Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-305 | februari 2019

Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol

Methode zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol

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 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

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

Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-305 | februari 2019

Toepassing ECAC Doc29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol

Methode zoals gevolgd bij de MER NNHS Schiphol

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

AUTEUR(S):

S.J. Heblij	NLR
J. Derei	NLR
R.H. Hogenhuis	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	**31111588**
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	P.L.J. Eijssen
DATUM 06 02 19	DATUM 06 02 19	DATUM 06 02 19

Samenvatting

In verband met het Nieuwe Normen en Handhavingsstelsel (NNHS) stelt Amsterdam Airport Schiphol een Milieu Effect Rapportage (MER) op. Aanvankelijk werden de geluidberekeningen voor deze MER uitgevoerd met het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid. 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 om het NRM te vervangen voor een rekenmethode gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), ook wel bekend als ECAC Doc29.

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 is de introductie van het nieuwe geluidmodel aangegrepen om het detailniveau van de geluidberekeningen te vergroten. De aanpassingen van gegevens en werkwijzen zijn in overleg met deskundigen en belanghebbenden uitgewerkt. Het totaal aan werkafspraken, de vaste invoergegevens, de rekenkern en de nabewerkingen wordt aangeduid met de Doc29 implementatie voor Schiphol.

Het doel van dit rapport is om op hoog niveau te beschrijven hoe de ECAC Doc29 geluidberekeningen voor de MER NNHS tot stand zijn gekomen. 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. Het rapport volgt in het hoofdlijnen het rekenproces en beschrijft achtereenvolgens:

- De algemene instellingen, zoals het toegepaste coördinatenstelsel, het gebruikte studiegebied voor de berekeningen, de gebruikte luchthavengegevens en de toegepaste atmosferische condities.
- De vliegprestatie- en geluidgegevens welke voor de berekening zijn toegepast. Voor de geluidgegevens betreft dit generieke gegevens die zijn overgenomen uit de internationale 'Aircraft Noise and Performance database'. Voor de modellering van de vliegprestaties zijn grote aantallen start- en naderingsprofielen gedefinieerd, gebaseerd op de operationele praktijk op de luchthaven Schiphol.
- De gebruikte verkeersgegevens. Dit betreffen allereerst de gegevens over de vliegtuigtypes die opereren op de luchthaven. Voor de Doc29 implementatie voor Schiphol wordt nu uitgegaan van combinaties van vliegtuigtype en motortype. Op het moment dat die combinatie niet beschikbaar is in de database met vliegprestatie- en geluidgegevens, dan wordt met behulp van een substitutieprotocol een passend alternatief bepaald.
- De gebruikte routegegevens, gebaseerd op radargegevens.
- De geuidberekening zelf. Dit betreft allereerst de geluidberekening die per unieke vliegtuigbeweging wordt uitgevoerd, maar ook de manier waarop de tussenresultaten worden opgeslagen en later worden gebruikt om de jaarlijkse geluidbelasting te bepalen.
- De gebruikte methode voor het uitvoeren van woningtellingen, nadat de geluidbelasting is berekend. Op basis van deze tellingen is bepaald hoeveel woningen worden blootgesteld aan een bepaalde geluidbelasting.

- De gebruikte methode voor de bepaling van het aantal ernstig gehinderde personen en ernstig slaapverstoorde personen. Hierbij zijn de tot nu toe gebruikte dosis-effect-relaties, die geldig waren voor het NRM, aangepast (gekalibreerd) in verband met de overgang naar Doc29.

Inhoudsopgave

Afkortingen en begrippen 9

1 Introductie 11
1.1 Aanleiding en doelstelling 11
1.2 Globale werkwijze geluidberekening 11
1.3 Leeswijzer 13

2 Algemene gegevens en instellingen 14
2.1 Coördinatenstelsel 14
2.2 Studiegebied en rekenpunten 14
2.3 Luchthavengegevens 14
2.4 Atmosferische condities 15

3 Prestatie- en geluidgegevens 16
3.1 Vliegprestatiegegevens 16
3.2 Toewijzing prestatieprofiel 17
3.2.1 Toewijzing startprofiel 17
3.2.2 Toewijzing naderingsprofiel 18
3.3 Geluidgegevens 20
3.4 Aanvullende vliegtuiggegevens 20

4 Verkeersgegevens 21
4.1 Vliegtuigtypes en substitutie 21
4.1.1 Benodigde gegevens voor substitutie 21
4.1.2 Het substitutieprotocol 22
4.1.3 Scoresysteem substitutie 23
4.1.4 Correctiefactoren 24
4.2 Routes en radargegevens 24
4.2.1 Aanpassingen aan de radargegevens 25

5 Geluidberekening 26
5.1 Geluidberekening per unieke beweging 26
5.1.1 Instellingen berekeningsmethode 26
5.1.2 Geluidberekening 26
5.2 Aanleg hindersomdatabase 27
5.2.1 Samenstellen van clusters 27
5.2.2 Aanvullen van ontbrekende clusters 28
5.3 Gebruik hindersomdatabase 28

6 Nabewerking: tellen van woningen, hinder en slaapverstoring 30
6.1 Algemeen 30
6.2 Bepaling geluidbelasting op woninglocaties 30
6.3 Uitvoering van de telling 31

6.3.1 Woningen met een geluidbelasting van 58 L_{den} of hoger 31
6.3.2 Woningen met een geluidbelasting van 48 L_{night} of hoger 31
6.3.3 Ernstig gehinderde personen met een geluidbelasting van 48 L_{den} of hoger 31
6.3.4 Ernstig slaapverstoorde personen met een geluidbelasting van 40 L_{night} of hoger 31

7 Referenties 33

Appendix A Substitutie 34

Appendix A.1 Referentiegegevens vliegtuigtypes 34
Appendix A.2 Voorbeelden substitutie 36
Appendix A.3 Lijst met overeenkomende fabrikantnamen 37

Afkortingen en begrippen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AIP	Aeronautical Information Publication
ANP	Aircraft Noise and Performance
CDA	Continuous Descent Approach
EASA	European Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
EGH	Ernstige gehinderde personen
ESV	Ernstig slaapverstoorde personen
EU	Europese Unie
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
FF	Full Flaps
ICAO	International Civil Aviation Organization
NADP	Noise Abatement Departure Procedure
NLR	Netherlands Aerospace Centre
NM	Zeemijl
NRM	Nederlands Rekenmodel
RD	Rijksdriehoekmeting
RF	Reduced Flaps
SAE	Society of Automotive Engineers
SEL	Sound Exposure Level
UID	Unique Identifier

BEGRIP	OMSCHRIJVING
Akoestische impedantie	*Akoestische impedantie* is een mate van weerstand die de geluidgolven ondervinden terwijl ze door de lucht voortbewegen. Deze is afhankelijk van de luchtdruk en de temperatuur.
ANP database	De internationale 'Aircraft Noise and Performance database'. Deze database is de bron voor *geluidtabellen* en *vliegprestatieprofielen*.
Atmosferische demping	*Atmosferische demping* (ook wel atmosferische absorptie of luchtdemping) is absorptie van een deel van de geluidenergie door luchtmoleculen. Hoge frequenties worden hierbij veel beter gedempt dan lage frequenties. Dit veroorzaakt het bekende fenomeen dat van een geluidbron op grote afstand, alleen het laagfrequente deel van het geluid nog hoorbaar is.
Derating	*Derating* is het fenomeen dat veel vliegtuigen in de praktijk, zeker bij een relatief laag startgewicht en een lange startbaan, starten met minder dan het maximaal beschikbare motorvermogen. Dit geeft minder slijtage van de motoren en leidt daardoor tot lagere onderhoudskosten voor de luchtvaartmaatschappijen.
Doc29 berekeningsmethode	De *Doc29 berekeningsmethode* verwijst naar de rekenkern zoals vastgelegd in de vierde editie van ECAC Doc29 (ref. 4). In principe gebruiken alle luchthavens en/of landen die gebruik maken van deze methode een gevalideerde rekenkern die bij gelijke invoergegevens ook gelijke resultaten geeft.
Doc29 implementatie	De *Doc29 implementatie* is een ruimer begrip dan de *Doc29 berekeningsmethode*. Naast de rekenkern omvat het ook de afspraken die zijn gemaakt rondom instellingen en invoergegevens. Deze instellingen en invoergegevens zijn idealiter afgestemd op de lokale omstandigheden en de vliegoperatie. Voor iedere luchthaven en/of land kan de *Doc29 implementatie* dus verschillen.
Geluidblootstellingsniveau	Het *geluidblootstellingsniveau* wordt ook wel Sound Exposure Level of SEL genoemd en genoteerd als L_{AE}. Het is een tijdsgeïntegreerd A-gewogen geluidniveau en vormt de bijdrage van een enkele vlucht aan de totale geluidbelasting (uitgedrukt in L_{den} of L_{night}).
Geluidtabel	Een *geluidtabel* (uit de *ANP database*) specificeert voor een bepaald type vliegtuig het geluidniveau voor een ontvanger op de grond, afhankelijk van het motorvermogen en de afstand tussen het vliegpad en de ontvanger. De *geluidtabellen* voor verschillende typen vliegtuigen zijn opgenomen in de *ANP database* en zijn geldig voor bepaalde referentieomstandigheden.
Grondpad	Het *grondpad* is een projectie van een route of radartrack op het horizontale grondvlak. Het is daarmee een weergave van waar het vliegtuig vliegt, zonder informatie over de vlieghoogte.
Vliegprestatieprofielen	Een *vliegprestatieprofiel* specificeert voor een bepaald type vliegtuig het verloop van hoogte, snelheid en motorvermogen als functie van de afgelegde weg. De *vliegprestatieprofielen* kunnen worden overgenomen uit de *ANP database*, of worden afgeleid met behulp van gegevens uit deze database. Afhankelijk van de *Doc29 implementatie* kan het aantal profielen per vliegtuigtype zeer beperkt zijn (bijv. één landing en één start), maar ook zeer uitgebreid.

1 Introductie

1.1 Aanleiding en doelstelling

In verband met het Nieuwe Normen en Handhavingsstelsel (NNHS) stelt Amsterdam Airport Schiphol een Milieu Effect Rapportage (MER) op. Aanvankelijk werden de geluidberekeningen voor deze MER uitgevoerd met het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid (ref. 1). 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 (ref. 2). Dit advies was aanleiding voor de staatssecretaris om het NRM te vervangen voor 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 (ref. 1).

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 is de introductie van het nieuwe geluidmodel aangegrepen om het detailniveau van de geluidberekeningen te vergroten. De aanpassingen van gegevens en werkwijzen zijn in overleg met deskundigen en belanghebbenden uitgewerkt. Het totaal aan werkafspraken, de vaste invoergegevens, de rekenkern en de nabewerkingen wordt aangeduid met de *Doc29 implementatie* voor Schiphol.

Het doel van dit rapport is om op hoog niveau te beschrijven hoe de ECAC Doc29 geluidberekeningen voor de MER NNHS tot stand zijn gekomen. 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).

Naast dit rapport is er ook een methodenrapport in voorbereiding. Het methodenrapport zal niet alleen meer detail bevatten, maar gaat bij de verschillende onderwerpen ook in op de opties die tijdens het ontwerpproces van de *Doc29 implementatie* voor Schiphol zijn overwogen, inclusief de afwegingen en de gemaakte keuzes. Voorliggend rapport beschrijft in de eerste plaats alleen het eindresultaat van het ontwerpproces.

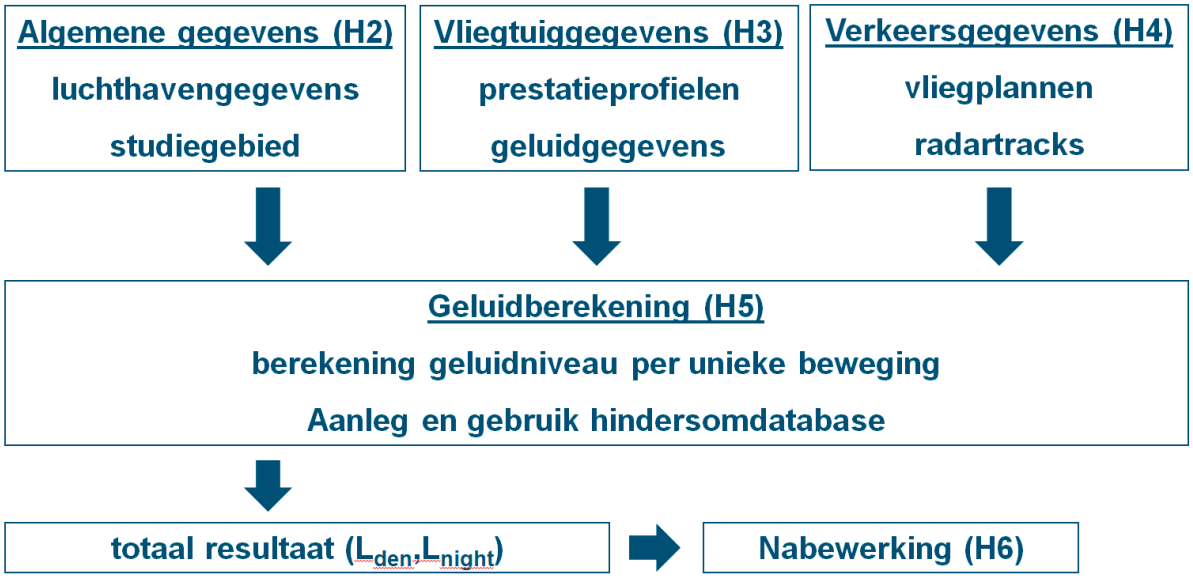
1.2 Globale werkwijze geluidberekening

Bij het berekenen van de geluidbelasting van de luchthaven Schiphol worden op hoofdlijnen de volgende stappen doorlopen:

1. Alle relevante invoergegevens worden verzameld en bewerkt zodat ze in het rekenmodel gebruikt kunnen worden.
2. Daarna wordt het geluidniveau per individuele vliegtuigbeweging berekend conform het geharmoniseerde Doc29 rekenvoorschrift (ref 4).

3. Vervolgens worden de bijdragen van alle individuele vliegtuigbewegingen opgeteld om zo tot de totale geluidbelasting te komen.
4. Ten slotte worden de resultaten nabewerkt, bijvoorbeeld om aantallen woningen of ernstig gehinderden te bepalen in gebieden met een hoge geluidbelasting.

De globale werkwijze is schematisch weergegeven in Figuur 1 en is voor een berekening met ECAC Doc29 niet anders dan voor het NRM.



Figuur 1 Overzicht geluidbelastingberekening

Om vliegtuiggeluid nabij de luchthaven te berekenen zijn drie soorten invoergegevens nodig:

- Algemene gegevens en instellingen (hoofdstuk 2): deze bevatten informatie over zaken die gerelateerd zijn aan de luchthaven, zoals de coördinaten van de (verschoven) baandrempels en de ligging van gemodelleerde vliegroutes. Ook het studiegebied, de afmetingen van het gebied waarvoor de geluidbelasting wordt bepaald, wordt hierbij gedefinieerd.
- Vliegtuiggegevens (hoofdstuk 3): deze beschrijven de vliegprestaties en de geluidproductie per combinatie van een vliegtuigtype en motortype gedurende een vliegtuigbeweging:
    - Vliegtuigprestaties betreffen het verloop van de hoogte, vliegsnelheid en stuwkracht van een vliegtuig als functie van de afgelegde weg. De vliegtuigprestaties zijn beschreven in zogeheten *vliegprestatieprofielen*.
    - *Geluidtabellen* met informatie over de geluidproductie van vliegtuigen. Hierbij zijn afzonderlijke *geluidtabellen* beschikbaar voor starts en landingen.
- Verkeersgegevens (hoofdstuk 4): deze definiëren per vliegtuigbeweging het vliegtuigtype, de starttijd of landingstijd, de route en de procedure (start of landing, maar ook de specifieke vliegprocedure). Voor het uitvoeren van geluidberekeningen voor gerealiseerd verkeer wordt daarbij gebruik gemaakt van radargegevens van het *grondpad*.

Als de invoergegevens beschikbaar zijn, kan een geluidberekening worden uitgevoerd voor iedere unieke vliegtuigbeweging (zie hoofdstuk 5). Voor een berekening op basis van radartracks is iedere vliegtuigbeweging uniek aangezien de route per vliegtuigbeweging verschilt. Het resultaat is de bijdrage van een bepaalde vlucht aan de geluidbelasting. Deze bijdrage wordt het *geluidblootstellingsniveau* genoemd. Dit *geluidblootstellingsniveau* van een

unieke beweging kan eventueel worden opgeslagen in een zogenaamde hindersomdatabase, om de resultaten later opnieuw te kunnen gebruiken, zonder de werkelijke geluidberekening opnieuw te hoeven uitvoeren. In veel gevallen wordt hierbij niet de bijdrage van een specifieke vlucht opgeslagen, maar de gemiddelde bijdrage van een aantal vergelijkbare vluchten.

De volgende stap is om de bijdragen van iedere unieke vliegtuigbeweging op te tellen om tot een totale geluidbelasting te komen. Bij deze optelling worden, afhankelijk van de gebruikte geluidbelastingsindicator, (etmaal)weegfactoren toegepast. Voor de L_{den} telt hierdoor het geluid van vliegtuigbewegingen die gedurende de avond of nacht plaatsvinden zwaarder mee dan het geluid van vliegtuigbewegingen die tijdens de dag plaatsvinden.

Na de berekening van de geluidbelasting, kunnen de resultaten desgewenst nabewerkt worden (zie hoofdstuk 6), bijvoorbeeld om contouren te bepalen, of om aantallen woningen of ernstig gehinderden te bepalen in gebieden met een hoge geluidbelasting.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de gehanteerde werkwijze voor de verschillende onderdelen van de geluidberekeningen. De Doc29 rekenkern zelf wordt niet behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar referentie 4. Het rapport volgt de structuur van de hierboven beschreven globale werkwijze van een geluidberekening.

Hoofdstuk 2 van dit rekenvoorschrift gaat in op de algemene instellingen, zoals het coördinatenstelsel, het gebruikte studiegebied voor de berekeningen, de gebruikte luchthavengegevens en de toegepaste atmosferische condities.

Hoofdstuk 3 bespreekt de vliegprestatie- en geluidgegevens welke voor de berekening zijn toegepast. Voor de geluidgegevens betreft dit generieke gegevens die zijn overgenomen uit de internationale ‘Aircraft Noise and Performance database’. Voor de modellering van de vliegprestaties zijn grote aantallen start- en naderingsprofielen gedefinieerd, gebaseerd op de operationele praktijk op de luchthaven Schiphol.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de verkeersgegevens. Dit betreffen allereerst de gegevens over de vliegtuigtypes die opereren op de luchthaven. Voor de *Doc29 implementatie* voor Schiphol wordt nu uitgegaan van combinaties van vliegtuigtype en motortype. Op het moment dat de combinatie die in praktijk al heeft gevlogen of wordt verwacht niet beschikbaar is in de database met vliegprestatie- en geluidgegevens, dan wordt met behulp van een substitutieprotocol een passend alternatief bepaald. Verder gaat hoofdstuk 4 in op het gebruik van routegegevens.

In hoofdstuk 5 komt de geluidberekening zelf aan bod. Dit betreft allereerst de geluidberekening die per unieke vliegtuigbeweging wordt uitgevoerd, maar ook de manier waarop de tussenresultaten worden opgeslagen en later worden gebruikt om de jaarlijkse geluidbelasting te bepalen.

Ten slotte specificeert hoofdstuk 6 de gebruikte methode voor het uitvoeren van (woning)tellingen, nadat de geluidbelasting is berekend. Op basis van deze tellingen is bepaald hoeveel woningen worden blootgesteld aan een bepaalde geluidbelasting, hoe het aantal ernstig gehinderde personen en ernstig slaapverstoorde personen is bepaald.

2 Algemene gegevens en instellingen

2.1 Coördinatenstelsel

Voor geluidberekeningen rondom Nederlandse luchthavens wordt gebruik gemaakt van rekenpunten die gedefinieerd worden in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (het zogeheten R.D. coördinatenstelsel). Om technische redenen is ervoor gekozen om de Doc29 berekeningen uit te voeren in een lokaal assenstel, waarbij de resultaten achteraf naar het R.D. coördinatenstelsel zijn getransleerd.

2.2 Studiegebied en rekenpunten

De geluidbelasting wordt berekend in rekenpunten. Deze punten liggen in het horizontale platte vlak op lokaal luchthavenniveau. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van een reeks losse rekenpunten of van een raster met gelijkmatig verdeelde berekeningspunten. In dit geval is gebruik gemaakt van berekeningen op een raster.

Bij het gebruikte raster liggen de rekenpunten op een onderlinge afstand van 250 meter. Dit is een verfijning ten opzichte van de rasterberekeningen die tot nu toe met het NRM werden uitgevoerd. Hierbij lagen de rekenpunten op een onderlinge afstand van 500 meter.

De afmeting van het studiegebied is voldoende groot gekozen, zodat dat de laagst relevante geluidniveaus niet buiten het studiegebied vallen.

2.3 Luchthavengegevens

Voor de uiteinden van de start- en landingsbanen dienen voor een geluidberekening de volgende zaken gedefinieerd te worden:

- Naam
- X- en Y-coördinaten van baanbegin en baanuiteinde
- Afstand van eventuele verschuiving van de baandrempel, gerekend vanaf het baanbegin.

Een verschoven baandrempel wil zeggen dat landende vliegtuigen niet aan het begin van de baan landen, maar pas verder op de baan. Alle genoemde gegevens zijn ontleend uit de Aeronautical Information Publication (AIP) (ref. 6).

Voor Schiphol is aangenomen alle baanuiteinden zich bevinden op lokaal luchthavenniveau. Voor geen van de banen is er daardoor sprake van een gradiënt. Tevens wordt verondersteld dat het lokale luchthavenniveau gelijk is aan zeeniveau. De afwijking met de werkelijke situatie bedraagt maximaal 4 meter en is daarmee verwaarloosbaar.

2.4 Atmosferische condities

De toegepaste atmosferische condities voor de geluidberekeningen zijn, net als voorheen bij berekeningen met het NRM, ontleend aan de ICAO internationale standaard-atmosfeer op zeeniveau. Ook binnen Doc29 wordt deze atmosfeer als standaard referentie aangehouden. Hiervoor gelden de volgende condities:

- luchtdruk: 1013,25 hPa
- luchttemperatuur: 15°C
- luchtdichtheid: 1,225 kg/m^3
- relatieve luchtvochtigheid: 70%

Daarnaast worden binnen Doc29 standaard de volgende aannames gedaan met betrekking tot windcondities:

- windsnelheid: 8 knopen
- windrichting: altijd recht tegen de vliegrichting in

Deze atmosferische condities worden door het rekenmodel gebruikt bij het bepalen van de correctie voor de *akoestische impedantie* en de correctie voor de *atmosferische demping*. Ook wordt de ICAO standaard-atmosfeer gebruikt bij het afleiden van de *vliegprestatieprofielen*. Hierbij wordt echter niet (altijd) zeeniveau verondersteld, maar zijn de condities afhankelijk van de vlieghoogte.

3 Prestatie- en geluidgegevens

3.1 Vliegprestatiegegevens

ECAC Doc29 wordt beschikbaar gesteld samen met een database van vliegprestatiegegevens. Deze zogenaamde *Aircraft Noise and Performance (ANP) Database* wordt beheerd door EUROCONTROL en bevat prestatiegegevens die zijn uitgewerkt in zogeheten *vliegprestatieprofielen*. Echter, deze profielen zijn 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.

Voor starts geldt dat de profielen in de eerste plaats gebaseerd zijn op de startprocedures die in de *ANP database* voor de verschillende vliegtuigtypes zijn opgenomen. Vervolgens zijn hierop varianten aangemaakt voor de verschillende startprocedures die op Schiphol worden gebruikt, zoals de NAPD1 en de NADP2. Voor de modernere vliegtuigtypes is als laatste stap nog *derating* op de startprofielen toegepast[1]. De mate van *derating* is gebaseerd op het hoogteverloop van startende vliegtuigen, zoals geregistreerd door de radarinstallaties.

Voor landingen geldt dat de gebruikte naderingsprocedure van vlucht tot vlucht erg kan verschillen. Sommige vliegtuigen zitten al vroeg relatief laag, andere dalen pas op het laatste moment. Om deze grote variaties beter in de geluidmodellering mee te nemen is per vliegtuigtype een groot aantal verschillende naderingsprofielen gedefinieerd. De definitie van de mogelijke profielen is gebaseerd op praktijkgegevens van hoogte en snelheid, zoals geregistreerd door de radarinstallaties. Voor elke vlucht die is doorgerekend is bepaald welk van de beschikbare profielen het beste past bij de vluchtuitvoering, zie paragraaf 3.2.2.

De *vliegprestatieprofielen* zelf, zowel voor starts als voor landingen, zijn opgebouwd uit achtereenvolgende vluchtsegmenten. De segmenten worden gedefinieerd door twee achtereenvolgende punten, met op deze punten een specificatie van:

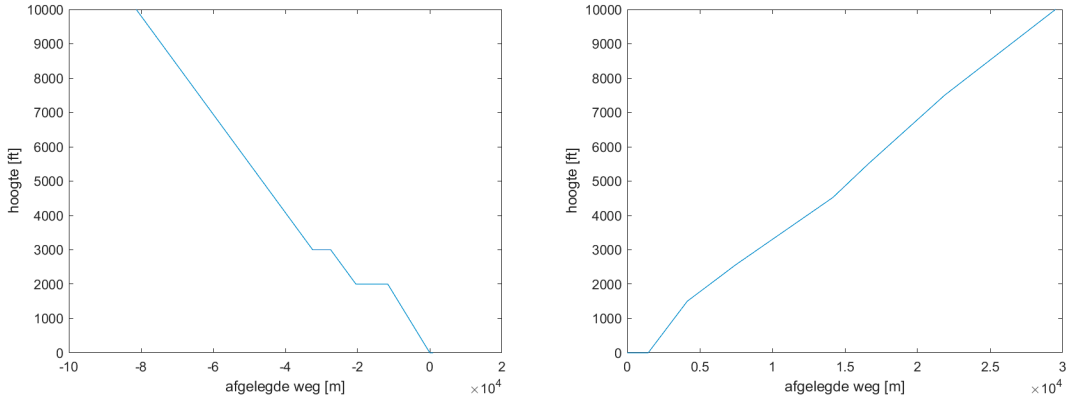
- De vlieghoogte ten opzichte van het luchthaven niveau [ft]
- De vliegsnelheid [kts]
- De afgelegde weg langs het *grondpad* [ft]
- De vermogensparameter welke het brongeluidniveau bepaald. Afhankelijk van het type vliegtuig kan dit zijn:
    - De netto gecorrigeerde stuwkracht per motor [lb]
    -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

De *ANP database* specificeert de juiste vermogensparameter voor alle beschikbare vliegtuigtypes, zie paragraaf 3.4.

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, waarbij is aangenomen dat dit punt zich bevindt op 100 meter na de (verschoven) baandrempel. 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.

[1] *Derating* is het fenomeen dat veel vliegtuigen in de praktijk, zeker bij een relatief laag startgewicht een lange startbaan, starten met gereduceerd motorvermogen. Dit geeft minder slijtage van de motoren en dit leidt tot lagere onderhoudskosten voor de luchtvaartmaatschappijen.



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 is aangenomen dat de atmosferische condities overeenkomen met de condities conform de ICAO standaardatmosfeer, zie paragraaf 2.4. De prestatiegegevens zijn afgeleid onder de aanname van een horizontale tegenwindcomponent van 8 knopen. Deze tegenwindcomponent is constant en dus niet afhankelijk van de vliegrichting of de vlieghoogte.

3.2 Toewijzing prestatieprofiel

Elk vliegtuigtype dat binnen het model gebruikt kan worden heeft eigen *vliegprestatieprofielen*. Per vliegtuigtype is er in elk geval één prestatieprofiel beschikbaar voor een startprocedure, maar vaak zijn dit er veel meer. Zo zijn voor de meeste types verschillende startprocedures beschikbaar, namelijk de NADP1 en de verschillende varianten van de NADP2. Per startprocedure wordt daarnaast nog onderscheid gemaakt naar verschillende startgewichten, die worden toegepast afhankelijk van de afstand tot de bestemming.

Per vliegtuigtype zijn er altijd meerdere landingsprofielen, die passen bij verschillende soorten landingsprocedures (zoals een nadering met een horizontaal segment of een Continuous Descent Approach (CDA)). Voor een deel van de vliegtuigtypes zijn de verschillende naderingsprocedures daarnaast ook beschikbaar in *full flaps* en een *reduced flaps* variant.

In de volgende paragrafen is beschreven hoe de toewijzing van een startprofiel (paragraaf 3.2.1) en voor een naderingsprofiel (paragraaf 3.2.2) plaatsvindt, uit de voor Schiphol opgestelde database met *vliegprestatieprofielen*.

3.2.1 Toewijzing startprofiel

Voor een deel van de vliegtuigtypes is één startprocedure beschikbaar, waardoor er geen keuze gemaakt hoeft te worden. Voor types waarvoor wel meerdere startprocedures beschikbaar zijn in de set met profielen, is de keuze voor de procedure conform de verkeersscenarios van de MER. Dit betekent dat de geselecteerde startprocedure afhankelijk is van de vliegtuigmaatschappij.

In de set prestatiegegevens voor Schiphol zijn de verschillende procedures herkenbaar door de naam in het veld *Profile_ID*. Als er voor een vliegtuigtype slechts één startprocedure beschikbaar is, dan is deze procedure aangeduid

met de naam DEFAULT. Als er meerdere startprocedures beschikbaar zijn, dan zijn dit varianten van de zogenaamde ICAO Noise Abatement Departure Procedures (NADP).

Naarmate een vliegtuig verder moet vliegen, is er meer brandstof nodig. Dit leidt tot een toename van het totale startgewicht, wat weer invloed heeft op de vliegtuigprestaties en dus ook op de geluidniveaus van een vliegtuig. Daarom zijn verschillende startprofielen beschikbaar voor verschillende vliegtuiggewichten.

Het te gebruiken profiel is bepaald op basis van de afstand tussen de luchthaven van vertrek (Schiphol) en de eerste bestemming van het vliegtuig. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende zogeheten afstandsklassen. Tabel 1 toont de verschillende afstandsklassen, waarbij de afstanden zijn gedefinieerd in zeemijlen (1 nm = 1.852 km).

Tabel 1 Afstandsklassen

Afstandsklasse	Afstand tot 1e bestemming
1	< 500 nm
2	≥ 500 en < 1000 nm
3	≥ 1000 en < 1500 nm
4	≥ 1500 en < 2500 nm
5	≥ 2500 en < 3500 nm
6	≥ 3500 en < 4500 nm
7	≥ 4500 en < 5500 nm
8	≥ 5500 en < 6500 nm
9	≥ 6500 nm

De afstanden zijn bepaald tussen de referentiepunten van de twee luchthavens, waarbij de afstand over het aardoppervlak (orthodromische afstand of *great-circle distance*) gebruikt is.

In de set prestatiegegevens voor Schiphol zijn de verschillende afstandsklassen herkenbaar door de naam in het veld *Stage Length*. Op het moment dat uit Tabel 1 een hogere afstandsklasse volgde dan beschikbaar was in de set met prestatiegegevens, dan is het profiel met de hoogst beschikbare afstandsklasse toegepast.

3.2.2 Toewijzing naderingsprofiel

Voor het toe te wijzen naderingsprofiel moet eerst een keuze worden gemaakt voor een *full flaps* of *reduced flaps* nadering. Voor bepaalde vliegtuigtypes zijn, als gevolg van een gebrek aan gegevens in de *ANP database*, alleen full flaps naderingen beschikbaar en hoeft dus geen keuze te worden gemaakt. Voor de types waarbij wel beide opties beschikbaar zijn, is de keuze voor de procedure conform de verkeersscenarios van de MER. In praktijk betekent dit dat de keuze afhankelijk is van het vliegtuigtype.

In de set prestatiegegevens voor Schiphol zijn de *full flaps* (FF) en *reduced flaps* (RF) profielen herkenbaar aan de laatste twee karakters naam in het veld *Profile_ID*.

Nadat de keuze voor full flaps of reduced flaps is gemaakt, volgt nog de keuze voor een profiel. Hierbij wordt een profiel geselecteerd dat zo goed mogelijk past bij het door de radar geregistreerde hoogteverloop van de betreffende

vlucht. Dit kan een profiel zijn op basis van een continue daling, maar ook een profiel waarbij op één of meerdere hoogtes horizontaal wordt gevlogen. De methode om dit te doen wordt hieronder nader uitgelegd.

De toewijzing van het profiel aan een bepaalde vlucht op basis van een radartrack is uitgevoerd door op een aantal discrete afstanden (ten opzichte van de landingsbaan) de afwijking tussen de hoogte van de gereconstrueerde vliegbaan en de hoogte van een kandidaat prestatieprofiel te analyseren. Op deze punten is de afwijking tussen de vliegbaan ten opzichte van ieder profiel bepaald. Uiteindelijk is een afwijkingsscore bepaald op basis van de afwijking op alle punten gezamenlijk en is het profiel gekozen met de laagste afwijkingsscore.

Voor alle naderingen is de afwijkingsscore bepaald op 191 verschillende afstanden. Deze afstanden langs het *grondpad* zijn gelijkmatig verdeeld over het gebied tussen de 50 tot 12 km voor de (verschoven) baandrempel. De reden dat de laatste 12 km niet worden meegenomen is omdat in het laatste deel van de naderingen alle standaardprofielen hetzelfde hoogteverloop hebben. Dat wil zeggen dat het niet zinvol is om daar te bepalen welk profiel het minste afwijkt ten opzichte van de radartrack.

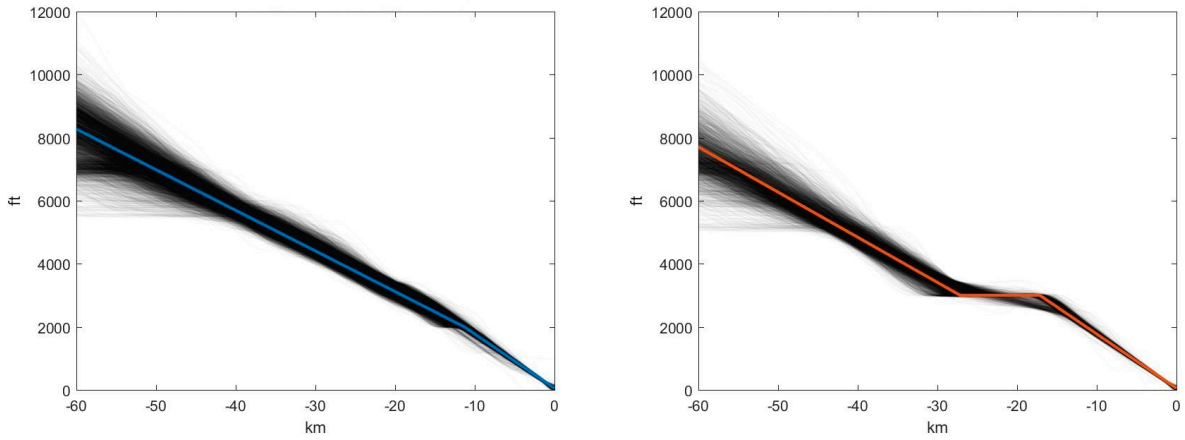
Voor landingen is de afwijkingsscore met de volgende formule bepaald:

$$A_j = \sqrt{\sum_i \left(\frac{h_{tr_i} - h_{pr_j}}{h_{tr_i}} \right)^2}$$

- A_j = Afwijkingsscore bij elk standaardprofiel j
- h_{tr_i} = Hoogte van de track op afstand i
- h_{pr_j} = Hoogte van standaardprofiel op afstand i

In deze formule wordt het verschil tussen de trackhoogte en de standaardprofielhoogte gedeeld door de hoogte van de track. Het kwadraat van het antwoord wordt gesommeerd over alle afstanden. Dit wordt per radartrack en standaardprofiel berekend, waarna het profiel met de laagste afwijkingsscore de radartrack toegewezen krijgt.

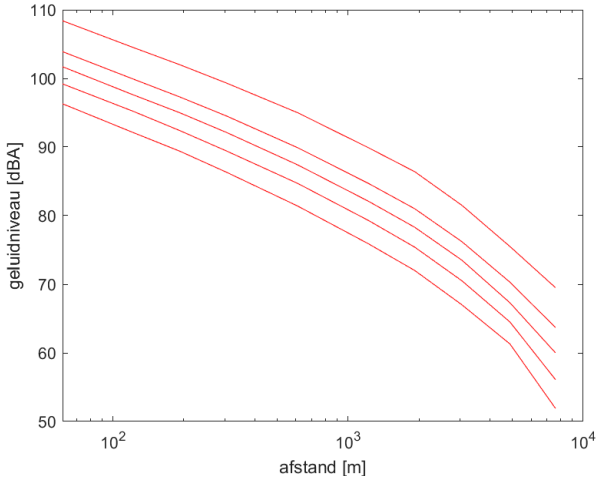
In Figuur 3 zijn voorbeelden opgenomen van radartracks met het best bijpassende standaardprofiel. In deze figuren zijn de zwarte lijnen de verschillende radartracks en zijn de gekleurde lijnen het best bijpassende standaardprofiel.



Figuur 3 Voorbeelden van radartracks die aan het best bijpassende standaardprofiel zijn gekoppeld

3.3 Geluidgegevens

Voor ieder vliegtuigtype waarvoor prestatiegegevens beschikbaar zijn, zijn ook *geluidtabellen* benodigd. De *geluidtabel* (ook wel *Noise-Power-Distance* tabel of NPD tabel genoemd) beschrijft de geluidniveaus als functie van de vermogensparameter en de afstand tussen het vliegtuig en het berekeningspunt. In Figuur 4 is als voorbeeld een *geluidtabel* gevisualiseerd.



Figuur 4 Voorbeeld van een geluidtabel. De lijnen geven voor 5 verschillende motorvermogens het geluidniveau als functie van de afstand tussen het vliegtuig en het berekeningspunt op de grond

De gebruikte *geluidtabellen* zijn één op één overgenomen uit de *ANP database*. Er zijn afzonderlijke *geluidtabellen* toegepast voor starts en landingen.

De waarde van de vermogensparameter waarmee het geluidniveau wordt vastgesteld volgt uit het stuwkrachtprofiel. De afstand tussen het vliegtuig en het betreffende berekeningspunt wordt berekend op basis van het *grondpad* en het hoogteprofiel. Voor het bepalen van het geluidniveau dient meestal geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd te worden tussen opgegeven waarden in de *geluidtabel* (zie referentie 4 voor meer informatie hierover).

Tijdens de geluidberekening zelf worden de *geluidtabellen* uit de *ANP database* nog gecorrigeerd naar lokale omstandigheden (zie paragraaf 5.1.1). Om deze correctie te kunnen uitvoeren zijn naast *geluidtabellen* ook geluidspectra benodigd. Ook deze spectra zijn rechtstreeks overgenomen uit de *ANP Database*.

3.4 Aanvullende vliegtuiggegevens

Naast de vliegprestatie- en geluidgegevens zijn nog een aantal aanvullende gegevens nodig om de geluidberekening te kunnen uitvoeren. Dit betreft per vliegtuigtype:

- Welke geluidtabel moet worden gebruikt,
- Welke vermogensparameter moet worden gebruikt,
- Welke spectra moeten worden gebruikt (zowel voor starts als voor landingen),
- Welk afschermingsmodel[2] moet worden gebruikt.

Deze gegevens zijn allemaal rechtstreeks overgenomen uit de *ANP database*.

[2] Doc.29 houdt rekening met afscherming van het motorgeluid door de vliegtuigromp en vleugels. Er zijn hiervoor drie verschillende modellen beschikbaar, afhankelijk van het type motor en de plaatsing (propellermotoren, straalmotoren onder vleugel of straalmotoren achter aan de romp)

4 Verkeersgegevens

4.1 Vliegtuigtypes en substitutie

In de luchtvaart zijn veel vliegtuigtypen in gebruik. Daarnaast kan één vliegtuigtype met verschillende motortypes zijn uitgerust. Niet van alle combinaties van vliegtuigtype en motortype zijn de voor de berekening van de geluidbelasting benodigde geluid- en prestatiegegevens beschikbaar.

Indien van een vliegtuigtype geen gegevens beschikbaar waren in de set met prestatiegegevens voor Schiphol, is de vliegtuigbeweging met het betreffende type doorgerekend met de gegevens van een type waar wel gegevens voor waren en waarvan de prestaties en geluidproductie representatief worden geacht. Het representatieve type is bepaald met behulp van een substitutieprotocol. Dit protocol voor de *Doc29 implementatie* voor Schiphol is een verdere uitwerking van de substitutiemethode die wordt aanbevolen bij gebruik van Doc29 (ref. 3). 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 altijd eenduidig, terwijl dit bij het protocol wel het geval is. Het protocol zelf wordt in de volgende paragrafen verder beschreven.

4.1.1 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 eerst een lijst met alle unieke vliegtuig/motortypecombinaties opgesteld. Vervolgens is voor al deze combinaties het bijbehorende recordnummer geselecteerd uit de:

- De EASA Approved 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 de motortype horende bij het geselecteerde EASA recordnummer.

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

Voor de EASA Approved 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 4.1.3 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 set met prestatiegegevens voor Schiphol. Deze toegepaste recordnummers voor deze types zijn opgenomen in Appendix A.1.

4.1.2 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 paragraaf 4.1.3). 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.

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 paragraaf 4.1.4).

4.1.3 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.2 bevat een aantal uitgewerkte voorbeelden van substitutie.

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 20 000 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:

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

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.3.

4.1.4 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:

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

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

Echter, 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. In de berekening is de bepaalde correctiefactor toegepast op de berekende geluidblootstellingsniveaus van de proxy.

4.2 Routes en radargegevens

Een vliegtuigbeweging vindt plaats langs een driedimensionale vliegbaan. Deze bestaat uit:

1. De vliegroute, dit is de projectie op het grondvlak en wordt ook wel het *grondpad* genoemd.

2. Het verloop van de vlieghoogte boven de grond als functie van de afgelegde weg langs het *grondpad*, het zogenaamde hoogteprofiel.

De vliegroutes kunnen op de volgende manieren bepaald worden:

1. Met behulp van een of meerdere radarstations. Hierbij is voor iedere individuele vliegtuigbeweging een unieke vliegroute beschikbaar.
2. Op basis van een gemodelleerde route. Hierbij worden meerdere vliegtuigbewegingen op dezelfde vliegroute geplaatst.

Radargegevens (van het *grondpad*) worden gebruikt bij het doorrekenen van reeds gerealiseerde vliegtuigbewegingen. Voor prognoseberekeningen, zoals bij het MER, kan gebruik gemaakt worden van gemodelleerde routes, van radargegevens van representatieve vluchten uit het verleden of een combinatie hiervan: de zogenaamde hybride routemodellering. Bij de hybride methode van routemodellering wordt gebruik gemaakt van een combinatie van gemodelleerde vliegroutes en radartracks van gerealiseerde vliegtuigbewegingen uit het verleden. Op deze manier wordt het mogelijk om voor prognoseberekeningen ook radartracks te gebruiken. Hierbij wordt een berekeningsmethode toegepast die identiek is aan de situatie met gebruik van radargegevens. Achteraf worden de geluidniveaus van historische vluchten met identieke kenmerken (zie paragraaf 5.2.1) gemiddeld om tot geluidniveaus te komen die representatief zijn voor toekomstige vluchten met dezelfde kenmerken. Een groep van vluchten met identieke kenmerken wordt hierbij een cluster genoemd.

Het kan echter voorkomen dat het niet mogelijk is om alle benodigde clusters aan te maken, bijvoorbeeld omdat een bepaald vliegtuigtype niet heeft gevlogen op een bepaalde route in de set met gerealiseerde vluchten. Vluchten die binnen dergelijke niet beschikbare clusters vallen kunnen dan met gemodelleerde routes worden doorgerekend.

Voor Doc29 was echter 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. Er is voor het MER een alternatieve methode bepaald om ontbrekende clusters toch aan te kunnen maken. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 5.

Specifiek voor Doc29 geldt dat de gebruikte radargegevens bewerkt zijn om ze beter aan te laten sluiten bij de *Doc29 berekeningsmethode*. De toegepaste aanpassing wordt beschreven in paragraaf 4.2.1.

4.2.1 Aanpassingen aan de radargegevens

De positiewaarnemingen op basis van de radar voor Schiphol zijn doorgaans gebaseerd op een redelijk constant tijdsinterval van (ongeveer) 4 seconden. Indien deze posities zouden worden gebruikt om vliegbaansegmenten te definiëren, dan zou dit voor Doc29 relatief korte vluchtsegmenten opleveren. De methode achter Doc29 kan echter met veel langere vluchtsegmenten overweg op het moment dat rechtuit wordt gevlogen. Om efficiënt Doc29 berekeningen te kunnen uitvoeren, zijn overbodige punten uit de vliegbaan verwijderd. Hiervoor is de volgende methode toegepast:

- Bochtsegmenten zijn geïdentificeerd op basis van een hoeksnelheid van 0.5° per seconde of meer.
- Op deze bochtsegmenten zijn alle originele positiewaarnemingen behouden.
- Op de overige delen zijn tussenliggende punten verwijderd, op voorwaarde dat de afstand van de oorspronkelijke punten tot het resulterende rechte segment altijd kleiner was dan 25m.

5 Geluidberekening

5.1 Geluidberekening per unieke beweging

5.1.1 Instellingen berekeningsmethode

Het aantal mogelijke instellingen (of keuzes) voor de *Doc29 berekeningsmethode* is beperkt. Eén optie is om de *atmosferische demping* die standaard al in de *geluidtabellen* is verwerkt, te corrigeren naar lokale omstandigheden. Er worden hiervoor twee methoden aangedragen, één op basis van een van oudsher gebruikte methode uit 1975 en daarnaast een meer recente en tevens aanbevolen methode uit 2013 (zie referentie 4).

Binnen de *Doc29 implementatie* voor Schiphol is afgesproken de correctie toe te passen en hierbij gebruik te maken van de methode uit 2013. Hiermee worden tijdens het rekenproces de *geluidtabellen* gecorrigeerd naar een demping die representatief is voor de omstandigheden uit de ICAO standaard-atmosfeer op zeeniveau (zie paragraaf 2.4).

Daarnaast is er alleen nog de keuze welke geluidmaat of geluidmaten moeten worden berekend, zoals L_{den} en/of L_{night}. De berekeningsmethode is echter niet direct gebruikt om een jaargemiddelde geluidbelasting te bepalen, maar om een hindersomdatabase aan te leggen (zie paragraaf 5.2). De gevraagde geluidmaat is om die reden het *geluidblootstellingsniveau* L_{AE}.

5.1.2 Geluidberekening

De geluidberekening wordt uitgevoerd conform de *Doc29 rekenmethode* en op basis van de vorige paragraaf en hoofdstukken beschreven invoergegevens en instellingen. De berekening wordt uitgevoerd per (unieke) vlucht. Binnen de rekenkern wordt de berekening nog verder opgesplitst:

- Elke vluchtpad is opgedeeld in segmenten. De bepaling van het *geluidblootstellingsniveau* wordt apart voor elk van deze segmenten uitgevoerd. De belangrijkste parameters hierbij zijn:
    - De vlieghoogte, het motorvermogen en de snelheden die volgen uit het *vliegprestatieprofiel*
    - De positie van het segment die volgt uit het *grondpad*
    - De positie van het huidige rekenpunt binnen het studiegebied

  De bijdrages van alle segmenten worden vervolgens opgeteld om tot het *geluidblootstellingsniveau* van de gehele vlucht te komen.
- Het bepalen van het *geluidblootstellingsniveau* wordt herhaald voor alle rekenpunten binnen het studiegebied (zie paragraaf 2.2). Hiervoor wordt één vluchtpad duizenden malen doorgerekend, elke keer voor een ander rekenpunt.

Als gevolg van al deze herhalingen (alle vluchten, alle segmenten per vlucht en alle rekenpunt per segment) vergt een geluidberekening veel rekenkracht en tijd.

Het uiteindelijke resultaat is het *geluidblootstellingsniveau* van elke unieke vlucht. Dit kan, na toepassing van weegfactoren voor de avond en nacht worden opgeteld tot een geluidbelasting in L_{den} of L_{night} van alle vluchten

gezamenlijk. In dit geval wordt het resultaat per vlucht echter gebruikt voor een tussenstap: het aanleggen van een hindersomdatabase.

5.2 Aanleg hindersomdatabase

Het berekende *geluidblootstellingsniveau* per vlucht kan worden opgeslagen in een database. Het voordeel aan het opslaan van deze tussenresultaten is dat de resultaten later opnieuw kunnen worden gebruikt, zonder de relatief tijdrovende geluidberekening zelf opnieuw te hoeven doen. In veel gevallen wordt hierbij niet de bijdrage van een specifieke vlucht opgeslagen, maar de gemiddelde bijdrage van een aantal vergelijkbare vluchten. Een dergelijke groep van vergelijkbare vluchten wordt een cluster genoemd.

5.2.1 Samenstellen van clusters

Het indelen van de clusters gaat op basis van de combinatie van de volgende kenmerken:

- ICAO vliegtuigtype
- Start- of landingsbaan
- Route
- Dagdeel (dag, avond of nacht)
- Vliegprocedure:
    - Voor starts: de startprocedure en de afstandsklasse (zie 3.2.1)
    - Voor naderingen: de naderingshoogte en toepassing reduced flaps (zie 3.2.2)

Specifiek voor het kenmerk route geldt dat in enkele gevallen meerdere 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.

Voor naderingen geldt dat het aantal *vliegprestatieprofielen* dat is gedefinieerd veel groter is dan het aantal naderingshoogtes. Zo zijn er bijvoorbeeld 12 verschillende naderingen gedefinieerd, die allemaal tot de groep 2000ft naderingen behoren. Het cluster wordt opgebouwd op basis de naderingshoogte, één aggregatieniveau hoger dan het gebruikte profiel. Het clustergemiddelde is daarmee gebaseerd op verschillende *vliegprestatieprofielen* en vormt zo een afspiegeling van de situatie die in de praktijk gold tijdens de referentieperiode. De reden achter deze keuze is tweeledig:

- De software die wordt gebruikt om verkeersprognoses te maken, kan wel de naderingshoogte voorspellen, maar nog niet de bijbehorende mix aan representatieve profielen.
- Door het grote aantal naderingsprofielen zou het aantal verschillende clusters sterk toenemen, waardoor er naar verwachting ook veel clusters niet of slecht gevuld zouden zijn. Dit wordt in de volgende paragraaf verder besproken.

5.2.2 Aanvullen van ontbrekende clusters

Het kan voorkomen dat clusters die wel benodigd zijn, niet kunnen worden opgebouwd omdat er in de gebruikte referentieperiode voor deze clusters geen vluchten met de benodigde clusterkenmerken hebben plaatsgevonden. Verder is het mogelijk dat er 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. De volgende criteria zijn toegepast om te bepalen of een bestaand cluster voldoende representatief is:

- 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.

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. De selectie van de *grondpaden* is uitgevoerd op basis van:

- 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.

Wel is in alle gevallen onderscheid gemaakt naar de *grondpaden* van straalvliegtuigen en de *grondpaden* van propellervliegtuigen. Clusters voor straalverkeer zijn dus altijd opgebouwd uit *grondpaden* van ander straalverkeer en clusters voor propellerverkeer zijn altijd opgebouwd uit *grondpaden* van ander propellerverkeer. De reden hiervoor is dat deze twee verkeerssegmenten op dezelfde route vaak zeer verschillende *grondpaden* hebben.

In verband met limieten aan de gewenste rekentijd zijn aanvullende clusters opgebouwd uit maximaal 250 *grondpaden* uit andere clusters. Indien er meer *grondpaden* beschikbaar zijn, wordt op basis van een willekeurige steekproef gekozen. Verder zijn aanvullende clusters alleen aangemaakt op het moment dat het aantal bewegingen in de prognose minimaal 5 per jaar is. Verkeer uit clusters met minder dan 5 bewegingen per jaar is niet doorgerekend. Hiervoor is, zoals in paragraaf 5.3 zal worden besproken, achteraf gecorrigeerd door de berekende geluidbelasting op te schalen voor het aantal niet doorgerekende vliegtuigbewegingen.

5.3 Gebruik hindersomdatabase

Op basis van de gegevens in de hindersomdatabase kan relatief snel de geluidbelasting in L_{den} en/of L_{night} worden bepaald. Als basis hiervoor wordt een verkeersverdeling gebruikt. Dit is een specificatie van hoeveel vliegbewegingen per cluster naar verwachting gaan plaatsvinden. Op basis van deze verkeersverdeling worden de verschillende rasters met *geluidblootstellingsnive*au's uit de database uitgelezen en in de juiste verhouding bij elkaar opgeteld. Hierbij wordt rekening gehouden met een aantal vliegbewegingen per cluster, maar ook met de etmaalweegfactoren die gelden voor de avond en de nacht.

Zoals besproken in paragraaf 5.2.2, kunnen er clusters zijn die wel in de verkeersverdeling voorkomen, maar waarvan de *geluidblootstellingsniveau's* niet in de database beschikbaar zijn. Hierbij gaat het dan om clusters met minder dan

5 bewegingen per jaar. Voor dergelijke ontbrekende clusters wordt de totale geluidbelasting vermenigvuldigd op basis van een algemene schaalfactor. Deze schaalfactor wordt als volgt bepaald:

$$Correctiefactor = 1 + \frac{N_{effectief-niet\ beschikbaar}}{N_{effectief-wel\ beschikbaar}}$$

De correctiefactor wordt hierbij niet bepaald op basis van het werkelijke (of nominale) aantal vliegbewegingen, maar op basis van het effectieve aantal vliegbewegingen. In deze effectieve aantallen is al rekening gehouden met de etmaalweegfactoren die gelden voor de avond en de nacht.

6 Nabewerking: tellen van woningen, hinder en slaapverstoring

6.1 Algemeen

Op basis van het resultaat van de berekening van de geluidbelasting kan worden 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. Vanwege de geluidnormering van het nieuwe normenstelsel gaat het hierbij om de bepaling van:

- Het aantal woningen met een geluidbelasting van 58 L_{den} of hoger,
- Het aantal ernstig gehinderde personen met een geluidbelasting van 48 L_{den} of hoger,
- Het aantal woningen met een geluidbelasting van 48 L_{night} of hoger,
- Het aantal ernstig slaapverstoorde personen met een geluidbelasting van 40 L_{night} of hoger.

Aansluitend dient het resultaat doorgaans getoetst te worden aan de criteria voor gelijkwaardige bescherming.

Tot nu toe was het gebruikelijk om op basis van de berekende geluidbelasting eerst geluidcontouren te maken en vervolgens te bepalen welke woningen of personen binnen deze contouren vallen. Testen lieten echter zien dat verschillende contouralgoritmes in bepaalde situaties relatief veel verschil in resultaat kunnen laten zien. Dit is onwenselijk. Het telproces is dusdanig vereenvoudigd dat het maken van contouren hiervoor niet langer nodig is. Het bepalen van aantallen woningen en personen wordt nu uitgevoerd in twee stappen:

- Het berekenen van de geluidbelasting bij de woninglocaties,
- Het bepalen van de aantallen woningen, ernstig gehinderden en ernstig slaapverstoorden in gebieden met een geluidbelasting hoger dan de norm.

Deze twee stappen worden in paragraaf 6.2 en 6.3 in meer detail besproken.

Vooraf is het nog van belang om op te merken dat de veelgebruikte dosis-effect-relaties uit de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) uit 2002 geldig zijn in combinatie met een geluidbelasting zoals bepaald met het NRM. Deze dosis-effectrelaties zijn door NLR en To70 aangepast (gekalibreerd) in verband met de overgang naar Doc29. 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. 7]. De nieuwe formules zijn opgenomen in paragraaf 6.3.3 en 6.3.4.

6.2 Bepaling geluidbelasting op woninglocaties

Als eerste stap in het telproces wordt de geluidbelasting bepaald op de woninglocaties uit het woningbestand. Hiervoor wordt de geluidbelasting op de locatie van de woning zoals vastgelegd in het woningbestand bepaald door interpolatie tussen de rasterpunten van het gebruikte rekenraster. Deze interpolatie wordt uitgevoerd aan de hand van een 2-dimensionale representatie van de geluidbelasting met strooklatfuncties (*splines)* [Ref. 8]. Als implementatie van deze methode is gekozen voor het gebruik van de functie *BivariateSpline* uit de SciPy bibliotheek voor de programmeertaal Python [Ref. 9].

6.3 Uitvoering van de telling

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

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

6.3.3 Ernstig gehinderde personen met een geluidbelasting van 48 L_{den} 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 de interpolatie welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 48 dB(A) L_{den} of hoger.
- Bepaal voor al deze woninglocaties de relatieve hinder 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.

6.3.4 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 de interpolatie welke woninglocaties uit het woningbestand een geluidbelasting hebben van 40 dB(A) L_{night} of hoger.
- Bepaal voor al deze woninglocaties de relatieve slaapverstoring 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.

7 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.
2. Brief van de Commissie voor de m.e.r. (Th. Smit) van 23 februari 2017 aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu met als onderwerp “Implementatie Doc29”.
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. Air Traffic Control The Netherlands, Integrated Aeronautical Information Package, geconsulteerde versie: 2017-03-02 (ingangsdatum).
7. Dosis-Effect relaties hinder en slaapvestoring Schiphol, brief van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu aan het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, kenmerk 092/2017 DMG/OB, 30 juni 2017.
8. Paul Dierckx, Curve and Surface Fitting with Splines, Oxford University Press, 1993.
9. SciPy, Scientific Computing Tools for Python, http://www.scipy.org/, versie 0.19.0, Maart 2017.

Appendix A Substitutie

Appendix A.1 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

Appendix A.2 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.3 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

Deze pagina is opzettelijk blanco.

NLR

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