische condities. Met name voor de twee eerstgenoemde oorzaken is er te weinig informatie beschikbaar om te kunnen bepalen welke oorzaak welke bijdrage zou kunnen leveren. Mocht er op deze gebieden meer informatie beschikbaar komen, dan zou overwogen kunnen worden om hier bij het afleiden van de startprofielen ook rekening mee te gaan houden. Een andere optie zou kunnen zijn om aan te sluiten bij de Programmatische aanpak meten en rekenen van vliegtuiggeluid [Ref 25]. Mogelijk levert het project Programmatische aanpak meten en rekenen aanbevelingen op om via meetgegevens die informatie beschikbaar te krijgen.

Zoals eerder genoemd in paragraaf 3.2.1.2, zijn relatief recent aan de ANP database vliegtuigtypes toegevoegd, die voor startprocedures zogenaamde ‘Accelerate-percent’ segmenten toepassen. Deze worden formeel gezien nog niet ondersteund door Doc29. Omdat ook de software die wordt gebruikt voor het doorrekenen van de profielen dit type segment nog niet ondersteund, zijn er voor deze types geen profielen beschikbaar en worden deze types vooralsnog via substitutie in de berekening verwerkt. Dit betreft de Boeing 777-300ER, de Boeing 747-8 en de Boeing 787-8 met

Trent-1000 motor. Echter, omdat de technische kennis om voor deze types profielen aan te maken al beschikbaar is, verdient het de aanbeveling om, vooruitlopend op de verdere ontwikkeling van Doc29, wel de profielen voor deze types af te gaan leiden en beschikbaar te maken.

Op het moment dat de profielen zijn afgeleid, was de actuele versie van de ANP database versie 2.1. Ondertussen is echter ook versie 2.2 actueel en wordt versie 2.3 verwacht. Met behulp van deze updates wordt het mogelijk om voor de nieuw toegevoegde vliegtuigtypes ook profielen af te leiden. Dit betreft in elk geval de Airbus A350-900 en Boeing 737-8 Max. Zeker op het moment dat het aandeel van deze nieuwe vliegtuigtypes significant wordt, verdient het de voorkeur om profielen voor deze types op basis van ANP data beschikbaar te maken, in plaats van deze types via substitutie af te handelen. Daarnaast geldt dat voor bepaalde vliegtuigtypes nu geen of alleen full flaps naderingsprofielen beschikbaar zijn, vanwege een gebrek aan klepstanden in de ANP database. Op het moment dat bij een update van de database deze gegevens alsnog beschikbaar komen, wordt het aanbevolen om de ontbrekende profielen alsnog aan te maken.

4 Hybride database

Een belangrijke invoerparameter voor de geluidberekening is de ligging van de vliegroutes. Van oudsher werden voor prognoseberekeningen de vliegroutes gemodelleerd op basis van nominale routes met een symmetrische laterale spreiding. Uit praktijkgegevens bleek echter dat de spreiding vaak asymmetrisch was en afhankelijk van het vliegtuigtype. Dit resulteerde in verschillen tussen vooraf geprognosticeerde geluidbelasting (op basis van modelroutes) en achteraf berekende geluidbelasting (op basis van radargegevens). Vanaf het jaar 2001 is daarom gestart met de ontwikkeling van een hybride model [Ref. 10,11]. Hierbij zijn, waar mogelijk, gemodelleerde routes vervangen door grondpaden van vluchten uit de praktijk, op basis van radargegevens. Voor delen van de berekening waarbij onvoldoende (representatieve) gegevens uit de praktijk beschikbaar zijn, worden wel gemodelleerde vliegroutes toegepast. Dit verklaart de term hybride.

In de praktische opzet werkt de berekening op basis van radargegevens anders dan een berekening op basis van modelroutes. Niet de feitelijke grondpadspreiding wordt gebruikt, maar het effect daarvan op de geluidniveaus. Hiervoor worden eerst op basis van werkelijke grondpaden de geluidblootstellingsniveaus van vluchten uit het verleden bepaald. De geluidblootstellingniveaus van deze vluchten worden vervolgens per gridpunt energetisch gemiddeld en opgenomen in een database. In deze gemiddelden is de werkelijk optredende grondpadspreiding verdisconteerd.

Een dergelijke database wordt een hybride database of hindersom database genoemd. Dit hoofdstuk beschrijft het proces van het aanleggen van deze databases. Een eerste stap daarin is de keuze voor een systeem dat de grondpaden op basis van radargegevens kan leveren. Deze keuze is beschreven in paragraaf 4.1. Paragraaf 4.2 behandelt de zogenaamde clustering. Alleen de hindersombijdrages van vergelijkbare vluchten worden namelijk gemiddeld. De clustering is het vaststellen van het aggregatieniveau dat bepaalt welke vluchten worden samengenomen binnen een cluster. Paragraaf 4.3 bespreekt enkele kwaliteitsaspecten met betrekking tot de clusters en in paragraaf 4.4 wordt besproken hoe is omgegaan met ontbrekende clusters en clusters die niet aan de gestelde kwaliteitseisen voldeden. Ten slotte volgen nog enkele aanbevelingen voor de toekomst in paragraaf 4.5.

4.1 Brongegevens en verwerking

Radargegevens zijn een belangrijke bron voor het samenstellen van een hindersomdatabase. Van de radargegevens wordt in elk geval het grondpad gebruikt. Voor naderingen wordt daarnaast ook gekeken naar het door de radarinstallaties vastgelegde hoogteprofiel. Op basis hiervan wordt bepaald wat voor type naderingsprocedure in de praktijk is uitgevoerd.

Onbewerkte (of ruwe) radargegevens zijn niet direct geschikt voor het uitvoeren van geluidberekeningen. Op basis van de ruwe gegevens wordt eerst een vliegbaanreconstructie uitgevoerd. Het doel van deze reconstructie is het afschatten van de positie van het vliegtuig op basis van de geregistreerde positiewaarnemingen en het verkleinen van toevallige positiewaarnemingfouten [Ref. 17]. Ook zijn er vaak geen waarnemingen op het moment dat het vliegtuig nog op de start- of landingsbaan is, of zijn er juist te veel waarnemingen, bijvoorbeeld terwijl het vliegtuig nog aan de gate staat. Daarom wordt ook vliegbaanverlenging toegepast, waardoor de gereconstrueerde vliegbaan begint of eindigt op de voorgeschreven positie.

Er zijn rondom Schiphol verschillende radarsystemen in gebruik en ook kunnen verschillende systemen de vliegbaanreconstructie en vliegbaanverlenging uitvoeren. Het NLR gebruikt hiervoor FANOMOS, waarbij de radargegevens afkomstig zijn van één van de Terminal Approach Radars (TARs) van de LVNL. De vliegbaanreconstructie van FANOMOS werkt op basis van het opstellen van zogenaamde splines (strooklatfuncties).

Parallel aan het proces van de MER liep er vanuit de Schiphol Group een project om over te stappen op een nieuw systeem voor het rapporteren over de milieu- en veiligheidsbelasting van de luchthaven. Schiphol is op basis van de Regeling Milieu Informatie Schiphol [Ref. 17] verplicht om te rapporteren aan de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) te rapporteren over de ontwikkeling van de milieu- en veiligheidsbelasting. Schiphol stelt hiervoor maandelijks een handhavingsrapportage op[7]. Sinds 2012 wordt het opstellen van deze rapportage verzorgd, mede op basis van berekeningen met FANOMOS. Schiphol heeft in 2016 besloten om het CASPER-systeem geschikt te maken voor de handhavingsrapportage en het systeem ook geschikt te maken voor rapportages binnen het NNHS. Het CASPER systeem neemt hierbij de taken van FANOMOS over. Tevens is CASPER hierbij gekoppeld aan Daisy, het systeem dat door Schiphol gebruikt wordt voor prognoseberekeningen zoals de jaarlijkse Gebruiksprognose. Door deze koppeling wordt het eenvoudiger om gegevens uit te praktijk in te zetten voor prognoses, zoals meer en meer gebruikelijk wordt.

CASPER ontvangt de radargegevens vanuit het ARTAS systeem van de LVNL. Dit is een systeem dat positie informatie bepaalt op basis van gegevens uit meerdere radarbronnen. Ook heeft CASPER een eigen vliegbaanreconstructie dat werkt op het principe van het passen van cirkelbogen.

Door het gebruik van andere radarbronnen en een andere verwerking mag verwacht worden dat er verschillen optreden tussen de resultaten van CASPER en FANOMOS. Er moest ten tijde van de berekeningen van de MER NNHS dus een keuze voor één van de twee systemen worden gemaakt. De keuze voor CASPER zou binnen het NNHS de meest zuivere keuze zijn. CASPER levert namelijk ook de brongegevens voor de jaarlijkse Gebruiksprognose Schiphol. Op het moment dat binnen het NNHS de resultaten van de Gebruiksprognose worden getoetst tegen de criteria voor gelijkwaardige bescherming, heeft het de voorkeur dat de criteria zijn vastgesteld op basis van het hetzelfde bronsysteem. Dit zou betekenen dat CASPER ook als bronsysteem voor de actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming zou moeten dienen.

CASPER had echter beperkt de beschikking over historische radargegevens. Het gebruik van CASPER-gegevens voor een actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming op basis van radargegevens uit de periode rond 2004 was hierdoor geen optie. Hoewel hiervoor nog alternatieven zijn bedacht, bleek in maart 2017 dat het gebruik van CASPER-gegevens te ambitieus was binnen de geplande toepassing van Doc29 voor het MER NNHS Schiphol. De ontwikkeling van het CASPER systeem verliep namelijk minder snel dan gepland en kon daardoor niet tijdig de benodigde gegevens leveren. Het gebruik van CASPER als bron verviel daarmee als optie waardoor alleen de optie FANOMOS overbleef.

Deze keuze leidde wel direct tot de aanbeveling om in de toekomst te onderzoeken wat de consequenties zijn van het te zijner tijd overgaan naar het CASPER systeem. Dit gezien de impact op de Doc29 geluidberekeningen voor prognose en handhaving en de (actualisatie van) gelijkwaardigheidscriteria.

[7] Het betreft hier de maandelijkse rapportage van Schiphol aan ILT, niet de Handhavingsrapportage Schiphol die twee maal per jaar door ILT zelf wordt opgesteld.

4.2 Clustering

Zoals beschreven worden in hybride databases berekende geluidblootstellingsniveaus op basis van radartracks van werkelijke vluchten opgeslagen. Het opslaan van de berekende niveaus kan per vlucht worden gedaan. In veel gevallen wordt echter niet de bijdrage van een specifieke vlucht in de hybride database opgeslagen, maar de gemiddelde bijdrage van vergelijkbare vluchten. Een dergelijke groep van vergelijkbare vluchten wordt een cluster genoemd.
Om vast te stellen of vluchten vergelijkbaar zijn, en dus binnen één cluster vallen, wordt gekeken naar verschillende kenmerken van de vlucht. Welke kenmerken hierbij geworden gehanteerd bepaalt de clustering of het clusterniveau.

4.2.1 Clusterniveau

Binnen het NRM was het gebruikelijk clusters te onderscheiden op basis van de volgende kenmerken:

- Vliegtuigcategorie; de zogenaamde Verfijnde Vloot Classificatie (VVC) van het NRM
- Vluchtsoort (start of landing)
- Start- of landingsbaan (ID)
- Route (ID)
- Dagdeel (dag, avond, nacht)
- Procedure:
    - Voor starts: onderscheid naar de startprocedure en de afstandsklasse
    - Voor naderingen: onderscheid naar naderingshoogte (2000ft, 3000ft of CDA) en toepassing reduced flaps.

Dit clusterniveau kon niet één op één worden overgenomen voor Doc29, omdat het indelen van vliegtuigtypes anders verloopt (zie hoofdstuk 2) en de VVC niet meer wordt gebruikt. Doordat naast vliegtuigtype ook wordt gekeken naar het motortype neemt het aantal combinaties waarnaar onderscheid kan worden gemaakt sterk toe. Daarbij komt dat ook het aantal te onderscheiden vliegprestatieprofielen voor naderingen veel groter is binnen Doc29 dan binnen het NRM. Zo zijn er bijvoorbeeld 12 verschillende naderingen gedefinieerd, die tot de groep 2000 voet naderingen behoren. Ook voor starts geldt dit overigens, maar wel in veel mindere mate, omdat het aantal verschillende afstandsklassen groter is dan bij het NRM.

Samengevat kan worden gesteld dat met Doc29 gedetailleerdere berekeningen kunnen worden gemaakt en dat daardoor voor het samenstellen van de clusters meer onderscheid gemaakt zou kunnen worden. Dit zou leiden tot een grote toename van het aantal verschillende clusters. Hoewel een hoog detailniveau de nauwkeurigheid van een berekening ten goede kan komen, zijn er ook nadelen en praktische problemen:

- Door het grote aantal te onderscheiden naderingsprofielen zou het aantal verschillende clusters sterk toenemen, met als gevolg dat clusters met in verhouding weinig data (i.e. weinig vluchten in de praktijk), niet beschikbaar of slecht gevuld zouden zijn. Deze zorg is al vroeg in de overleggen met experts naar voren gebracht.
- Hoewel de benodigde gegevens om de database samen te stellen vanuit de praktijk beschikbaar zijn, zijn deze gegevens niet automatisch ook beschikbaar voor het maken van verkeersprognoses. Zo kan de software die wordt gebruikt om verkeersprognoses te maken, wel de naderingshoogte per vlucht voorspellen, maar nog niet een bijbehorende subprofiel uit de set met Doc29 profielen.

Op basis hiervan is voor de opbouw van de hybride databases voor de MER en de actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming gekozen voor een clustering op basis van de volgende kenmerken:

- ICAO vliegtuigtype
- Vluchtsoort (start of landing)
- Start- of landingsbaan (ID)
- Route (ID)
- Dagdeel (dag, avond of nacht)
- Procedure:
    - Voor starts: de startprocedure en de afstandsklasse (zie 3.2)
    - Voor naderingen: de naderingshoogte (2000ft, 3000ft, 4000ft of CDA) en toepassing reduced flaps (zie 3.3)

Het vliegtuigtype wordt hierbij dus geclusterd naar ICAO-type. Dit is een hoger detailniveau dan de voorheen gehanteerde VVC, maar lager dan het detailniveau dat beschikbaar is in de berekening (vliegtuig/ motortypecombinaties). Praktisch gezien levert deze keuze geen problemen op, omdat voor veel verkeersprognoses het ICAO-type beschikbaar is, of kan worden afgeleid. Voor de clustergemiddelden in de database geldt dat de gegevens een afspiegeling vormen van de verschillende vliegtuig/ motortypecombinaties die binnen deze ICAO typecode vallen.

Wat betreft naderingen is de clustering gebaseerd op de naderingshoogte, één aggregatieniveau hoger dan het gebruikte subprofiel (zie paragraaf 3.3.2). Het clustergemiddelde is daarmee gebaseerd op verschillende vliegprestatieprofielen. Praktisch gezien gelden hier geen beperkingen: het benodigde detailniveau in de verkeersprognoses blijft immers gelijk aan de oude situatie. Ook hier geldt dat een cluster een afspiegeling is van de situatie die in de praktijk gold tijdens de referentieperiode.

Ten slotte wordt nog opgemerkt dat het clusterniveau dat is toegepast deels gebaseerd is op de praktische beschikbaarheid van gegevens. Het is mogelijk dat in een uiteindelijke situatie deze beperkingen niet meer gelden, bijvoorbeeld omdat gebruikte systemen voor het vaststellen van de verkeersprognoses, na aanpassing voor het rekenen met Doc29, ook een voorspelling kunnen doen voor het toe te passen naderingsprofiel. Op dat moment kan de clustering worden aangepast.

4.2.2 Bijzonderheden clustering MER en gelijkwaardigheid

Voor de database die is gebruikt voor de actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming geldt dat de naderingsroute (of eigenlijk herkomstrichting of Initial Approach Fix) origineel niet in de historische gegevens beschikbaar was. Deze zijn, voorafgaand aan het opbouwen van de hybride database, alsnog bepaald op basis van de ligging van de grondpaden.

Voor de databases die zijn gebruikt voor de MER zijn er ook een aantal bijzonderheden. Specifiek voor het kenmerk route geldt dat in enkele gevallen een aantal routes zijn samengevoegd in een enkel cluster. Een typisch voorbeeld is het samenvoegen van de RENDI en ARNEM routes. Deze twee startroutes zijn voor het eerste deel identiek en splitsen pas op grote afstand van de luchthaven.

Verder geldt dat de vluchtgegevens voor starts vanaf de Zwanenburgbaan in noordelijke richting (36C) naar westelijke uitvliegrichtingen geen routenaam bevatten. Dit komt omdat er geen officiële startroutes zijn gedefinieerd voor deze situatie, omdat dergelijke starts normaal vanaf de Polderbaan (36L) worden afgewikkeld. Het kan echter voorkomen dat, bijvoorbeeld als gevolg van baanonderhoud, de Polderbaan niet beschikbaar is en dergelijke starts toch plaatsvinden. Voor starts vanaf baan 36C waarbij geen routenaam in de vluchtgegevens was gedefinieerd, maar waarbij op basis van de ligging van het grondpad kon worden vastgesteld dat het een start richting het westen was, zijn fictieve routenamen toegevoegd aan de vluchtgegevens. Dergelijke starts konden daardoor toch in de database worden opgenomen en worden toegepast in de geluidberekeningen.

4.3 Kwaliteitsaspecten hybride databases

Het kan voorkomen dat clusters die wel benodigd zijn, niet kunnen worden opgebouwd omdat in de gebruikte referentieperiode voor deze clusters geen vluchten met de benodigde clusterkenmerken hebben plaatsgevonden. Verder is het mogelijk dat in de gebruikte referentieperiode slechts een beperkt aantal vluchten met de benodigde clusterkenmerken heeft plaatsgevonden. In dat geval is het clustergemiddelde wel berekend, maar is dit gemiddelde mogelijk niet representatief voor toekomstige vluchten. Dit heeft als risico dat een niet representatief tussenresultaat wordt verwerkt in toekomstige prognoses.

Deze situaties waren niet nieuw en konden ook altijd optreden bij geluidberekeningen met het NRM. Vanuit de praktijk waren er standaardoplossing beschikbaar:

- Bij ontbrekende clusters werd altijd teruggevallen naar een berekening op basis van gemodelleerde routes met spreiding.
- Bij slecht gevulde clusters werd vaak een minimum aantal representatieve vluchten geëist. Zo werden bijvoorbeeld clusters die waren opgebouwd uit minder dan 5 vluchten verwijderd uit de database. In dat geval was er vervolgens sprake van een ontbrekend cluster, en werd de berekening voor dit cluster uitgevoerd op basis van gemodelleerde routes.

Bij de implementatie van Doc29 voor Schiphol speelden drie overwegingen die deze standaardaanpak uit het verleden niet automatisch tot de gewenste aanpak maakten:

- Voor Doc29 was nog geen set met gemodelleerde routes beschikbaar en was het dus niet mogelijk om vluchten uit ontbrekende clusters met deze gemodelleerde routes door te rekenen. Wel was het mogelijk geweest om een dergelijke routeset aan te maken, ten koste van doorlooptijd.
- Het algemene beeld uit eerdere onderzoeken was echter dat modellering op basis van grondpaden uit de praktijk beter is dan op basis van gemodelleerde (theoretische) routes. Op basis daarvan zou het wenselijk kunnen zijn om ook voor ontbrekende clusters, waar mogelijk, gebruik te maken van radargegevens van vergelijkbare vluchten op dezelfde vliegroute (uit andere clusters).
- Bij slecht of matig gevulde clusters is een absolute ondergrens eigenlijk niet gepast. Een cluster dat bijvoorbeeld slechts gebaseerd is op twee vluchten, is mogelijk niet representatief voor toekomstige vluchten, bijvoorbeeld omdat één van de twee door bijzondere omstandigheden van de route is afgeweken. Echter, op het moment dat dit cluster maar voor één vlucht in een prognoseberekening wordt ingezet, heeft dit geen noemenswaardige invloed en is dit eigenlijk niet zo relevant. Andersom kan een cluster bijvoorbeeld zijn opgebouwd uit 10 vluchten, waarbij er ook weer één afwijkend is. Als dit cluster vervolgens voor 500 vluchten in een prognoseberekening wordt ingezet, heeft dit relatief 100 keer meer impact dan in het

hiervoor genoemde voorbeeld. Dit laat zien dat een relatief criterium beter op zijn plaats zou zijn voor het bepalen van de representativiteit.

Voor ontbrekende clusters is op basis van deze overwegingen gekozen voor het verkennen van de mogelijkheden om ontbrekende clusters alsnog op te bouwen op basis van representatieve grondpaden van andere vluchten op dezelfde route. De exacte methode wordt verder toegelicht in 4.4. Voor slecht gevulde clusters zijn eerst nog door To70 een aantal aanvullende analyses gedaan. Een belangrijke bevinding daaruit is dat ongeveer 25% van de vliegbewegingen wordt doorgerekend op basis van een matig gevuld cluster, hier gedefinieerd als opgebouwd uit minder dan 25 bewegingen. Dit laat duidelijk zien dat het zomaar verwijderen van al deze clusters een relatief grote invloed kan hebben op het resultaat, waarbij het maar de vraag is of het alternatief beter is. Het gekozen criterium van 25 is hierbij enigszins arbitrair, maar wel mede gebaseerd op analyses van de spreiding van grondpaden. Deze analyses op basis van steekproeven laten zien dat de kans dat de gemiddelde ligging van een vliegbaan bij kleine steekproeven sterk afwijkt van het gemiddelde van de gehele populatie, al relatief klein is bij een populatie van 25 grondpaden of meer.

Op basis hiervan, en de eerder genoemde overweging dat het criterium voor een slecht of matig gevuld cluster eigenlijk relatief zou moeten zijn, is de volgende definitie gehanteerd voor voldoende representativiteit:

- Bij clusters opgebouwd uit 25 of meer vliegtuigbewegingen is verondersteld dat deze voldoende representatief zijn.
- Bij clusters opgebouwd uit minder dan 25 vliegtuigbewegingen, maar uit meer vliegtuigbewegingen dan het aantal vliegtuigbewegingen voor dat cluster in de verkeersprognoses, wordt ook verondersteld dat deze voldoende representatief zijn.

Clusters die op basis van deze definitie zijn beoordeeld als onvoldoende representatief worden uit de dataset verwijderd. Net als voor ontbrekende clusters zijn vervolgens aanvullende clusters samengesteld. Het proces hierachter wordt besproken in paragraaf 4.4.

4.4 Methode vervangende en ontbrekende clusters

Zowel voor ontbrekende als voor niet representatieve clusters is een methode ontwikkeld om zonder gebruik van gemodelleerde routes alsnog een clustergemiddelde te kunnen bepalen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van grondpaden van vluchten die op dezelfde route vlogen, maar op enkele andere clusterkenmerken niet overeenkwamen. Deze selectie vindt plaats op basis van een steekproef en wordt in paragraaf 4.4.1 tot en met 4.4.3 besproken. De methode is gehanteerd voor het MER NNHS en voor de actualisatie van criteria voor gelijkwaardige bescherming, maar is niet noodzakelijkwijs ook de methode die in de toekomst voor alle prognoseberekeningen van toepassing is.

4.4.1 Grondpadselectie

Op basis van de routenaam, baancode, dagdeel (dag, avond of nacht) en, voor naderingen, het profieltype van het ontbrekende cluster worden uit een grote set verkeersgegevens de vluchten met gelijke kenmerken geselecteerd. De set met verkeersgegevens is hierbij de set die is gebruikt voor het opbouwen van de hybride database zelf. Deze selectie levert de kandidaat grondpaden. Op het moment dat deze selectie geen resultaten oplevert wordt het

criterium dagdeel losgelaten en wordt de selectie nogmaals uitgevoerd. Als dit nog steeds geen resultaten oplevert dan wordt vervolgens het profieltype losgelaten. De selectie van de *grondpaden* is dus uitgevoerd op basis van het volgende schema:

- Start- of landingsbaan, route, vliegprocedure en dagdeel, indien beschikbaar, anders op basis van:
- Start- of landingsbaan, route en vliegprocedure, indien beschikbaar, anders op basis van:
- Start- of landingsbaan en route.

4.4.2 Vliegtuiggegevens

Naast de selectie van grondpaden is het voor het aanvullen van de clusters ook nodig om representatieve vliegtuiggegevens vast te stellen. Voor ontbrekende clusters is namelijk alleen het ICAO-vliegtuigtype bekend, terwijl voor de geluidberekening ANP-types benodigd zijn die in Schiphol-set beschikbaar zijn, plus bijbehorende correctiefactoren voor start en landing (zie paragraaf 2.3.4). Binnen één ICAO type kunnen verschillende ANP-types worden gebruikt, met verschillende correctiefactoren. Om die reden worden ook de vliegtuiggegevens op basis van een steekproef vastgesteld.

Op basis van de ICAO typeaanduiding van het ontbrekende cluster worden uit een grote set met verkeersgegevens alle beschikbare starts of landingen geselecteerd. Ook hier geldt dat de set met verkeersgegevens de set is die gebruikt is voor het opbouwen van de hybride database zelf. De selectie levert een lijst van representatieve ANP-types en bijbehorende correctiefactoren voor het betreffende ICAO-type.

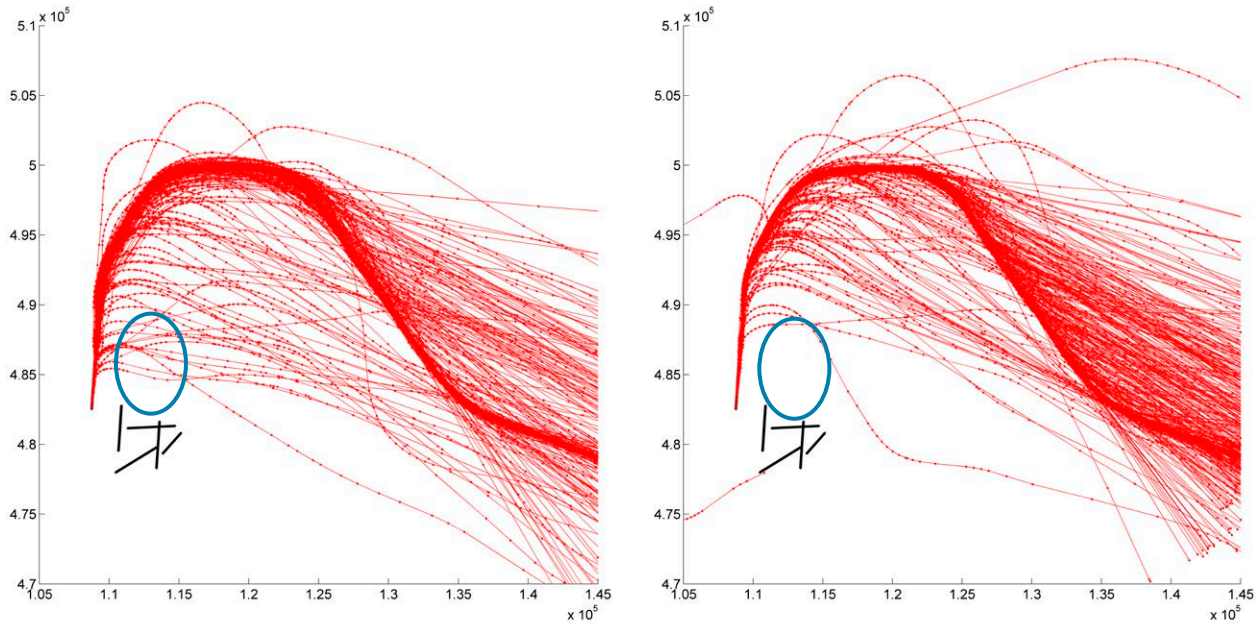
4.4.3 Koppelen vliegtuiggegevens en grondpaden

De geselecteerde grondpaden worden vervolgens gekoppeld aan de geselecteerde vliegtuiggegevens. Dit levert een lijst met fictieve vluchten die de basis gaan vormen voor het aanvullende cluster. Om de representativiteit zo veel mogelijk te waarborgen, bedraagt het aantal fictieve vluchten binnen een aanvullend cluster altijd minimaal 100. Daar waar onvoldoende grondpaden en/of voor vliegtuiggegevens beschikbaar zijn, worden deze gedupliceerd voordat de koppeling van vliegtuiggegevens en grondpaden plaatsvindt. Om de benodigde rekentijd voor het aanvullen te beperken, is het maximale aantal fictieve vluchten binnen een aanvullend cluster gesteld op 250. Waar nodig worden met behulp van steekproeven de lijsten met grondpaden en vliegtuiggegevens ingekort voordat de koppeling plaatsvindt.

Alle vluchten op de lijst met fictieve vluchten worden aansluitend doorgerekend. Aangezien alle vluchten dezelfde clusterkenmerken hebben, wordt het resultaat gemiddeld tot een gemiddelde hindersombijdrage. Het aanvullende cluster in de hybride database is daarmee beschikbaar en het proces kan worden herhaald voor alle overige aan te vullen clusters.

4.4.4 Straal- en propellerverkeer

In eerste instantie is bij de selectie van de grondpaden geen rekening gehouden met het onderscheid tussen de grondpaden van het straalvliegtuigen en de grondpaden van propellervliegtuigen. Bij controles op de eerste versie van de database bleek dit al snel tot ongewenste effecten te leiden. De achterliggende oorzaak is dat deze twee verkeerssegmenten op dezelfde route vaak zeer verschillende grondpaden hebben. In Figuur 13 is dit effect te zien.

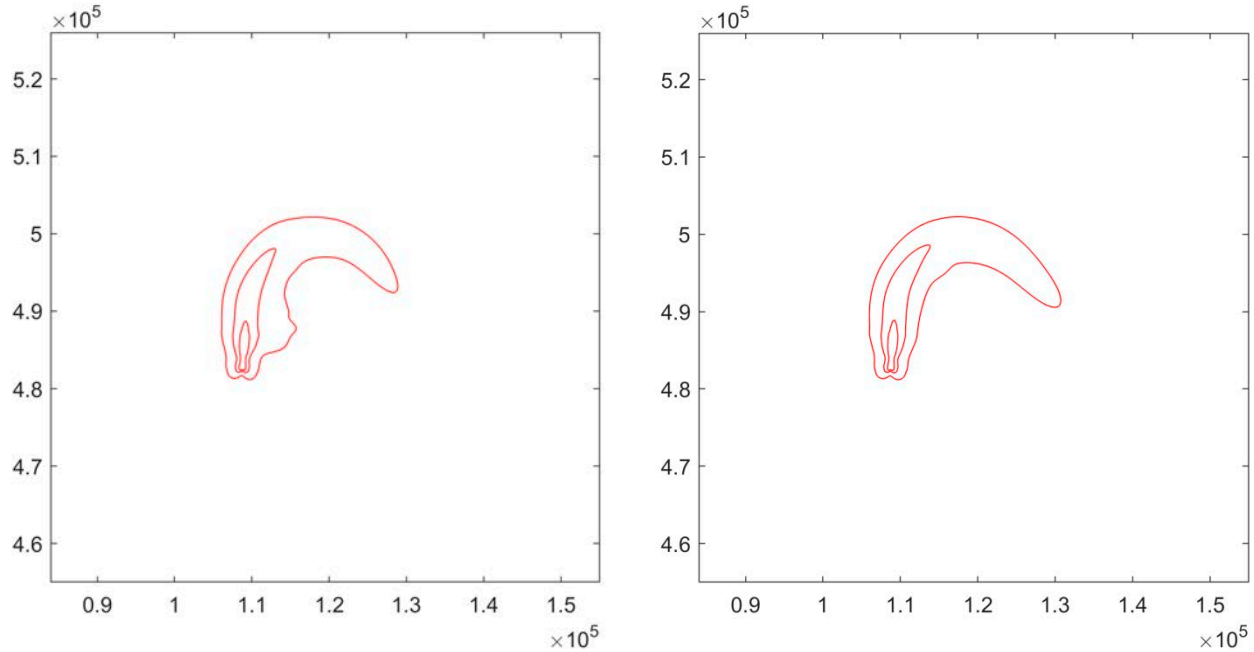


Figuur 13: Visualisatie van grondpaden binnen een cluster, beide van de startroute PAM1V vanaf baan 36L. Links een voorbeeld van een gereconstrueerd cluster (MD11) en rechts een origineel cluster (B738)

Wat opvalt in het linker figuur is dat er een aantal starts zijn die direct naar rechts afbuigen, soms nog boven de baan (gebied gemarkeerd met de ovaal). In het rechter figuur gebeurt dit minder en later. Statistische analyses bevestigen dit beeld ook. De grondpaden die relatief snel afbuigen blijken te zijn gerealiseerd door propellerverkeer en deze grondpaden zijn vervolgens ook gebruikt voor aanvullende clusters van straalverkeer, zoals in dit geval die van de MD11. Dit is echter niet realistisch.

Op basis van deze bevindingen is besloten altijd onderscheid te maken naar deze verkeerssegmenten. De aanvullingen op de hybride database zijn hiervoor volledig opnieuw gegenereerd. In het eindresultaat zijn clusters voor straalverkeer altijd opgebouwd uit grondpaden van ander straalverkeer en clusters voor propellerverkeer altijd opgebouwd uit grondpaden van ander propellerverkeer.

Figuur 14 laat het effect van deze wijziging zien, in dit geval voor het cluster wat ook links in Figuur 13 is weergegeven. Dit betreft een MD11 start vanaf baan 36L over de route PAM1V.



Figuur 14: De 70, 80 en 90 dB(A) contouren van het gemiddelde geluidblootstellingsniveau een MD11 start vanaf baan 36L over de route PAM1V. Links de originele database waarbij voor aanvullende clusters nog geen scheiding werd toegepast tussen de grondpaden van straalverkeer en propellerverkeer. Rechts hetzelfde resultaat na aanpassing

Links in Figuur 14 is duidelijk te zien dat de contouren direct na de start naar rechts uitstulpen. Deze uitstulping wordt veroorzaakt door de grondpaden van het propellerverkeer. Na het toepassen van de scheiding (rechts in Figuur 14) is dit effect verdwenen.

4.4.5 Niet aangemaakte clusters en correctiefactoren

Voor de aangemaakte hybride databases zijn alleen aanvullende clusters aangemaakt op het moment dat het aantal bewegingen in één van de gebruikte verkeersprognoses minimaal 5 per jaar is. Hoewel het aanmaken van dergelijke clusters technisch geen probleem is, staat de hoeveelheid rekentijd en doorlooptijd die hiervoor nodig is niet in verhouding tot de meeropbrengsten. Dit betekent wel dat verkeer uit deze ontbrekende clusters met minder dan 5 bewegingen per jaar niet is doorgerekend. Hiervoor wordt achteraf gecorrigeerd door de berekende geluidbelasting op te schalen voor het aantal niet doorgerekende vliegtuigbewegingen. De toegepaste opslagen als gevolg van deze correctie zijn rond de 1%.

4.5 Aanbevelingen

Zoals beschreven in paragraaf 4.1 was in eerste instantie de ambitie om CASPER te gebruiken als bron voor de radargegevens voor het opbouwen van de hybride databases. Dit had de voorkeur, in verband met de jaarlijkse toetsing van de Gebruiksprognose aan de criteria voor gelijkwaardige bescherming. Bij het gebruik van CASPER zou zowel de normstelling als de toetsing daaraan gebaseerd zijn op dezelfde basis. Het gebruik van CASPER als bron voor de radargegevens voor de actualisatie van de criteria bleek niet tijdig haalbaar. Om die reden is voor de MER uiteindelijk gekozen voor FANOMOS als bron voor de radargegevens, wat moet worden gezien als interimoplossing.

Hieruit volgt de aanbeveling om in de toekomst te onderzoeken wat de consequentie is van deze keuze, op het moment dat CASPER wel als bron dient voor de radargegevens. Aan de hand daarvan kan worden bepaald of het wenselijk is om bij een eventuele volgende actualisatie van de criteria voor gelijkwaardige bescherming wel het CASPER systeem als bron voor de grondpaden te gebruiken.

Mede op basis van eerdere onderzoeken is bekend dat het modelleren op basis van radartracks betere resultaten geeft dan het modelleren op basis van gemodelleerde routes. Ook in de peer review die is uitgevoerd op de Doc29 implementatie voor Schiphol wordt aangehaald dat het modelleren op basis van individuele grondpaden verder gaat dan wat internationaal gebruikelijk is [Ref.12]. Wel kan gebruik van gemodelleerde routes opnieuw overwogen kunnen worden voor situaties waarbij de hybride database geen of onvoldoende dekking heeft. Dit zou dan in plaats komen van het voorlopig gehanteerde proces dat is beschreven in dit hoofdstuk voor het aanmaken van ontbrekende en aanvullende clusters. Een reden om specifiek in dit geval toch met gemodelleerde routes te werken zou kunnen zijn dat het proces van aanvullen van de hybride databases relatief veel tijd en moeite kost. Daarnaast zijn de methodes om gemodelleerde routes te definiëren de afgelopen jaren in diverse andere Europese landen verder ontwikkeld, waarbij de gemodelleerde routes en spreidingen geautomatiseerd kunnen worden vastgesteld op basis van radargegevens.

5 Contouren en tellingen

De geluidbelasting wordt berekend in rekenpunten. Deze punten liggen in het horizontale platte vlak op lokaal luchthavenniveau. In een enkel geval wordt hierbij gerekend voor één of enkele losse rekenpunten, maar meestal wordt een berekening uitgevoerd voor een raster (of netwerk) met gelijkmatig verdeelde berekeningspunten.

Het resultaat van een geluidbelastingberekening wordt doorgaans gepresenteerd met behulp van contouren: lijnen van gelijke geluidbelasting die gevisualiseerd worden over een achtergrondkaart. Om de contouren te verkrijgen is een nabewerking nodig van het resultaat van de geluidbelastingberekening. Hierbij wordt het raster met de geluidbelasting in de berekeningspunten omgezet in contourlijnen. De omzetting vindt plaats met behulp van een contouralgoritme.

Naast het vaststellen en visualiseren van de contouren is er nog een tweede nabewerking van belang: het uitvoeren van tellingen. Hierbij wordt bepaald hoeveel woningen worden blootgesteld aan een bepaalde geluidbelasting. Ook kan met behulp van dosis-effect-relaties het aantal ernstig gehinderden of slaapverstoorden worden bepaald.

Beide nabewerkingsstappen werden al toegepast voor berekeningen op basis van het NRM. In principe waren de bestaande methoden ook geschikt voor het nabewerken van geluidberekeningen op basis van Doc29. Er waren echter redenen om opnieuw naar de achterliggende methoden van deze nabewerkingsstappen te kijken. Deze worden besproken in paragraaf 5.1. De opties die zijn overwogen en de keuzes die uiteindelijk zijn gemaakt worden behandeld in de paragraven 5.2 tot en met 5.4.

5.1 Aanleiding onderzoek contouralgoritme

De overstap van NRM naar Doc29 was op zelf zich geen aanleiding om aanpassingen te doen aan het contouralgoritme en/of de gebruikte telmethoden. ECAC Doc29 omvat namelijk geen opgelegde methode om contouren te maken op basis van de berekende geluidbelasting [Ref 4]. Het bepalen van de contourlocaties en de visualisatie daarvan wordt beschouwd als een nabewerking van de resultaten. Binnen ECAC Doc29 worden slechts enkele aanbevelingen gedaan en vervolgens wordt verwezen naar bestaande softwarepakketten die geschikt zijn voor de nabewerking en bestandsformaten die veel worden gebruikt voor het opslaan en uitwisselen van contouren. Op basis hiervan was het tot dan toe gebruikte contouralgoritme ook toepasbaar voor resultaten op basis van Doc29.

Vanuit de Schiphol Group was er echter parallel aan het ontwerptraject wel de behoefte aan een nieuwe implementatie van het bestaande contouralgoritme. De achterliggende aanleiding was dat de bestaande implementatie relatief veel rekentijd nodig had voor het bepalen van de contouren. Door de introductie van het NNHS werd dit relevant, omdat bij de bepaling van de Maximale Hoeveelheid Geluid (MHG) in een iteratief proces vele malen achter elkaar contouren moeten worden bepaald.

Ook in het eerste Doc29 expertoverleg bleek er bij diverse experts de wens om over te stappen naar een ander contouralgoritme. Dit zou dan een algoritme moeten zijn dat ook internationaal veel gebruikt wordt en goed beschikbaar zou zijn, bijvoorbeeld door toepassing in verschillende pakketten.

Daarnaast bestond bij diverse partijen de wens om de stapgrootte tussen de rekenpunten op het raster te verkleinen. NRM berekeningen voor de luchthaven Schiphol werden altijd uitgevoerd met een stapgrootte van 500 meter. Een hogere resolutie was vroeger in verband met de beperkte rekenkracht van computers praktisch niet haalbaar. De transitie van NRM naar Doc29 was een logisch moment om de stapgrootte verkleinen. Gedurende het implementatietraject is besloten deze te verkleinen naar 250 meter.

Naast de diverse wensen was ook deze aanpassing van de stapgrootte een aanleiding om onderzoek te doen naar het contouralgoritme, omdat de stapgrootte van invloed is op de instellingen, efficiëntie en resultaten van het contouralgoritme.

5.2 Opties voor het contouralgoritme en telmethode

Bij het onderzoek naar het contouralgoritme en de bijbehorende telmethode voor woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden zijn op hoofdlijnen de volgende vier opties overwogen:

1. Het behoud van het bestaande contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode.
2. Een aanpassing van het bestaande contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode.
3. Een nieuw contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode.
4. Een nieuwe telmethode zonder gebruik van contouren.

Deze opties worden hieronder op hoofdlijnen toegelicht.

Optie 1: Het behoud van het bestaande contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode
Het bestaande contouralgoritme wordt beschreven in het NRM rekenvoorschrift [Ref 1]. Het algoritme begint met het rekenraster op basis van een stapgrootte van 500m[8]. Dit raster wordt eerst een factor 4 verfijnd. Hierbij wordt op basis van bi-kubische interpolatie een geïnterpoleerd raster verkregen met een stapgrootte van 125 meter. Binnen dit verfijnde raster wordt vervolgens bepaald waar omslagpunten liggen: locaties tussen de beschikbare punten waar op basis van lineaire interpolatie de geluidbelasting gelijk is aan de gewenste contourwaarde. Na een systematische rangschikking van de omslagpunten wordt langs de omslagpunten nog een vloeiende lijn getrokken, op basis van splines (strooklat-functies).

De bestaande telmethode voor woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden maakte gebruik van contouren. Voor de telling van woningen kon op basis van de contourlocatie relatief eenvoudig worden vastgesteld of woningen binnen of buiten een bepaalde contour lagen. Voor het bepalen van het aantal ernstig gehinderden en slaapverstoorden was de telmethode omslachtiger. Hierbij werden eerst in stappen van 1 dB de contouren bepaald. Dit leverde zogenaamde contourschillen, bijvoorbeeld het gebied tussen de 51 en 52 dB(A) Lden contour. Voor alle personen binnen dit gebied werd vervolgens een gemiddelde geluidbelasting aangenomen, in dit geval 51.5 dB(A) voor de genoemde schil. Op basis van de gemiddelde dosis werd vervolgens met de dosis-effect-relaties (zie hoofdstuk 6) het aantal ernstig gehinderde personen of slaapverstoorde personen bepaald.

Binnen deze optie zou dus zowel het bestaande contouralgortime als de bestaande telmethode behouden blijven. De enige aanpassing zouden dan mogelijk nieuwe instellingen voor het contouralgoritme zijn, als gevolg van een andere stapgrootte op het rekenraster.

[8] Op basis van de tot nu toe gehanteerde stapgrootte binnen het NRM. Bij het één-op-één overnemen van deze methode voor Doc29 zou dit 250 meter worden (en 62.5 meter na verfijning).

Optie 2: Een aanpassing van het bestaande contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode
Optie 2 betrof het idee om het bestaande contouralgoritme aan te passen, door de laatste stap weg te laten. In deze laatste stap worden de berekende omslagpunten omgezet in vloeiende lijnen (splines). In plaats daarvan worden de omslagpunten met elkaar verbonden met rechte lijnen. Dit heeft als nadeel dat contouren minder vloeiend en dus hoekiger van vorm zijn. Dit kan echter deels weer gecompenseerd worden door een kleinere stapgrootte op het rekennetwerk en/of een hogere verfijningsfactor. Er zijn ook twee voordelen:

- Het algoritme wordt veel sneller.
- De beschrijving in het rekenvoorschrift wordt compacter en eenvoudiger te reproduceren.

Het aanpassen van de telmethode voor het bepalen van het aantal woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden was geen onderdeel van deze optie.

Optie 3: Een nieuw contouralgoritme in combinatie met de bestaande telmethode
Deze optie is gebaseerd op het selecteren van een nieuw contouralgoritme. Selectie van een nieuw algoritme werd gezien als interessant op het moment dat het nieuwe algoritme:

- reeds goed gedocumenteerd was, bij voorkeur in een standaard,
- er bestaande software-implementaties waren die algemeen beschikbaar zijn en
- deze implementaties sneller zouden zijn dan het bestaande algoritme.

De telmethode voor het bepalen van het aantal woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden bleef binnen deze optie ongewijzigd.

Optie 4: Een nieuwe telmethode zonder gebruik van contouren
De vierde en laatste optie die is overwogen is om bij het bepalen van het aantal woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden niet langer gebruik te maken van contouren. Het is namelijk ook mogelijk om voor alle woningen binnen het woningbestand de geluidbelasting afzonderlijk vast te stellen. Dit kan op basis van interpolatie binnen het raster van rekenpunten. Hiervoor kan in principe dezelfde interpolatiemethode worden gebruikt als voor het verfijnen van het netwerk.

Zodra de geluidbelasting op een woninglocatie met behulp van interpolatie is bepaald, kan:

- Worden vastgesteld of de waarde op deze locatie boven of onder bepaalde waarde is en daarmee eenvoudig worden bepaald of deze woningen binnen of buiten een bepaalde contour zou liggen.
- Voor woningen binnen een bepaalde contour: het aantal ernstig gehinderden en slaapverstoorden worden bepaald door de geïnterpoleerde geluidbelasting toe te passen op de dosis-effect-relaties.

Eén van de grote voordelen aan deze optie is de eenvoud. Het aantal stappen om tot tellingen van het aantal woningen, ernstig gehinderden en slaapverstoorden te komen wordt aanzienlijk minder. De methode is daardoor compacter vast te leggen, eenvoudiger te reproduceren en de kans op interpretatieverschillen neemt af. Ook wordt de methode sneller: een deel van de stappen die voorheen werden gedaan worden niet meer uitgevoerd.

Het nadeel is dat de methode om daadwerkelijk contouren te maken niet langer vastligt. Dit is echter vanuit het perspectief van de handhaving ook niet noodzakelijk. Voor de handhaving is het, in het NNHS, voldoende als de methode voor het uitvoeren van de tellingen eenduidig kan worden vastgelegd. Contouren zelf hebben in het NNHS enkel betekenis bij het éénmalig vaststellen van beperkingengebieden in het Luchthavenindelingsbesluit. Daarnaast zullen contouren nodig blijven om resultaten te visualiseren. Gebruikers kunnen hierbij vrij worden gelaten in de selectie van een geschikt algoritme.

5.3 Onderzoek naar de verschillende opties

Ter ondersteuning van de keuze voor één van de hierboven genoemde opties is door Schiphol Group een onderzoek uitgevoerd. Hiervoor is eerst een eerder uitgevoerde geluidberekening met het NRM voor een aantal kleine gebieden opnieuw berekend. Dit is gedaan voor twee verschillende stapgroottes:

- Een stapgrootte van 250 meter: de nieuw toe te passen stapgrootte voor Doc29 berekeningen.
- Een stapgrootte van 10 meter: een zeer fijn netwerk dat kan worden gebruikt als referentieresultaat.

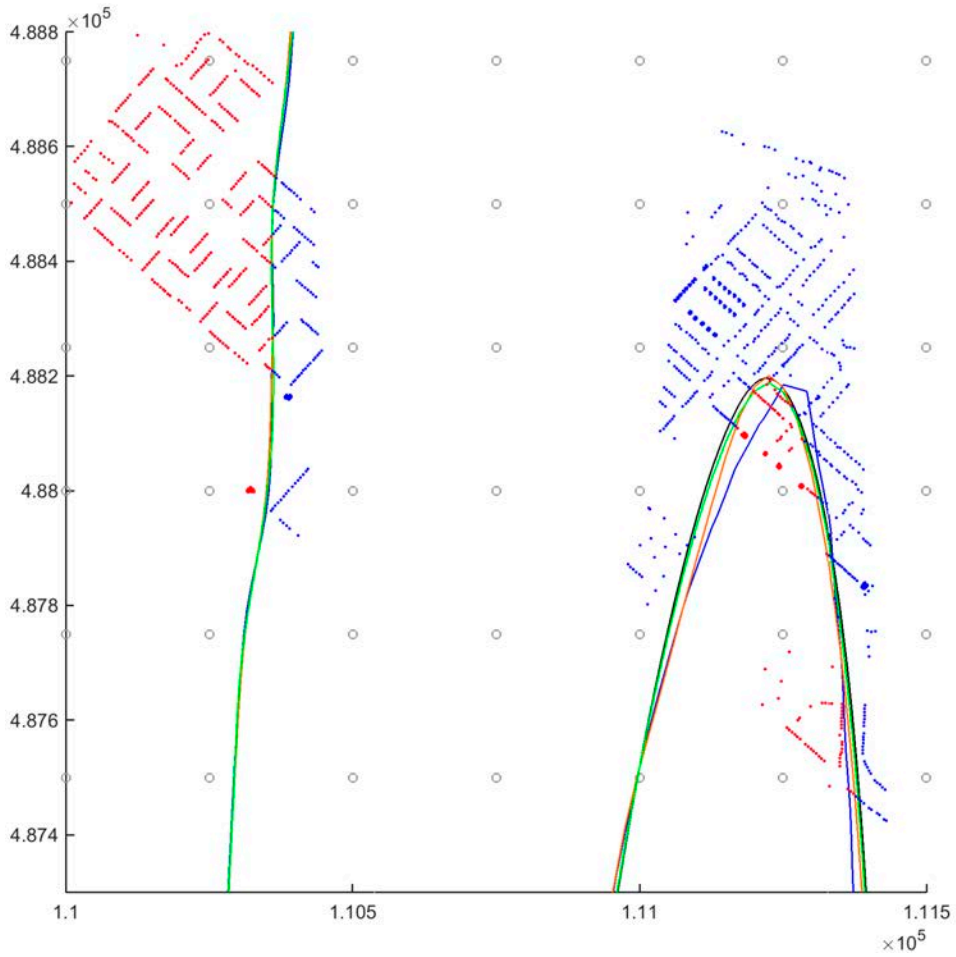
De resultaten op basis van een stapgrootte van 10 meter kunnen normaal niet worden bepaald, op het moment dat een berekening wordt uitgevoerd voor het hele rekengebied. Voor één of enkele kleine gebieden is het echter wel mogelijk. Het resultaat dat is bepaald in een dergelijk fijn netwerk is zeer nauwkeurig en kan daarom worden gezien als referentieresultaat.

De resultaten op basis van een stapgrootte van 250 meter kunnen worden gebruikt als invoer voor diverse contouralgoritmes (of verfijningsalgoritmes). De resultaten van de verschillende algoritmes kunnen vervolgens worden vergeleken met resultaten uit het fijne netwerk. Idealiter levert een contouralgoritme een resultaat dat nagenoeg identiek is aan het referentieresultaat.

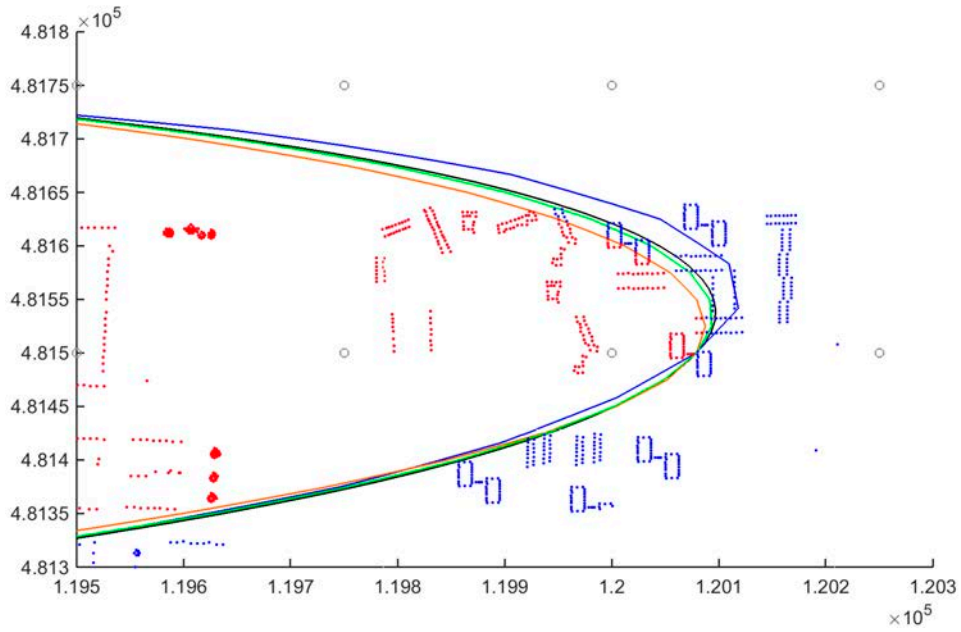
In Figuur 15 en Figuur 16 is voor twee verschillende gebieden rondom de luchthaven deze vergelijking weergegeven. Alle weergegeven contouren zijn getekend op basis van het verbinden van omslagpunten (zie eventueel de beschrijving van optie 2). De laatste stap in het huidige contouralgoritme (het omzetten van omslagpunten in vloeiende lijnen met behulp van splines) is hierbij dus niet toegepast. Er worden drie verschillende algoritmes om te verfijnen getest tegen het referentieresultaat:

- Het huidige contouralgoritme, waarbij alleen verfijning (of interpolatie) is toegepast.
- Het interpolatie-algortime (interp2) van Matlab
- Het interpolatie-algortime (BivariateSpline) uit de SciPy bibliotheek van Python

In alle drie de genoemde gevallen vindt de toegepaste interpolatie plaats op basis van bi-kubische spline.



Figuur 15: Resultaten verschillende verfijningsalgoritmes, detail nabij Zwanenburg. Zwart = berekening 10x10 meter grid, rood = verfijning Matlab, groen = verfijning Python, blauw = verfijning bestaande contouralgoritme



Figuur 16: Resultaten verschillende verfijningsalgoritmes, detail nabij Amstelveen. Zwart = berekening 10x10 meter grid, rood = verfijning Matlab, groen = verfijning Python, blauw = verfijning bestaande contouralgoritme

Uit de figuren blijkt dat:

- De drie verschillende implementaties verschillende resultaten leveren. Op een lange zijde van een contour, zoals links in Figuur 15 zijn de verschillen verwaarloosbaar, maar op uiteinden van contouren, zoals rechts in Figuur 15 en in Figuur 16 zijn de verschillen duidelijk zichtbaar.
- De verfijning van het bestaande contouralgoritme op de uiteinden van de contouren moeite lijkt te hebben met de hoge verfijningsfactor (10 in plaats van tot dusver gebruikte 4). Het resultaat is hier minder vloeiend en de rechte lijnstukken lijken langer dan verwacht mag worden bij een verfijning van het netwerk naar 25 meter.
- De Python-implementatie duidelijk het beste in staat is om een resultaat te genereren dat het dichtst bij het referentieresultaat ligt.

Op basis van deze resultaten ligt de keuze voor het gebruik van de Python-implementatie voor de hand. Dit sluit ook aan bij de wens uit het expertoverleg om gebruik te maken van een algoritme dat ook internationaal veel gebruik wordt, goed beschikbaar is en goed gedocumenteerd is [Ref. 13].

De keuze voor het gebruik van het Python-implementatie voor verfijning kan zowel bij de eerder genoemde optie 3 (vervangen contouralgortime) als bij optie 4 (nieuwe telmethode) worden toegepast. Uiteindelijk is gekozen voor optie 4, vanwege de eerder genoemde voordelen: compacter vast te leggen, eenvoudiger te reproduceren en daardoor minder kans op interpretatieverschillen of fouten. De toe te passen telmethode zelf wordt in detail beschreven in paragraaf 5.4.

Zoals eerder genoemd in paragraaf 5.2, ligt het contouralgoritme zelf in de nieuwe situatie niet meer vast. Het maken van contouren blijft echter nodig om de geluidbelasting te visualiseren en ook voor het vastleggen van beperkingengebieden. Het resultaat kan daarbij, in zeer beperkte mate, afhankelijk zijn van wie de contouren maakt met welke methode. Op het moment dat in de toekomst zou blijken dat dit toch onwenselijk is, dan zou het verfijningsalgoritme ook kunnen worden voorgeschreven bij het maken van contouren. Uit Figuur 15 en Figuur 16 blijkt namelijk dat op basis van enkel het toepassen van verfijning met factor 10 met het Python-algoritme en het vervolgens verbinden van de omslagpunten een contour oplevert die ook visueel acceptabel is.

5.4 Beschrijving telproces

De bepaling van geluidbelaste woningen, ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden (ook wel het telproces genoemd) wordt uitgevoerd in een aantal stappen. Als eerste stap in het telproces wordt de geluidbelasting bepaald op de woninglocaties, waarvan de locaties zijn vastgelegd in het gebruikte woningbestand[9]. Hiervoor wordt de geluidbelasting bepaald door interpolatie tussen de rasterpunten van het gebruikte rekenraster. Zoals hierboven beschreven, wordt deze interpolatie uitgevoerd aan de hand van een 2-dimensionale representatie van de geluidbelasting met strooklatfuncties (splines) [Ref. 13]. De gebruikte implementatie van deze methode is de functie BivariateSpline uit de SciPy bibliotheek voor de programmeertaal Python [Ref. 14].

De vervolgstappen van het telproces zijn als volgt:

[9] Voor toetsing aan het wettelijk kader voor gelijkwaardigheid wordt gebruik gemaakt van de woning- en inwonersituatie van 2005. In de MER NNHS Schiphol is daarnaast ook gebruik gemaakt van geactualiseerde woningbestanden voor de situatie 2015 en 2018, zie Referentie 15.

Woningen met een geluidbelasting van 58 L_{den} of hoger

Het bepalen van het aantal woningen met een geluidbelasting van 58 L_{den} of hoger wordt uitgevoerd in twee vervolgstappen:

- Bepaal op basis van het interpolatieresultaat welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 58 dB(A) L_{den} of hoger.
- Sommeer de woningaantallen.

Woningen met een geluidbelasting van 48 L_{night} of hoger

Het bepalen van het aantal woningen met een geluidbelasting van 48 L_{night} of hoger wordt uitgevoerd in twee vervolgstappen:

- Bepaal op basis van het interpolatieresultaat welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 48 dB(A) L_{night} of hoger.
- Sommeer de woningaantallen.

Ernstig gehinderde personen met een geluidbelasting van 48 Lden of hoger

Het bepalen van het aantal ernstig gehinderde personen met een geluidbelasting van 48 L_{den} of hoger wordt uitgevoerd in vier vervolgstappen:

- Bepaal op basis van het interpolatieresultaat welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 48 dB(A) L_{den} of hoger.
- Bepaal voor al deze woninglocaties de relatieve hinder (zie ook hoofdstuk 6) op basis van:

$$EGH = 1 - \frac{1}{[1 + e^{(-7.7130+0.1260*Lden)}]}$$

- Bepaal voor al deze woninglocaties het aantal ernstig gehinderde personen door het aantal personen op deze locatie te vermenigvuldigen met de relatieve hinder voor deze locatie.
- Sommeer het aantal ernstig gehinderde personen.

Ernstig slaapverstoorde personen met een geluidbelasting van 40 L_{night} of hoger

Het bepalen van het aantal ernstig slaapverstoorde personen met een geluidbelasting van 40 L_{night} of hoger wordt uitgevoerd in vier vervolgstappen:

- Bepaal op basis van het interpolatieresultaat welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 40 dB(A) L_{night} of hoger.
- Bepaal voor al deze woninglocaties de relatieve slaapverstoring (zie ook hoofdstuk 6) op basis van:

$$ESV = 1 - \frac{1}{[1 + e^{(-6.2952+0.0960*Lnight)}]}$$

- Bepaal voor al deze woninglocaties het aantal ernstig slaapverstoorde personen door het aantal personen op deze locatie te vermenigvuldigen met de relatieve slaapverstoring voor deze locatie.
- Sommeer het aantal ernstig slaapverstoorde personen.

6 Correctie Dosis effect relatie

De dosis-effect-relaties uit de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (2002) worden gebruikt voor toetsing aan de criteria voor gelijkwaardige bescherming. Er zijn twee relaties: de eerste legt de relatie tussen de geluidbelasting in L_{den} en het percentage van de bevolking dat bij een dergelijke geluidbelasting ernstige hinder ondervindt als gevolg van het vliegtuiggeluid. De tweede relatie legt de link tussen de nachtelijke geluidbelasting in L_{night} en het percentage van de bevolking wat ernstige slaapverstoring ondervindt als gevolg van het vliegtuiggeluid. Bij toetsing aan de criteria voor gelijkwaardige bescherming wordt met behulp van de relaties en een (geprognotiseerde of gerealiseerde) geluidbelasting gecontroleerd of:

- Het aantal ernstig gehinderden met een geluidbelasting van 48 dB(A) L_{den} of hoger niet groter is dan toegestaan.
- Het aantal ernstig slaapverstoorden met een geluidbelasting van 40 dB(A) L_{night} of hoger niet groter is dan toegestaan.

De dosis-effect-relaties (DERs) zijn origineel opgesteld door het RIVM. Ze zijn gebaseerd op de resultaten van enquêtes onder respondenten en geluidberekeningen met behulp van het NRM. Destijds is de zelf gerapporteerde hinder uit de enquêtes gecorreleerd aan een met NRM berekende geluidbelasting op de locaties van de respondenten. De technische vraag die voor de start van de Doc29 implementatie is gesteld, is of de respondenten, als destijds de geluidbelasting met Doc29 zou zijn berekend, aan een andere geluidbelasting zouden zijn gekoppeld. Als dit namelijk het geval is, dan wijzigen dus de gegevens waarop de DERs gebaseerd zijn en wijzigen de curves bij het gebruik van Doc29 zelf ook.

Er zijn daarom een aantal opties overwogen voor hoe om te gaan met deze situatie. Paragraaf 6.1 presenteert deze opties. Uiteindelijk is besloten om de bestaande DERs aan te passen aan het gebruik van Doc29. Het proces van aanpassing, het resultaat en de controleberekeningen die zijn uitgevoerd worden besproken in paragraaf 6.2 tot en met 6.4.

6.1 Opties en keuze methode

Op voorhand zijn een aantal opties geïdentificeerd waarop aantallen (ernstig) gehinderden en slaapverstoorden kunnen worden bepaald op basis van Doc29 geluidberekeningsresultaten. De volgende opties zijn overwogen en besproken met het RIVM:

1. Oude DERs blijven gehandhaafd:
    - Op het moment dat de veranderingen in geluidbelasting als gevolg van het nieuwe model klein zijn, dan zouden de originele DERs ook kunnen worden gebruikt in combinatie met Doc29.
2. Overstappen naar de EU relaties:
    - Er zijn ook Europese dosis-effect-relaties beschikbaar voor ernstige hinder en ernstige slaapverstoring als gevolg van het geluid van vliegverkeer.
3. Opnieuw afleiden DERs op basis van nieuw hinderbelevingsonderzoek:
    - Binnen deze optie zou het RIVM nieuw onderzoek uitvoeren en in combinatie met de actuele geluidbelasting op basis van Doc29 nieuwe DERs afleiden.
4. Opnieuw afleiden DERs op basis van originele enquêteresultaten:

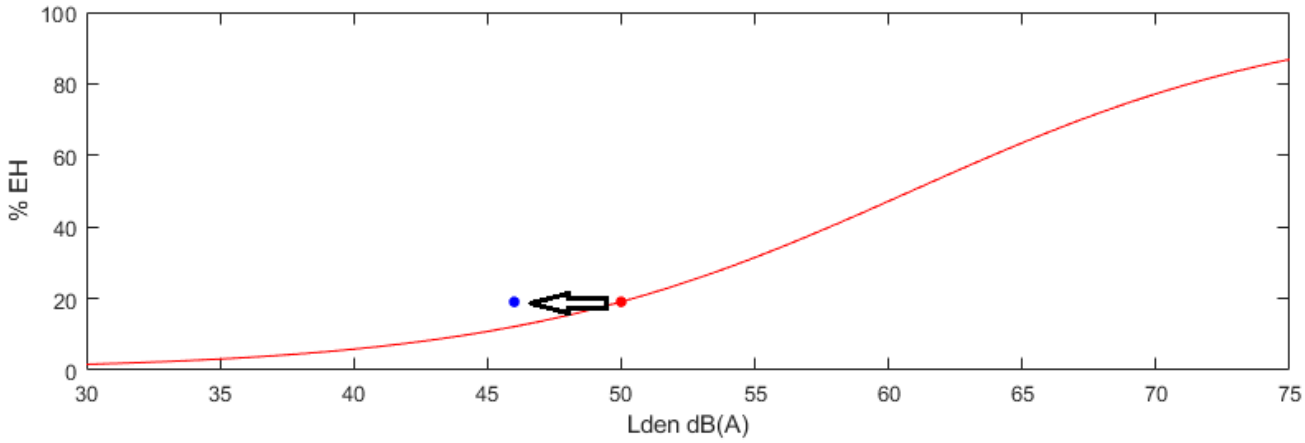
    - Hierbij zouden de oorspronkelijke enquêtes opnieuw gekoppeld worden aan een met Doc29 berekende geluidbelasting, gebaseerd op de periode waarin de enquêtes zijn afgenomen.
5. Kalibreren van de bestaande DERs op basis van verschillen in geluidbelasting:
    - Deze optie is deels vergelijkbaar met de vorige. In dit geval wordt het opnieuw afleiden van de relatie alleen niet uitgevoerd op basis van de originele enquêteresultaten, maar op basis van eindresultaat daarvan: de dosis-effect-relatie zelf.
    - Het principe achter deze kalibratie is dat de hinder of slaapverstoring op een bepaalde locatie niet wijzigt door een nieuw rekenmodel, maar de geluidbelasting wel. De DERs kunnen zo worden gecorrigeerd dat bij een aangepaste geluidbelasting, dezelfde hinder en slaapverstoring wordt voorspeld.

Bij de keuze voor een bepaalde optie hebben de volgende afwegingen een rol gespeeld:

- Het handhaven van de oude DERs (optie 1) zonder verdere analyse werd gezien als slecht uitlegbaar. Het was immers al bekend dat de geluidbelasting berekend met Doc29 niet (overal) gelijk zou zijn aan de geluidbelasting met NRM. Er zou dan minimaal met behulp van analyses moeten worden aangetoond dat het handhaven van de oude relaties te verantwoorden is, bijvoorbeeld omdat aanpassingen binnen de spreiding en/of onzekerheden zouden vallen van de resultaten van het originele onderzoek. Methodes om dat te doen zijn bijvoorbeeld het doorlopen van het proces behorend bij optie 4 of 5. Daarmee werd optie 1 slechts een mogelijke uitkomst van optie 4 of 5.
- Het overstappen naar EU-relaties (optie 2) was eenvoudig en snel te realiseren, maar zou betekenen dat de DERs niet langer gebaseerd zouden zijn op de lokale situatie rond Schiphol. In plaats daarvan worden dan algemene DERs gebruikt, die zijn gebaseerd op diverse hinderbelevingsonderzoeken bij verschillende luchthavens uit verschillende landen. Omdat hinder ook gebaseerd is op niet-akoestische factoren die sterk kunnen verschillen van locatie tot locatie, is het gebruik van een lokale DER te prefereren boven een algemene DER. Het toepassen van de algemene EU-relaties moet in die zin worden gezien als een alternatief op het moment dat een lokale DER niet beschikbaar is.
- Het opnieuw uitvoeren van hinderbelevingsonderzoek (optie 3) is overwogen, maar bleek wat betreft benodigde doorlooptijd niet haalbaar. Bijkomend, maar niet bepalend aspect was dat de DER dan ook zou worden aangepast aan de veranderingen in hinderbeleving over de afgelopen 15 jaar. Deze actualisatie is enerzijds een voordeel, omdat dan met de nieuwe DERs (zeker in combinatie met een actueel woningbestand) een actueler beeld kan worden gekregen van de hinder en slaapverstoring. Het kan ook worden gezien als nadeel: het principe van gelijkwaardige bescherming refereert aan het beschermingsniveau behorend bij het eerste luchthavenverkeerbesluit Schiphol. Bij het actualiseren van de criteria voor gelijkwaardige bescherming wordt altijd zo veel mogelijk gerefereerd aan de situatie ten tijde van dit eerste luchthavenverkeerbesluit uit 2002.
- De laatste twee opties (4 en 5) zijn tot op zekere hoogte vergelijkbaar, waarbij de dosis-effect-relatie wordt gecorrigeerd voor een nieuwe dosis op basis van Doc29. Voor optie 4 (opnieuw afleiden op basis van originele enquêtes) waren er met betrekking tot de haalbaarheid wel een aantal onzekerheden. Dit betrof de technische mogelijkheid om geluidberekeningen opnieuw met Doc29 uit te voeren voor 2002 en eerder. Ook was er onzekerheid over de (digitale) beschikbaarheid van resultaten van de originele enquêtes, met als gevolg onzekerheden rond de benodigde doorlooptijd.

Op basis van deze overwegingen is uiteindelijk, in overleg met het RIVM en de betrokken experts, gekozen voor het kalibreren van de bestaande DERs op basis van verschillen in geluidbelasting (optie 5). Zoals eerder genoemd is het principe achter deze kalibratie dat de hinder of slaapverstoring op een bepaalde locatie niet wijzigt door een nieuw rekenmodel, maar de geluidbelasting wel. De methode kan verder worden toegelicht met een voorbeeld, ook

weergegeven in Figuur 17. In dit figuur is de DER voor ernstige hinder weergegeven met een rode lijn. Stel de geluidbelasting op basis van het NRM was 50 dB(A) voor een bepaalde locatie, dan is het bijbehorende percentage ernstige hinder 19% voor deze locatie (rode datapunt). Op het moment dat de nieuwe Doc29 dosis nu bijvoorbeeld geen 50 maar slechts 46 dB(A) Lden is, dan levert dit een nieuw datapunt (blauw).



Figuur 17: Voorbeeld kalibratie datapunt dosis-effect-relatie voor percentage ernstige hinder (%EGH)

Indien deze handeling voor alle woninglocaties in het woningbestand wordt herhaald, ontstaat er een puntenwolk, waardoor een lijn kan worden getrokken en een nieuwe dosis-effect-relatie kan worden afgeleid.

Bij de kalibratie moet de geluidbelasting op basis van NRM en Doc29 gebaseerd zijn op hetzelfde scenario, of anders gezegd, moet dezelfde berekening worden uitgevoerd met beide modellen. Wel is de vraag welk scenario of welke berekening hiervoor het beste kan worden gebruikt.

De kalibratie is uiteindelijk uitgevoerd op basis van de gerealiseerde geluidbelasting van de gebruiksjaren 2004, 2005 en 2006. Er is hierbij gekozen voor het gebruik van de resultaten van drie in plaats van één gebruiksjaar om te voorkomen dat de keuze voor een bepaald jaar onbedoeld invloed zou hebben op het resultaat en dus om hiermee een meer betrouwbaar resultaat te krijgen. De keuze voor de tijdsperiode heeft met een aantal zaken te maken:

- De jaren liggen relatief dicht bij jaren waarin de originele DERs zijn vastgesteld
- De benodigde gegevens om een jaarberekening op basis van Doc29 te doen zijn aanwezig, terwijl dit bijvoorbeeld voor de periode voor 2002 minder goed mogelijk is
- De originele DERs uit 2002 zijn in 2005 door het RIVM met behulp van nieuwe enquêtes gecontroleerd en voldoende goed bevonden [Ref. 16].

De gerealiseerde geluidbelasting voor de gebruiksjaren 2004, 2005 en 2006 op basis van NRM was al beschikbaar vanuit archieven. De geluidbelasting op basis van Doc29 moest voor deze jaren nog wel bepaald worden. Dit wordt in de volgende paragraaf beschreven.

6.2 Herberekening realisatie gebruiksjaren 2004-2006

De Doc29 realisatieberekeningen voor de gebruiksjaren 2004 tot en met 2006 zijn zo veel mogelijk uitgevoerd in lijn met de uitgangspunten en werkwijzen die destijds voor de vergelijkbare NRM berekeningen zijn gehanteerd. Concreet betekent dit dat:

- De geluidberekeningen, net als bij de NRM berekeningen, zijn uitgevoerd op basis van grondpaden afkomstig uit radargegevens.
- De toewijzing van bijvoorbeeld startprocedures en toepassing van reduced flaps plaatsvindt op basis van de toewijzing die ook destijds bij de NRM berekeningen zijn toegepast.
- In lijn met de beschikbare NRM berekeningen de berekeningen zijn uitgevoerd op een raster van rekenpunten met een onderlinge afstand van 500 meter (in afwijking van de nieuwe standaard van 250 meter voor Doc29 berekeningen, zie paragraaf 5.1)

Zoals gebruikelijk is voor realisatieberekeningen, zijn de berekeningen per kalendermaand uitgevoerd. Per maand is vervolgens bepaald of er vluchten plaats hebben gevonden die in het rekenproces niet doorgerekend konden worden. Dit kan bijvoorbeeld voorkomen als essentiële gegevens zoals vliegtuigtype of vliegbaan ontbreken. In lijn met de Regeling milieu-informatie luchthaven Schiphol (RMI) is vervolgens per maand een correctiefactor bepaald, zowel voor het etmaal als voor de nacht [Ref 17]. Na toepassing van de correctiefactoren zijn de maandresultaten opgeteld tot jaarresultaten.

6.3 Kalibratie DER

De kalibratie van de dosis-effect-relaties is een iteratief proces geweest, waarbij uiteindelijk drie keer gekalibreerd is. Omdat ook de eerdere resultaten zijn gedeeld in zowel overleggen met experts als met het RIVM, zijn ook de resultaten van de eerste twee kalibraties gedeeltelijk in dit rapport opgenomen.

6.3.1 Eerste kalibratie (Lden)

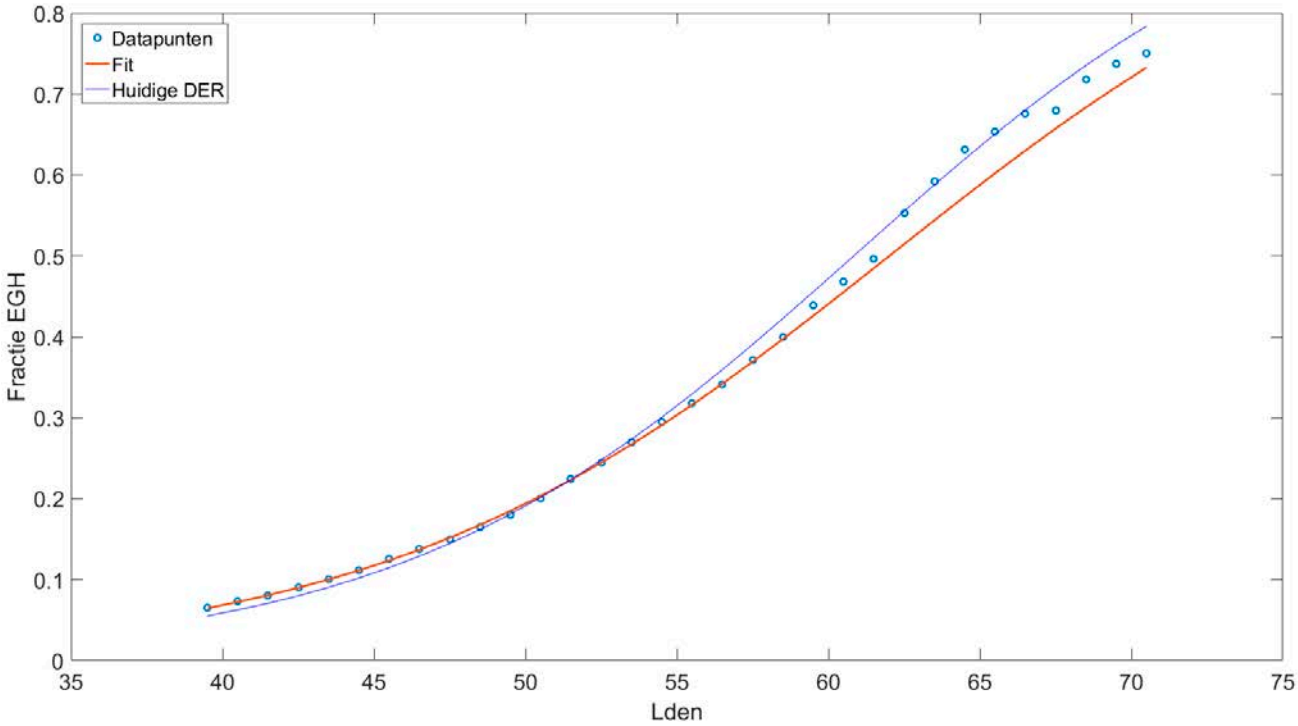
Op basis van de hiervoor beschreven aanpak is in eerste instantie de kalibratie uitgevoerd op basis van de volgende uitgangspunten, voor percentage ernstige hinder op basis van L_{den}:

- Gebruik van een logistische functie, conform de huidge DERs:

$$\%\ ernstige\ hinder = 1 - \frac{1}{[1 + e^{(a+b*Lden)}]}$$

- Alleen de coëfficiënten a en b worden opnieuw bepaald door middel van ‘curve fitting’
- De kalibratie wordt toegepast vanaf 39 Lden (het begin van de geldigheid van de functie)

Na uitvoering van het proces bleek echter dat bij deze aanpak de hinder op hoge geluidsniveaus wordt onderschat. Dit is goed te zien door alle datapunten te groeperen en af te zetten tegen het resultaat. Dit is weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18: Resultaat eerste kalibratie DER voor ernstige hinder

In Figuur 18 is duidelijk te zien dat het resultaat (rode lijn) vanaf ongeveer 59 Lden een onderschatting geeft van de hinder. Op het oog lijkt zelfs de niet gekalibreerde DER beter. Bij een controle op aantal ernstig gehinderde personen in een vast gebied[10] blijkt ook uit de percentages van afwijking dat de toegepaste kalibratie inderdaad niet goed werkt. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 10 en Tabel 11. Hierbij wordt eerst gekeken wat het verschil is in aantal ernstig gehinderde personen als, ook voor Doc29, de originele DER wordt toegepast. In de rechter kolom wordt dit vergeleken met het verschil op het moment dat voor Doc29 wel de gekalibreerde DER wordt gebruikt. Idealiter zijn de verschillen in de rechter kolom zo klein mogelijk.

Tabel 10: Controle eerste kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 48 Lden of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 1e kalibratie
2004	-1.9%	-1.7%
2005	-1.8%	-1.3%
2006	-2.4%	-2.1%

Tabel 11: Controle eerste kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 58 Lden of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 1e kalibratie
2004	3.4%	-3.4%
2005	3.1%	-3.8%
2006	2.1%	-4.7%

[10] Voor alle tellingen: binnen de 48 dB(A) dan wel 58 dB(A) Lden contour van het NRM van het betreffende gebruiksjaar.

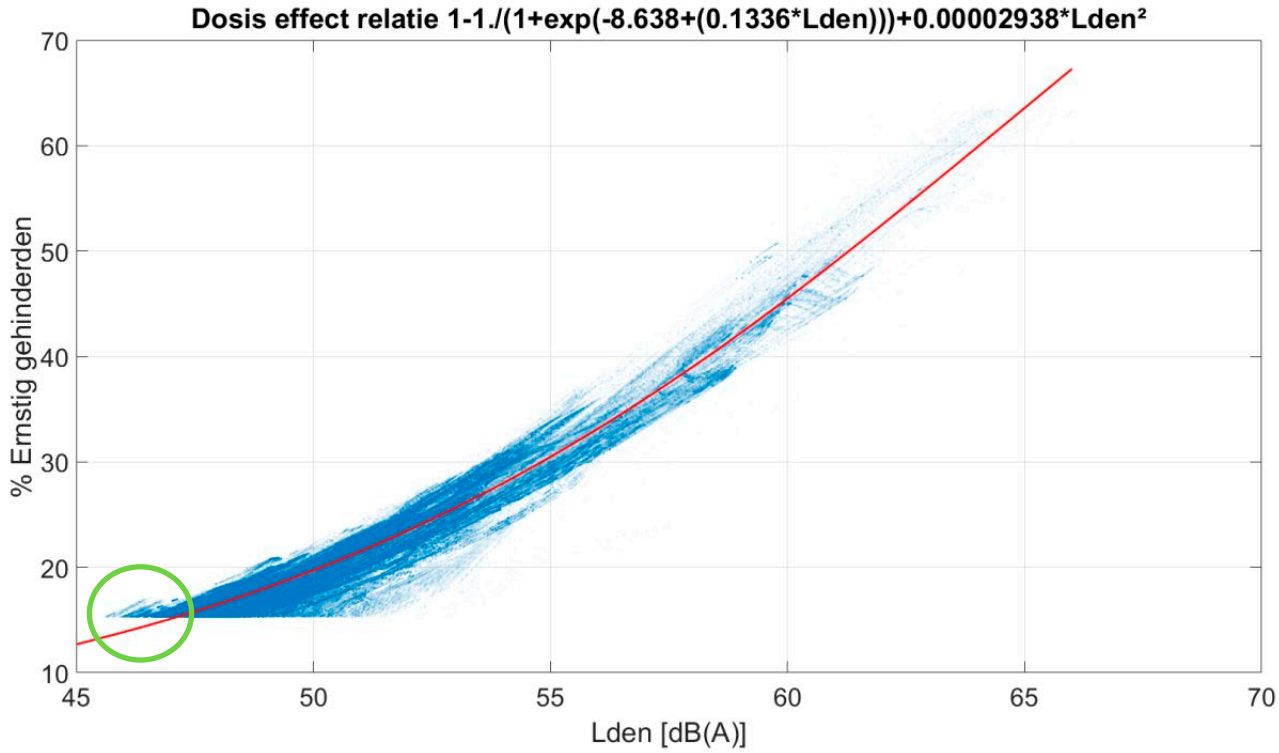
Uit Tabel 10 blijkt dat voor het gebied met een geluidbelasting van 48 L_{den} of meer de gekalibreerde DER het slechts marginaal beter doet dan de originele DER. Uit tabel Tabel 11 volgt zelfs dat voor het gebied met een geluidbelasting van 58 L_{den} of meer de gekalibreerde DER het slechter doet dan de originele DER. Op basis hiervan is geconcludeerd dat de eerste kalibratie niet goed genoeg was. Dit was aanleiding om opnieuw naar de uitgangspunten te kijken. De resultaten voor de kalibratie voor ernstige slaapverstoring op basis van de geluidbelasting in L_{night} zijn om die reden ook niet in dit rapport opgenomen.

6.3.2 Tweede kalibratie (Lden)

Het vermoeden was dat het resultaat van de eerste kalibratie te veel beïnvloed werd door de grote aantallen inwoners in het buitengebied versus de lage aantallen in het binnengebied. Bij het toepassen van de curve fitting wordt het gebied met lage geluidsbelasting hierdoor dominant. Om dit op te lossen zijn twee maatregelen toegevoegd aan de originele uitgangspunten:

1. Alleen datapunten met een geluidbelasting van 48 L_{den} of meer (NRM) meenemen in de kalibratie
2. Een extra kwadratische term $c*x^2$ toevoegen aan de functie

Beide maatregelen hebben echter nadelen. De eerste veroorzaakt een scherpe punt linksonder in de puntenwolk, zoals aangegeven met de groene circkel in Figuur 19.



Figuur 19: Resultaat tweede kalibratie DER voor ernstige hinder

De punt zelf wordt veroorzaakt door het niet meenemen van locaties met een geluidbelasting van minder dan 48 L_{den}. Het toepassen van deze selectie heeft ook een ongewenste invloed op het resultaat. In Figuur 19 is dit ook te zien: het resultaat van de kalibratie (de rode lijn) lijkt in de linker hoek niet midden door de puntenwolk te gaan. De tweede

maatregel, het toevoegen van de kwadratische term, heeft ook een nadeel: deze zorgt er namelijk voor dat de voorspelde hinder meer dan 100% kan worden bij hele hoge geluidsniveaus.

Ondanks deze nadelen is ook voor de tweede kalibratie, net zoals na de eerste kalibratie, een controle uitgevoerd op het resultaat op basis van een vergelijking van het aantal ernstig gehinderde personen in een vast gebied. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 12 en Tabel 13.

Tabel 12: Controle tweede kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 48 Lden of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 2^{e} kalibratie
2004	-1.9%	0.4%
2005	-1.8%	0.9%
2006	-2.4%	0.1%

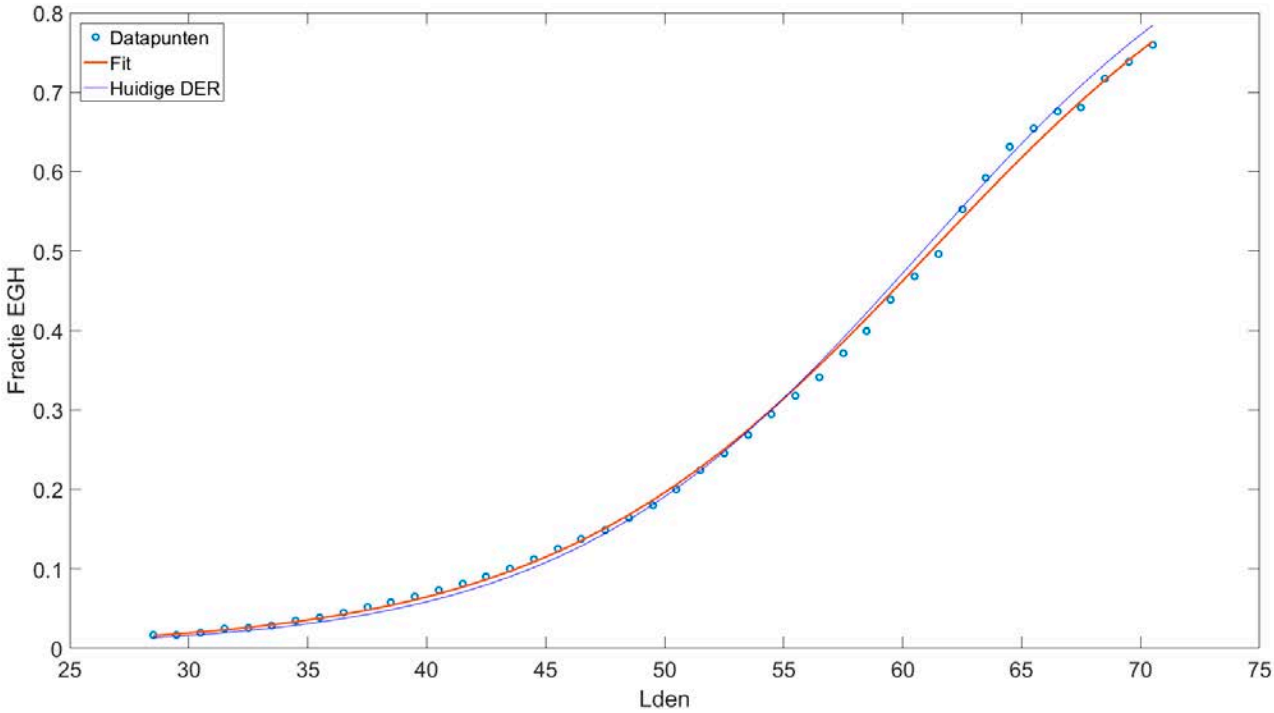
Tabel 13: Controle tweede kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 58 Lden of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 2^{e} kalibratie
2004	3.4%	0.1%
2005	3.1%	-0.2%
2006	2.1%	-1.1%

Uit Tabel 12 en Tabel 13 volgt dat in dit geval het toepassen van de gekalibreerde DER wel veel betere resultaten oplevert dan het helemaal niet kalibreren van de DER. Het resultaat is vervolgens ook gepresenteerd in het expertoverleg. Mede naar aanleiding van commentaar uit het expertoverleg is daarna nogmaals gekeken naar de toe te passen uitgangspunten. Dit wordt in de volgende paragraaf besproken. Omdat de tweede kalibratie niet het toegepaste eindresultaat is, zijn de resultaten voor de kalibratie voor ernstige slaapverstoring op basis van de geluidbelasting in L_{night} niet in dit rapport opgenomen.

6.3.3 Derde kalibratie (Lden)

Zoals besproken in paragraaf 6.3.2 werd bij de originele uitgangspunten het resultaat van de kalibratie te sterk beïnvloed door de relatief grote aantallen inwoners in het buitengebied versus het relatief lage aantal inwoners in het binnengebied. In eerste instantie zijn twee maatregelen getroffen om de effecten hiervan tegen te gaan, maar er is ook een meer structurele oplossing. Hierbij wordt het aantal waarnemingen eerst genormaliseerd door bij elke dB-waarde het aantal personen in de dataset gelijk te maken. Hierdoor wordt de dominantie van het gebied met lage geluidsbelasting opgeheven. Het resultaat van deze kalibratie is opgenomen in Figuur 20.



Figuur 20: Resultaat derde kalibratie DER voor ernstige hinder

Enkel op basis van Figuur 20 lijkt het resultaat van de curve fit nu dicht bij de datapunten te liggen, ondanks het feit dat nu gekalibreerd is op basis van alle beschikbare locaties binnen het rekengebied, inclusief waarden van minder dan 30 L_{den}. Ook nu is weer een controle uitgevoerd op het resultaat op basis van een vergelijking van het aantal ernstig gehinderde personen in een vast gebied. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 14 en Tabel 15.

Tabel 14: Controle derde kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 48 L_{den} of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 3^{e} kalibratie
2004	-1.9%	0.0%
2005	-1.8%	0.3%
2006	-2.4%	-0.4%

Tabel 15: Controle derde kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 58 L_{den} of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 3^{e} kalibratie
2004	3.4%	1.3%
2005	3.1%	1.0%
2006	2.1%	0.0%

Uit de resultaten in Tabel 14 en Tabel 15 volgt ook in dit geval dat het toepassen van de gekalibreerde DER veel betere resultaten oplevert dan het niet kalibreren van de DER. Vergeleken met de tweede kalibratie werkt de derde kalibratie binnen het gebied van de 48 Lden ook nog iets beter, maar binnen het gebied van de 58 Lden juist net iets minder goed. Een belangrijk bijkomend voordeel van het nieuwe resultaat is echter dat de DER op basis van derde kalibratie

ook bij een relatief lage geluidbelasting toepasbaar is. Een controletelling voor het gebied met een geluidbelasting vanaf 39 Lden is opgenomen in Tabel 16.

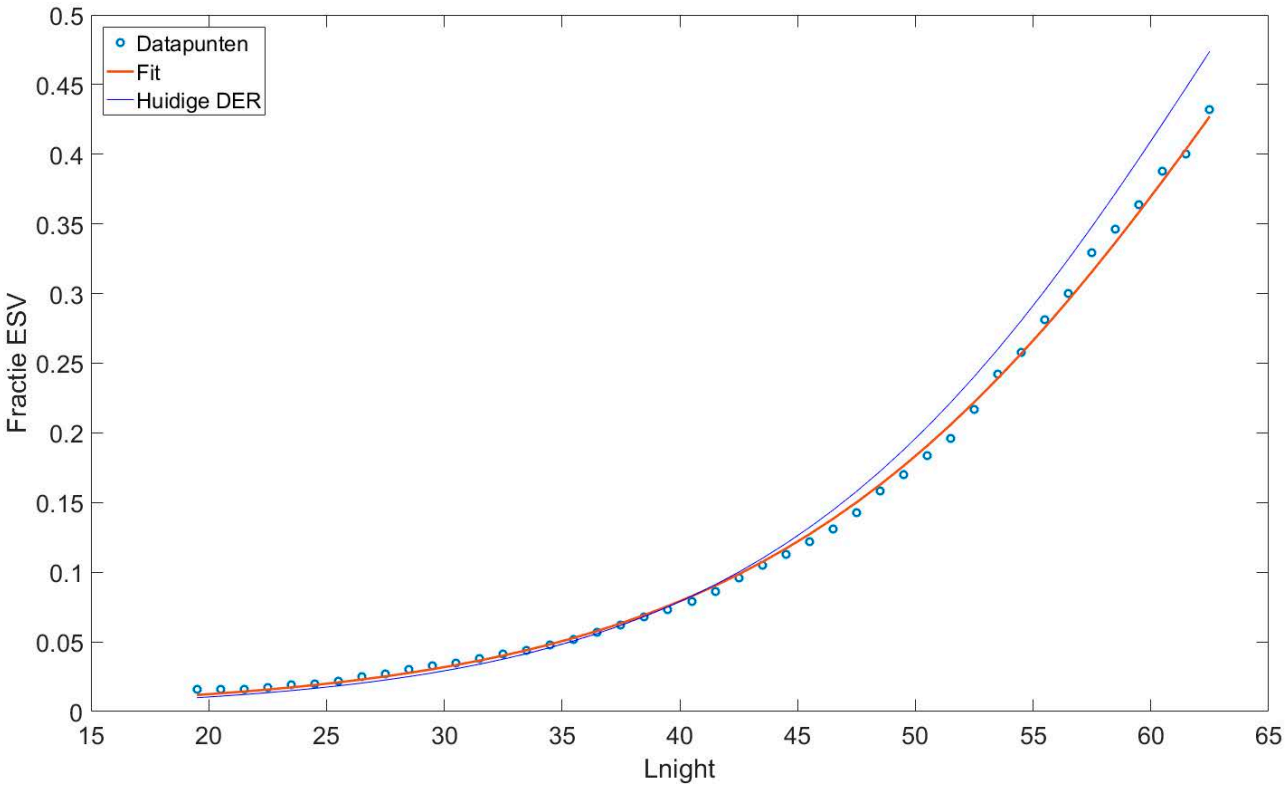
Tabel 16: Vergelijking tweede en derde kalibratie DER voor aantal ernstig gehinderde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 39 Lden of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 2^{e} kalibratie	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 3^{e} kalibratie
2004	-6.2%	7.8%	-1.3%
2005	-5.7%	7.2%	-1.0%
2006	-5.9%	7.4%	-1.1%

Uit de resultaten van Tabel 16 volgt duidelijk dat de DER op basis van de 3^{e} kalibratie ook voor gebieden met een relatief lage geluidbelasting nog goed toepasbaar is, terwijl het gebruik van de andere twee mogelijkheden (niet kalibreren of de 2^{e} kalibratie) in dit geval tot relatief grote afwijkingen zou leiden. Hierdoor is het resultaat op basis van de 3^{e} kalibratie ook toepasbaar voor andere doeleinden dan toetsing aan de criteria voor gelijkwaardige bescherming.

6.3.4 Derde kalibratie Lnight

In lijn met de uitgangspunten zoals besproken in de vorige paragraaf is ook de DER voor ernstige slaapverstoring op basis van een geluidsbelasting in L_{night} opnieuw gekalibreerd. Het resultaat is weergegeven in Figuur 21.



Figuur 21: Resultaat derde kalibratie DER voor ernstige slaapverstoring

De resultaten van een controletelling op basis van een vergelijking van het aantal ernstig slaapverstoorde personen binnen een vast gebied (40 L_{night} op basis van NRM) zijn opgenomen in Tabel 17.

Tabel 17: Controle derde kalibratie DER voor aantal ernstig slaapverstoorde personen voor het gebied met een geluidbelasting van 40 Lnight of meer op basis van NRM

Gebruiksjaar	NRM + NRM-DER versus Doc29 + NRM-DER	NRM + NRM-DER versus Doc29 + 3^{e} kalibratie
2004	3.8%	1.2%
2005	3.5%	0.8%
2006	2.8%	0.3%

Zoals op basis van Figuur 21 al verwacht kan worden laat Tabel 17 duidelijk zien dat het toepassen van de gekalibreerde DER voor ernstige slaapverstoring duidelijk betere resultaten levert dan het niet kalibreren van de DER.

6.4 Resultaten

Het resultaat op basis van de derde kalibratie is verder uitgewerkt en vervolgens voorgelegd aan het RIVM. De analyses, het oordeel van het RIVM, het eindresultaat en de aanbevelingen worden besproken in deze sectie.

6.4.1 Extra analyses

De tabellen in paragraaf 6.3.3 en 6.3.4 presenteren de relatieve verschillen in aantallen ernstig gehinderde en ernstig slaapverstoorde personen binnen een vast gebied. Dit vaste gebied is elke keer het gebied omsloten door de 48 dB(A) Lden / 40 dB(A) Lnight contour op basis van de geluidberekening met het NRM. Naast de relatieve verschillen is aanvullend ook gekeken naar de absolute verschillen. Daarnaast is ook een telling uitgevoerd met de gekalibreerde DER binnen de 48 dB(A) L_{den} / 40 dB(A) L_{night} contour op basis van Doc29. Het resultaat voor het aantal ernstig gehinderde personen is weergegeven in Tabel 18. Voor de volledigheid zijn in de tabel ook de eerder gepresenteerde relatieve verschillen uit Tabel 14 weergegeven.

Tabel 18: Aantal ernstig gehinderde personen bij verschillende combinaties van geluidmodel (NRM of Doc29), dosis-effect-relaties (originele DER of gekalibreerde DER) en verschillende gebieden (omsloten door 48 L_{den} contour van NRM of 48 L_{den} contour van Doc29)

Gebied:	48 L_{den} contour NRM			48 L_{den} contour Doc29
Model + DER:	NRM + NRM-DER	Doc29 + NRM-DER	Doc29 + gekalibreerde DER	Doc29 + gekalibreerde DER
GJ 2004	106415	104412 (-1.9%)	106457 (+0.0%)	95649 (-10.1%)
GJ 2005	126253	124014 (-1.8%)	126666 (+0.3%)	115967 (-8.1%)
GJ 2006	119966	117065 (-2.4%)	119491 (-0.4%)	107784 (-10.2%)

Samenvattend blijkt uit Tabel 18 dat:

- Bij het niet corrigeren van de DER de berekende hinder binnen een vast gebied (48 L_{den} contour van NRM) met ongeveer 2% zou afnemen.
- Bij het wel corrigeren van de DER de berekende hinder binnen dit vaste gebied ongeveer gelijk zou blijven.

- Het aantal ernstig gehinderde personen binnen de Doc29 48 L_{den} contour met ongeveer 10% afneemt, als gevolg van een andere contourligging.

De eerste twee punten waren al bekend vanuit 6.3.3. Het laatste punt is nieuw en hier blijkt duidelijk het effect van een andere contourligging. De 48 dB(A) L_{den} contour van Doc29 is overwegend kleiner dan de 48 dB(A) L_{den} contour van het NRM. Het aantal ernstig gehinderde personen wordt bij toepassing van Doc29 daardoor voor een kleiner gebied berekend. Hierdoor neemt het berekende aantal ernstig gehinderde personen, ondanks de kalibratie, met ongeveer 10% af.

In Tabel 19 zijn de resultaten van een vergelijkbare analyse opgenomen, maar nu voor het aantal ernstig slaapverstoorde personen.

Tabel 19: Aantal ernstig slaapverstoorde personen bij verschillende combinaties van geluidmodel (NRM of Doc29), dosis-effect-relaties (originele DER of gekalibreerde DER) en verschillende gebieden (omsloten door 40 L_{night} contour van NRM of of 40 L_{night} contour van Doc29)

Gebied:	40 L_{night} contour NRM			40 L_{night} contour Doc29
Model + DER:	NRM + NRM-DER	Doc29 + NRM-DER	Doc29 + gekalibreerde DER	Doc29 + gekalibreerde DER
GJ 2004	20635	21421 (+3.8%)	20883 (+1.2%)	21815 (+5.7%)
GJ 2005	22274	23045 (+3.5%)	22462 (+0.8%)	23820 (+6.9%)
GJ 2006	20525	21098 (+2.8%)	20587 (+0.3%)	22563 (+9.9%)

Samenvattend blijkt uit deze tabel dat:

- Bij het niet corrigeren van de DER de berekende slaapverstoring binnen een vast gebied (40 L_{night} contour van NRM) met ongeveer 3% zou toenemen.
- Bij het wel corrigeren van de DER de berekende slaapverstoring binnen dit vaste gebied met minder dan 1% toeneemt.
- Het aantal ernstig slaapverstoorde personen binnen de Doc29 40 Lnight contour met ongeveer 8% toeneemt, als gevolg van een andere contourligging.

Ook hierbij geldt dat de eerste twee punten reeds bekend waren vanuit paragraaf 6.3.4. Het laatste punt is echter nieuw en wordt veroorzaakt door een andere contourligging. Bij het gebruik van Doc29 kunnen de contouren, afhankelijk van de locatie, zowel groter als kleiner worden. Per saldo neemt het berekende aantal ernstig slaapverstoorde personen, ondanks de kalibratie, met ongeveer 8% toe.

6.4.2 Eindresultaat nieuwe DERs en beoordeling RIVM

Op basis van resultaat van de derde kalibratie is de nieuwe functie voor het bepalen van het percentage ernstig gehinderde personen als volgt:

$$EGH = 1 - \frac{1}{[1 + e^{(-7.7130+0.1260*Lden)}]}$$

De nieuwe functie voor het bepalen van het percentage ernstig slaapverstoorde personen is als volgt:

$$ESV = 1 - \frac{1}{[1 + e^{(-6.2952+0.0960*Lnight)}]}$$

Het RIVM heeft deze aanpassing beoordeeld en geconcludeerd dat de nieuwe formules een goede weergave zijn van de invloed die het nieuwe geluidmodel heeft op de verandering van de dosis-effect-relaties [Ref. 18]

Het RIVM geeft in haar reactie wel de kanttekening dat in het oorspronkelijk onderzoek de deelnemers waren blootgesteld aan een geluidbelasting in de range van 39 tot 65 dB(A) Lden of 29 tot 57 dB(A) Lnight. Op basis daarvan raadt het RIVM aan de nodige voorzichtigheid in acht te nemen bij toepassing van de gekalibreerde relaties buiten deze gebieden. Ondanks deze waarschuwing worden de nieuwe DERs wel toegepast voor situaties met een geluidbelasting van meer dan 65 dB(A) Lden of 57 dB(A) Lnight. Mogelijke alternatieven zouden zijn om inwoners in deze specifieke gebieden helemaal niet mee te rekenen, of om de toegepaste dosis in de berekening te maximeren op 65 dB(A) Lden of 57(A) Lnight. Hoewel het aantal personen dat wordt blootgesteld aan dergelijke doses relatief laag is, geldt voor beide genoemde alternatieven dat het aannemelijk is dat ze zouden leiden tot een onderschatting van de berekende hinder en slaapverstoring. Om die reden is de keuze gemaakt om de DERs, ondanks de beperkingen, toch ook in deze specifieke situaties toe te passen.

Daarnaast geeft het RIVM in haar beoordeling aan dat uit internationale literatuur bekend is dat de hinderbeleving in de tijd kan veranderen (zoals ook genoemd in paragraaf 6.1). De originele DERs zijn gebaseerd op onderzoek uit 2002. De hier besproken kalibratie is uitsluitend gebaseerd op de overgang van het NRM naar Doc29, niet op eventuele verschuivingen in hinderbeleving.

6.5 Aanbevelingen

In de beoordeling van de aanpassing [Ref. 18] in juni 2017 geeft het RIVM naast het hierboven genoemde punten ook nog twee aanbevelingen. Deze zijn hieronder samengevat:

- Zoals ook besproken in paragraaf 6.4.1 is bij Doc29 de verandering in het aantal ernstig gehinderde personen en aantal ernstig slaapverstoorde personen als gevolg van een andere contourligging groter dan die van de correctie. Het RIVM gaf destijds bij de beoordeling van de kalibratie van de DERs aan dat hier bij de overgang van NRM naar Doc29 rekening mee gehouden moest worden. Dit heeft ondertussen plaatsgevonden, door het toepassen van de nieuwe DERs in het proces van het actualiseren van de criteria voor gelijkwaardige bescherming.
- De Wereldgezondheidsorganisatie was op dat moment bezig met een update van de Environmental Noise Guidelines for the European Region, inclusief aangepaste DERs voor gebruik rond luchthavens in Europa. Het RIVM geeft bij haar beoordeling aan dat het wenselijk is om deze WHO richtlijnen te vergelijken met de situatie rond de Nederlandse luchthavens. In opdracht van het ministerie wordt momenteel naar aanleiding van de Motie Schonis door RIVM de mogelijke impact van de WHO richtlijn onderzocht.

7 Instellingen

Het aantal mogelijke instellingen (of keuzes) voor de Doc29 berekeningsmethode zelf is beperkt. Een van de keuzes die gemaakt kan worden is het al dan niet corrigeren van de standaard ANP geluidtabellen naar specifieke lokale omstandigheden. Daarnaast dienen atmosferische condities te worden gekozen voor de correctie van de akoestische impedantie.

7.1 Correctie atmosferische demping geluidtabellen

Doc29 biedt de mogelijkheid om de *atmosferische demping* die standaard al in de *geluidtabellen* is verwerkt, te corrigeren naar specifieke lokale omstandigheden. Deze correctie is optioneel. Op het moment dat de lokale gemiddelde omstandigheden in de buurt van het oppervlak binnen het volgende kader liggen:

- luchttemperatuur minder dan 30 °C,
- product van luchttemperatuur (°C) en relatieve vochtigheid (procent) meer dan 500
- windsnelheid minder dan 8 meter per seconde (15 knopen).

kan worden aangenomen dat de standaard geluidtabellen zoals beschikbaar in de ANP database van toepassing zijn.

Voor Schiphol geldt dat de gemiddelde omstandigheden binnen het genoemde kader liggen. Een correctie naar specifieke lokale omstandigheden is in die zin dus niet nodig. Toch is de keuze gemaakt deze correctie wel toe te passen. Deze keuze past in de algehele aanpak om de methode zoveel mogelijk specifiek te maken voor Schiphol, in plaats van de meer algemene gegevens vanuit de ANP database toe te passen. Dit komt bijvoorbeeld ook duidelijk naar voren bij het afleiden van de start- en naderingsprofielen.

Op het moment dat de geluidtabellen worden gecorrigeerd naar een specifieke atmosferische demping, dan worden er vanuit Doc29 twee methoden aangedragen om de atmosferische demping te bepalen. De eerste is van een van oudsher gebruikte methode uit 1975 [Ref. 19]. Daarnaast wordt een meer recente en tevens aanbevolen methode uit 2013 aangeboden [Ref. 21]. Hierbij is de aanbeveling vanuit Doc29 gevolgd en wordt de methode uit 2013 toegepast.

7.2 Condities voor akoestische impedantie

Binnen de Doc29 rekenmethode wordt ook standaard een correctie voor akoestische impedantie toegepast op de geluidtabellen. Deze correctie is vast onderdeel van de rekenmethode en de toepassing is daarmee niet optioneel. Wel kunnen de referentiecondities worden gekozen.

De gekozen referentiecondities zijn een temperatuur van 15°C en een luchtdruk van 101.325 kPa. Deze condities komen overeen met de condities zoals gedefinieerd in de internationale standaardatmosfeer op zeeniveau. Deze keuze is daarmee in lijn met de atmosferische condities die zijn gehanteerd in de overige delen van de Doc29 implementatie, namelijk bij de afleiding van de vliegprestatieprofielen (zie paragraaf 3.1) en bij het corrigeren van de atmosferische demping (zie paragraaf 7.1).

Referenties

1. H.M.M. van der Wal, P. Vogel en F.J.M. Wubben: Voorschrift voor de berekening van de Lden en Lnight geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol, Part 1: Berekeningsvoorschrift, NLR-CR-2001-372-PT-1, Juli 2001.
2. G.J.T. Heppe: Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting in Lden en Lnight voor Schiphol - Geluidsniveaus, prestatiegegevens en indeling naar categorie, NLR-CR-96650 Versie 12.3, Oktober 2014.
3. European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, ECAC.CEAC Doc 29, 4th edition, Volume I: Applications Guide, December 2016.
4. European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, ECAC.CEAC Doc 29, 4th edition, Volume II: Technical Guide, December 2016.
5. European Civil Aviation Conference, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, ECAC.CEAC Doc 29, 4th edition, Volume III, Part I: Reference Cases and Verification Framework, December 2016.
6. R.H. Hogenhuis en S.J. Heblij, Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen, NLR-CR-2017-371, Oktober 2018.
7. S.J. Heblij, J. Derei en R.H. Hogenhuis, Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol, Methode zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol, NLR-CR-2017-305, Februari 2019.
8. D.H.T. Bergmans en S.J. Heblij, Doc29 contourberekeningen voor Schiphol – Uitgangspunten, keuzes en onderbouwingen, NLR-2015-159, September 2015.
9. E.R. Boeker, E. Dinges, et al, Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 Technical Manual, FAA-AEE-08-01, January 2008.
10. S.P. Galis, Bepaling van de geluidbelasting t.g.v. vliegverkeer middels hybride modellering – Verkennende studie, NLR-CR-2001-102, Maart 2001.
11. S.P. Galis en F.J.M. Wubben, Bepaling van de Lden en Lnight geluidbelasting in handhavingspunten rond de luchthaven Schiphol met behulp van hybride modellering, NLR-CR-2001-344, Augustus 2001
12. D. Rhodes, Peer Review of Noise Modelling using ECAC Doc. 29 for Amsterdam Schiphol, UK CAA, October 2018.
13. P. Dierckx, Curve and Surface Fitting with Splines, Oxford University Press, 1993.
14. SciPy, Scientific Computing Tools for Python, http://www.scipy.org/, versie 0.19.0, Maart 2017
15. Schiphol Group, (Concept) MER ‘Nieuwe Normen- en Handhavingsstelsel Schiphol’ 2018 – Deel 5: Actualisatie en doorkijk naar periode na 2020, November 2018.
16. D.J.M. Houthuijs, C.M.A.G van Wiechen, Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol, RIVM rapport 630100003, Februari 2006.
17. Regeling Milieu-informatie luchthaven Schiphol, versie geldend vanaf 11-12-2018.
18. Dosis-Effect relaties hinder en slaapverstoring Schiphol, brief van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, kenmerk 092/2017 DMG/OB, 30 juni 2017.
19. Society of Automotive Engineers, Standard values of atmospheric absorption as a fuction of temperature and humidty, SAE-ARP-866A, 1975.
20. EUROCONTROL, Base of Aircraft Data (BADA), versie 3.8.1

21. Society of Automotive Engineers, Application of pure-tone atmospheric absorption losses to one-third octave-band levels, SAE-ARP-5534, 2013.

22. MovingDot, Technical Challenge MER NNHS Schiphol Deel 5, November 2018

23. World Health Organization, Environmental Noise Guidelines for the European Region, 2018

24. European Aviation Safety Agency, Certification noise levels, Jet aeroplanes noise database, uitgave 181115.

25. Voortgang programmatische aanpak meten vliegtuiggeluid, brief van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de Tweede Kamer, 18-04-2019.

Appendix A Substitutie

Appendix A.1 Voorbeelden bepalen correctiefactoren startend verkeer

De bepaling van de correctiefactor voor starts wijkt op één detail af van de methode zoals beschreven in Doc29. In beide gevallen wordt de correctie bepaald op basis van de gemiddelde verschillen in de twee certificatiepunten. De originele methode bepaalt echter het rekenkundig gemiddelde:

$$\Delta_{dep} = \frac{L_{lateral,sub} - L_{lateral,proxy} + L_{flyover,sub} - L_{flyover,proxy}}{2}$$

Voor de Doc29 implementatie voor Schiphol is vanuit akoestisch oogpunt gekozen voor het gebruik van het energetisch gemiddelde:

$$\Delta_{dep} = 10 * log_{10}\left(\frac{1}{2} * 10^{\left[\frac{L_{lateral,sub} - L_{lateral,proxy}}{10}\right]} + \frac{1}{2} * 10^{\left[\frac{L_{flyover,sub} - L_{flyover,proxy}}{10}\right]}\right)$$

Voor een aantal voorbeeldsituaties zijn de berekende correctiefactoren voor startend verkeer weergegeven in Tabel 20.

Tabel 20: Voorbeelden van bepalen correctiefactor startend verkeer

$L_{lateral,sub} - L_{lateral,proxy}$ [dB(A)]	$L_{flyover,sub} - L_{flyover,proxy}$ [dB(A)]	Δ_{dep} Doc29 [dB(A)]	Δ_{dep} Doc29 Schiphol [dB(A)]
0	0	0.00	0.00
-3	-3	-3.00	-3.00
3	3	3.00	3.00
0	3	1.50	1.75
3	0	1.50	1.75
0	-3	-1.50	-1.25
-3	0	-1.50	-1.25

Uit de voorbeelden blijkt dat de voor Schiphol gehanteerde methode:

- In het geval van een positieve correctie, leidt tot een correctie die groter of gelijk is,
- In het geval van een negatieve correctie, leidt tot een correctie die kleiner of gelijk is,

in vergelijking met correcties zoals bepaald met de originele methode. De voor Schiphol gehanteerde methode is daarmee conservatiever.

Appendix A.2 Referentiegegevens vliegtuigtypes

ANP ID	EASA ID	ICAO motor ID	ANP ID	EASA ID	ICAO motor ID
1900D	C1408	n/a	**CNA172**	C8861	n/a
717200	A1331	4BR005	**CNA182**	C2546	n/a
737	A4010	1PW007	**CNA208**	C1713	n/a
737300	A15864	1CM004	**CNA441**	C1953	n/a
7373B2	A4217	1CM005	**CNA500**	A4904	1PW036
737400	A17053	1CM007	**CNA510**	A5809	n/a
737500	A4448	1CM007	**CNA525C**	A14190	n/a
737700	A6596	3CM032	**CNA55B**	A5651	n/a
737D17	A3916	1PW012	**CNA560E**	A1295	n/a
737N17	A4030	1PW011	**CNA560U**	A1296	1PW037
737N9	A4006	1PW007	**CNA560XL**	A1294	n/a
737QN	A4117	1PW006	**CNA680**	A7	7PW078
74710Q	A14014	8PW087	**CNA750**	A5016	8AL025
747200	A14023	1PW034	**CRJ9-ER**	A2654	8GE112
74720A	A6592	1PW034	**CRJ9-LR**	A2024	8GE112
74720B	A8502	1PW025	**DC1010**	A119941	1GE001
747400	A14889	1PW042	**DC870**	A6652	1CM003
747SP	A14013	8PW086	**DHC6**	C3009	n/a
757PW	A13056	4PW072	**DHC6QP**	C3008	n/a
757RR	A13069	5RR038	**DHC7**	B965	n/a
767300	A16704	1PW043	**DHC8**	B983	n/a
767400	A1852	8GE101	**DHC830**	B1025	n/a
767CF6	A3397	1GE010	**DO228**	C4991	n/a
767JT9	A3332	1PW026	**DO328**	B167	n/a
777200	A3221	9GE124	**ECLIPSE500**	A9805	n/a
777300	A3264	2RR027	**EMB120**	B1080	n/a
A300-622R	A220	1PW048	**EMB145**	A8970	4AL003
A300B4-203	A131	3GE074	**EMB14L**	A1909	6AL007
A310-304	A283	2GE037	**EMB170**	A18851	8GE108
A319-131	A18734	3IA006	**EMB175**	A19023	8GE108
A320-211	A2459	1CM008	**EMB190**	A5290	11GE142
A320-232	A18216	1IA003	**EMB195**	A8538	11GE147
A321-232	A12996	10IA016	**F10062**	A3768	1RR021
A330-301	A18139	2GE051	**F10065**	A3772	1RR021
A330-343	A964	3RR030	**FAL20**	A16710	n/a

ANP ID	EASA ID	ICAO motor ID	ANP ID	EASA ID	ICAO motor ID
A340-211	A3000	7CM045	**GIV**	A8488	11RR048
A340-642	A5246	8RR045	**GV**	A15477	4BR008
A380-841	A6611	8RR046	**LEAR35**	A5969	1AS001
A380-861	A6642	9EA001	**MD9025**	A14193	1IA002
BAE146	A2066	1TL003	**MD9028**	A14196	1IA004
BAE300	A8998	1TL003	**MU3001**	A15210	1PW037
BEC58P	C1346	n/a	**PA30**	C11433	n/a
CIT3	A4907	1AS002	**PA42**	C5694	n/a
CL601	A1926	1GE034	**SF340**	B13	n/a

De selectie van de hierboven genoemde recordnummers uit de EASA Certification Noise Level Database en ICAO Aircraft Engine Emissions Databank heeft plaatsgevonden op basis van de in de ANP opgenomen gegevens van de ANP vliegtuigtypes, namelijk de velden *Description, Max Gross Takeoff Weight* en *Max Gross Landing Weight*.

Appendix A.3 Voorbeelden substitutie

Geregistreerde gegevens		Database koppelingen		Resultaat substitutie			
Vliegtuigtype	**Motortype**	**EASA ID**	**ICAO Motor ID**	**ANP ID**	**score**	Δ_{app}	Δ_{dep}
A300	CF6-50C2	A4991	3GE074	A300B4-203	63.500	0.10	0.41
A319	CFM56-5A4	A11395	4CM035	A319-131	56.685	0.30	2.49
A332	PW4170	A10739	9PW095	A330-301	51.402	-0.90	1.50
A332	TRENT 772	A8039	2RR023	A330-343	63.070	-0.10	0.31
AT43	PW 120	B1173	n/a	DHC8	25.440	-0.50	-2.07
AT45	PW 121	B129	n/a	DHC7	27.992	0.10	-1.57
B733	CFM56-3B-2	A17090	1CM005	737300	64.540	-1.00	1.03
B735	CFM56-7B22	A17221	1CM007	737500	59.582	-1.30	3.59
B739	CFM56-7B26	A17768	8CM051	737700	57.908	0.70	0.90
B744	CF6-80C2B1F	A4495	2GE045	747400	58.189	-1.00	-1.75
B772	GE90-94B	A3225	8GE100	777200	63.960	1.00	0.61
BE20	PT6A-41	C10522	n/a	PA42	28.677	-1.20	-1.20
C25A	FJ44-1A	A3169	n/a	CNA525C	34.602	1.90	-2.18
CL60	CF34-3B	A1934	5GE084	CL601	64.047	0.10	0.85
DH8C	PW 123	B1019	n/a	DHC830	43.667	-0.40	0.50
E190	CF34-10E5	A5290	11GE142	EMB190	71.000	0.00	0.00
LJ35	TFE731-2-2B	A9797	1AS001	LEAR35	47.891	0.50	1.76
MD90	V2528-D5	A1903	1IA004	MD9028	64.557	0.00	1.10

Appendix A.4 Lijst met overeenkomende fabrikantnamen

Alternatieve namen voor fabrikanten van straalvliegtuigen

Naam	Alternatieven
Gulfstream Aerospace LP	Gulfstream Aerospace corporation
McDonnell Douglas	McDonnell Douglas Corporation
Cessna Aircraft Company	Hawker Beechcraft Corporation

Alternatieve namen voor fabrikanten van straalmotoren

Naam	Alternatieven
CFM	Engine Alliance, GE Honda, CFM International SA
Pratt & Whitney	Pratt & Whitney Canada, Pratt & Whitney Canada Corp.
Allied Signal	Garrett AiResearch, Lycoming
Rolls-Royce	BMW Rolls-Royce

Alternatieve namen voor fabrikanten van lichte propellervliegtuigen

Naam	Alternatieven
Diamond Aircraft Industries GmbH	Diamond Aircraft Industries, Inc.
EVEKTOR, spol. s r.o.	Evektor-Aerotechnik a.s.
FFT Gesellschaft für Flugzeug- und Faserverbund-Technologie mbH	FFT Gyroflug
Mooney Aircraft Corporation	Mooney Airplane Company Inc.

Alternatieve namen voor fabrikanten van lichte propellervliegtuigen

Naam	Alternatieven
BRP - Rotax GmbH & Co.KG	BRP Powertrain

Appendix B Afleiding profielen

Appendix B.1 Derate varianten

Tabel 21: Definitie van de verschillende varianten die beschikbaar zijn voor derating

Variant	Fractie startvermogen	Fractie klimvermogen	Fractie klimsnelheid tijdens acceleratie
D00	1.00	1.00	1.00
D01	0.95	0.95	1.00
D02	0.90	0.95	1.00
D03	0.90	0.90	1.00
D04	0.85	0.95	1.00
D05	0.85	0.90	1.00
D06	0.85	0.85	1.00
D07	0.80	0.95	1.00
D08	0.80	0.90	1.00
D09	0.80	0.85	1.00
D10	0.80	0.80	1.00
D11	0.75	0.95	1.00
D12	0.75	0.90	1.00
D13	0.75	0.90	0.80
D14	0.75	0.85	0.80
D15	0.75	0.80	0.80

Appendix B.2 Toegepaste derate-schema per vliegtuigtype

Tabel 22: Toegepaste derate-schema's (de derate varianten als functie van de genormaliseerde afstandsklasse) voor de verschillende vliegtuigtypen

	Genormaliseerde afstandsklasse %																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
B744			9		5			5		5		5		4			1		0		0
B737				10				10			9			5				0			0
E190						14					14					0					0
A320					8				7				7				2				0
A319					2				1				0				0				0
A333				6			6			6		6			6			3			0
A321					8				8				5				0				0
B772			15		15			15		15		8		1			1		0		0
B733						5					3					1					0
F100								8						0							0
B763				3			3			3		3			3		2				0
B734					10				9				6				0				0
B735				10				3			3			0				0			0

Appendix B.3 Generiek derate-schema

Tabel 23: Toegepaste derate-schema (derate variant als functie van de genormaliseerde afstandsklasse) voor vliegtuigtypen die geen eigen derate schema hebben

Genormaliseerde afstandsklasse	0-20%	20-40%	40-60%	60-80%	80-100%
Derate variant	12	5	5	1	0

Appendix B.4 Varianten naderingsprofielen

De hoogteprofielen hebben, zoals beschreven in paragraaf 3.3.2 een vaste vorm die overeenkomt met het algemeen bepaalde gedrag van naderende vliegtuigen op Schiphol. Er zijn in totaal 38 varianten bepaald, verdeeld over 4 type naderingen. Alle varianten zijn weergegeven in .

Tabel 24: Varianten van de naderingsprofielen

2000 voet naderingen	3000 voet naderingen	4000 voet naderingen	CDA naderingen
2000_5_0	3000_5_0	3000_5_0	C2deg_2
2000_5_5	3000_5_5	3000_10_0	C2deg_3
2000_5_10	3000_5_10	3000_20_0	C2deg_4
2000_5_20	3000_5_20		C2.25deg_2
2000_10_0	3000_10_0		C2.25deg_3
2000_10_5	3000_10_5		C2.25deg_4
2000_10_10	3000_10_10		C2.5deg_2
2000_10_20	3000_10_20		C2.5deg_3
2000_20_0	3000_20_0		C2.5deg_4
2000_20_5	3000_20_5		C3deg_4
2000_20_10	3000_20_10		C3.5deg_2
2000_40_0	3000_40_0		

Bij alle naderingen kan uit de naamgeving worden opgemaakt hoe het hoogteprofiel verloopt. Bijv. de 2000_10_20, heeft het laatste horizontale segment op 2000 voet (**2000**_10_20), voordat de eindnadering wordt ingezet. Dit horizontale segment heeft een lengte 10[11] kilometer (2000_**10**_20). Hiervoor zit nog een daalsegment en een horizontaal segment op 3000 voet van 20 kilometer (2000_10_**20**).

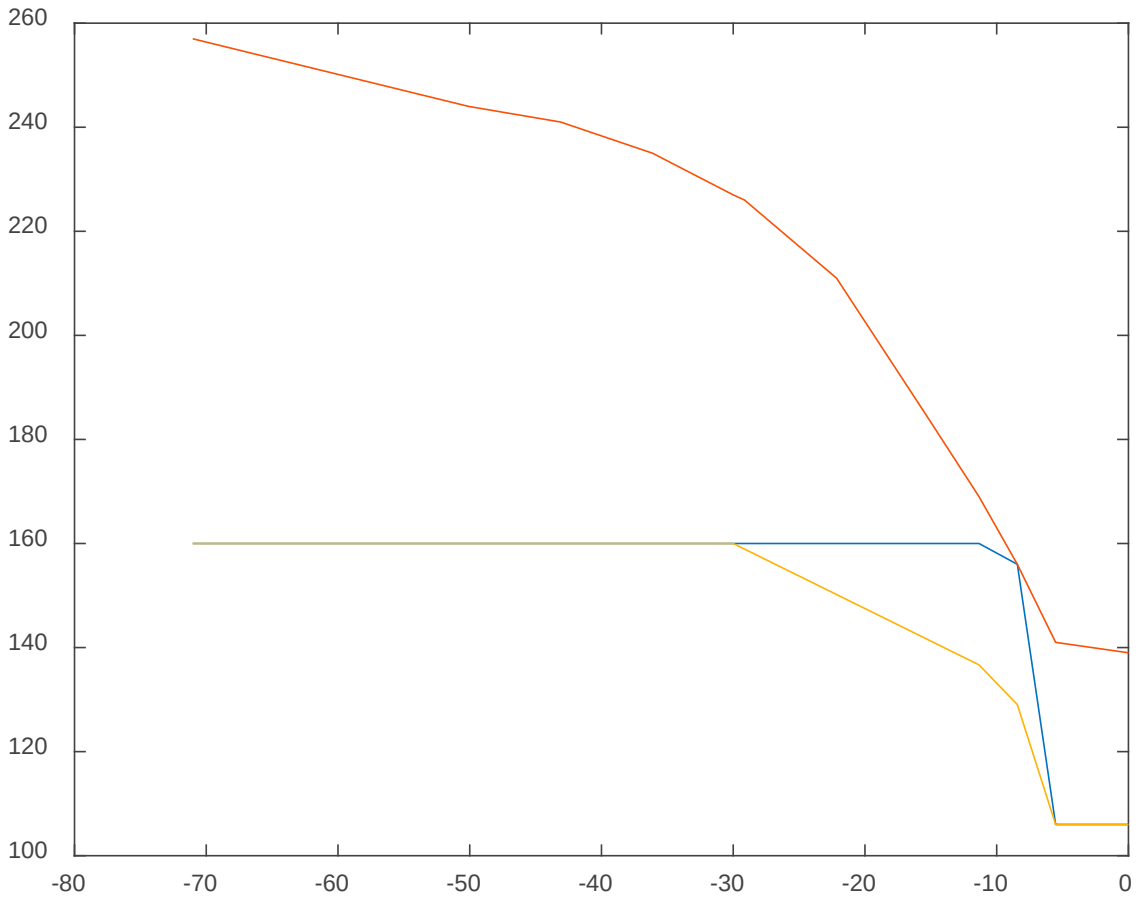
Zoals bij de 2000ft naderingsvarianten de horizontale segmenten zich op 2000 en 3000ft bevinden heeft de 3000ft variant een horizontaal segment op 3000 en 4000ft. De 4000ft naderingen kennen enkel een levelsegment op 4000ft.

De naamgeving bij de CDA profielen werkt iets anders. Bij bijvoorbeeld CDA variant C2.25deg_3 wordt onder een hoek van 2.25° (C**2.25deg**_3) genaderd tot een hoogte van 3000ft (C2.25deg_**3**), hierna wordt op de GS met een daalhoek van 3° gedaald tot de landingsbaan.

[11] De horizontale segmenten zijn niet allemaal exact 5, 10, 20 of 40 kilometer. Segmenten zijn soms iets verlengd of ingekort, om consistentie te krijgen tussen verschillende naderingen en daarmee selectie van een bepaald profiel op verkeerde gronden te voorkomen.

Appendix B.5 Snelheidsschaling

Zoals besproken in paragraaf 3.3.5 wordt voor de vliegtuigtypen die een vastgestelde maximumsnelheid hebben van minder dan 250 knopen een aanpassing van het snelheidsverloop gedaan vanaf 30 kilometer voor de baan. Hierbij wordt de snelheid geleidelijk gereduceerd om een te radicale en daarmee onrealistische snelheidsafname te krijgen rond de laatste punten van het profiel. Een voorbeeld van het effect is weergegeven in Figuur 22.

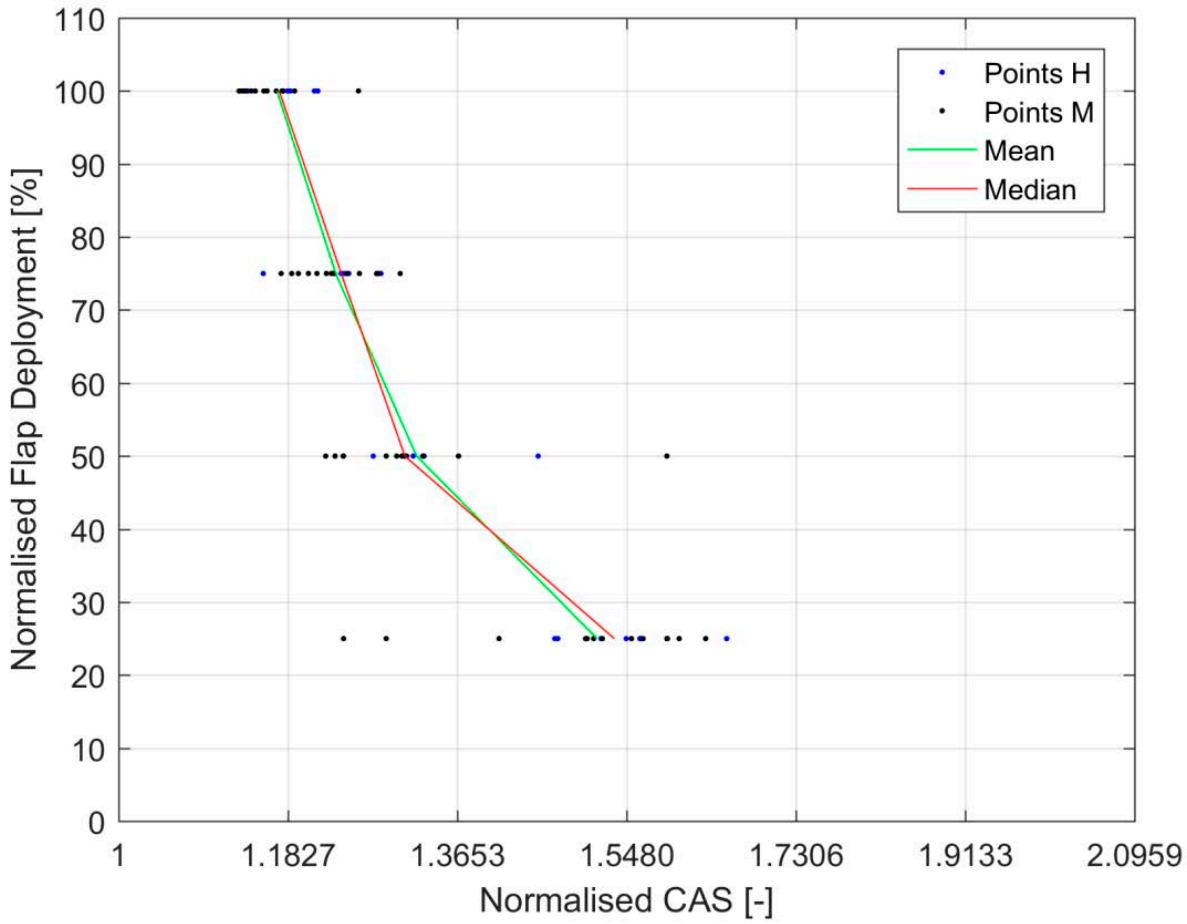


Figuur 22: Illustratie van het toepassen van snelheidsschaling. Het snelheidsverloop van een relatief langzaam vliegtuigtype (blauw) wordt vanaf 30 km voor de landing geschaald (geel) om een abrupte snelheidsafnamen te voorkomen

In Figuur 22 is de oranje lijn het afgeleide snelheidsprofiel, de blauwe het snelheidsprofiel na limitatie op maximum en minimum snelheid en de gele lijn de snelheid na snelheidsschaling. Vanaf 30km afstand wordt een schalingsfactor toegepast die afhankelijk is van het snelheidsverschil tussen het afgeleide profiel (oranje lijn) en de snelheid in het gestileerde profiel (blauwe lijn) en schaalt daarin evenredig met de afstand vanaf het 30km punt (hoe verder hoe sterker de afname). Uit observatie van radardata blijkt het geschaalde verloop binnen de gekozen methode een betere representatie van de werkelijkheid te geven bij vliegtuigen met een lagere maximale snelheid.

Appendix B.6 Flapscheduling

Zoals beschreven in paragraaf 3.3.6 bevat de huidige ANP database nog geen gegevens waarmee kan worden bepaald bij welke snelheid welke flapsetting moet worden toegepast. Als oplossing voor dit gebrek aan gegevens is met behulp van BADA een generieke flapscheduling afgeleid op basis van 20 verschillende vliegtuigtypes. Voor deze types is in kaart gebracht bij welke snelheden deze types bepaalde flaps selecteren. De snelheden zijn vervolgens genormaliseerd door te delen op de eindnaderingssnelheid. Het resultaat is weergegeven in Figuur 23.



Figuur 23: Generieke flapscheduling, as functie van de genormaliseerde snelheid (eindnaderingssnelheid Vmin). Vliegtuigtypes uit de wake vortex categorieen medium (M) en Heavy (H) zijn apart weergegeven

Uit deze gegevens is vervolgens een verband afgeleid, dat wordt toegepast op alle vliegtuigtypes. Het verband is als volgt:

- Vmin*1.53 flap 0 -> flap 1
- Vmin*1.31 flap 1 -> flap 2
- Vmin*1.24 flap 2 -> flap 3
- Vmin*1.17 flap 3 -> flap 4

De hier genoemde klepstanden 0 tot en met 4 zijn generieke klepstanden, die voor elk type vliegtuig een andere aanduiding kunnen hebben. De selectie van de bijbehorende klepstanden zoals gedefinieerd in de ANP database is gebaseerd op de logica zoals omschreven in Tabel 25.

Tabel 25: Criteria voor de selectie van klepstanden uit de ANP database

Generieke klepstand	Omschrijving
0	1) kleppenstand met naam 'ZERO' en vluchtfase 'A' en landingsgestel in, anders, 2) kleppenstand met naam 'ZERO' en landingsgestel in, anders 3) kleppenstand met laagste R-waarde en landingsgestel in.
1	Kleppenstand met landingsgestel in, niet gemarkeerd met 'ZERO', met een zo hoog mogelijke L/D, maar wel lager dan stand 0 en hoger dan alle volgende standen.
2	Kleppenstand met landingsgestel in, een zo laag mogelijke L/D (maar niet lager dan stand 3) en, indien bekend en mogelijk, een klepuitslag lager dan in stand 3.
3	Kleppenstand uit vluchtfase A met landingsgestel uit en bij voorkeur een hogere L/D dan stand 4. Indien deze niet beschikbaar is, wordt teruggevallen op een gelijke L/D.
4 RF	De voor een landing geschikte klepstand met de op één na hoogste R-waarde (RF = reduced flap)
4 FF	De voor een landing geschikte klepstand met de hoogste R-waarde (FF = reduced flap)

Hierbij wordt opgemerkt dat de settings 1 en 2 niet voor alle vliegtuigtypes beschikbaar zijn. In dat geval wordt stand 0 toegepast in plaats van stand 1 en/of stand 3 toegepast in plaats van stand 2. Ook geldt dat het onderscheid full flaps en reduced flaps niet voor alle types gemaakt kan worden, omdat er voor bepaalde types slechts één klepstand gedefinieerd is, die geschikt is voor landingen. In dat geval zijn voor het betreffende type alleen full flap naderingsprofielen aangemaakt.

In principe wordt voor het toewijzen van de klepstanden langs het naderingsprofiel de snelheid als leidend gebruikt, conform het hierboven gedefinieerde schema. Hierbij gelden wel enkele randvoorwaarden:

- Boven de 2000 voet wordt op basis van het snelheidsschema klepstand 0, 1 of 2 gebruikt.
- Vanaf 2000ft tot 1500ft wordt op basis van de snelheidsschema klepstand 3 of 4 (RF of FF) gebruikt.
- Vanaf 1500ft wordt altijd klepstand 4 (RF of FF) toegepast.

Appendix C Technical Challenge

Dit rapport beschrijft de totstandkoming van de Doc29 implementatie voor Schiphol die is toegepast voor het MER NNHS. Het ontwerptraject vond plaats in de periode september 2016 tot juni 2017. Een aantal van de gemaakte keuzes zijn in het najaar van 2018 nog ter sprake gekomen in de Technical Challenge (TC) van het MER NNHS [Ref. 22]. Deze Technical Challenge betrof een extra, onafhankelijke technische controle, georganiseerd door Schiphol om de kwaliteit van de berekeningen in het kader van het MER te borgen. Enkele opmerkingen en discussies in relatie tot de TC zijn niet in de hoofdtekst van dit rapport verwerkt, maar apart opgenomen in deze bijlage. Dit betreft specifiek opmerkingen over de gebruikte extrapolatiemethode voor de startprofielen (zie Appendix C.1) en de toegepaste vlieghoogtes in relatie tot de radargegevens (zie Appendix C.2).

Appendix C.1 Extrapolatie startprofielen

In het eindrapport van de TC is in bijlage 2 de volgende observatie beschreven:

> "Startprofielen zijn conform Doc.29 berekend tot 10.000 voet. Omdat dit te laag is voor een nauwkeurige bepaling van de geluidscontouren, heeft ICAO aanbevolen de profielen te extrapoleren tot 15.000 voet hoogte. In de Nederlandse implementatie zijn de profielen lineair geëxtrapoleerd tot 20.000 voet. In werkelijkheid wordt er versneld waardoor er minder snel hoogte wordt gewonnen. Netto betekent dit dat de berekende geluidsbelasting voorbij de 10.000 voet te laag is (zie Ref. 22, Bijlage 2). Nader onderzoek is vereist om te kwantificeren of het hier om een significant effect gaat."

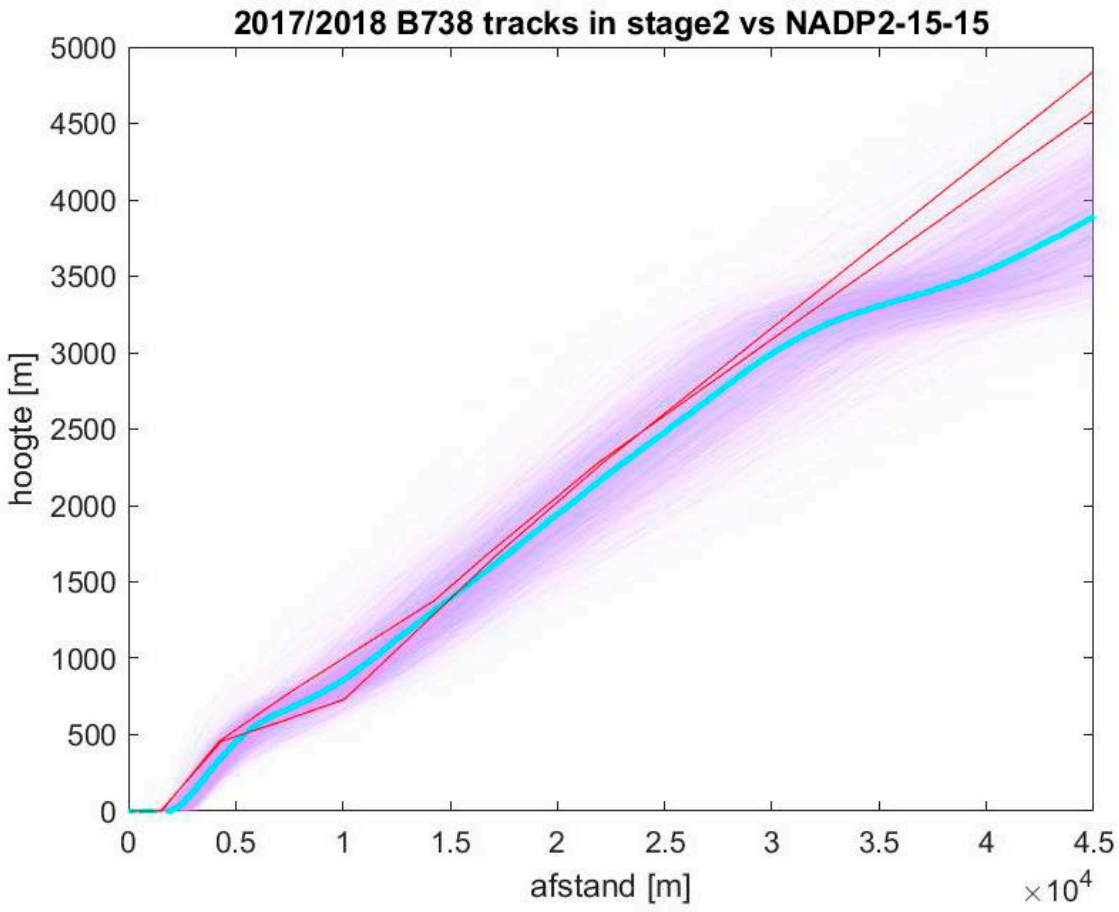
De toegepaste extrapolatie is in dit rapport beschreven in paragraaf 3.2.1.5. Hierbij wordt nog het volgende opgemerkt:

- De toegepaste extrapolatiemethode die is gekozen, was destijds inderdaad gebaseerd op aanbevelingen van ICAO. Deze methode is naderhand ook overgenomen in Doc29 zelf.
- De originele aanbeveling om vanaf 10000 voet te extrapoleren naar 15000 voet, was om te voorkomen dat een geluidberekening zou eindigen bij het bereiken van een hoogte van 10000 voet, wat mogelijk te kleine contouren zou opleveren. De ANP startprofielen zelf eindigen immers op 10000 voet. De keuze om voor deze implementatie de startprofielen te verlengen naar 20000 voet (in plaats van 15000) is conservatiever, omdat daardoor de geluidberekening nog verder doorlopen.

Dit neemt niet weg, dat de observatie dat vliegtuigen in praktijk vanaf 10000 weer gaan versnellen en daardoor tijdelijk minder hoogte kunnen winnen juist is. De achterliggende reden is dat er tot deze hoogte een algemene snelheidslimiet[12] van toepassing is, die vervalt op het moment dat startende vliegtuigen voorbij deze hoogte klimmen.

Het effect is ook zichtbaar in de radargegevens, zoals weergegeven in Figuur 24.

[12] "MAX 250 KIAS below FL 100 unless otherwise instructed" uit AIP Netherlands, EHAM AD 2.22 FLIGHT PROCEDURES, effective 07 NOV 2019.



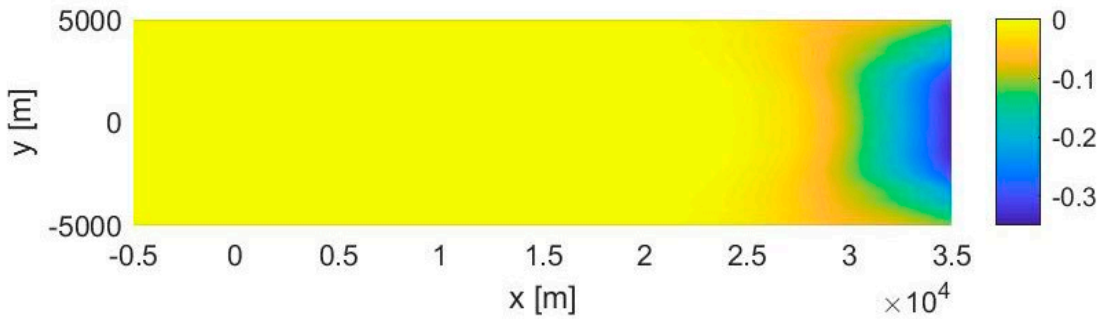
Figuur 24: De gekalibreerde NADP2 startprofielen (rood) die worden toegepast voor de Boeing 737-800 voor afstandsklasse 2, vergeleken met een bundel aan radarregistraties uit 2017 en 2018 (paars) en de mediaan van de bundel (cyaan)

Figuur 24 is vergelijkbaar met de figuren opgenomen in paragraaf 3.2.3, met als verschil dat nu gegevens worden weergegeven tot aan een afgelegde weg van 45 km na het begin van de startbaan, in plaats van 30 kilometer zoals in Hoofdstuk 3. In het figuur is te zien dat na het bereiken van ongeveer 10000 voet (ruim 3000 meter) er in praktijk (tijdelijk) minder steil wordt geklommen, terwijl dit effect niet is meegenomen in de gemodelleerde startprofielen. Het is echter de vraag of dit nog relevant is voor de geluidbelasting.

Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden, zouden de profielen ook boven de 10000 voet gemodelleerd moeten worden, in plaats van geëxtrapoleerd. Dit vraagt ook een uitbreiding van de ANP database. In plaats daarvan is in het kader van de TC wel een eerste inschatting gemaakt van het mogelijke effect. Hiervoor is de gebruikte extrapolatie aangepast, waarbij de veronderstelde klimhoek na het bereiken van de 10000 ft gehalveerd is en de vliegsnelheid gecorrigeerd is voor hoogte-effecten. Deze manier van extrapoleren is conservatief[13].

Voor het scenario dat ook gebruikt is voor de verschilanalyse (zie paragraaf 1.4) is het verschil in Lden geluidbelasting als gevolg van deze andere extrapolatie weergegeven in Figuur 25.

[13] De acceleratiefase boven de 10000 voet leidt tot een lagere vlieghoogte (hoger geluidniveau), maar ook tot hogere vliegsnelheden en daardoor kortere blootstellingsduur (lager geluidniveau). De hogere snelheid leidt daarnaast ook nog tot een lagere netto stuwkracht (lager geluidniveau). Deze laatste twee effecten zijn buiten beschouwing gelaten, waardoor deze inschatting conservatief is.



Figuur 25: Verschil in Lden geluidbelasting in dB(A) als gevolg van de alternatieve, conservatieve methode voor het extrapoleren van de startprofielen

Uit Figuur 25 blijkt dat de verschillen klein zijn en pas optreden na meer dan 25 kilometer vanaf het begin van de startrol. Na ongeveer 30 kilometer is het verschil ongeveer 0.1 dB(A) en pas daarna lopen de verschillen verder op. Dit betreft afstanden buiten de 48 L_{den} contouren van de luchthaven, voor de meeste vertrekroutes ruim buiten de 48 L_{den} contour.

Op basis van deze inschatting is geconcludeerd dat het effect van het gebruik van de standaard extrapolatiemethode (in plaats van een modellering die beter aansluit op de praktijk) nihil is. Het aanpassen van de extrapolatiemethode is daarmee voor nu beoordeeld als niet zinnig. Hierbij wordt wel opgemerkt dat dit in de toekomst zou kunnen veranderen, op het moment dat ook lagere contourenwaarden dan de 48 L_{den} in kaart worden gebracht, bijvoorbeeld in relatie tot de recente WHO richtlijnen [Ref. 23]. Hierbij komen de buitenste geluidcontouren verder van de luchthaven te liggen en wordt het representatief modelleren van de vlieghoogte ook op grotere afstanden van de luchthaven relevant. Omdat dit niet alleen voor Schiphol, maar ook voor de andere grote Europese luchthavens geldt en deze aanpassing idealiter ook een uitbreiding van de ANP database vergt, wordt aanbevolen dit onderwerp in internationaal verband op te pakken.

Appendix C.2 Gemodelleerde vlieghoogte startend verkeer

In het eindrapport van de TC zijn ook enkele commentaren opgenomen met betrekking de toegepaste vlieghoogtes in relatie tot de radargegevens. Twee daarvan worden in deze paragraaf uitgelicht. De eerste betreft:

> "De in het MER gebruikte klimprofielen voor A380s zijn te steil. Dit is aangetoond door een vergelijk te maken tussen berekeningen en radartracks (zie Ref. 22, Bijlage 2). Het blijkt dat de A380 een van de vliegtuigtypes is waarvoor geen kalibratie van hoogteprofielen is gedaan omdat er te weinig data beschikbaar was. Het wordt aanbevolen om periodiek op een transparante onderbouwde wijze de profielen te controleren en waar nodig aan te passen, zodat er een proces gestart wordt van continue verbetering."

De Airbus A380-800 behoort inderdaad niet tot één van de vliegtuigtypes waarvoor een de type-specifieke kalibratie heeft plaatsgevonden, omdat dit geen veelvoorkomend vliegtuigtype is (zie paragraaf 3.2.2.4). De hoogteprofielen zijn echter wel gekalibreerd, maar dan op basis van gegevens van meerdere vliegtuigtypes gezamenlijk (zie paragraaf 3.2.2.4). Het is echter mogelijk dat types afwijken van de gemiddeldes die zijn bepaald op basis van de resterende vloot.

De genoemde aanbeveling is echter wel belangrijk. De methode van het kalibreren van de vlieghoogtes is gebaseerd op praktijkgegevens van de luchthaven. De methode is daarnaast ook afhankelijk van de vlootsamenstelling. Dit maakt de methode onderhoudsgevoelig. Op het moment dat de vlootsamenstelling wijzigt, specifiek als nieuwe vliegtuigtypes in grote getalen oudere veelgebruikte vliegtuigtypes gaan vervangen, dan is het belangrijk om de kalibratie opnieuw uit te voeren.

Een tweede opmerking in het eindrapport van de TC met betrekking tot de toegepaste vlieghoogtes in relaties tot de radargegevens is de volgende:

> "Vergelijkingen van passage-hoogtes van vertrekkende vliegtuigen met radarregistraties tonen aan dat er met name verder vanaf de baan systematisch lager wordt gevlogen dan voorspeld wordt op basis van de toegepaste berekende prestatieprofielen. Zie ook statistieken voor het meest-gebruikte vliegtuig de B738 (Ref 22, Bijlage 2): op grotere afstand vliegt 98% van de vliegtuigen lager dan voorspeld aan de hand van de theoretische klimprofielen."

Deze opmerking heeft een sterke relatie met de toegepaste extrapolatiemethode, zoals besproken in Appendix C.1. De genoemde percentage voor de Boeing 737-800 is namelijk gebaseerd op de locatie Amersfoort, ver buiten de 48 L_{den} contouren van de luchthaven. De kalibratie van de vlieghoogtes heeft echter plaatsgevonden op de eerste 30 kilometer na het begin van de startrol (zie paragraaf 3.2.2.4). In Figuur 24 is goed te zien dat de gemodelleerde vlieghoogtes in dit gebied goed aansluiten bij de praktijkgegevens.

NLR

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