

B	302	LUXEMBURG	930
AZ	419	TURIN	935
LH	1122	NEAPEL	935
LH	1906	MADRID	935
LH	1022	STUTTGART HBF	935
AF	1701	LYON	940
AY	822	HELSINKI	940
AA	071	SFRANCISCO-DAVALLAS	940
AF	743	PARIS	945
LH	1113	VENEDIG	945
DL	023	DAVALLAS	950
	892	AMSTERDAM	950

19.171.34 • juli 2021

Ontwikkeling rekenmethode Doc 29 voor Nederlandse regionale luchthavens

Methoderapport

Ontwikkeling rekenmethode Doc 29 voor Nederlandse regionale luchthavens

Methoderapport

Rapport

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Postbus 20904
2500 EX Den Haag

To70
Postbus 85818
2508 CM Den Haag, Nederland
tel. +31 (0)70 3922 322
fax +31 (0)70 3658 867
Email: info@to70.nl

Door:

Kjeld Vinkx (To70)
Desley Kemper (To70)
Stephan Smets (To70)
Robert Koster (AerLabs)

Den Haag, juli 2021

Inhoudsopgave

Samenvatting	8
1 Inleiding	13
1.1 De opgave.....	13
1.2 Over ECAC Doc 29.....	13
1.3 De regionale luchthavens	14
1.4 Afbakening	15
1.5 Proces	16
1.6 Leeswijzer.....	17
2 Aanpak voor de ontwikkeling van Doc 29 voor de regionale luchthavens	18
2.1 Rekenproces.....	18
2.2 Systematische analyse	19
3 Invoergegevens.....	22
3.1 Luchthaven specifieke gegevens.....	22
3.2 Gegevens over het gebruik van de luchthaven	30
3.3 Geluid- en prestatiegegevens.....	41
3.4 Studiegebied.....	46
4 Voorbewerking	48
4.1 Substitutie.....	48
4.2 Grondpad bewerking	50
4.3 Meteorologische correctie geluidgegevens.....	53
4.4 Effect van bochten	55
5 Nabewerking.....	57
5.1 Genereren van contouren.....	57
5.2 Tellen van woningen, inwoners en ernstig gehinderden "binnen contouren".....	58
6 Klein verkeer.....	60
6.1 Toepassing Doc 29 voor klein verkeer	60
6.2 Invoergegevens.....	61
6.3 Voorbewerking.....	63
6.4 Nabewerking.....	64
7 Conclusies en aanbevelingen.....	65
 Bijlage 1 – Leeswijzer afbeeldingen.....	67
Bijlage 2 – Beschrijving rekenkern	69
Bijlage 3 – Checklist rapportage	71
Bijlage 4 – Analyse naar effect hoogteverschillen binnen studiegebied	73
Bijlage 5 – Analyse naar toepassing van filter op hoogtedata	77
Bijlage 6 – Analyse naar invloed atmosferische condities	79
Bijlage 7 – Analyse naar verschoven baandempel	86
Bijlage 8 – Gegevens in het luchthavenregister.....	88

Bijlage 9 – Analyse naar effect gebruik modelroute vs. radartracks	89
Bijlage 10 – Analyse naar effect gebruik werkelijke startgewicht	91
Bijlage 11 – Analyse naar effect gebruik full flaps/reduced flaps.....	94
Bijlage 12 – Analyse naar effect gebruik nieuwe ANP-gegevens	97
Bijlage 13 – Analyse naar modellering intersectiestarts en motorvermogen.....	104
Bijlage 14 – Analyse naar effect maaswijdte op geluidcontour.....	110
Bijlage 15 – Analyse naar effect van verschillende substitutiemethodes	114
Bijlage 16 – Analyse naar effect grondpadbewerking	119
Bijlage 17 – Substitutiemethode klein verkeer.....	127

Lijst van figuren

Figuur 1: Rekenproces geluidbelasting (bron: ECAC Doc 29 Volume 1).....	18
Figuur 2: Focus invoergegevens binnen rekenproces geluidbelasting.....	22
Figuur 3: Focus voorbewerking van de invoergegevens binnen rekenproces geluidbelasting.....	48
Figuur 4: Rolhoek in bochten (bron: ECAC Doc 29 Volume 2).....	55
Figuur 5: Focus nabewerking geluidbelasting.....	57
Figuur 6: Luchthavenkaart vliegveld Stadskanaal.....	62
Figuur 7: Representatief ANP type op basis van gewicht en certificatie geluidniveaus.....	64
Figuur 8: Leeswijzer figuren.....	67
Figuur 9: Topografie rondom Maastricht Aachen Airport	73
Figuur 10: Effect op de geluidbelasting bij gebruik van minimale en maximale hoogte op verschillende afstanden van de luchthaven.....	75
Figuur 11: Voorbeeld hoogtedata AHN met en zonder 'ontbrekende' data.....	77
Figuur 12: Voorbeeld van hoogtedata na het toepassen van een nearest neighbour algoritme en een Gaussian filter.....	78
Figuur 13: Gemiddelde temperatuur per luchthaven.....	79
Figuur 14: Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per luchthaven.	80
Figuur 15: Gemiddelde luchtdruk per luchthaven.....	80
Figuur 16: Voorbeeld gemiddelde temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtdruk per periode voor de luchthaven Eindhoven Airport.....	81
Figuur 17: Verschillende methodes uitgezet t.o.v. de referentie (meteorologische condities per beweging).	82
Figuur 18: Gemiddelde temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid per luchthaven opgedeeld in zomer- en winterperiodes.....	84
Figuur 19: Start vanaf de baandrempl vergeleken met starts met een verschoven baandrempl van 56 meter en 100 meter.....	87
Figuur 20: Verschil tussen gebruik radardata voorgaand jaar en gebruik modelroutes. Clustering op basis van route.....	89
Figuur 21: Afstandsklasse o.b.v. bestemming en o.b.v. startgewicht.....	92
Figuur 22: Drie mogelijke flaps settings - full flaps, reduced flaps en mixed flaps.....	95
Figuur 23: Berekening SEL, EPNL en LAmox voor nadering 737-300 incl. correctie t.o.v. Boeing 737-700. 100	
Figuur 24: Berekening SEL, EPNL en LAmox voor start 737-300 incl. correctie t.o.v. Boeing 737-700.	101
Figuur 25: Verschil in SEL, EPNL en LAmox voor de Boeing 737 familie na toepassen geluidcorrectie.....	101
Figuur 26: Verschil in SEL, EPNL en LAmox voor de Airbus A320 familie na toepassen geluidcorrectie....	102
Figuur 27: Effect start met maximaal of gereduceerd vermogen (D03) vanaf de baankop vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 1.....	105
Figuur 28: Effect start met maximaal of gereduceerd vermogen (D03) vanaf de baankop vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 2.....	106
Figuur 29: Effect vast prestatieprofiel (D00, D01 of D03) per intersectie vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 1.....	107
Figuur 30: Effect vast prestatieprofiel (D00, D01 of D03) per intersectie vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 2.....	107

Figuur 31: 40 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.....	110
Figuur 32: 48 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.....	111
Figuur 33: 58 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.....	111
Figuur 34: Verschil in SEL contouren voor B737-800 -CFM56-7B26 (Maximaal startgewicht 67.000 kg)....	116
Figuur 35: Verschil in SEL contouren voor B737-800 - CFM56-7B26 (Maximaal startgewicht 75.000 kg)...	116
Figuur 36: Verschil in SEL contouren voor A320-232 - V5-2725.....	116
Figuur 37: Verschil in geluidniveaus van verschillende substitutiemethodes (Lden).....	117
Figuur 38: Startpunten van radartracks Eindhoven, zonder uitlijning of verlenging tot de start van de baan.	
.....	119
Figuur 39: Radartracks op Maastricht Airport van starts vanaf startbaan 03 verlengd tot de start van de baan.....	120
Figuur 40: Radartracks op Eindhoven van starts vanaf startbaan 03 met detectiepoortjes voor vroeg afdraaiend vliegverkeer.....	121
Figuur 41: Grondpaden van starts (links) verlengd tot de start van de baan, en (rechts) uitgelijnd over beide baankoppen.....	122
Figuur 42: Geluidverschillen van verschillende grondpadbewerkingen ten opzichte van de referentie methode (rechte lijnen en krommen).....	123
Figuur 43: Correlatie maximaal startgewicht en certificatie geluidniveau (hoofdstuk 6 Annex 16 volume 1).	
.....	128
Figuur 44: Correlatie maximaal startgewicht en certificatie geluidniveau (hoofdstuk 10 Annex 16 volume 1).....	128
Figuur 45: Gewicht-geluid verhouding EASA database en Nederlands luchtvaart register.....	129
Figuur 46: Representatieve ANP types (hoofdstuk 10, Annex 16, volume 1).....	130
Figuur 47: Representatieve ANP types (hoofdstuk 6, Annex 16, volume 1).....	130
Figuur 48: Representativiteit per ANP type boor types uit de EASA database.....	130

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht eisen en wensen (toetsingskader).....	20
Tabel 2: Relatie afstandsklasse en grootcirkelafstand.....	38
Tabel 3: Daadwerkelijke startgewicht t.o.v. ANP startgewicht.....	39
Tabel 4: Certificatie geluidniveaus voor kleine toestellen uit de ANP lijst.....	63
Tabel 5: Scoretabel hoogteverschillen.....	76
Tabel 6: Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. referentie (meteorologische condities per beweging) [%].....	83
Tabel 7: Scoretabel atmosferische condities.....	85
Tabel 8: Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. de resultaten van grondpaden 2019 [%].....	90
Tabel 9: Scoretabel modelroutes vs. radardata.....	90
Tabel 10: Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. de methode op basis van startgewicht [%].....	92
Tabel 11: Scoretabel afstandsklasse.....	93
Tabel 12: Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. de methode op basis van mixed flaps [%].....	95
Tabel 13: Scoretabel flap settings.....	96
Tabel 14: Wwijzigingen in verschillende versies van de ANP database.....	97
Tabel 15: Geluidcertificatiegegevens voor vliegtuigtypes (737 familie) uit de ANP database.....	99
Tabel 16: Correctiefactoren van geluidniveaus in decibellen en percentage van aantal vluchten.....	99
Tabel 17: Scoretabel vernieuwen ANP gegevens.....	102
Tabel 18: Verdeling van starts over de verschillende intersecties van startbaan 03 (EHEH).....	104
Tabel 19: Best-passende startprofielen per intersectie van startbaan 03 (EHEH) o.b.v. radardata.....	105
Tabel 20: Scoretabel intersectiestarts.....	108
Tabel 21: Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. de referentie (contour o.b.v. rekenraster met 50m maaswijdte) [%].....	112
Tabel 22: Aantal rasterpunten voor verschillende maaswijdtes.....	112
Tabel 23: Scoretabel maaswijdte.....	113
Tabel 24 Resulterende substitutie proxy en correctie factoren voor B737-800 en A320-232.....	115
Tabel 25 Contouroppervlaktes [km ²] en verschil t.o.v. de resultaten op basis van ANP Aircraft configuration substitutiemethode[%].....	117
Tabel 26: Scoretabel substitutiemethode.....	118
Tabel 27: Gemiddeld aantal segmenten per methode voor grondpadbewerking.....	123
Tabel 28: Scoretabel grondpadbewerking - uitlijnen met start- en landingsbaan.....	125
Tabel 29: Scoretabel grondpadbewerking - verwijderen ruis en versimpelen grondpad.....	125
Tabel 30: Niet-commerciële toestellen uit de ANP lijst met een maximaal startgewicht <6.000kg.....	127

Samenvatting

Dit rapport geeft een voorstel voor het berekenen van de geluidbelasting voor regionale luchthavens volgens de ECAC Doc 29¹ rekenmethode. Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) zal in navolging van de implementatie van Doc 29 voor Schiphol² besluiten of en hoe de ECAC Doc 29 rekenmethode in te voeren voor de regionale (burger)luchthavens in Nederland. De Nederlandse regionale (burger)luchthavens omvatten, in het kader van deze opdracht, alle niet-militaire luchthavens met uitzondering van Schiphol. Eindhoven Airport is in het onderzoek betrokken vanwege het civiele medegebruik op de luchthaven. Het streven is om uniformiteit te creëren bij het berekenen van de geluidbelasting rondom luchthavens. De ontwikkeling van Doc 29 voor de regionale (burger)luchthavens zou daarom in principe aan moeten sluiten bij de implementatie van Doc 29 voor Schiphol, tenzij dit niet logisch of mogelijk is. Door de verschillen tussen de wijze waarop er geopereerd wordt op Schiphol en de (grote) verschillen tussen de regionale (burger)luchthavens is een volledige kopie van de methode echter niet vanzelfsprekend. Dit onderzoek omvat oplossingen voor de geconstateerde verschillen. Op basis van dit advies zal het ministerie van IenW besluiten of en hoe Doc 29 voor de regionale luchthavens in te voeren is.

Proces

To70 en Aerlabs zijn gevraagd om een voorstel te ontwikkelen voor de toepassing van ECAC Doc 29 voor de regionale (burger)luchthavens in Nederland, hierna *Doc 29 regionaal*. Adecs Airinfra en PwC zijn op specifieke momenten betrokken om de aanpak, keuzes en uitkomsten te beoordelen om To70 en IenW in staat te stellen de best mogelijke methodiek te ontwikkelen. Tevens zijn de technische analyses beoordeeld op de aannemelijkheid van de uitvoer gegeven de invoer en zijn technische keuzes beoordeeld op de navolgbaarheid en de onderbouwing van het voorstel. Ook is dit methoderapport door twee onafhankelijke experts op het gebied van vliegtuiggeluid, prof. dr. D. Simons en dr. G.J. van Blokland, beoordeeld. De experts vinden de gepresenteerde onderzoeksresultaten plausibel en kunnen navolgen hoe op basis van de criteria er tot de keuzes gekomen is.

ECAC Doc 29

De rekenmethode zoals beschreven in ECAC Doc 29 moet de harmonisatie van geluidsmodellen tussen ECAC-lidstaten verbeteren voor het berekenen van vliegtuiggeluid op civiele, commerciële luchthavens, met voornamelijk straal- of propellervliegtuigen. ECAC Doc 29 schrijft voor dat de rekenmethode niet van toepassing is voor de luchthavens waar de geluidbelasting voornamelijk wordt bepaald door klein verkeer omdat de kenmerken van de vluchttuigvoeringen en de geluidprestaties van klein verkeer (en militair gebruik) gewoonlijk minder voorspelbaar zijn dan die van groot commercieel verkeer. ECAC Doc 29 beschrijft ook dat betrouwbare rekenmodellen voor het berekenen van de geluidbelasting als gevolg van helikopterverkeer niet beschikbaar zijn.

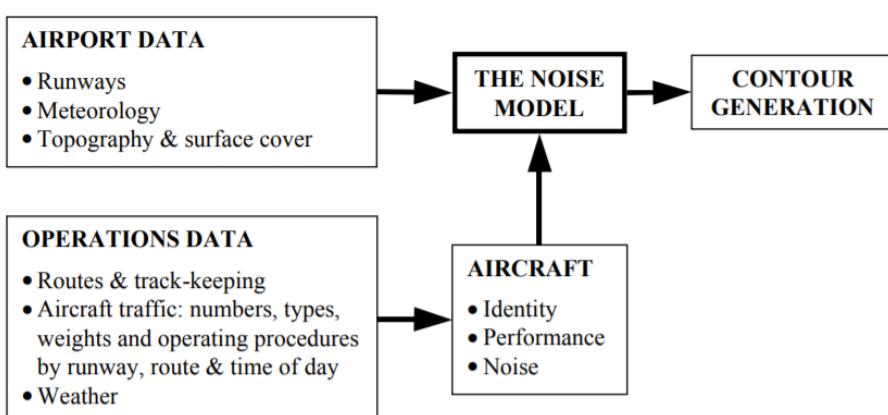
¹ <https://www.ecac-ceac.org/ecac-docs>

² Toepassing ECAC Doc 29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol – NLR-CR-2017-305

Ontwikkeling Doc 29 regionaal

De ontwikkeling van de rekenmethode voor Doc 29 regionaal richt zich in eerste instantie op toepassing van de Doc 29 methode voor de berekening van de geluidbelasting voor 'groot verkeer'. Groot verkeer zijn passages met een vliegtuig met een maximaal startgewicht van 6.000 kg of meer met uitzondering van helikopters. Voor klein verkeer (vliegtuigen met een maximaal startgewicht tot 6.000 kg) is de toepasbaarheid en praktische bruikbaarheid van de rekenmethode beoordeeld.

Dit onderzoek volgt het rekenproces voor de berekening van de geluidbelasting zoals opgenomen in ECAC Doc 29 Volume 1. Deze rekenmethode bestaat uit de volgende onderdelen:



Rekenproces geluidbelasting (bron: ECAC Doc 29 Volume 1).

Identificeren van keuzes

De ECAC Doc 29 methode laat ruimte voor de gebruiker om keuzes te maken in verschillende delen van het rekenproces. De ontwikkeling van *Doc 29 regionaal* richt zich op de invulling van die keuzes. Hiervoor zijn opties uitgewerkt en beoordeeld. De onderdelen die eenduidig zijn beschreven in ECAC Doc 29, zoals het rekenmodel, zullen één-op-één worden overgenomen in *Doc 29 regionaal*.

In bovenstaand rekenproces zijn de 'airport data', 'operations data' en 'aircraft' blokken onderdeel van de invoergegevens. De invoergegevens zijn doorgaans niet geschikt om rechtstreeks in het rekenmodel ('noise model') gebruikt te worden. In de voorbewerking worden daarom de invoergegevens eerst geschikt gemaakt. Een voorbeeld hiervan is het doorvoeren van eventuele correcties, bijvoorbeeld vanwege ontbrekende gegevens over het specifieke vliegtuigtype of lokale (meteorologische) omstandigheden. Dit rapport beschrijft de keuzes en de voorgestelde methode met betrekking tot de voorbewerking voor *Doc 29 regionaal*.

Het rekenmodel geeft als resultaat de berekende geluidbelasting in 'rekenpunten' in de omgeving van de luchthaven. Het rekenmodel is eenduidig beschreven in ECAC Doc 29. *Doc 29 regionaal* zal één-op-één het rekenmodel van ECAC Doc 29 volgen. Op basis van de resultaten van de geluidberekening kunnen met nabewerking ('contour generation') geluidcontouren worden bepaald. Ook voor de nabewerking is in dit onderzoek een voorstel gedaan.

Van keuze naar methode

De te maken keuzes voor de implementatie van Doc 29 voor regionale luchthavens zijn in dit onderzoek systematisch nagelopen. Voor alle keuzes zijn methodes onderzocht die, ongeacht de keuze, op eenzelfde manier zijn getoetst aan een vaste set van eisen en wensen van het ministerie van IenW:

- de methode moet voldoen aan en passen binnen de keuzevrijheid van ECAC Doc 29 (eis)
- de methode moet toepasbaar en praktisch haalbaar zijn (eis)
- de methode moet eenduidig en navolgbaar zijn (eis)
- de methode is gelijk aan de methode zoals vastgelegd in Doc 29 Schiphol (wens)
- de methode heeft een hoge nauwkeurigheid (wens)

De voorgestelde methode moet voldoen aan de eisen. De wensen zijn minder ‘hard’: de methode moet zo goed mogelijk aansluiten bij de wensen.

Voorstel voor methode voor Doc 29 regionaal

Door de systematische aanpak zijn de onderzochte methodes beoordeeld op basis van de eisen en wensen en is er per keuze een voorstel gegeven voor de methode voor *Doc 29 regionaal*. Op enkele onderdelen moet een nadere afweging gemaakt op basis van een weging van de wensen. Deze onderdelen zijn in de tabel aangegeven met “**Afweging vereist**”.

Het voorstel voor het klein verkeer wordt apart beschouwd.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van het voorstel voor het groot verkeer.

Onderdeel rekenproces	Onderwerp binnen onderdeel rekenproces	Beknopte toelichting voorstel methode <i>Doc 29 regionaal</i>
Invoergegevens	Luchthaven specifieke gegevens	<ul style="list-style-type: none"> • Gebruik het Rijksdriehoekstelsel (RD) als coördinatenstelsel met het Airport Reference Point (ARP) uit de Aeronautical Information Publication (AIP) als referentiepunt voor de locatie en de hoogte van de luchthaven. • Houd voor luchthavens met hoogteverschillen in de omgeving van meer dan 25 meter ten opzichte van de luchthaven in de berekening rekening met deze hoogteverschillen op de wijze zoals beschreven in ECAC Doc 29. • Afweging vereist: maak een afweging welk detailniveau van atmosferische condities wordt gebruikt. • Modelleer starts vanuit stilstand. • Hanteer voor de modellering van het grondpad voor starts een startpunt dat op 100 meter van het (fysieke) begin van de baan ligt. • Modelleer intersectiestarts met de afstand van de intersectie tot de baandremplaat als er gegevens beschikbaar zijn over het gebruik van intersectiestarts.
	Gegevens over het gebruik van de luchthaven	<ul style="list-style-type: none"> • Baseer de gegevens per vlucht op registraties van de vlucht voor een realisatieberekening en op een prognose voor een prognoseberekening. • Gebruik radardata voor een prognoseberekening als deze beschikbaar en geschikt zijn. De keuze of op basis van de

Onderdeel rekenproces	Onderwerp binnen onderdeel rekenproces	Beknopte toelichting voorstel methode Doc 29 regionaal
		<p>radardata radartracks gemodelleerd worden of dat modelroutes worden bepaald is aan de gebruiker. Hanteer modelroutes op basis van de AIP als radardata niet beschikbaar zijn.</p> <ul style="list-style-type: none"> Gebruik radardata voor realisatieberekeningen als deze beschikbaar zijn. Val terug op de modelroutes die ook bij de prognoseberekening zijn toegepast als radardata niet beschikbaar zijn. Koppel het startprofiel op basis van het geregistreerd startgewicht indien dit beschikbaar (te maken) is op basis van registratie. Als terugval geldt de koppeling op basis van vliegafstand. Koppel de startprocedure op basis van de resultaten van een inventarisatie naar de toepassing van de startprocedure per maatschappij. Koppel het naderingsprofiel volgens dezelfde methode als gehanteerd bij Doc 29 voor Schiphol: selectie op basis van afwijkingsscore hoogte voor realisaties. Koppel de flapsetting op basis van de resultaten van een inventarisatie naar de toepassing per maatschappij.
	Geluid- en prestatiegegevens	<ul style="list-style-type: none"> Maak gebruik van de door ECAC aanbevolen ANP (Aircraft Noise and Performance) database van EUROCONTROL. Afweging vereist: maak een afweging hoe wordt omgegaan met nieuwe ANP gegevens.
	Studiegebied	<ul style="list-style-type: none"> Hanteer een studiegebied dat groot genoeg is zodat de laagst relevante geluidniveaus binnen het studiegebied vallen. Gebruik standaard een rekenraster met een afstand van 100 meter tussen de rekenpunten. Hanteer een voldoende fijnmazig rekenraster voor toepassingen die een hoge nauwkeurigheid vragen (bijvoorbeeld het vaststellen van een beperkingengebied). Als de ligging van de contour niet significant wijzigt bij een (verdere) halvering van de maaswijdte, hoeft niet verder verfijnd te worden.
Voorbewerking	Substitutie	<ul style="list-style-type: none"> Pas de ANP substitutielijst op vliegtuigtype en motortype niveau toe voor zover registratiegegevens beschikbaar zijn en hanteer een conservatieve benadering indien gegevens niet beschikbaar zijn. Voor het vaststellen van een proxy en correctiefactoren voor nieuwe vliegtuigtypes (die nog niet opgenomen zijn in deze ANP substitutielijst op vliegtuigtype en motortype niveau) dient de gebruiker te argumenteren welke proxy en correctiefactoren gehanteerd worden op basis van de substitutiecriteria opgenomen in paragraaf 6.4.4.1 van ECAC Doc 29 Volume 1.
	Grondpad bewerking	<ul style="list-style-type: none"> Voor de bewerking van radardata tot een grondpad kunnen verschillende methodes worden toegepast, waaronder (maar niet beperkt tot) de methode zoals beschreven in Doc. 29 Schiphol, een spline of een versimpeling naar rechte lijnen en krommen. De keuze welke methode wordt gebruikt voor de invoerdata is aan de gebruiker. Het gebruik van

Onderdeel rekenproces	Onderwerp binnen onderdeel rekenproces	Beknopte toelichting voorstel methode Doc 29 regionaal
		<p>radardata vergt wel een zorgvuldige data-analyse voor het maken van de juiste keuzes in de ruis verwijdering en track versimpeling om er zorg voor te dragen dat de juiste positie is bepaald en dat de rolhoeken correct kunnen worden afgeleid.</p> <ul style="list-style-type: none"> Voor modelroutes en andere theoretische grondpad bepalingen is voorbewerking niet noodzakelijk, omdat de voorwaarden voor grondpaden kunnen worden meegenomen bij het maken van de modelroutes.
	Meteorologische correctie geluidgegevens	<ul style="list-style-type: none"> Sluit aan bij de methodologie zoals beschreven in paragraaf 4.2.1 en bijlage D van ECAC Doc 29 Volume 2 en paragraaf 2.4 van Doc 29 voor Schiphol.
	Effect van bochten	<ul style="list-style-type: none"> Laat het effect van bochten op de vliegprestaties buiten beschouwing. Voor de berekening van de geluidbelasting per vlucht wordt wel de invloed van de rolhoek meegenomen.
Nabewerking	Generen van contouren	<ul style="list-style-type: none"> Maak gebruik van de methode voor het bepalen van de geluidbelasting op woonlocaties en het genereren van contouren zoals opgenomen in het methoderapport van Doc 29 voor Schiphol.

Toepassing van Doc 29 voor klein verkeer

ECAC Doc 29 geeft een beperking voor het berekenen van de geluidbelasting door klein verkeer. Die beperking is het gevolg van de grotere onzekerheid in de kenmerken van de vluchttuitvoeringen en de geluidprestaties van klein verkeer ten opzichte van het groot verkeer. De mate waarin ECAC Doc 29 toepasbaar is voor klein verkeer geldt echter op vergelijkbare wijze ook voor het Nederlands rekenmodel: het Nederlands rekenmodel is op dit punt niet 'beter' of 'slechter' dan Doc 29. De onderdelen van het rekenmodel die verschillen tussen Doc 29 en het Nederlands rekenmodel leveren ook voor het klein verkeer een verbetering (toepassing meest actuele kennis over het berekenen van de geluidbelasting) op. Vanuit dit oogpunt is er dan ook geen reden om voor klein verkeer niet ook over te stappen naar Doc 29. Een ander belangrijk argument is dat de rekenmethode voor klein en groot verkeer daarmee gelijk blijven.

In dit onderzoek is onderzocht in hoeverre de voorgestelde methode voor het groot verkeer ook toepasbaar is voor het klein verkeer. Hiervoor is de specifieke operatie van het klein verkeer geanalyseerd en zijn de keuzes nogmaals systematisch langsgelopen op toepasbaarheid voor het klein verkeer. Uit deze analyse blijkt dat de methode voor groot verkeer ook goed toepasbaar is voor het berekenen van de geluidbelasting van klein verkeer. Ten opzichte van de voorgestelde methode voor het groot verkeer wordt voor de rekenmethode voor het klein verkeer op twee onderdelen een andere keuze voorgesteld:

- Leg het startpunt voor de startrol aan het begin van de van de baan, in plaats van het toepassen van een verplaatsing van 100 meter.
- Voor de toewijzing van het startprofiel wordt geen onderscheid gemaakt naar het geregistreerde startgewicht of vliegafstand.

Wel dient nog een substitutiemethode voor de koppeling aan vliegtuigtypegegevens in de ANP database te worden vastgesteld, aangezien een substitutielijst alleen is vastgesteld door EUROCONTROL voor groot vliegverkeer.

1 Inleiding

1.1 De opgave

Voor u ligt het rapport dat de ontwikkeling van een voorstel voor de rekenmethode Doc 29 voor de Nederlandse regionale luchthavens beschrijft.

Voor het berekenen van de geluidbelasting van startende en landende vliegtuigen zijn in de Nederlandse regelgeving voorschriften vastgelegd. Hierbij is onderscheid gemaakt naar drie soorten luchthavens:

- a) de luchthaven Schiphol,
- b) overige burgerluchthavens (de 'regionale luchthavens'), en
- c) militaire luchthavens.

Voor de luchthaven Schiphol en voor de overige burgerluchthavens wordt de geluidbelasting berekend in Lden en Lnigh. Voor militaire luchthavens wordt de geluidbelasting berekend in Ke (Kosteneenheden).

Voor de luchthaven Schiphol is in 2016/2017 een nieuwe rekenmethode ontwikkeld³. Eerder werden de geluidberekeningen voor Schiphol uitgevoerd met een Nederlands Rekenmodel (NRM). De nieuwe rekenmethode voor Schiphol is gebaseerd op de meest recente aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), gepubliceerd in 2016 als de vierde editie van ECAC Doc 29⁴. ECAC Doc 29 beschrijft een voor Europa geharmoniseerde methode om de geluidbelasting rondom civiele luchthavens te bepalen.

Voor de overige burgerluchthavens en voor de militaire luchthavens wordt het Nederlands Rekenmodel voor respectievelijk Lden en Ke nog toegepast.

De minister van Infrastructuur en Waterstaat zal in navolging van de implementatie van Doc 29 voor Schiphol besluiten of (en hoe) de ECAC Doc 29 rekenmethode zal worden ingevoerd voor de regionale (burger)luchthavens in Nederland.

To70 en Aerlabs hebben in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) een voorstel voor de rekenmethode Doc 29 voor de Nederlandse regionale luchthavens ontwikkeld.

1.2 Over ECAC Doc 29

Geluidmodellen berekenen de geluidbelastingen door vereenvoudigde wiskundige weergaven van de echte, complexe processen van het ontstaan en verspreiden van vliegtuiggeluid. Veel variabelen zijn van invloed op de daadwerkelijke geluidniveaus rond een luchthaven. Zo heeft ieder vliegtuig bijvoorbeeld zijn eigen karakteristieken, moeten aannames gedaan worden over de precieze vluchttuitvoering, is het weer van invloed op de verspreiding van het geluid en zal er in praktijk sprake zijn van reflecties of juist demping van het geluid als gevolg van de ondergrond, aanwezigheid van gebouwen, etc. Een exacte

³ Toepassing ECAC Doc 29 voor het bepalen van de geluidbelasting van het vliegverkeer van Schiphol – NLR-CR-2017-305

⁴ <https://www.ecac-ceac.org/ecac-docs>

modellering van het geluid zal daarom niet mogelijk zijn of technisch of economisch niet redelijk zijn. Tegen die achtergrond geeft ECAC Doc 29 een in Europa overeengekomen ‘best practice’ methode voor het berekenen van de geluidbelasting.

ECAC Doc 29 heeft betrekking op vliegtuiggeluid op civiele, commerciële luchthavens, met voornamelijk straal- of propellervliegtuigen. Het gebruik en de geluidprestatiekenmerken van het vliegtuig op deze luchthavens is doorgaans geordend en voorspelbaar. Als er geschikte gegevens beschikbaar zijn voor andere luchtvaartuigen, waaronder militaire vliegtuigen, lichte propellervliegtuigen of helikopters, mogen ook deze in de evaluatie worden meegenomen, mits hun bijdrage niet de totale geluidbelasting domineert. De ECAC heeft nog geen vergelijkbare richtlijnen ontwikkeld voor deze luchtvaartuigen. Wel wordt op Europees niveau gewerkt aan een apart rekenvoorschrift voor helikoptergeluid.

De methode beperkt zich tot het geluid van vliegtuigen tijdens de vlucht bij vertrek van en aankomst op het vliegveld. Het omvat het geluid van de start op de startbaan en het gebruik van omgekeerde stuwwracht na de landing. De methode omvat niet het geluid tijdens bijvoorbeeld het taxiën en het proefdraaien van vliegtuigen (het grondgeluid) en het geluid van alle andere (niet-vliegtuig) bronnen binnen het luchthaventerrein (het grondgebonden geluid). De bijdrage hiervan aan de geluidbelasting buiten het luchthaventerrein beperkt zich doorgaans tot de zeer directe omgeving van de luchthaven.

Belangrijkste verschillen tussen Doc 29 en NRM

Met Doc 29 verandert de berekening van de Lden geluidbelasting ten opzichte van de berekening met het NRM:

- De Doc 29 methode baseert zich op ‘SEL’-geluidtabellen van vliegtuigen in plaats van L_{Max} geluidtabellen;
- De Doc 29 methode houdt rekening met de vliegtuigstand, directiviteit van het geluid door de positie van de motoren en geluiduitstraling in bochten;
- Doc 29 schrijft een andere voorkeursmethode voor de invloed van atmosferische omstandigheden voor;
- Met Doc 29 wordt de laterale geluidverzwakking anders berekend;
- De geluidbelasting tijdens de start- en landingsrol van vliegtuigen wordt anders berekend.

Al deze wijzigingen mogen worden beschouwd als verbeteringen ten opzichte van de Nederlandse rekenmethode.

1.3 De regionale luchthavens

De implementatie van ECAC Doc 29 voor de Nederlandse regionale luchthavens heeft betrekking op alle niet-militaire luchthavens, met uitzondering van Schiphol.

De overige burgerluchthavens zijn luchthavens van regionale betekenis of van nationale betekenis. De luchthavens van nationale betekenis zijn:

- a) de luchthaven Lelystad,
- b) de luchthaven Eelde,
- c) de luchthaven Maastricht, en

d) de luchthaven Rotterdam.

Alle andere luchthavens, niet zijnde Schiphol of een militaire luchthaven, zijn luchthavens van regionale betekenis. Dit betreft de volgende luchthavens:

- Ameland Airport Ballum,
- Breda International Airport,
- Enschede Airport Twente,
- Kempen Airport,
- Teuge International Airport,
- Texel International Airport,
- Vliegveld Drachten,
- Vliegveld Hilversum,
- Vliegveld Hoogeveen,
- Vliegveld Midden-Zeeland,
- Vliegveld Oostwold, en
- Vliegveld Stadskanaal.

De luchthavens in Caribisch Nederland vallen niet onder de regionale luchthavens. Voor deze luchthavens geldt afzonderlijke wet- en regelgeving en voorschriften voor de berekening van de geluidbelasting.

De luchthaven Eindhoven is een militaire luchthaven met civiel medegebruik. Het civiel gebruik bedroeg in 2019 ruim 41.000 vliegtuigbewegingen. De totale geluidbelasting van de luchthaven werd daarmee voor een belangrijk deel bepaald door het civiel gebruik. Om die reden heeft het ministerie van IenW besloten om Eindhoven Airport in deze opdracht mee te nemen als regionale luchthaven, waarbij alleen naar het civiele verkeer wordt gekeken.

1.4 Afbakening

De ontwikkeling van de methode voor de implementatie van ECAC Doc 29 op de regionale luchthavens kent de volgende afbakening:

- Hoofdstuk 2 beschrijft het rekenproces volgens ECAC Doc 29. In het rekenmodel ('rekenkern') wordt de geluidbelasting berekend op basis van een set formules. Het rekenmodel ligt met ECAC Doc 29 vast. De ontwikkeling van de methode voor Doc 29 voor regionale luchthavens richt zich dan ook uitsluitend op de toepassing van het rekenmodel, waarbij een voorstel wordt gedaan voor onder andere de invoer van het rekenmodel en de nabewerking van de resultaten.
- De methode, en daarmee keuzes in de methode, is gericht op het berekenen van de jaargemiddelde Lden geluidbelasting buitenhuis. Met de Doc 29 methode kunnen ook andere geluidsmaten worden berekend, zoals bijvoorbeeld L_{Amax} niveaus (het hoogste geluidniveau van een vliegtuigpassage) of de gemiddelde geluidbelasting voor een kortere periode. Bij de toepassing van de rekenmethode voor andere doeleinden dan de berekeningen van de jaargemiddelde geluidbelasting, kan men de aanbevelingen in deze rapportage niet direct overnemen. Bij gebruik van de methode voor andere toepassingen zullen andere overwegingen een rol spelen die mogelijk ook leiden tot een ander advies dan in dit rapport wordt gepresenteerd.

- De ontwikkeling van de methode is gebaseerd op het groot verkeer (vliegtuigen met een maximaal startgewicht van 6.000 kg of meer). Voor klein verkeer is vervolgens de toepasbaarheid en praktische bruikbaarheid van de rekenmethode beoordeeld (zie hoofdstuk 6).
- Helikopters en militair verkeer zijn buiten beschouwing gelaten. ECAC Doc 29 geeft geen richtlijnen voor deze luchtvaartuigen. Helikopter verkeer is in ECAC Doc 29 buiten beschouwing gelaten omdat de modellering complex is, een breed scala aan geluidskenmerken van helikopters vereist is en het grondgeluid voor helikopters vaak dominant is. Wel wordt op Europees niveau gewerkt aan een apart rekenvoorschrift voor helikoptergeluid. Militair verkeer is in ECAC Doc 29 buiten beschouwing gelaten vanwege de (vaak) zeer verschillende geluids-, prestatie- en operationele kenmerken van het militair verkeer. Dit laat onverlet dat de geluidbelasting van helikopterverkeer en militair verkeer, berekend met andere modellen, bij de met Doc 29 berekende geluidbelasting van civiel verkeer kan worden opgeteld.
- De methode beperkt zich, net als ECAC Doc 29 en net als het Nederlands Rekenmodel, tot het geluid van vliegtuigen tijdens de vlucht bij vertrek van en aankomst op het vliegveld. Het geluid tijdens het taxiën en het geluid van alle andere (niet-vliegtuig) bronnen binnen het luchthaventerrein (het grondgebonden geluid) zijn daarmee niet beschouwd.
- De ontwikkeling van de methode staat los van de validatie van de rekenmethode met behulp van geluidmetingen. Voor burgerluchthavens waarvoor het Rijk bevoegd gezag is komt er een meetstrategie als onderdeel van het landelijke programma gericht op meten en berekenen van vliegtuiggeluid. Deze metingen worden onder andere gebruikt om de kwaliteit van berekeningen te controleren en om de berekeningen zo nodig en mogelijk te verbeteren. Dit kan zowel op basis van de NRM methode als de Doc 29 methode en kan mogelijk resulteren in aanpassing in de methode.

1.5 Proces

Voor de ontwikkeling van de methode voor de implementatie van ECAC Doc 29 voor de Nederlandse regionale luchthavens zijn de volgende stappen doorlopen:

- De eisen, wensen en afbakening zijn vooraf vastgesteld in overleg met het ministerie van IenW.
- To70/Aerlabs hebben een inventarisatie gedaan van de benodigde (invoer)gegevens op basis van de keuzes die zijn opgenomen in de (technische) handleidingen van ECAC Doc 29. Tijdens deze inventarisatiefase hebben verschillende regionale luchthavens gegevens over het gebruik van de luchthaven gedeeld met To70/Aerlabs.
- To70/Aerlabs zijn systematisch alle elementen in het rekenproces volgens de ECAC Doc 29 methode langsgelopen. Per element is beoordeeld of en welke keuzes mogelijk zijn voor de implementatie van de Doc 29 rekenmethode en hoe deze keuzes voldoen aan de eisen en wensen. Keuzes die een meer beleidsmatige afweging vragen, zijn afzonderlijk beschreven.
- Met Adecs Airinfra en PwC zijn in een viertal sessies tussentijds betrokken om de aanpak, keuzes en uitkomsten te 'challenget' om To70 en IenW in staat te stellen de best mogelijke methodiek te ontwikkelen.
- Dit methoderapport is door twee onafhankelijke experts op het gebied van vliegtuiggeluid, prof. dr. D. Simons en dr. G.J. van Blokland, beoordeeld. De experts vinden de gepresenteerde onderzoeksresultaten plausibel en kunnen navolgen hoe op basis van de criteria er tot de keuzes gekomen is.

1.6 Leeswijzer

De rekenmethode Doc 29 voor de Nederlandse regionale luchthavens zal hierna worden aangeduid als *Doc 29 regionaal*.

Dit rapport bevat verwijzingen naar ECAC Doc 29 en diverse technisch inhoudelijke analyses, op basis waarvan vervolgens keuzes zijn gemaakt.

Het rapport dient een brede doelgroep. Het rapport is gericht op beleidsmakers voor de implementatie van Doc 29 voor de regionale luchthavens. Maar daarnaast biedt het rapport achtergrondinformatie en antwoorden rondom de systematiek van geluidberekeningen die voor diverse doelgroepen relevant is: van experts die geluidberekeningen uitvoeren tot belanghebbenden die de resultaten moeten kunnen interpreteren, beoordelen en wegen.

De Samenvatting geeft een beknopt overzicht van het proces, de aanpak en het voorstel per element in het rekenproces. Het hoofdrapport geeft op de verschillende onderdelen de overwegingen bij de voorstellen, onderbouwd met technische analyses in de bijlagen.

Hoofdstuk 2 beschrijft de aanpak die is gevolgd voor de ontwikkeling van de methode voor ECAC Doc 29 voor de regionale luchthavens is uitgevoerd.

De hoofdstukken 3 tot en met 6 beschrijven de totstandkoming en onderbouwing van de inhoudelijke analyses. Hierbij zijn alle elementen in het rekenproces systematisch langsgelopen en geven voor elke element een voorstel voor de methode (oranje kaders).

Een gedetailleerde beschrijving van hoe de verschillende figuren worden gepresenteerd is opgenomen in ‘Bijlage 1 – Leeswijzer afbeeldingen’.

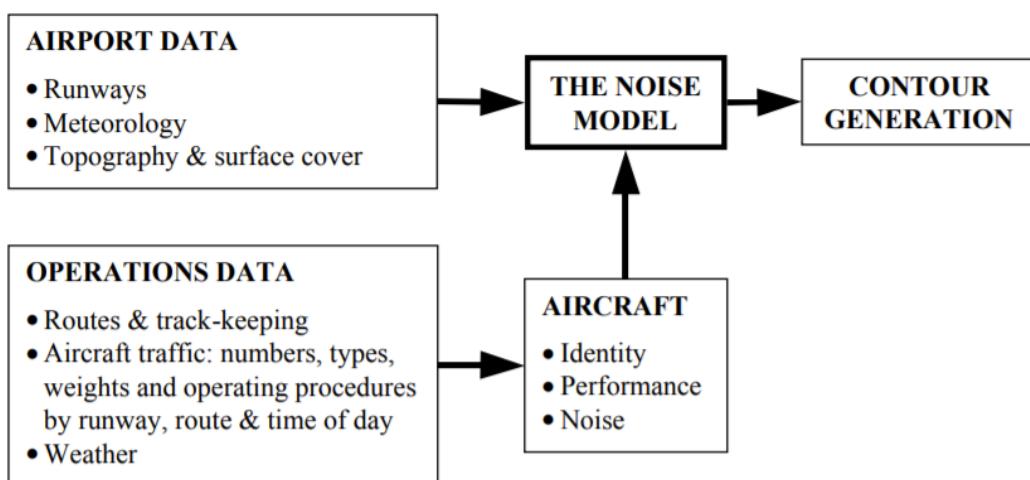
De andere bijlagen bij dit rapport geven een beschrijving en technische verdieping van de onderliggende analyses.

2 Aanpak voor de ontwikkeling van Doc 29 voor de regionale luchthavens

In deze opdracht zijn alle elementen in het rekenproces voor een berekening van vliegtuiggeluid op basis van Doc 29 systematisch langsgelopen. Per element in het rekenproces zijn, waar relevant en aan de orde, opties onderzocht voor de implementatie van *Doc 29 regionaal*.

2.1 Rekenproces

Een berekening van vliegtuiggeluid op basis van Doc 29 bestaat uit de volgende onderdelen.



Figuur 1: Rekenproces geluidbelasting (bron: ECAC Doc 29 Volume 1).

ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft in detail het rekenmodel (het ‘noise model’). Met deze beschrijving kan eenduidig een rekenmodel worden gebouwd. ECAC Doc 29 Volume 3 beschrijft de verificatie van het model. Een model is geverifieerd als bij voorgeschreven verificatieberekeningen, met een gedetailleerd beschreven set aan invoergegevens een overeenkomstige geluidbelasting wordt berekend. Het resultaat van het rekenproces is gevoelig voor de keuzes in de invoer van het rekenmodel. De invoer bestaat uit twee onderdelen:

1. Airport & operations data: luchthaven specifieke gegevens en gegevens over het gebruik van de luchthaven;
2. Aircraft: gegevens over het geluid en de prestaties van vliegtuigen.

Hoofdstuk 3 in dit rapport beschrijft de elementen in de invoergegevens voor *Doc 29 regionaal* en (de totstandkoming van) het voorstel voor *Doc 29 regionaal*.

De invoergegevens zijn doorgaans echter niet geschikt om rechtstreeks in het rekenmodel te verwerken. In een voorbewerkingsstap worden de gegevens eerst geschikt gemaakt. Een voorbeeld hiervan is het koppelen van de gegevens van vliegtuigen aan de vliegtuigen die op de luchthaven gebruikt worden. Een ander voorbeeld is het doorvoeren van eventuele correcties voor ontbrekende gegevens of lokale omstandigheden. Hoofdstuk 4 in dit rapport beschrijft het voorstel en de totstandkoming ervan voor de voorbewerkingen voor *Doc 29 regionaal*.

Het rekenmodel, beschreven in ‘Bijlage 2 – Beschrijving rekenkern’, geeft als resultaat de berekende geluidbelasting in ‘punten’ in de omgeving van de luchthaven. Binnen het rekenmodel zelf zijn er geen elementen waar bij de implementatie van *Doc 29 regionaal* een keuze mogelijk is. Voor het rekenmodel worden voor de implementatie van *Doc 29 regionaal* daarom een-op-een de methode en de rekenregels zoals beschreven in ECAC Doc 29 gevuld.

Op basis van deze resultaten kunnen in een nabewerking bijvoorbeeld geluidcontouren worden bepaald. Hoofdstuk 5 in dit rapport beschrijft voor *Doc 29 regionaal* de keuzes in deze nabewerkingsstap.

2.2 Systematische analyse

Om te komen tot een voorstel voor de methode voor *Doc 29 regionaal* zijn systematisch alle elementen in het rekenproces volgens de ECAC Doc 29 methode langsgelopen en is nagegaan hoe de implementatie van Doc 29 voor de regionale luchthavens kan worden vormgegeven. De (technische) handleidingen van ECAC zijn hierbij als startpunt gebruikt.

Vanuit deze handleidingen zijn steeds minimaal drie methoden gedefinieerd voor de implementatie van *Doc 29 regionaal*:

- **“werkelijk geluid”**: de methode die het meest aansluit bij de werkelijkheid;
- **“recht-toe-recht-aan”**: een zo eenvoudige mogelijke vertaling van de huidige werkwijze volgens het Nederlands rekenmodel naar een werkwijze die overeenkomt met Doc 29.
- **“maximaal uniform”**: een zo direct mogelijke toepassing van de gekozen methode voor Doc 29 op Schiphol naar toepassing voor de regionale luchthavens.

De implementatie van Doc 29 Schiphol is beoordeeld als ‘best practice’ als het gaat om de implementatie van ECAC Doc 29⁵, en is daarmee een ‘logisch’ startpunt voor de ontwikkeling van een methode voor de regionale luchthavens. Door alle stappen in het rekenproces systematisch langs te lopen en ook alternatieve methodes te beschouwen, is beoordeeld of op elementen andere keuzes beter zijn of gemaakt moeten worden vanwege de specifieke kenmerken van regionale luchthavens. Hierbij is een afweging gemaakt tussen de behoefté naar uniformiteit bij de bepaling van de geluidbelasting rondom de Nederlandse luchthavens enerzijds, en de mogelijkheden voor verbetering van de methode of de noodzaak om van de Schipholmethode af te wijken anderzijds.

De reden om voor onderdelen af te wijken van de implementatie van Doc 29 voor Schiphol is dat de daar gemaakte keuzes niet noodzakelijk ook altijd voor de hand liggen of geschikt zijn voor de toepassing van Doc 29 voor de regionale luchthavens. Hierbij moet met name gedacht worden aan de beperktere beschikbaarheid van gegevens en de sterk verschillende vlootsamenstelling ten opzichte van Schiphol. Ook zijn de kenmerken van de regionale luchthavens, zoals het verkeersbeeld, onderling sterk verschillend. Een keuze die voor de ene luchthaven een minimale impact heeft en goed ‘past’, kan voor andere luchthavens grote consequenties hebben. Het is dan ook van belang dat de voor Schiphol gemaakte keuzes in deze opdracht voor *Doc 29 regionaal* heroverwogen worden, en dat een alternatieve

⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/11/28/bijlage-4-peer-review-of-noise-modelling-process/bijlage-4-peer-review-of-noise-modelling-process.pdf>

methode wordt voorgesteld als blijkt dat de geluidbelasting op de regionale luchthavens niet goed berekend kan worden bij gebruik van (delen van) de Doc 29 implementatie voor Schiphol.

Voorafgaand aan het project zijn in overleg met het ministerie van IenW de eisen en wensen vastgesteld die gelden voor de implementatie van *Doc 29 regionaal*. De eisen worden gezien als 'hard': de methode moet voldoen aan de eisen. De wensen zijn minder 'hard': de methode moet zo goed mogelijk aansluiten bij de wensen. De eisen en wensen vormen samen het toetsingskader om de verschillende beschikbare methodes te toetsen en om te komen tot een objectief oordeel, waarbij de eisen en wensen nader zijn geconcretiseerd. Tabel 1 geeft het overzicht van eisen en wensen.

Tabel 1: Overzicht eisen en wensen (toetsingskader).

Eisen/wensen	✓ Positieve score	□ Neutrale score	✗ Negatieve score
Eis: Voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29	De methode voldoet aan ECAC Doc .29 handleidingen en voldoet aan de eisen die aan de keuzevrijheden verbonden zitten.	N.v.t.	De methode voldoet niet aan ECAC Doc 29 en/of de voldoet niet aan de eisen die aan de keuzevrijheden verbonden zitten.
Eis: Toepasbaar en praktisch haalbaar	Er is voldoende (openbaar toegankelijke) informatie beschikbaar om de methode te hanteren en er is voldoende zekerheid dat gebruikers deze methode kunnen hanteren binnen de huidige kaders.	Methode is niet direct te implementeren, maar er is wel voldoende zekerheid dat gebruikers deze methode kunnen hanteren.	Er is (momenteel) onvoldoende informatie beschikbaar om de methode te hanteren en er is onvoldoende zekerheid dat gebruikers deze methode kunnen hanteren binnen de huidige kaders.
Eis: Eenduidig en navolgbaar	De methode beperkt de ruimte om keuzes te maken en resulteert in gelijke resultaten wanneer de studie door verschillende partijen wordt uitgevoerd.	De methode kent enige keuzevrijheid waardoor verschillen kunnen optreden wanneer de studie door verschillende partijen wordt uitgevoerd. De onderbouwing van keuzes zijn wel navolgbaar.	De methode kent onzekerheden rondom de invoergegevens of de voorbewerking hiervan. De onderbouwing van keuzes zijn niet navolbaar en/of de resultaten variëren wanneer de studie door verschillende partijen wordt uitgevoerd.
Wens: Uniformiteit tussen Doc 29 Regionaal en Doc 29 Schiphol	De methode is gelijk aan de methode zoals vastgelegd in Doc 29 Schiphol.	De methode is gelijk aan de methode zoals vastgelegd in Doc 29 Schiphol maar maakt gebruik van andere parameters/constanten.	De methode wijkt af van de methode zoals vastgelegd in Doc 29 Schiphol.
Wens: Hoge nauwkeurigheid	De methode heeft een hogere nauwkeurigheid dan andere onderzochte methodes. Dit houdt in dat het maximale verschil van het Lden resultaat t.o.v. de meest nauwkeurige	De methode heeft een voldoende hoge nauwkeurigheid. De Lden resultaten vallen typisch binnen een bandbreedte van 0,5 dB(A) t.o.v. de meest nauwkeurige methode.	De methode heeft een onvoldoende hoge nauwkeurigheid. De Lden resultaten verschillen typisch meer dan 0,5 dB(A) van de meest nauwkeurige methode.

Eisen/wensen	 Positieve score	 Neutrale score	 Negatieve score
	methode maximaal 0,5 dB(A) ^{6,7} bedraagt.		

Per methode worden de drie eisen (voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29, toepasbaar en praktisch haalbaar en eenduidig en navolgbaar) en de twee technische wensen (hoge nauwkeurigheid en de uniformiteit met Doc 29 Schiphol) beoordeeld op basis van een inhoudelijke analyse. De resultaten uit deze scoretabel zijn vervolgens omgezet in overwegingen, om te komen tot een voorstel voor de methode.

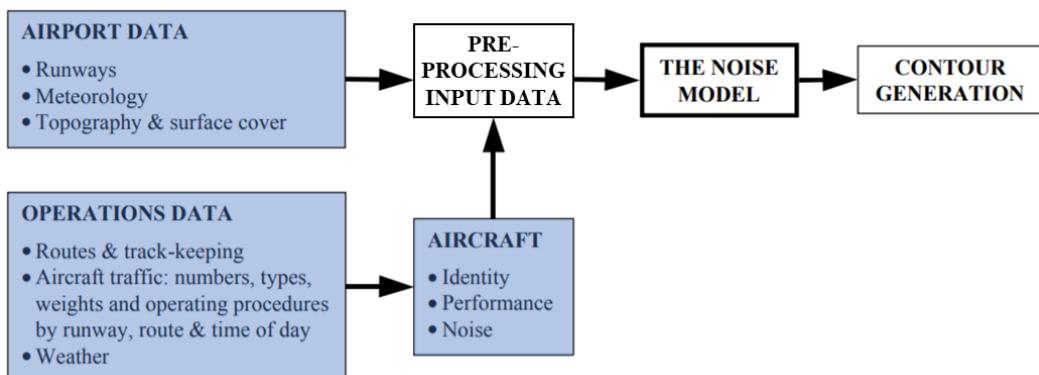
⁶ De waarde van 0,5 dB(A) die wordt gehanteerd voor het toetsen van de nauwkeurigheid van de methodes moet niet verward worden met de onzekerheid van het model. Door het vastleggen van keuzes in de implementatie van Doc 29 voor de regionale luchthavens worden onzekerheden weggenomen.

⁷ Een variatie in een jaargemiddelde Lden van 0,5 dB(A) is niet te vergelijken met een variatie in de geluidsniveaus van een enkele passage. De variatie in de geluidsniveaus van een enkele passage zullen veel groter zijn, typisch een aantal dB(A).

3 Invoergegevens

Dit hoofdstuk geeft het voorstel voor de methode voor *Doc 29 regionaal* met betrekking tot de invoer van het rekenmodel. De invoer bestaat uit de volgende twee onderdelen:

1. Airport & operations data: luchthaven specifieke gegevens en gegevens over het gebruik van de luchthaven;
2. Aircraft: gegevens over het geluid en de prestaties van vliegtuigen.



Figuur 2: Focus invoergegevens binnen rekenproces geluidbelasting.

Paragraaf 3.1 gaat in op de luchthaven specifieke gegevens (airport data). De gegevens met betrekking tot het gebruik van de luchthaven (operations data) zijn beschreven in paragraaf 3.2. Paragraaf 3.3 gaat in op de gegevens over het geluid en de prestaties van vliegtuigen. In paragraaf 3.4 wordt ingegaan op de keuzes omtrek het studiegebied.

Steeds is een volledig overzicht gegeven van alle elementen in het rekenproces met betrekking tot de invoer en een voorstel voor de invulling daarvan voor *Doc 29 regionaal*.

Daarnaast geeft ‘Bijlage 3 – Checklist rapportage’ een voorstel voor het (eenduidig) rapporteren van de gebruikte invoergegevens bij een Doc 29 geluidberekening. Op deze wijze is het overzichtelijk welke gegevens zijn gehanteerd, kunnen berekeningen gereproduceerd worden en kunnen verschillen tussen berekeningen beter geduid worden.

3.1 Luchthaven specifieke gegevens

Paragraaf 2.4 van ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft welke scenario specifieke luchthavengegevens gebruikt moeten worden voor het uitvoeren van een geluidberekening.

2.4 AIRPORT AND AIRCRAFT OPERATIONS

Case-specific data from which to calculate the noise contours for a particular airport scenario includes the following:

2.4.1 GENERAL AIRPORT DATA

- The aerodrome reference point (simply to locate the aerodrome in appropriate geographic co-ordinates). The reference point is set as the origin of the local Cartesian co-ordinate system used by the calculation procedure.

- *The aerodrome reference altitude (= altitude of aerodrome reference point). This is the altitude of the nominal ground plane on which, in the absence of topography corrections, the noise contours are defined.*
- *Average meteorological parameters at or close to the aerodrome reference point (temperature, relative humidity, average windspeed and wind direction).*

2.4.2 RUNWAY DATA

For each runway:

- *Runway designation*
- *Runway reference point (centre of runway expressed in local co-ordinates)*
- *Runway length, direction and mean gradient*
- *Location of start-of-roll and landing threshold. Datasheets for runway data representation are shown in Appendix A2.*

Samengevat bestaan de luchthavengegevens uit de volgende elementen:

1. Locatie en het lokale coördinatenstelsel van de luchthaven;
2. Topografie: hoogteverschillen van de omgeving ten opzichte van de luchthaven;
3. Gemiddelde meteorologische condities op of dichtbij de luchthaven;
4. Gegevens over de start- en landingsbanen.

Deze elementen worden in de volgende paragrafen behandeld.

3.1.1 Locatie van de luchthaven en het lokale coördinatenstelsel

Voor het uitvoeren van een geluidberekening wordt de locatie van de luchthaven vastgelegd binnen een lokaal coördinatenstelsel. Voor alle Nederlandse luchthavens zijn de coördinaten en de hoogte van het Airport Reference Point (ARP) opgenomen in de openbaar toegankelijke Aeronautical Information Publication (AIP). Daarnaast is het voor geluidberekeningen binnen Nederland de standaard om voor het lokale coördinatenstelsel het Rijksdriehoekstelsel (RD)⁸ te hanteren. In Doc 29 Schiphol wordt dit stelsel ook gehanteerd. Er is geen aanleiding om voor Doc 29 regionaal hiervan af te wijken.

Schiphol ligt nagenoeg op zeehoogte. Om die reden is verondersteld dat het lokale luchthavenniveau gelijk is aan zeeniveau. De regionale luchthavens kennen echter grotere verschillen in de hoogteligging, tot maximaal 370 voet (ongeveer 113 meter) boven zeeniveau. De invloed hiervan op de berekening van de geluidbelasting is naar verwachting beperkt, maar is niet onderzocht. Wel heeft het een doorwerking naar de prestatiegegevens van vliegtuigen en is er geen praktisch bezwaar om niet de lokale situatie als dusdanig mee te nemen. Om die reden wordt voorgesteld om voor Doc 29 regionaal uit te gaan van de werkelijke hoogte.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Hanteer de methodologie zoals beschreven in paragraaf 2.4.1 van ECAC Doc 29:

1. Gebruik het Rijksdriehoekstelsel (RD) als coördinatenstelsel met het Airport Reference Point (ARP) uit de Aeronautical Information Publication (AIP) als referentiepunt voor de locatie van de luchthaven;
2. Stel de hoogte van de luchthaven in op de hoogte van het ARP.

⁸ <https://www.kadaster.nl/zakelijk/registraties/basisregistraties/rijksdriehoeksstelsel>

3.1.2 Topografie

Voor Doc 29 Schiphol is verondersteld dat de omgeving vlak is ten opzichte van de luchthaven. Er worden daarmee in de geluidberekeningen voor Schiphol geen correcties toegepast voor de omgevingshoopte. Rondom enkele regionale luchthavens, zoals in de omgeving van Maastricht Aachen Airport, zijn er echter aanmerkelijke hoogteverschillen. In tegenstelling tot Schiphol kan de topografie bij enkele regionale velden hierdoor mogelijk een rol spelen in de (berekende) geluidbelasting in de omgeving.

ECAC Doc 29 biedt de mogelijkheid om rekening te houden met topografie. De invloed van een ongelijke ondergrond op de voortplanting van geluid is complex. ECAC Doc 29 biedt hiervoor geen richtlijnen. Om de invloed van topografie op de berekende geluidbelasting op de grond mee te nemen, wordt in ECAC Doc 29 eenvoudigweg de grondhoopte per rasterpunt verhoogd of verlaagd naar de lokale grondhoopte:

2.4.5 TOPOGRAPHICAL DATA

The terrain around most airports is relatively flat. However this is not always the case and there may sometimes be a need to account for variations in terrain elevation relative to the airport reference elevation. The effect of terrain elevation can be especially important in the vicinity of approach tracks, where the aircraft is operating at relatively low altitudes.

Terrain elevation data are usually provided as a set of (x,y,z) co-ordinates for a rectangular grid of a certain mesh-size. But the parameters of the elevation grid are likely to be different from those of the grid used for the noise computation. If so, linear interpolation may be used to estimate the appropriate z-co-ordinates in the latter.

Comprehensive analysis of the effects of markedly non-level ground on sound propagation is complex and beyond the scope of this guidance. Moderate unevenness can be accounted for by assuming 'pseudo-level' ground; i.e. simply raising or lowering the level ground plane to the local ground elevation (relative to the reference ground plane) at each receiver point (see Section 3.3.4).

Om de invloed van topografie op de berekende geluidbelasting te bepalen, is er een (kwantitatieve) analyse uitgevoerd. De opzet, methodiek, resultaten en conclusie van deze analyse zijn opgenomen in 'Bijlage 4 – Analyse naar effect hoogteverschillen binnen studiegebied' en in 'Bijlage 5 – Analyse naar toepassing van filter op hoogtedata'.

Overwegingen

ECAC Doc 29 biedt de mogelijkheid om rekening te houden met topografie. Deze methode is toepasbaar en praktisch haalbaar voor regionale luchthavens. Op basis van de analyses kan worden geconcludeerd dat er significante verschillen in geluidniveaus kunnen ontstaan door hoogteverschillen in de omgeving van de luchthaven. Of dit voor een onder- of overschatting van het geluidniveau zorgt, is afhankelijk van de locatie en het relatieve hoogteverschil ten opzichte van de luchthaven. Dit zorgt ervoor dat het gebruik van een vaste hoogte voor de gehele omgeving minder nauwkeurig is en de effecten van geluidsarme procedures en operationele wijzigingen mogelijk niet goed bepaald kunnen worden. Voor de meest nauwkeurige inschatting van het geluid rondom een luchthaven met hoogteverschillen is het meenemen van het werkelijke hoogteverschil per rasterpunt het meest geschikt.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Houdt omwille van de eenvoud geen rekening met hoogteverschillen ten opzichte van de luchthaven als de hoogteverschillen in de omgeving van de luchthaven beperkt zijn. Als grens is het voorstel om een maximaal hoogteverschil van 25 meter binnen het studiegebied aan te houden waarmee de foutmarge beperkt wordt tot maximaal 0,5 dB(A).

Voor luchthavens met hoogteverschillen in de omgeving van meer dan 25 meter, dient wel rekening gehouden te worden met hoogteverschillen. De methode hiervoor is als volgt:

- Bepaal voor elk rasterpunt in het studiegebied het hoogteverschil ten opzichte van de luchthaven. Gebruik hiervoor de maaiveldhoogtes in het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).
- Stel in het geval van ontbrekende data de hoogte in een punt gelijk aan de hoogte in het (of een van de) dichtstbijzijnde (wel bekende) datapunt.
- Pas een Gaussian filter (een standaard methode die kan worden toegepast in een tweedimensionaal vlak) toe op de hoogtes om de invloed van snel veranderende hoogtevariaties en ruis in de hoogtedata te beperken. Deze dient zo ingesteld te worden dat de filter een standaarddeviatie heeft van 100 meter. Hiermee worden onvoorspelbare effecten op de geluidcontour voorkomen.

3.1.3 Gemiddelde meteorologische condities op of dichtbij de luchthaven

Paragraaf 7.3.2 van ECAC Doc 29 Volume 1 beschrijft de invloed van weerscondities op enerzijds het gebruik van de luchthaven en anderzijds de geluidsvoortplanting door de atmosfeer.

7.3.2 WEATHER CONDITIONS

Weather conditions have an influence on the usage of runways and routeings and hence on total air traffic - as well as on the individual flight paths of the aircraft. Additionally the weather directly affects sound propagation through the atmosphere. Although atmospheric state changes with height above the aerodrome, it is not usually practicable to account for this; contour calculations are usually based on average or nominal conditions at aerodrome elevation.

Since weather data are recorded at all airports it is theoretically possible to perform a noise calculation accounting for all weather conditions which occurred during any past time period. However this would require a very large amount of data preparation and computation time which would be disproportionate to any accuracy gains against the use of averaged meteorological conditions. This latter course is likely to be the only practicable approach for analysing future scenarios.

De invloed van het weer op het gebruik van de luchthaven, wordt meegenomen in de gegevens over het gebruik van de luchthaven (zie paragraaf 3.2). Voor de invloed van het weer op de geluidsvoortplanting door de atmosfeer geeft ECAC Doc 29 de richtlijn om de standaard ANP-gelidgegevens (zie paragraaf 3.3) te corrigeren voor de werkelijke temperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid. De richtlijn van ECAC Doc 29 is dat de correctie van de gelidgegevens gedaan wordt op basis van de omstandigheden op het luchthavengebied en wordt toegepast op berekeningen op alle ontvangende punten.

Bij de implementatie van ECAC Doc 29 voor Schiphol is het volgende gehanteerd.

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 Doc 29 wordt deze atmosfeer als standaard referentie aangehouden. Hiervoor gelden de volgende condities:

- luchtdruk: 1013,25 hPa
- luchttemperatuur: 15 °C
- luchtdichtheid: 1,225 kg/m³
- relatieve luchtvochtigheid: 70%

Daarnaast worden binnen Doc 29 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 damping. 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.

Bij de implementatie van ECAC Doc 29 voor de regionale luchthavens zijn er argumenten om niet de standaard atmosferische condities te gebruiken. Behalve dat de gemiddelde atmosferische condities op jaarbasis mogelijk verschillen, kan de invloed van de daadwerkelijke weersomstandigheden groter zijn doordat:

- Er een scheve verhouding is tussen het aantal bewegingen in de zomer- en winterperiode;
- Er nagenoeg geen bewegingen in de nachtperiode worden uitgevoerd;
- Er verschillen in gemiddelde atmosferische condities tussen de verschillende luchthavens zitten.

Om een beeld te hebben van de mogelijke effecten van de atmosferische condities bij het bepalen van de jaargemiddelde geluidbelasting op de regionale luchthavens, is een analyse uitgevoerd. In deze analyse zijn verschillende methodes voor hoe de werkelijke atmosferische condities kunnen worden meegenomen in de berekeningen met elkaar vergeleken. De opzet, methodiek, resultaten en conclusies van deze analyse zijn te vinden in 'Bijlage 6 – Analyse naar invloed atmosferische condities'.

Overwegingen

ECAC Doc 29 geeft als richtlijn om de standaard ANP-geluidgegevens te corrigeren voor de werkelijke temperatuur, luchtdruk en luchtvochtigheid op het luchthaventerrein.

Bij de toepassing van Doc 29 Schiphol worden International Standard Atmosphere (ISA)-condities gehanteerd. Uit de analyse naar de mogelijke effecten van de atmosferische condities blijkt dat voor Doc 29 *regionaal* een hoge(re) nauwkeurigheid kan worden bereikt als luchthaven specifieke atmosferische condities worden gebruikt. Het gebruik van luchthaven specifieke jaargemiddelde atmosferische waarden resulteert in de analyse in een systematische overschatting van de geluidbelasting. De nauwkeurigheid neemt toe naarmate de periode korter wordt, bijvoorbeeld een jaar of korter (per zomer/winter, per kwartaal of per maand). Zo levert het gebruik van maandgemiddelde waarden bijvoorbeeld een kleinere

overschatting op dan het gebruik van zomer- en wintergemiddelde waarden. Als een korte tijdsperiode dan een jaar wordt gehanteerd, wijkt de methode af van de methode voor Schiphol.

Het gebruik van ISA-condities, het gebruik van luchthaven specifieke jaargemiddelde condities en het gebruik van de luchthaven specifieke condities voor een kortere tijdsperiode voldoen alle drie aan de eisen uit het toetsingskader. Afhankelijk hoe de wensen (uniformiteit met Doc 29 Schiphol en een hoge nauwkeurigheid) worden gewogen, prevaleert de ene methode boven de andere.

Het gebruik van atmosferische condities per tijdstip van de beweging vereist met het tijdstip van de beweging meer detail in de verkeersgegevens, zet daarmee de praktische haalbaarheid onder druk, terwijl de nauwkeurigheid nauwelijks nog toeneemt. Het gebruik van een seisoensgemiddelde per luchthaven wordt daarmee de meest praktische optie geacht met een hogere nauwkeurigheid dan bij het gebruik van ISA-condities. Het gebruik van ISA-condities en een jaargemiddelde voldoen echter ook aan de eisen en wensen en zijn daarmee ook bruikbare methodes.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Op basis van het toetsingskader volgt dat voor de implementatie van *Doc 29 regionaal* een keuze gemaakt kan worden uit drie methodes:

- Het gebruik van ISA-condities,
- Het gebruik van luchthaven specifieke jaargemiddelde condities,
- Het gebruik van luchthaven specifieke condities per zomer/winter, per kwartaal of per maand.

Het rijk dient hierover een afweging te maken op basis van een weging van de wensen. Als meer gewicht wordt gegeven aan de wens voor uniformiteit met Doc 29 Schiphol, dient voor het gebruik van ISA-condities te worden gekozen. Het gebruik van luchthaven specifieke condities voor een kortere periode dan een jaar dient gekozen te worden als een hoge nauwkeurigheid zwaarder weegt. Vanuit praktisch oogpunt wordt voorgesteld om in dat geval vaste gemiddelde atmosferische condities te hanteren met uitsplitsing naar een zomer- en een wintergemiddelde (op basis van KNMI data van een periode van (minimaal) 10 jaar per uurvak⁹), waarbij enkel rekening wordt gehouden met de uurvakken die binnen de openingsuren van de luchthaven vallen.

3.1.4 Gegevens over start- en landingsbanen

Paragraaf 2.4.2 van ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft de benodigde gegevens voor de definitie van de start- en landingsbanen.

2.4.2 RUNWAY DATA

For each runway:

- Runway designation
- Runway reference point (centre of runway expressed in local co-ordinates)
- Runway length, direction and mean gradient
- Location of start-of-roll and landing threshold (displaced thresholds can be taken into account by defining additional runways)

⁹ Door KNMI data per uur te gebruiken, kunnen niet relevante uren (buiten de openingsuren van de luchthaven) genegeerd worden bij het berekenen van gemiddeldes.

De AIP mag worden beschouwd als betrouwbare databron voor de luchthavengegevens. De AIP bevat echter niet voor alle regionale velden de coördinaten van de start- en landingsbanen. Als de gegevens niet beschikbaar zijn, dan kunnen de gegevens worden afgeleid uit altijd aanwezige AIP-gegevens (zoals AIP-kaarten) of worden overgenomen uit bijvoorbeeld nadere specificaties van de luchthaven. Voor starts worden de twee baankoppen (waar het asfalt begint) als begin- en eindpunt beschouwd, tenzij de start niet vanaf het begin van de baan plaatsvindt. Voor naderingen begint de baan bij de baandrempel. De gradiënt van de start- en landingsbanen op de regionale luchthavens (voor zover de informatie bekend is) is verwaarloosbaar klein (maximaal 0,01%).

Het beginpunt van de baan wordt als startpunt gezien voor de rol van een start. Bij de implementatie van ECAC Doc 29 voor Schiphol is hierover het volgende gesteld.

Startpunt

Binnen het NRM werd standaard aangenomen dat de startrol begint op de baandrempel van de betreffende startbaan. Ook binnen Doc 29 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 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.

Er is geen aanleiding om voor *Doc 29 regionaal* hiervan af te wijken.

Anders ligt het voor de modellering van intersectiestarts. Een intersectiestart is een start waarbij het vliegtuig niet vanaf het begin van de baan start, maar vanaf een intersectie. Met intersecties ontstaan er meerdere punten waar de startrol begint. ECAC Doc 29 beschrijft de mogelijkheid om intersectiestarts te modelleren door een extra baan in de invoergegevens toe te voegen. Het adequaat modelleren van intersectiestarts vergt een inspanning om het gebruik van de intersecties vast te stellen.

In Doc 29 Schiphol is besloten om intersectiestarts niet te modelleren en als mogelijk verbeterpunt voor de toekomst aan te merken:

Modellering van intersectiestarts

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.*

Een argument om geen intersectiestarts voor Schiphol te modelleren is dat het *effect op de geluidbelasting beperkt zou zijn*. De aanwezigheid, de ligging en het gebruik van intersecties verschilt per luchthaven. Gegevens over intersecties en baandrempels zijn te vinden in het openbaar toegankelijke Aeronautical Information Publication (AIP), via de *Take Off Run Available* (TORA). Voor de regionale luchthavens Eelde, Maastricht en Twente, en ook voor vliegbasis Eindhoven, zijn intersecties aanwezig gelegen op meer dan 1.000 meter vanaf het begin van de baan. Afhankelijk van het gebruik van de intersectie, kan dit gevolgen hebben voor (de berekening van) de geluidbelasting in de omgeving, zowel in het verlengde van de baan als in de gebieden naast de baan.

Voor de implementatie van *Doc 29 regionaal* is een verkennende analyse gedaan naar de invloed van de modellering van het startpunt en het mogelijke effect van intersectiestarts op de geluidbelasting rondom de luchthaven. De opzet, methodiek, resultaten en conclusies van deze analyse zijn te vinden in respectievelijk ‘Bijlage 7 – Analyse naar verschoven baandempel’ en ‘Bijlage 13 – Analyse naar modellering intersectiestarts en motorvermogen’. Bij het verschuiven van de baandempel hangt intersectiegebruik ook samen met het startprofiel dat wordt gebruikt. Het effect op het startprofiel is verder toegelicht in paragraaf 3.3.

Overwegingen

ECAC Doc 29 geeft de mogelijkheid om intersectiestarts te modelleren via het toevoegen van een extra baan in de invoergegevens. Een andere optie is om één baandefinitie te hanteren (coördinaten van de fysieke afmetingen) en een variabele baandempel te hanteren voor de afstand van de baankop tot de intersectie.

In Doc 29 Schiphol is verondersteld dat, gelet op het operationeel gebruik van Schiphol, het effect van intersectiestarts op de geluidbelasting beperkt is. In Doc 29 Schiphol worden intersectiestarts mede daarom niet afzonderlijk gemodelleerd. Uit de verkennende analyse blijkt dat intersectiestarts bij de regionale luchthavens een significant effect kunnen hebben op de geluidbelasting onder het vliegpad en naast de baan. Een hoge nauwkeurigheid kan daardoor alleen worden bereikt als intersectiestarts wel afzonderlijk worden gemodelleerd. Deze methode vraagt echter wel om aanvullende data (over het gebruik werkelijk gebruik van intersectie) die op dit moment niet vorhanden is.

De invloed van een rollende start en een verschoven baandempel zijn beperkt. De extra nauwkeurigheid die hiermee gerealiseerd kan worden, weegt niet op tegen de onzekerheden rond de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van de vereiste informatie.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik voor de modellering van de start- en landingsbanen in *Doc 29 regionaal* de volgende methode:

1. Gegevens over de start- en landingsbanen worden ontleend aan de AIP, of overgenomen uit bijvoorbeeld nadere specificaties van de luchthaven. Dit betreft de aanduiding van de baan, het begin- en eindpunt van de baan, de baanlengte, en de gegevens met betrekking tot de aanwezige intersecties en de ligging van de landingsbaandrempele. De gradiënt van de baan wordt gelijk gesteld aan 'nul'.
2. Starts worden gemodelleerd vanuit stilstand. Het startpunt voor de modellering van het grondpad ligt op 100 meter vanaf het begin van de baan (waar het asfalt begint), tenzij er niet vanaf het begin van de baan wordt gestart. Als er niet vanaf het begin van de baan wordt gestart, wordt de start als een intersectiestart gemodelleerd (zie punt 3).
3. Indien er gegevens beschikbaar (te maken) zijn over het toepassen van intersectiestarts, dan dienen intersectiestarts afzonderlijk te worden gemodelleerd. Gebruik één definitie (set coördinaten) van de baan en modelleer de intersecties door de baandrempele voor starts te verschuiven voor de afstand van de baankop tot aan de intersectie.

3.2 Gegevens over het gebruik van de luchthaven

Paragraaf 2.4.4 van ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft welke gegevens over het gebruik van de luchthaven, de verkeersgegevens, doorgaans worden gebruikt in een Doc 29 berekening:

2.4.4 AIR TRAFFIC DATA

Air traffic data normally comprise the following information:

- *the time period covered by the data and*
- *the number of movements (arrivals or departures) of each aircraft type on each flight track, subdivided by (1) time of day as appropriate for specified noise descriptors, (2) for departures, operating weights or stage lengths, and (3), if necessary, operating procedures*

Most noise descriptors require that events (i.e. aircraft movements) are defined as average daily values during specified periods of the day (e.g. day, evening and night) - see Chapter 5.

Air traffic example datasheets can be found in Appendix A4.

De methode *Doc 29 regionaal* richt zich op de berekening van de jaargemiddelde Lden geluidbelasting, oftewel de geluidbelasting op basis van het gebruik van de luchthaven in een jaar. De methode beperkt zich tot het geluid van vliegtuigen tijdens de vlucht bij vertrek van en aankomst op het vliegveld. Voor de geluidberekeningen op basis van Doc 29 komt dit voor de beschrijving van de verkeersgegevens neer op de volgende kenmerken van de vliegtuigbewegingen:

- gegevens over het vliegtuig, zoals het vliegtuigtype, het motortype en het maximaal startgewicht;
- de vluchtsoort;
- datum en tijdstip;
- het baangebruik;
- het vliegpad;
- het start- of naderingsprofiel.

Voor de herkomst van de gegevens over het gebruik van de luchthaven, dient onderscheid gemaakt te worden tussen een geluidberekening die worden uitgevoerd voor:

- een realisatie, gebaseerd op het werkelijke verkeer: een geluidberekening waarmee de gerealiseerde geluidbelasting in een bepaalde periode wordt bepaald, en
- een prognose, gebaseerd op een verkeersverwachting: een geluidberekening waarmee de verwachte geluidbelasting in een bepaalde periode wordt bepaald.

Realisatieberekening

Voor een realisatieberekening geldt doorgaans dat de meeste gegevens over het gerealiseerde gebruik van de luchthaven rechtstreeks beschikbaar zijn of kunnen worden afgeleid uit de gegevens die al worden geregistreerd (luchthavenregister, zie ‘Bijlage 8 – Gegevens in het luchthavenregister’. Dit is toegelicht in de volgende paragrafen. Het detailniveau van de gegevens die het gebruik van de luchthaven beschrijven hangt samen met het doel van de berekening en de daarbij gewenste of vereiste nauwkeurigheid. De methode in dit rapport is vooral gericht op het uitvoeren van (gedetailleerde) berekeningen, bijvoorbeeld voor de handhaving op geluidsgrenswaarden. Als minder detailniveau volstaat voor het doel van de geluidberekening (bijvoorbeeld bij een effectstudie), dan kan er met onderbouwing worden afgeweken van de methode in dit rapport.

Prognoseberekening

De bepaling van geluidcontouren voor een toekomstige situatie is vergelijkbaar met de methode voor de bepaling van de geluidcontouren voor een realisatie, maar met het belangrijke verschil dat gegevens over het gebruik van de luchthaven gebaseerd zijn op voorspellingen. Voor een prognoseberekening zullen in meer of minder detail aannames (moeten) worden gedaan met betrekking tot het gebruik van de luchthaven, bijvoorbeeld ten aanzien van het aantal vliegtuigbewegingen, de vlootsamenstelling, het baangebruik en de vliegpaden. De betrouwbaarheid van de resultaten is in belangrijke mate afhankelijk van de kwaliteit van de aannames over het gebruik van de luchthaven. Die aannames zullen onderbouwd en geaccepteerd moeten worden. De wijze waarop de aannames voor een prognose worden vastgesteld, maakt geen deel uit van de methode voor het toepassen van *Doc 29 regionaal*. Het is aan de gebruiker om passende aannames te doen. Hierbij wordt geadviseerd om voor delen van de prognoses, waar mogelijk, gebruik te maken van realisatiegegevens. Voorbeelden hiervan zijn:

- een prognose van het verkeersbeeld op basis van verwachte ontwikkelingen ten opzichte van het huidige verkeersbeeld;
- de nadere geluidkarakteristieken voor een groep vliegtuigen met hetzelfde vliegtuigtype;
- het weer in het verleden en het werkelijke baangebruik bij die weersomstandigheden;
- werkelijke vliegpaden voor vergelijkbare vluchten.

Het vervolg van deze paragraaf beschrijft vooral de totstandkoming van de verschillende invoergegevens voor een realisatieberekening.

3.2.1 Gegevens over het vliegtuig

Voor geluidberekeningen volgens het Doc 29 rekenproces wordt per beweging gebruik gemaakt van geluid- en prestatiekenmerken van vliegtuigen (zie paragraaf 3.3). Deze gegevens zijn per vliegtuig en vliegtuigconfiguratie anders. Voor ECAC Doc 29 wordt het gebruik van een internationale Aircraft Noise

and Performance database (ANP) met gegevens van vliegtuigen onderschreven door ECAC¹⁰. Deze ANP-database bevat de geluid- en prestatiegegevens voor specifieke vliegtuigtypes. De database is echter beperkt in het aantal types en configuraties. Daarom wordt in geluidberekeningen doorgaans gebruik gemaakt van de gegevens van een ‘vergelijkbaar’ (of representatief) vliegtuig via een substitutiemethode. Paragraaf 4.2 beschrijft deze methode en de gegevens die bij het toepassen van de methode nodig zijn.

Dit betreft de volgende kenmerken van het vliegtuig:

- vliegtuigtype;
- motortype;
- maximaal startgewicht van het vliegtuig;
- maximaal landingsgewicht van het vliegtuig;

De benodigde gegevens over het vliegtuig kunnen ontleend worden aan de gegevens die al door de exploitant worden geregistreerd, zie ‘Bijlage 8 – Gegevens in het luchthavenregister’. Per beweging wordt het vliegtuigtype en het luchtvaartuigregistratienummer geregistreerd. De gegevens die nodig zijn voor de substitutie kunnen vervolgens worden afgeleid op basis van het luchtvaartregister van het land waar het vliegtuig is geregistreerd¹¹.

In principe kan op basis van het vliegtuigtype en het luchtvaartregister alle relevante informatie worden achterhaald. In het geval dat de kenmerken van het vliegtuig niet volledig beschikbaar zijn of achterhaald kunnen worden, wordt geadviseerd om een conservatieve koppeling te maken met de gegevens in de ANP database.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Baseer de gegevens van het vliegtuig op de registraties van het vliegtuigtype en het registratienummer van het luchtvaartuig. Met het luchtvaartuigregistratienummer kunnen de benodigde overige gegevens van het vliegtuig eenduidig worden achterhaald. Het vliegtuigtype en het registratienummer van het luchtvaartuig worden al geregistreerd.

3.2.2 Vluchtsoort

De vluchtsoort geeft aan of de beweging een start, een landing of een circuitvlucht betreft. De vluchtsoort wordt geregistreerd in het luchthavenregister en kan daaruit afgeleid worden.

3.2.3 Datum en tijdstip

De Lden geluidbelasting kent een weging voor vluchten overdag, vluchten ‘s avonds en vluchten ‘s nachts. Het tijdstip van de vlucht is daarom van belang om de juiste weging toe te passen:

- Overdag: 7:00-19:00u lokale tijd, weegfactor 1;
- ‘s avonds: 19:00-23:00u lokale tijd, weegfactor $\sqrt{10} \approx 3,162$;
- ‘s nachts: 23:00-7:00u lokale tijd, weegfactor 10.

Als tijdstip van de vlucht worden de baantijden gezien, oftewel:

¹⁰ <https://www.aircraftnoisemodel.org/>

¹¹ Voor in Nederland geregistreerde vliegtuigen: <https://www.ilent.nl/onderwerpen/luchtvaartuigregister>

- voor een start: Het begin van de startrol;
- voor een landing: de tijd van touch down op de baan.

De datum van de vlucht is van belang als gekozen wordt om voor Doc 29 regionaal luchthaven specifieke condities per zomer/winter, per kwartaal of per maand toe te passen.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik de gegevens die al moeten worden bijgehouden in het luchthavenregister om datum en tijdstip van een vlucht te bepalen.

3.2.4 Het baangebruik

Het baangebruik geeft per vlucht de start- of landingsbaanrichting. De aanduiding voor de gebruikte baan moet overeenkomen met de aanduiding van de baan(richting) in de gegevens over de start en landingsbanen. Het baangebruik wordt al geregistreerd in het luchthavenregister.

Voorgesteld is starts vanaf een intersectie afzonderlijk te modelleren als hierover gegevens beschikbaar zijn, zie paragraaf 3.1.4. Het gebruik van intersecties wordt op dit moment nog niet geregistreerd en vormt daarmee een aandachtspunt voor de implementatie van *Doc 29 regionaal*. Het registreren van intersectiestarts is onderdeel van de aanbevelingen in hoofdstuk 7.

3.2.5 Grondpad

Een van de belangrijkste gegevens voor de verdeling van de geluidbelasting over de omgeving zijn de vliegbanen. De geluidberekening in ECAC Doc 29 vindt plaats op basis van een 3D-beschrijving van de vliegbaan. Deze bestaat uit:

- Het grondpad, dit is de projectie van de vliegbaan op het grondvlak;
- Het verloop van de vlieghoogte boven de grond als functie van de afgelegde weg langs het grondpad.

Deze paragraaf beschrijft het grondpad. Het verloop van de vlieghoogte langs het grondpad is beschreven in paragraaf 3.2.6.1 voor starts en in paragraaf 3.2.6.2 voor naderingen.

Paragraaf 2.4.3 van ECAC Doc 29 volume 2 beschrijft de definitie van de vliegpaden afhankelijk van de beschikbaarheid van radardata:

2.4.2 GROUND TRACK DATA

Aircraft ground tracks have to be described by a series of coordinates in the (horizontal) ground-plane. The source of ground track data depends on whether relevant radardata are available or not. If they are, a reliable backbone track and suitable associated (dispersed) sub-tracks can be established by statistical analysis of the data. If not, backbone tracks are usually constructed from appropriate procedural information, e.g. using standard instrument departure procedures from Aeronautical Information Publications. This conventional description includes the following information:

- Designation of the runway the track originates from
- Description of the track origin (start of roll, landing threshold)
- Length of segments (for turns, radius and change of direction)

This information is the minimum necessary to define the core (backbone) track. But average noise levels calculated on the assumption that aircraft follow the nominal routes exactly can be liable to localized errors of several decibels. Thus lateral dispersion should be represented, and the following additional information is necessary:

- Width of the swathe (or other dispersion statistic) at each segment end
- Number of subtracks

Voor de modellering van het grondpad kunnen meerdere bronnen worden gebruikt. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen gerealiseerde grondpaden en theoretische grondpaden.

1. Gerealiseerde grondpaden

Met gerealiseerde grondpaden wordt een registratie van het werkelijke grondpad bedoeld.

Databronnen voor gerealiseerde grondpaden kunnen zijn:

- Flight data recorder (FDR)
- Primary radar
- Secondary surveillance radar
 - ADS-B
 - Mode S (MLAT)

FDR is gebaseerd op GPS en *inertial navigation systems* (INS) aan boord van het vliegtuig. FDR geeft een hoge kwaliteit data, maar is om praktische redenen (betreft gegevens van luchtvaartmaatschappijen en is lastig te ontsluiten) niet systematisch te gebruiken voor geluidanalyses en wordt daarom buiten beschouwing gelaten.

Primary radar dekt vrijwel volledig het luchtruim waar commercieel verkeer vliegt. De radar detecteert de positie van vliegtuigen ten opzichte van de radar met een frequentie van 2 of 4Hz (afhankelijk van het type radar). De radar is een veelgebruikte bron voor geluidanalyses. De accuraatheid is afhankelijk van het type radar. Zo heeft de normale radar vaak slecht zicht dicht bij de grond en biedt (bijvoorbeeld) een vogelradar nauwkeurigere gegevens dicht bij de luchthaven.

Secondary surveillance radar is onder te verdelen in twee technieken: ADS-B en MLAT. ADS-B is een techniek waarbij de positie wordt uitgezonden door het vliegtuig. Evenals FDR-data is deze positie gebaseerd op een combinatie van GPS en INS. De positie wordt typisch uitgezonden met een frequentie van 1Hz. ADS-B is sinds 1 januari 2020 verplicht voor nieuwe toestellen, maar is niet aanwezig op alle toestellen. MLAT Mode-S maakt gebruik van multilateration om de positie van een toestel te bepalen. Hierdoor zijn meerdere ontvangers nodig. De accuraatheid is sterk afhankelijk van de posities van de ontvangers en de mate waarin de transponders aan staan.

2. Theoretische grondpaden

Een theoretisch grondpad is een verwacht grondpad. Databronnen voor theoretische grondpaden kunnen zijn:

- Theoretische routes (o.b.v. procedurele stappen van SID/STAR)
- Modelroutes (nominaal en eventueel spreiding) op basis van AIP en/of radardata
- Historische tracks als representatief ("Noise Load Database")

- Fast-time simulation

Theoretische grondpaden van routes zijn af te leiden uit de procedurele stappen van de SIDs en STARs in de Aeronautical Information Publication (AIP). Op basis van de gegevens in de AIP kan het grondpad bij een vliegroute worden bepaald. Theoretische grondpaden hebben echter als belangrijk nadeel dat er geen rekening wordt gehouden met optredende spreiding als gevolg van bijvoorbeeld invloeden van weer, verschillen in prestaties tussen vliegtuigen en navigatie(on)nauwkeurigheid. Ook kan het vliegtuig afwijken van de theoretische routes op instructie van luchtverkeersleiding. Dergelijke instructies komen voor om het verkeer veilig en doelmatig af te kunnen afhandelen.

Modelroutes zijn gemodelleerde vliegroutes op basis van de nominale paden, vaak met een vorm van spreiding. Ten opzichte van theoretische grondpaden houden modelroutes (meer) rekening met de verwachte ligging van het grondpad, vaak door naast de nominale routes ook rekening te houden met verwachte spreiding. Modelroutes zijn veelal gebaseerd op historische radardata. Modelroutes worden vaak gemaakt voor clusters (verzameling vergelijkbare vluchten). Door een nominale pad te nemen met spreiding en een beperkt aantal subtracks is de modelroute equivalent aan een beperkt aantal grondpaden (per cluster). Elke subtrack heeft een eigen gewicht. Paragraaf 3.4.2 van Doc 29 volume 2 beschrijft hiervoor in algemene zin de aanpak.

In Doc 29 Schiphol wordt gewerkt met een noise load database, eveneens gebaseerd op (recente) historische radardata. In plaats van het afleiden van modelroutes, worden in deze methode historische tracks rechtstreeks gebruikt om als representatief te gelden met gelijke weging. Net als bij modelroutes is clustervorming essentieel. De werkelijke spreiding kan op deze manier beter worden gerepresenteerd dan met modelroutes, welke een vereenvoudiging geven van de werkelijke spreiding.

Met fast-time simulation modellen kan het (luchtruim-)gebruik van een luchthaven worden gesimuleerd. Het model simuleert de afhandeling van het verkeer, gegeven een luchtruimindeling, de ligging van vliegroutes en regels voor de verkeersafhandeling.

Voor Schiphol en de regionale luchthavens met naderingsluchtverkeersleiding wordt de gerealiseerde geluidbelasting al bepaald op basis van radardata. Op basis van de positiewaarnemingen met de radar wordt het vliegpad gereconstrueerd. Deze methode wordt als meest nauwkeurig gezien en in het kader van *Doc 29 regionaal* is er geen aanleiding om hiervan af te wijken. Uitzondering hierop is de berekening van de geluidbelasting voor regionale luchthavens in handhavingspunten die ‘in de nabijheid’ van een start/landingsbaan liggen. Voor die punten wordt de geluidbelasting berekend op basis van dezelfde grondpaden van routes (en spreiding) als in de geluidbelastingberekening voor het vaststellen van de grenswaarde in de handhavingspunten is toegepast.

Dit ligt anders voor een prognoseberekening. Voor een prognoseberekening zijn volgens bovenstaande uiteenzetting verschillende methodes beschikbaar:

- In geval van het ontbreken van radardata: modelroutes op basis van informatie in de AIP, met een horizontale spreiding ten opzichte van nominale routes via spreidingsgebieden met deelroutes (en

bijbehorende grondpaden) en een gedefinieerd percentage voor de hoeveelheid verkeer dat gebruik maakt van een deelroute;

- **In geval van het beschikbaar hebben van radardata:**

- Modelroutes, als hierboven beschreven, maar dan op basis van (recente) radardata. Hierbij kan op basis van (representatieve) radardata onderscheid gemaakt worden tussen verschillende categorieën van luchtvaartuigen en verschillende procedures op de betreffende route als dit relevant blijkt op basis van de radardata;
- Gebruik van radartracks die rechtstreeks gebruikt worden om als representatief te gelden.

De wijze van modellering is daarmee allereerst afhankelijk van de beschikbaarheid van radardata. Voor de twee mogelijke opties voor als radardata beschikbaar zijn, is een nadere analyse uitgevoerd naar het effect van de twee opties. De opzet, methodiek, resultaten en conclusie van deze analyse zijn opgenomen in ‘Bijlage 9 – Analyse naar effect gebruik modelroute vs. radartracks’.

Overwegingen

ECAC Doc 29 benoemt verschillende opties om grondpaden te modelleren. Duidelijk is dat het gebruik van radardata, voor zover beschikbaar en geschikt, de meest nauwkeurige benadering geeft. In de nadere analyse is het verschil onderzocht tussen het gebruik van modelroutes (op basis van radardata) en het gebruik van radartracks.

Uit de analyse volgt geen duidelijke voorkeur voor een methode. Beide methodes voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29, zijn toepasbaar en praktisch haalbaar en geven *in potentie* een hoge nauwkeurigheid. Het gebruik van radartracks sluit aan op de methode die voor Doc 29 Schiphol wordt toegepast, maar de methode is in de uitvoering meer bewerkelijk dan het werken met modelroutes.

De nauwkeurigheid van beide methodes is *in potentie* hoog. De nauwkeurigheid valt of staat echter wel met een goede radardata-analyse voor de nadere invulling van de modellering. Modelroutes zijn een versimpeling van de praktijk. Een vergaande versimpeling zal ten koste gaan van de kwaliteit. Als er bijvoorbeeld twee verkeersstromen zichtbaar zijn voor dezelfde route, zal een uitsplitsing naar twee routes gemaakt moeten worden. Ook moet er bijvoorbeeld aandacht zijn voor de statistische analyse om te komen tot de juiste ligging van de nominaal route en deelroutes.

Voor beide methodes geldt dat de gebruiker er alert op moet zijn dat er voldoende detaillering is in de clusters. Is de ligging van de grondpaden afhankelijk van bijvoorbeeld vliegtuigtype of vliegprocedure, dan dient hier onderscheid in gemaakt te worden.

Beide methodes voldoen daarmee aan de eisen en wensen.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik voor een prognoseberekening radardata als deze beschikbaar en geschikt zijn. De keuze of op basis van radartracks gemodelleerd wordt, of met modelroutes gebaseerd op radartracks is aan de gebruiker. Het gebruik van radardata vergt een zorgvuldige data-analyse voor het maken van de juiste keuzes in de modellering. Met een analyse moet worden aangetoond dat de data representatief zijn. Als

radardata niet beschikbaar zijn, dan moet in principe worden teruggevallen op modelroutes op basis van de AIP. Ook hier moet de gebruiker voldoende aandacht besteden aan een zorgvuldige modellering van de nominale routes en spreiding en beoordelen in hoeverre de modellering naar verwachting aansluit bij het werkelijke gebruik.

Voor realisatieberekeningen dienen ook radardata te worden gebruikt als deze beschikbaar zijn. Als radardata niet beschikbaar zijn, dient te worden teruggevallen op de modelroutes die ook bij de prognoseberekening zijn toegepast.

3.2.6 Prestatieprofielen

Voor de start zijn in praktijk meerdere startprocedures beschikbaar. De procedure die wordt toegepast kan verschillen per luchthaven, maatschappij en de situatie in het luchtruim. Vergelijkbaar met starts wordt ook de nadering op verschillende manieren uitgevoerd. In de geluidmodellering wordt dit ondervangen door de meest representatieve prestatiegegevens van het vliegtuig te gebruiken. De prestatiegegevens (prestatieprofielen) beschrijven de hoogte, snelheid en stuwkracht als functie van de afgelegde weg.

Het geluid en de prestaties van vliegtuigen worden gebaseerd op de gegevens in de ANP-database, zie paragraaf 3.3. Met de vliegtuigenmerken in die database kunnen voor verschillende startprocedures en bij verschillende startgewichten startprofielen worden gemaakt. Het maken van de prestatieprofielen valt buiten de methode voor de toepassing van *Doc 29 regionaal*. De toekenning van het startprofiel is wel onderdeel van de methode voor *Doc 29 regionaal*.

3.2.6.1 Starts

Voor de toewijzing van het startprofiel wordt in Doc 29 Schiphol het volgende gehanteerd:

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.

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 verkeersscenario's van de MER. Dit betekent dat de geselecteerde startprocedure afhankelijk is van de vliegtuigmaatschappij.

Verwacht wordt dat, in lijn met Doc 29 Schiphol en met de (standaard-)profielen in de ANP-database, besloten zal worden om startprofielen beschikbaar te maken voor meerdere startgewichten en verschillende (varianten van) startprocedures.

Voor de startprocedures zal, naar verwachting, onderscheid worden gemaakt naar Noise Abatement Departure Procedures NADP1 en NADP2. De startprocedures verschillen in het moment waarop de piloot na het opstijgen begint met versnellen. Daarnaast kan verder onderscheid worden gemaakt naar bijvoorbeeld de hoogte waarop de acceleratie naar klimsnelheid wordt ingezet of de hoogte van de overgang van de stuwwerkt die bij de start wordt gebruikt (take-off thrust) naar de stuwwerkt die voor de verdere klim wordt gebruikt (climb thrust). Ook kan het nodig zijn om onderscheid te maken tussen CCO's (starts die optimaal zijn voor de prestatie van het vliegtuig en omgeving) en starts met restricties in hoogte en snelheid. De procedures die in praktijk worden toegepast kunnen verschillen per luchthaven, luchtvaartmaatschappij en de situatie in het luchtruim. Daarnaast kan in praktijk 'derating' worden toegepast. Bij derating wordt bij de start minder motorvermogen toegepast, zeker bij een start met een relatief laag startgewicht en een lange startbaan.

In Doc 29 Schiphol wordt de procedure toegekend per maatschappij. Hiervoor is door de luchthaven een inventarisatie gedaan onder de maatschappijen.

Daarnaast zullen, naar verwachting, startprofielen beschikbaar worden gemaakt bij verschillende startgewichten, omdat ook het startgewicht invloed heeft op de vliegprestaties. In Doc 29 Schiphol is bij het maken van de profielen aangesloten bij de maximaal 9 categorieën (startgewichten) die gegeven zijn in de ANP-database. Per startgewicht is een afzonderlijk prestatieprofiel gemaakt. De selectie van het profiel voor een vlucht wordt in Doc 29 Schiphol gebaseerd op de vliegafstand (grootcirkelafstand) van de luchthaven van vertrek (Schiphol) tot de eerste luchthaven van bestemming. De indeling is als volgt:

Tabel 2: Relatie afstandsklasse en grootcirkelafstand.

Afstandsklasse	Vliegafstand (in nautische mijlen)
1	Minder dan 500 nm
2	500 tot 1.000 nm
3	1.000 tot 1.500 nm
4	1.500 tot 2.500 nm
5	2.500 tot 3.500 nm
6	3.500 tot 4.500 nm
7	4.500 tot 5.500 nm
8	5.500 tot 6.500 nm
9	Meer dan 6.500 nm

Met deze toekenning wordt een relatie verondersteld tussen de vliegafstand en het startgewicht. Deze veronderstelling is gebaseerd op de logica dat voor een langere vlucht meer brandstof nodig is en wordt meegenomen en het toestel bij start daardoor zwaarder is. De bestemming van een vlucht is bij vertrek bekend en geregistreerd.

In praktijk zal het startgewicht afhangen van de belading van het toestel en de werkelijke hoeveelheid brandstof die wordt meegenomen. Hierdoor kan er een verschil zitten tussen het daadwerkelijke startgewicht en het startgewicht op basis van de vliegafstand. Tabel 3 illustreert (op basis van praktijkdata van een regionale luchthaven met hoofdzakelijk low-cost maatschappijen) hoe de verdeling over afstandsklassen o.b.v. het daadwerkelijke startgewicht en o.b.v. de afstand tot de bestemming zich tot elkaar kan verhouden voor een enkel vliegtuigtype.

Tabel 3: Daadwerkelijke startgewicht t.o.v. ANP startgewicht.

Categorie o.b.v. Actual Take-off Weight (ATOW)	Categorie o.b.v. afstand bestemming			
	Afstandsklasse 1	Afstandsklasse 2	Afstandsklasse 3	Afstandsklasse 4
Afstandsklasse 1	8%	2%	4%	0%
Afstandsklasse 2	7%	7%	5%	0%
Afstandsklasse 3	1%	8%	14%	0%
Afstandsklasse 4	0%	2%	17%	5%
Afstandsklasse 5	1%	2%	1%	12%
Afstandsklasse 6	0%	0%	0%	2%

Tabel 3 laat zien dat een deel van het verkeer op basis van het daadwerkelijke startgewicht ingedeeld zou worden in een hogere afstandsklasse (oranje cellen). Tegelijkertijd zouden er ook bewegingen worden ingedeeld in gelijke (groene cellen) of een lagere afstandsklasse (blauwe cellen).

Om het effect van het gebruik van daadwerkelijke startgewichten voor de selectie van het startprofiel inzichtelijk te maken is er een verdiepende analyse uitgevoerd. De resultaten van deze analyse zijn te vinden in ‘Bijlage 10 – Analyse naar effect gebruik werkelijke startgewicht’.

Overwegingen

Voor een gerealiseerde vlucht kan het verloop van hoogte en snelheid worden afgeleid uit radardata (als deze beschikbaar zijn). De stuwwerk is echter niet rechtstreeks beschikbaar en is voor starts afhankelijk van de startprocedure, startgewicht en meteorologische omstandigheden. Voor naderingen (zie §3.2.6.2) kan het prestatieprofiel worden toegekend op basis van het best overeenkomende hoogteprofiel met de hoogtes van de radarregistraties. Doordat voor starts, meer dan voor landingen, meerdere variabelen van invloed zijn op het hoogte- en snelheidsverloop en de stuwwerk meer bepalend is voor het brongeluid, kan niet zonder meer het ‘juiste’ startprofiel worden geselecteerd op basis van het beste passende hoogteprofiel. Er zal een andere definitie van de afwijkingsscore moeten komen om ervoor te zorgen dat de methode past bij de eigenschappen van starts en een analyse moet uitwijzen of de toekenning hiermee voldoende accuraat te maken is. De methode hiervoor heeft een directe relatie met de nadere uitwerking van startprofielen, zie paragraaf 3.3.

Om dezelfde methode toe te passen als Doc 29 Schiphol (selectie van de startprocedure op basis van maatschappij), is per luchthaven een actuele inventarisatie bij maatschappijen noodzakelijk. De luchthavenexploitant zal de informatie die hiervoor nodig is kunnen ophalen bij de maatschappijen. Controles op de informatie kunnen gedaan worden op basis van een analyse van de radardata.

Uit de analyse blijkt dat voor de selectie van het startgewicht, een selectie op basis van vliegafstand tot een lagere nauwkeurigheid kan leiden. Het gebruik van het werkelijk startgewicht zou om die reden sterk de voorkeur hebben. Het daadwerkelijk startgewicht wordt echter momenteel niet standaard geregistreerd door de luchthavenexploitant. Een verdere analyse is nodig om na te gaan of de data beschikbaar te maken zijn.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik voor de toewijzing van het startprofiel de volgende methode:

1. Koppel het startprofiel op basis van het geregistreerd startgewicht indien dit beschikbaar (te maken) is op basis van registraties. Als terugval geldt de koppeling op basis van vliegafstand.
2. Koppel de startprocedure op basis van de resultaten van een inventarisatie naar de toepassing van de startprocedure per maatschappij.

De methode kan worden herzien in samenvang met de nadere afleiding van de prestatieprofielen, zie paragraaf 3.3.

3.2.6.2 Naderingen

Voor de toewijzing van het naderingsprofiel in Doc 29 Schiphol wordt het volgende gehanteerd:

3.2 Toewijzing prestatieprofiel

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.

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.

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 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.

Verwacht wordt dat, in lijn met Doc 29 Schiphol en met de (standaard) profielen in de ANP-database, besloten zal worden om verschillende naderingsprofielen beschikbaar te maken. Voor naderingen zijn dit onder andere Continuous Descent Approach (CDA) procedures, met verschillende (initiële) daalhoeken en procedures met horizontale afvlakkingen op bijvoorbeeld 2000, 3000 en 4000 voet.

Voor Doc 29 Schiphol zijn de profielen afgeleid op basis van de hoogtes en snelheden van gerealiseerde vluchten in het verleden. Op basis van het werkelijke hoogteverloop van die vluchten, zijn een aantal

standaardprofielen vastgesteld. Het snelheidsverloop voor deze profielen is gebaseerd op de gemiddelde vliegsnelheid van de meest overeenkomstige vluchten met het hoogteverloop.

Indien van toepassing moet er daarnaast een keuze worden gemaakt tussen het gebruik van full flaps of reduced flaps voor de eindnadering. Het gebruik van full flaps en reduced flaps kan verschillen per luchthaven en/of luchtvaartmaatschappij. Het is tevens afhankelijk van het vliegtuigtype, de lengte van de baan, de procedures van de luchtvaartmaatschappij, het landingsgewicht en het weer. Het gebruik van een reduced flap setting in plaats van een full flaps setting heeft een positief (reducerend) effect op het geluid in de omgeving van de luchthaven. In het huidige rekenvoorschrift voor de regionale luchthavens wordt op dit moment enkel gebruik gemaakt van full flaps naderingen. Voor regionale luchthavens is het onbekend wat de impact is bij gebruik van reduced flaps profielen en of het noodzakelijk is om deze toe te passen. Om dit inzichtelijk te maken is er een verdiepende analyse uitgevoerd, waarvan de resultaten te vinden zijn in ‘Bijlage 11 – Analyse naar effect gebruik full flaps/reduced flaps’.

Overwegingen

Voor een gerealiseerde vlucht kan het verloop van hoogte (en snelheid) worden afgeleid uit radardata (als deze beschikbaar zijn). Er is geen aanleiding om voor de keuze van de naderingsprocedure (en daarmee het prestatieprofiel) af te wijken van Doc 29 Schiphol, oftewel een koppeling van het profiel op basis van de beste overeenkomst met vooraf vastgestelde profielen.

Het gebruik van full of reduced flaps heeft invloed op de geluidbelasting. Als er gegevens beschikbaar zijn over het gebruik, dan zal het meenemen daarvan tot een nauwkeuriger rekenresultaat leiden (ondanks de mogelijke kleinere bijdrage van naderend verkeer aan de jaargemiddelde geluidbelasting op locaties waar ook geluid van startend verkeer is). Daarin is onderscheid maken tussen maatschappij/luchthaven realistischer en dus nauwkeuriger dan een vaste mix hanteren. Over het gebruik van de flaps tijdens een nadering zijn nog geen gegevens beschikbaar bij de luchthavenexploitant.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik voor de toewijzing van het naderingsprofiel de volgende methode:

- Koppel het naderingsprofiel op basis van dezelfde methode als in Doc 29 Schiphol: selectie op basis van afwijkingsscore voor de gevlogen hoogte ten opzichte van de beschikbare profielen.
- Koppel de flapsetting op basis van de resultaten van een inventarisatie naar de toepassing per maatschappij.

3.3 Geluid- en prestatiegegevens

De gegevens over het geluid en de prestaties van vliegtuigen zijn een belangrijk onderdeel van de invoergegevens die worden gebruikt bij het uitvoeren van geluidberekeningen:

- Geluid – de basisgeluidniveaus van het vliegtuig. Deze noise-power-distance (NPD) gegevens, geven in tabelvorm de referentie geluidwaarden bij combinaties van stuwwerktrekkracht en afstand.
- Prestaties – het verloop van hoogte, snelheid en stuwwerktrekkracht voor een start of nadering.

Rondom de te gebruiken gegevens staan een aantal vragen centraal:

- 1) Welke bron wordt gebruikt?

- 2) Welke keuzes worden gemaakt rondom het samenstellen van (representatieve) prestatiegegevens?
- 3) Hoe wordt omgegaan met het beschikbaar komen van nieuwe gegevens?

Paragraaf 2.3 van ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft welke geluid- en prestatiegegevens door ECAC worden voorgesteld voor het uitvoeren van geluidberekeningen.

2.3 AIRCRAFT NOISE AND PERFORMANCE

To support this methodology, ECAC recommends use of data from the on-line international Aircraft Noise and Performance (ANP) database (www.aircraftnoisemodel.org) which is fully described in Appendix G.

The ANP database contains aircraft and engine performance coefficients and NPD relationships for a substantial proportion of civil aircraft operating from airports in ECAC states. In particular, data on additional aircraft types, old and new, will be added as soon as they have been supplied to, and verified by, the database managers.

All new inputs are supplied or endorsed by the aircraft manufacturers and generated according to SAE specifications that are approved by ECAC. For aircraft that are common to both, the data are identical to those in the US INM database. For aircraft types or variants for which data are not currently listed, Volume 1 provides guidance on how they can best be represented by data for other, normally similar, aircraft that are listed.

The ANP database includes default 'procedural steps' to enable the construction of flight profiles for at least one common noise abatement departure procedure. More recent database entries cover two different noise abatement departure procedures. However it should be noted that these carry the caveat: "Users should examine the applicability of ANP database default 'procedural steps' to the airport under consideration. These data are generic and in some cases may not realistically represent flight operations at your airport."

Although the manufacturers and database managers strive to ensure that the data are generated in strict accordance with the standard specifications, ultimate validation of the ANP data lies effectively within the province of the user; at present there is no practicable way in which the accuracy of the data entries can be systematically and independently checked. Inconsistencies or deficiencies are most likely to be discovered by users who compare model predictions with measured data. Evidence of inconsistencies is fed back to the data suppliers through the database managers. The suppliers then decide on the action required; only they can amend or approve database entries. To this end it must be recognised that acquiring reliable measured data is a very demanding task and it is necessary for data users to demonstrate that the evidence they provide meets acceptable quality criteria. It is anticipated that a future Volume 3 of this guidance will specify appropriate procedures for comparing measured and modelled noise levels. These will be designed to provide assurance that the supporting information can be relied upon.

In de basis beveelt ECAC Doc 29 aan om geluid- en prestatiegegevens rechtstreeks over te nemen uit de Aircraft Noise and Performance (ANP)-database. Deze database wordt beheerd door EUROCONTROL en

EASA¹². Er wordt wel explicet benoemd dat de ANP-gegevens generiek toepasbaar zijn en dat de gebruiker zelf verantwoordelijk is om de representativiteit van de gegevens te bepalen.

In Doc 29 Schiphol is het advies van ECAC Doc 29 om de ANP-database te gebruiken overgenomen. Ook is er conform ECAC Doc 29 een analyse uitgevoerd om de representativiteit van de gegevens in de ANP-database voor de situatie op Schiphol te toetsen. Op basis hiervan is het volgende gehanteerd in Doc 29 Schiphol:

Vliegprestatiegegevens

ECAC Doc 29 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 moderne vliegtuigtypes is als laatste stap nog derating op de startprofielen toegepast. 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 vluchttuitvoering, zie paragraaf 3.2.2.

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.

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 stuwkachtprofiel. 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.

¹² <https://www.aircraftnoisemodel.org/>

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.

1) Welke bron wordt gebruikt?

Er is geen aanleiding om voor de keuze voor de te gebruiken (basis) database-gegevens af te wijken van Doc 29 Schiphol, oftewel het gebruik van ANP gegevens.

2) Welke keuzes worden gemaakt rondom het samenstellen van (representatieve) prestatiegegevens?

Het maken van prestatieprofielen valt buiten de methode voor de toepassing van *Doc 29 regionaal*. Wel zijn er, op basis van de ervaringen vanuit de ontwikkeling van profielen voor Schiphol en inzichten vanuit de ontwikkeling van *Doc 29 regionaal*, enkele aandachtspunten voor de ontwikkeling van de profielen voor de regionale luchthavens. Deze zijn gerelateerd aan de luchthaven specifieke kenmerken:

- De baanlengte: de baanlengte verschilt per luchthaven en heeft mogelijk invloed op de derating;
- Gebruik van intersecties: starts vanaf een intersectie dienen mogelijk afzonderlijk te worden gemodelleerd vanwege mogelijke verschillen in derating, zie hieronder;
- Luchthaven specifieke meteorologische omstandigheden (zomer/winter) en hoogteligging: deze verschillen in omstandigheden zijn mogelijk van invloed op de nauwkeurigheid.

Geadviseerd wordt om voor het samenstellen van passende profielen een analyse te doen op basis van positiewaarnemingen (x, y, z) van het vliegverkeer en een analyse te doen naar de impact op de geluidbelasting, vergelijkbaar met de nadere analyses in dit rapport.

3) Hoe wordt omgegaan met het beschikbaar komen van nieuwe gegevens?

Bij de implementatie van Doc 29 Schiphol is ANP-versie 2.1 gebruikt. Sinds December 2012 zijn er 4 verschillende versies van de ANP-database gepubliceerd. Na de initiële versie (versie 2.0) zijn er nog drie updates doorgevoerd: in 2016 (versie 2.1), in 2018 (versie 2.2) en in 2020 (versie 2.3). Deze updates bevatten enerzijds geluid- en prestatiegegevens van nieuw toegevoegde vliegtuigtypes alsmede correcties en aanvullingen op de gegevens die in eerdere versies zijn opgenomen. Omdat er periodiek nieuwe, gecorrigeerde of aanvullende gegevens worden gepubliceerd, is het van belang om het effect van het gebruik van de meest recente gegevens te toetsen. Een analyse naar de mogelijke effecten bij het gebruik van nieuwe ANP-gegevens is opgenomen in ‘Bijlage 12 – Analyse naar effect gebruik nieuwe ANP-gegevens’.

Met de voorgestelde substitutiemethode (zie paragraaf 4.1) wordt de invloed van de nieuwe gegevens in zekere mate beperkt. De methode corrigeert namelijk voor het verschil in geluidsniveaus van het door te rekenen vliegtuigtype en het vliegtuigtype dat in de geluidberekening wordt toegepast. Deze correctie wijzigt mee als er een ander vliegtuigtype wordt toegepast in de berekening. Concreet betekent dit dat als een vliegtuigtype eerst niet beschikbaar was in de ANP database, de berekeningen gebaseerd worden op een ander type, met een correctie op basis van de certificatienniveaus.

Uit de nadere analyse blijkt echter dat er met een nieuwe ANP versie toch significante verschillen kunnen ontstaan, ook als er na substitutie een correctie wordt toegepast op basis van de certificatienniveaus van

de vliegtuigen. Deze verschillen treden op als het verschil in berekende geluidbelasting tussen twee vliegtuigen, bijvoorbeeld 3 dB, niet gelijk is aan het verschil in certificatienniveaus en niet constant is voor het gebied waar de geluidbelasting wordt berekend.

Zowel de geluidcertificatienniveaus als de ANP data zijn van hoge kwaliteit, zijn door verificatie en validatie betrouwbaar en de best beschikbare gegevens. De trend die te zien is in de afgelopen jaren, is dat de kwaliteit en dekking van de ANP data toeneemt. Op basis van expert judgement is de verwachting dat in de toekomst de gegevens voor toestellen voor meer dan 30 passagiers beter en meer volledig zullen worden, waardoor er minder substitutie nodig is.

Desalniettemin zijn er beperkingen en methodische verschillen door aannames in de methode om ANP gegevens te corrigeren bij het gebruik van substitutie, bijvoorbeeld:

- Het verschil in EPNdB (de eenheid van de certificatienniveaus) wordt met de substitutiemethode een-op-een representatief geacht voor het verschil in SEL (de eenheid die wordt gebruikt voor Lden bepalingen). Dit is niet geheel juist omdat deze eenheden een andere spectrale weging van het geluid gebruiken.
- Ook wordt impliciet verondersteld dat de verschillen in EPNdB, gemeten in het certificatiepunt, voor het gehele gebied van de geluidberekening van toepassing zijn, wat onwaarschijnlijk is als gevolg van verschillen in de prestaties tussen vliegtuigen.
- Bij de certificatie wordt gewerkt volgens verschillende selectie voor het motorvermogen. Zo wordt het laterale certificatienniveau gemeten met vol vermogen en het flyover certificatienniveau met gereduceerd vermogen (en NADP1 of NADP2).
- Voor 2010 werd gegevens voor de ANP database direct overgenomen van de fabrikant, waar er nu ook verificatie op de dataset plaatsvindt door VOLPE en EASA (met een nauwkeurigheid van +/- 1 dB(A)) waarbij ook de motorvermogen setting van NPD data wordt geverifieerd.
- Binnen hetzelfde toesteltype kan de correctie in voorkomende gevallen niet volledig correct zijn. Een voorbeeld is de 737 familie, waarbij er meerdere toestellen zijn met een correctiewaarde van 0 dB(A) voor startend verkeer, maar dat er binnen deze toestellen wel een variatie is in de laterale en flyover certificatienniveaus. Dit is ook de aanleiding geweest om het toesteltype een van meerdere factoren te laten zijn in het substitutieprotocol van Doc 29 voor Schiphol¹³.

Andere beperkingen rondom het gebruik van nieuwe gegevens is de snelheid waarmee updates van de ANP database komen. De updates komen niet snel, omdat het lastig is om snel nieuwe data te publiceren.

Overwegingen

Uit de analyse blijkt dat het gebruik van nieuwe prestatiegegevens zonder correctie van de geluidsruimte niet toepasbaar en praktisch haalbaar is. Daarentegen levert ook het corrigeren van de geluidsruimte bij gebruik van nieuwe ANP gegevens bezwaren op, omdat dit minder eenduidig en navolgbaar is. Daarmee rijst de vraag of het toepassen van nieuwe ANP gegevens überhaupt wenselijk is. Typisch zitten er jaren tussen de updates van de ANP database. Inachtnemende dat bij elk nieuw luchthavenbesluit gebruik wordt gemaakt van de op dat moment meest actuele ANP gegevens, zullen de geldende ANP gegevens

¹³ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-875160.pdf>

niet dermate verouderd zijn dat deze onbruikbaar zijn. De harde eis van eenduidigheid en/of praktisch haalbaarheid weegt hierbij zwaarder dan de wens van nauwkeurigheid.

Verschillen in geluidniveaus door gebruik van verschillende ANP versies zullen blijven, ook na correctie bij substitutie. De huidige methode voor het bepalen van de correctie bij substitutie op basis van certificatienniveaus kent zijn beperkingen. Het is aannemelijk dat met de beschikbare data, zoals de ANP gegevens, certificatienniveaus en metingen een betere methode voor te stellen is waardoor ook de geluidbepalingen met oudere ANP gegevens accurater worden.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Voor het gebruik van geluid- en prestatiegegevens dient in de basis gebruik te worden gemaakt van ANP gegevens zoals beschikbaar gesteld door EUROCONTROL. Deze gegevens dienen geschikt te worden gemaakt voor gebruik voor de regionale luchthavens.

Het rijk dient een afweging te maken hoe beleidmatig met nieuwe gegevens in de ANP database (of nieuwe inzichten in het algemeen) dient te worden omgegaan. Daarbij kan worden onderzocht of op basis van de beschikbare gegevens een betere geluidniveau correctie kan worden toegepast om het verschil bij gebruik van verschillende ANP databases (na correctie) kan worden beperkt.

3.4 Studiegebied

Geluidcontouren kunnen worden bepaald door op meerdere punten in de omgeving van de luchthaven, in een voldoende groot studiegebied, de geluidbelasting te berekenen. Om praktische redenen betreft dit vaak een rekenraster, met daarin rasterpunten op een vaste afstand van elkaar. ECAC Doc 29 schrijft niet voor op welke manier het rekenraster moet worden ingericht.

Voor Schiphol wordt voor het studiegebied het volgende gehanteerd.

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.

De keuzes voor het studiegebied zijn daarmee op te delen in twee onderdelen:

- de afmeting en maaswijdte van het studiegebied
- de hoogte van de rekenpunten.

Afmetingen en maaswijdte van rekenraster

Ook voor regionale velden is het van belang om de afmeting van het rekenraster zo te bepalen dat de laagst relevante geluidniveaus binnen het studiegebied vallen (conform Doc 29 Schiphol). Echter zal het

studiegebied voor regionale luchthavens doorgaans kleiner uitvallen doordat er minder bewegingen zijn, die nagenoeg altijd bestaan uit kleinere, en daarmee veelal minder lawaaiige, vliegtuigtypen. Hierdoor is het ook de vraag of een maaswijdte (afstand tussen twee rekenpunten) van 250m zoals beschreven in Doc 29 Schiphol voldoende nauwkeurig is. Het huidige rekenvoorschrift voor regionale luchthavens (NRM) schrijft voor dat de maaswijdte in het raster maximaal 100 meter mag bedragen. In 'Bijlage 14 – Analyse naar effect maaswijdte op geluidcontour' is met een nadere analyse in kaart gebracht wat het effect is van verschillende maaswijdtes op de nauwkeurigheid van de contour.

Overwegingen

Uit de resultaten van de nadere analyse blijkt dat een maaswijdte van 500 meter of 250 meter een minder hoge nauwkeurigheid geeft ten opzichte van een maaswijdte van 100 meter of 50 meter. Ondanks dat alle methodes toepasbaar zijn, kan niet gesteld worden dat de meest nauwkeurige methode acceptabel is qua inspanning en kosten. Zo leidt het 50 meter raster tot een verviervoudiging in het aantal rasterpunten ten opzichte van een 100 meter raster, wat ervoor zorgt dat ook de omvang van de berekening toeneemt. Alles overwegend lijkt een maaswijdte van 100 meter een voldoende hoge nauwkeurigheid te hebben met beperkte kosten en inspanning bij de nu gangbare contourwaardes.

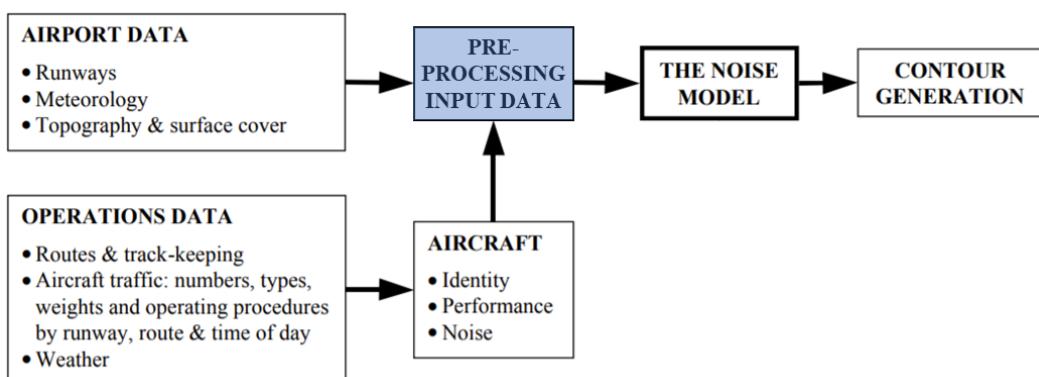
MVoorstel methode voor Doc 29 regionaal

Gebruik voor de modellering van de geluidbelasting in het studiegebied de volgende methode:

- Gebruik een raster dat groot genoeg is zodat de laagst relevante geluidniveaus die in kaart gebracht moeten worden binnen het studiegebied vallen.
- Gebruik standaard een raster met een afstand van 100 meter tussen de rekenpunten.
- Voor toepassingen die een hoge nauwkeurigheid vragen (bijvoorbeeld het vaststellen van een beperkingengebied) dient een gevoeligheidsanalyse te worden uitgevoeren naar de invloed van de maaswijdte op de ligging van de contour. Als de ligging van de contour niet significant wijzigt bij een halvering van de maaswijdte, hoeft niet verder verfijnd te worden.

4 Voorbewerking

Dit hoofdstuk heeft betrekking op de keuzes voor *Doc 29 regionaal* met betrekking tot de voorbewerking van de invoergegevens van het rekenmodel. Deze voorbewerking is noodzakelijk om de complexiteit van de berekeningen te verkleinen. Paragraaf 4.1 geeft de wijze waarmee de verschillende vliegtuigtypes worden toegewezen aan de representatieve vliegtuigtypes uit de ANP database. De bewerking van het grondpad zodat deze geschikt is voor het rekenen met Doc 29 is beschreven in paragraaf 4.2. Paragraaf 4.3 geeft inzicht in de correcties van de geluidgegevens als gevolg van de meteorologische condities. In paragraaf 4.4 wordt ingegaan op de keuzes omtrent het meenemen van effecten van bochten.



Figuur 3: Focus voorbewerking van de invoergegevens binnen rekenproces geluidbelasting.

Steeds is een volledig overzicht gegeven van alle elementen in het rekenproces met betrekking tot de voorbewerking van de invoergegevens en een voorstel voor de invulling daarvan voor *Doc 29 regionaal*.

4.1 Substitutie

Het afgelopen decennia is de hoeveelheid data en informatie voor het uitvoeren van geluidberekeningen substantieel toegenomen.

In een geluidberekening volgens Doc 29 wordt gebruik gemaakt van geluid- en prestatiegegevens van vliegtuigen uit de ANP-database. De ANP-database bevat relevante gegevens voor het uitvoeren van geluidberekeningen. De database bevat momenteel gegevens van 154 vliegtuigtypes, varierend van groot commercieel vliegverkeer tot klein en militair verkeer. Dit staat echter in schril contrast van de alleen al ruim 20.000 unieke vliegtuigtype-uitvoeringen voor straalvliegen zoals opgenomen in de EASA geluidcertificatiadb¹⁴. Voor hooguit een beperkt aantal vluchten zal dus het exacte vliegtuigtype zijn opgenomen in de ANP-database. Voor het overige verkeer zal gebruik moeten worden gemaakt van de gegevens van een vergelijkbaar vliegtuig. Om deze koppeling te maken is een methode nodig. In paragraaf 6.4 van Volume 2 van ECAC Doc 29 is beschreven op welke wijze deze koppeling kan worden gemaakt.

6.4.4 ECAC RECOMMENDED SUBSTITUTION METHOD

The ANP database provides performance and NPD data for a list of specific airframe-engine combinations which represent a large proportion of the aircraft

¹⁴ <https://www.easa.europa.eu/domains/environment/easa-certification-noise-levels>

types that make up today's commercial civil aircraft fleets. However, the ANP database does not include all the existing types, models and variants which are operated around the world. Therefore, the available ANP aircraft may not always be sufficient to model the full set of operations at a given airport, hence the need for the noise modellers to use aircraft substitutions. Substitution means replacing a missing aircraft with a similar ANP aircraft, often referred to as a 'proxy' aircraft.

A proxy may be used 'as is' to model the operations by the missing aircraft. This is referred to as a 'one-to-one' substitution. However, it is recommended to make adjustments, where appropriate, to take into account possible differences in noise performance between the missing and the proxy aircraft. This can be done using either of the following methods:

- Method A: create a new entry in the ANP database, defined as a duplicate of the proxy aircraft with adjusted NPD data
- Method B: adjust the number of movements of the proxy aircraft in the input operations, i.e. one movement by the missing aircraft is replaced by N movements of the proxy aircraft (N can be a decimal number).

Method A may be the more resource-intensive option as it requires modification of the ANP database in the model, however the adjustments are reflected in all noise metrics, including maximum sound level metrics such as L_{Amax}. Method B may be easier to implement as only the input operations need to be modified, however it only applies to the calculation of equivalent sound levels, such as L_{Aeq}.

The calculation of the adjustments for each method, and the approach for selecting a suitable proxy, are described in the following sections [6.4.4.1 and 6.4.4.2].

Ten tijde van de ontwikkeling van Doc 29 Schiphol was de door ECAC aanbevolen substituimetode, de substituimetode opgenomen in de ANP database, nog niet beschikbaar. Voor de implementatie van Doc 29 voor Schiphol is ervoor gekozen om een substitutieprotocol op te stellen, in lijn met de methodiek die de ECAC hiervoor heeft opgenomen in Doc 29.

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 Doc 29 implementatie voor Schiphol is een verdere uitwerking van de substituimetode die wordt aanbevolen bij gebruik van Doc 29. 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 feit dat er nieuwe substitutiemethodes beschikbaar zijn (verschillende ANP substitutiemethoden) geeft aanleiding om te onderzoeken welke methode het meest geschikt is voor de implementatie van *Doc 29 regionaal*. Om inzichtelijk te maken wat de mogelijke effecten zijn van de verschillende beschikbare substitutiemethodes bij het bepalen van de jaargemiddelde geluidbelasting is er een analyse uitgevoerd. In deze analyse zijn drie substitutiemethodes toegepast op eenzelfde verkeerssamenstelling en aansluitend getoetst aan de eisen en wensen. De opzet, methodiek, resultaten en conclusies van deze analyse zijn te vinden ‘Bijlage 15 – Analyse naar effect van verschillende substitutiemethodes’.

Overwegingen

Om de substitutiemethode te bepalen voor *Doc 29 regionaal* zijn drie varianten onderzocht:

1. De ANP substitutielijst op vliegtuigtype niveau (ICAO)
2. Schiphol substitutielijst/protocol
3. De ANP substitutielijst op vliegtuigtype/motor combinatie niveau

Alle drie de methoden voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29. De ANP substitutielijst op vliegtuigtype niveau (ICAO) gebruikt enkel het ICAO type in de substitutie. Bij het toepassen van deze methode wordt er een correctie toegepast op het ANP-type op basis van de meest luidruchtige variant van dit vliegtuigtype. De correctie is gebaseerd op de geluidcertificatiewaarden. Deze methode is daarmee het meest conservatief.

Het Schiphol protocol en de ANP substitutielijst op basis van vliegtuigtype én motortype maken gebruik van meer gedetailleerde gegevens voor de koppeling. Ook hier wordt een correctie toegepast, met dat verschil dat een fijnmazigere correctie wordt toegepast.

Het gebruik van de ANP substitutielijst op vliegtuigtype/motor combinatie niveau sluit het beste aan bij hetgeen wordt voorgeschreven in ECAC Doc 29.

Voorstel methode voor *Doc 29 regionaal*

Pas de ANP substitutielijst op vliegtuigtype én motortype toe met het detailniveau voor zover gegevens beschikbaar zijn. Hanteer een conservatieve benadering (overschatting van het geluid) indien gegevens niet beschikbaar zijn. Ter illustratie: als wel de ICAO type aanduiding en het startgewicht beschikbaar zijn, maar geen informatie beschikbaar is van het motortype, maak dan gebruik van de hoogste correcties op het niveau van ICAO type aanduiding en het startgewicht.

Voor het vaststellen van het representatief type (proxy) en correctiefactoren voor nieuwe vliegtuigtypes (die nog niet opgenomen zijn in deze ANP substitutielijst op vliegtuigtype/motor combinatie niveau) dient de gebruiker te beargumenteren welke proxy en correctiefactoren gehanteerd moeten worden op basis van de substitutiecriteria opgenomen in paragraaf 6.4.4.1 van ECAC Doc 29 Volume 1.

4.2 Grondpad bewerking

De bewerking van de grondpaden is afhankelijk van het type invoergegevens (zie paragraaf 3.2.5). Bij het gebruik van theoretische grondpaden, dient het grondpad gemodelleerd te worden met inachtneming van de eisen ten aanzien van het grondpad (zie hierna). Bij het gebruik van radardata is bewerking van de

radardata nodig om te komen van de positiewaarnemingen van de radardata tot de lijnsegmenten die het grondpad beschrijven. Paragraaf 3.6.6 van ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft de constructie van het grondpad:

3.6.6 ground track

A ground track, whether a backbone track or a dispersed sub-track, is defined by a series of (x,y) co-ordinates in the ground plane (e.g. from radar information) or by a sequence of vectoring commands describing straight segments and circular arcs (turns of defined radius r and change of heading)

For segmentation modelling, an arc is represented by a sequence of straight segments fitted to sub-arcs. Although they do not appear explicitly in the ground-track segments, the banking of aircraft during turns influences their definition.

...

The change of heading needs to be <30 degrees, with a recommended implementation of <10 degrees.

...

The ground track should always extend from the runway to beyond the extent of the calculation grid (see Section 6). This can be achieved, if necessary, by adding a straight segment of suitable length to the last segment of the ground track.

The total length of the flight profile, once merged with the ground track, must also extend from the runway to beyond the extent of the calculation grid. This can be achieved, if necessary, by adding an extra profile point:

- *to the end of a departure profile with speed and thrust values equal to those of the last departure profile point, and height extrapolated linearly from the last and penultimate profile points; or*
- *to the beginning of an arrival profile with speed and thrust value equal to those of the first arrival profile point, and height extrapolated linearly back from the first and second profile points.*

In Doc 29 Schiphol wordt daar op de volgende manier invulling aan gegeven:

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 Doc 29 relatief korte vluchtsegmenten opleveren. De methode achter Doc 29 kan echter met veel langere vluchtsegmenten overweg op het moment dat rechtuit wordt gevlogen. Om efficiënt Doc 29 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.*

De volgende vereisten zijn van toepassing voor de grondpaden voor een geluidberekening :

- De grondpaden moeten uitgelijnd zijn met de start-/landingsbaan;

- De grondpaden moeten voldoende lang zijn om buiten het rekenraster te starten (voor naderingen) of eindigen (voor starts);
- De grondpaden moeten voldoende detailniveau in de bocht geven om discontinuïteiten te voorkomen;
- De grondpaden moeten voldoende detailniveau bevatten om de rolhoek te bepalen;
- Het verschil in koersrichting tussen twee opeenvolgende segmenten is maximaal 10 graden;
- Het aantal segmenten moet beperkt worden ten behoeve van de efficiëntie van de berekeningen.

De lijst met radar-positiewaarnemingen voldoet niet aan bovenstaande eisen. Zo komen de radardata vaak niet tot op de baan, bevatten radardata ruis en ook hebben radardata een constant tijdsinterval waardoor inefficiënt gebruik wordt gemaakt van de segmenteermethode in ECAC Doc 29.

Hoewel in Doc 29 Schiphol een methode is voorgesteld voor de beperking van het aantal segmenten en het elimineren van ruis, is de uitlijning van de baan niet beschreven. Ook zijn er verschillende methodes denkbaar om aan de bovenstaande eisen te voldoen. Dit is verder geanalyseerd in 'Bijlage 16 – Analyse naar effect grondpadbewerking'.

Overwegingen

Voor het uitlijnen van het grondpad met de start-/landingsbaan zijn twee methodes met elkaar vergeleken: een methode waarbij het grondpad alleen wordt verlengd tot de baankop en een methode waarbij het grondpad wordt uitgelijnd met beide baankoppen. Het verschil in de scores van deze methodes is dat de laatstgenoemde methode nauwkeuriger wordt geacht, omdat het aannemelijk is dat vluchten over de hartlijn van de baan blijven vliegen. Dit is belangrijk, omdat het handhavingspunt zich ook op de hartlijn bevindt, in het verlengde van de baan. Bij de methode met alleen verlengen tot de baankop kan ruis in de positiedata ervoor zorgen dat vliegtuigen niet direct over het handhavingspunt worden gemodelleerd. Dit geldt voor zowel starts als landingen. Bij starts is detectie van vroeg wegdraaiende vliegtuigen noodzakelijk omdat deze per definitie niet direct over het handhavingspunt vliegen.

Voor het verwijderen van ruis en het versimpelen van de grondpaden zijn verschillende methodes geïdentificeerd, inclusief het gebruik van positiewaarnemingen (geen bewerking). Geen bewerking is echter geen optie in verband met de lage nauwkeurigheid. Ook wijkt de aanpak af ten opzichte van de aanpak in Doc 29 Schiphol en zijn er betere methodes beschikbaar. De overige methodes (de toepassing van een spline, versimpeling met de methode uit Doc 29 Schiphol of het afleiden van rechte lijnen en krommen) blijven als realistische opties over. Hoewel de methodes vergelijkbaar scoren op de eisen en wensen, is geïdentificeerd dat een methode waarbij rechte lijnen en krommen worden bepaald nog niet is gedocumenteerd en daarmee nog niet direct toepasbaar is.

Een minimumaantal trackpunten is wenselijk. Het gebruik van rechte lijnen en krommen biedt de grootste compressie (tot 20% van de originele radardata). Het verwijderen van radarpunten volgens de methode in Doc 29 Schiphol is ook succesvol als compressiemethode (tot 66%) in tegenstelling tot het gebruik van splines waarbij soms zelfs een toename van het aantal trackpunten plaatsvindt. Het gebruik

van splines levert echter een vermindering op van de ruis over het gehele grondpad, daar waar het verwijderen van radarpunten volgens Doc 29 Schiphol alleen rechte lijnen betreft.

De nauwkeurigheid van de methodes is in potentie hoog. De nauwkeurigheid valt of staat met een goede radardata-analyse voor de nadere invulling van de modellering. De methodes zijn steeds versimpelingen van de positiesdata. Een vergaande versimpeling gaat ten koste van de kwaliteit. Een spline met een te hoge smoothing factor zal een grondpad zonder ruis opleveren, maar wel één die lateraal mogelijk ver van het werkelijke pad af ligt en die onrealistische rolhoeken oplevert. De meest geschikte methode hangt af van de invoerdata. Hoewel er in zijn algemeenheid wordt gesproken over radardata verschilt het per systeem (en dus per luchthaven) in welke mate de data zijn bewerkt en welke bewerkingen nog nodig zijn om deze geschikt te maken voor geluidberekeningen. Voor alle methodes blijft echter gelden dat de resulterende grondpaden moeten voldoen aan de voorwaarden voor een goede invoer. Buiten het scenario ‘geen bewerking’ voldoen alle methodes voor het verwijderen van ruis en het versimpelen van de grondpaden dus in potentie aan de eisen en wensen.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Voor de grondpad bewerking voor radardata kan onderscheid worden gemaakt tussen het stuk op de baan en het stuk in de lucht. Op de baan moet het grondpad volledig worden uitgelijnd met de start- en landingsbaan, tenzij het een vlucht met vroege draai betreft.

Voor bewerking van radardata in de lucht kunnen verschillende methodes worden toegepast, waaronder (maar niet beperkt tot) de methode zoals beschreven in Doc 29 Schiphol, een spline of een versimpeling naar rechte lijnen en krommen. De keuze welke methode wordt gebruikt voor de invoerdata is aan de gebruiker omdat data van verschillende bronnen verschillende eigenschappen hebben en daardoor om andere bewerking vragen. Het gebruik van radardata vergt wel een zorgvuldige data-analyse voor het maken van de juiste keuzes in de ruisverwijdering en track versimpeling om er zorg voor te dragen dat de juiste positie is bepaald en dat de rolhoeken correct kunnen worden afgeleid. De gebruiker moet hierbij aantonen dat wordt voldaan aan de eisen die worden gesteld aan grondpaden.

Voor modelroutes en andere theoretische grondpadbepalingen is een bewerking van het grondpad niet noodzakelijk, omdat de voorwaarden voor grondpaden moeten worden meegenomen bij het maken van modelroutes.

4.3 Meteorologische correctie geluidgegevens

ECAC Doc 29 schrijft voor om de akoestische impedantie en de atmosferische demping te corrigeren voor de invloed van afwijkende meteorologische condities. In ECAC Doc 29 Volume 2 is hierover het volgende geschreven:

4.2.1 Impedance adjustment of standard NPD data

Acoustic impedance is related to the propagation of sound waves in an acoustic medium, and is defined as the product of the density of air and the speed of sound. For a given sound intensity (power per unit area) perceived at a specific distance from the source, the associated sound pressure (used to define SEL and L_{Amax} metrics) depends on the acoustic impedance of the air at the measurement location. It is a function of temperature, atmospheric pressure (and indirectly

altitude). There is therefore a need to adjust the standard NPD data of the ANP database to account for the actual temperature and pressure conditions at the receiver point, which are generally different from the normalized conditions of the ANP data. To avoid excessive computational demands, the adjustment should be made to actual temperature and pressure conditions at the aerodrome and applied to calculations at all receiver points.

Appendix D: Recalculation of NPD data for non-reference conditions

An atmospheric absorption adjustment accounts for changes in noise levels due to the atmospheric absorption for study or airport-specific atmospheric conditions that differ from the reference atmospheric conditions.

SAE-ARP-5534 [ref. 17] provides an updated methodology (2013) to calculate atmospheric absorption which is consistent with current scientific information, and is the recommended method. However, the flexibility is given for transition purposes to model non-standard atmospheric conditions with the legacy SAE-ARP-866A method (1975).

In Doc 29 Schiphol¹⁵ is het volgende beschreven over de atmosferische condities.

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 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 gevuld 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 methodes voor beide correcties in Doc 29 Schiphol komen overeen met de adviezen in ECAC Doc 29.

Voor Doc 29 regionaal is er geen aanleiding om hiervan af te wijken.

Voorgestelde methode voor Doc 29 regionaal

Sluit aan bij de methodologie zoals beschreven in paragraaf 4.2.1 en bijlage D van ECAC Doc 29 Volume 2 en hoofdstuk 7 van Doc 29 Schiphol:

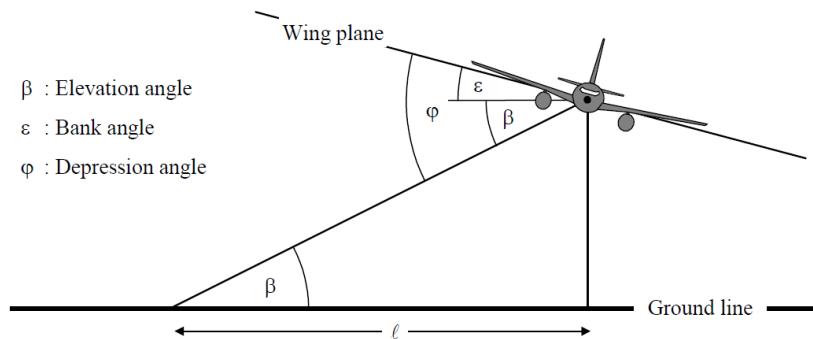
1. Pas de akoestische impedantiecorrectie toe volgens de beschreven formules met als invoer één set meteorologische condities voor het gehele raster;
2. Gebruik SAE ARP 5534 voor de correctie van de atmosferische demping.

¹⁵ Methodenrapport Doc29, november 2019. NLR-CR-2019-076

De correcties dienen daarbij te worden gebaseerd op de meteorologische condities zoals beschreven in paragraaf 3.1.3.

4.4 Effect van bochten

Bochten hebben invloed op de vliegprestaties (snelheid, hoogte en stuwwerkt in de bocht). ECAC Doc 29 beschrijft een methode om de vliegprestaties per vliegtuig te bepalen op basis van het grondpad en de prestatiekenmerken van het vliegtuig. Het meenemen van het effect van een bocht op de vliegprestaties vergt echter een grote rekenintensiteit doordat voor ieder afzonderlijk grondpad de vliegprestaties per vliegtuig afzonderlijk bepaald moeten worden. Daarnaast hebben bochten effect op de rolhoek (in het Engels: bank angle) van vliegtuigen, zie Figuur 4. Als gevolg van de dwarshelling van het vliegtuig zal de geluidssstraling niet-symmetrisch zijn ten opzichte van het grondpad.



Figuur 4: Rolhoek in bochten (bron: ECAC Doc 29 Volume 2).

Volgens ECAC Doc 29 hebben veranderingen in de vliegprestaties die door bochten worden veroorzaakt, meestal een duidelijk kleinere invloed op de contouren dan veranderingen van de rolhoek. In het huidige rekenvoorschrift voor regionale luchthavens en ook voor Doc 29 Schiphol wordt het effect van bochten op de vliegprestaties niet meegenomen. Er is geen aanleiding om voor *Doc 29 regionaal* af te wijken van Doc 29 Schiphol.

ECAC Doc 29 neemt de invloed van de rolhoek mee in de geluidberekening per vlucht. Het meenemen van het effect van de rolhoek is nieuw ten opzichte van het huidige rekenvoorschrift voor regionale luchthavens en wordt ook toegepast in Doc 29 Schiphol.

De rolhoek is afhankelijk van de vliegsnelheid en de bochtstraal. ECAC Doc 29 Volume 2 (Appendix B4) beschrijft hoe de rolhoek berekend kan worden voor een stabiele bocht. Voor modelroutes is de bochtstraal een invoerparameter. Voor radartracks kan de bochtstraal worden afgeleid van de radardata. De bochtstraal kan daarbij steeds worden bepaald aan de hand van drie radarpunten. Een vereiste hiervoor is dat de radardata geen ruis bevatten, omdat de methode voor het bepalen van de bochtstraal op basis van drie radarpunten gevoelig is voor ruis. De meest rechttoe rechtgaan methode voor de bepaling van de rolhoek bij punt i , is het gebruik van radargegevens van punt $i-1$ (het punt ervoor), punt i en punt $i+1$ (het punt erna). De (grond)snelheid wordt bepaald op basis van het prestatieprofiel. Daarmee is de resulterende rolhoek per vliegtuigtype verschillend.

Daarnaast geeft ECAC Doc 29 richtlijnen hoe met de overgangen tussen een rechte vlucht en een bocht, of tussen een bocht en een onmiddellijk opeenvolgende bocht moet worden omgegaan. In de regel zal de nadere modellering hiervan een verwaarloosbaar effect hebben op de uiteindelijke geluidcontouren. Om scherpe overgangen te vermijden, kunnen korte overgangssegmenten worden ingevoegd waar de dwarshelling lineair verandert met de afstand.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

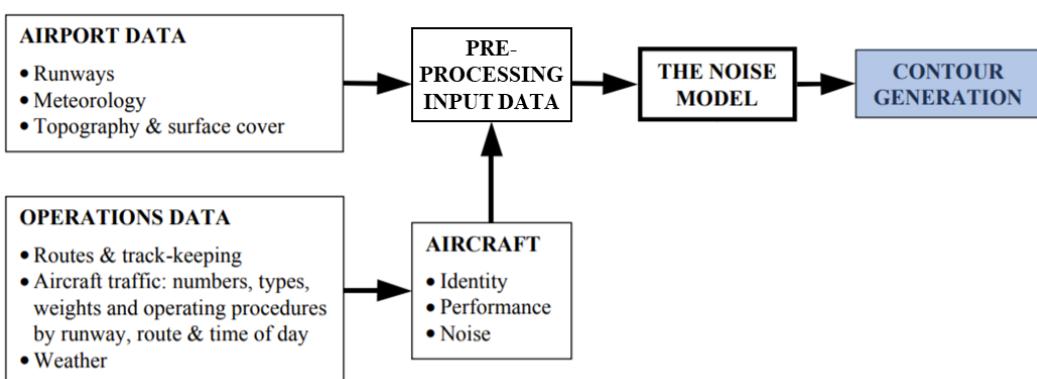
Laat het effect van bochten op de vliegprestaties (snelheid, hoogte en stuwwerking) buiten beschouwing vanwege de geringe verwachte effecten. Neem voor de berekening van de geluidbelasting per vlucht wel de invloed van de rolhoek mee. De methode die hiervoor wordt gebruikt moet worden vastgelegd in verband met eenduidigheid. Daarnaast dient deze methode te worden beschouwd in samenhang met de grondpadbewerking. Het voorstel voor deze methode, zoals in de paragraaf hierboven beschreven, is een numerieke methode die gebruik maakt van drie radarpunten om de bochtstraal te bepalen. Samen met de grondsnelheid van het prestatieprofiel wordt de rolhoek bepaald zoals beschreven ECAC Doc 29 Volume 2 (Appendix B4).

5 Nabewerking

De resultaten van een geluidberekening in het kader van de Regeling burgerluchthavens zijn tweeledig:

1. Lden geluidbelasting in handhavingspunten
2. Lden geluidcontouren

Het rekenmodel geeft als resultaat de berekende Lden geluidbelasting in ‘punten’ in de omgeving van de luchthaven. Op deze wijze kan de geluidbelasting in handhavingspunten worden berekend. Voor het bepalen van de geluidcontouren, wordt een geluidberekening in een raster van punten uitgevoerd. In dit hoofdstuk is beschreven op welke wijze hieruit vervolgens geluidcontouren dienen te worden afgeleid. Daarnaast gaat dit hoofdstuk in op de wijze hoe op basis van de rekenresultaten tot aantallen woningen, inwoners en ernstig gehinderden boven een drempelwaarde (“binnen contouren”) kan worden gekomen.



Figuur 5: Focus nabewerking geluidbelasting.

5.1 Genereren van contouren

Geluidcontouren worden gebruikt om de omvang van het vliegtuiggeluid rond luchthavens aan te geven. Een geluidscontour is een lijn walangs de geluidbelasting constant is. Voor de regionale luchthavens worden geluidcontouren gebruikt voor de aanduiding van de beperkingengebieden in verband met de geluidbelasting. Geluidcontouren kunnen daarnaast worden bepaald om bijvoorbeeld het oppervlak, het aantal woningen of het aantal inwoners binnen een bepaalde contourwaarde te bepalen en verschillende situaties met elkaar te vergelijken.

Het genereren van een contour gebeurt door de geluidbelasting in rasterpunten (zie ook paragraaf 3.4) te interpoleren om de gewenste nauwkeurigheid te krijgen. De nauwkeurigheid waarmee de contouren kunnen worden vastgesteld, is daarbij in beginsel afhankelijk van de afstand tussen de rekenpunten. In paragraaf 6.1 van Volume 2 van ECAC Doc 29 is hierover beschreven:

6.1 Standard grid calculation and refinement

When noise contours are obtained by interpolation between index values at rectangularly spaced grid points, their accuracy depends on the choice of the grid spacing (or mesh size) ΔG , especially within cells where large gradients in the spatial distribution of the index cause tight curvature of the contours (see Figure 6-1). Interpolation errors are reduced by narrowing the grid spacing, but since this increases the number of grid points, the computation time is increased. Optimising a regular grid mesh involves balancing modelling accuracy and run time.

ECAC Doc 29 beschrijft dat de maaswijdte van het rekengrid (en daarmee het aantal rekenpunten) en de nauwkeurigheid voor de vaststelling van contouren moeten worden gebalanceerd. Daarnaast geeft ECAC Doc 29 ook een methode hoe contouren moeten worden bepaald op basis van rekenrasters. Deze methode bevat een iteratieve component waarbij na een berekening lokaal extra rasterpunten moeten worden toegevoegd om een nauwkeurige contour vast te kunnen stellen. Voor deze extra rasterpunten moeten alle geluidberekeningen opnieuw worden berekend. In *Doc 29 regionaal* staan de rasters vast, zoals beschreven in paragraaf 3.4 en onderbouwd op basis van de analyse in In 'Bijlage 14 – Analyse naar effect maaswijdte op geluidcontour'. Hiermee wordt dus voorgesteld om de voorgeschreven methode volgens ECAC Doc 29 niet te volgen.

Het stroken van contouren o.b.v. de geluidbelasting in rasterpunten kan op hoofdlijnen op twee manieren worden gedaan:

1. Door op basis van het rekenraster direct contouren te stroken
2. Door het rekenraster raster te interpoleren tot een fijnmaziger rekenraster om vervolgens contouren te stroken

Bij de implementatie van Doc 29 voor Schiphol is onderzoek gedaan naar een nauwkeurige en efficiënte manier om contouren te stroken. Uiteindelijk is bij de implementatie van Doc 29 voor Schiphol voor de tweede optie gekozen aangezien dit de juiste balans gaf tussen het de nauwkeurigheid van de contouren en rekentijd. Door verfijning van het raster krijgen de contouren ook niet de hoekige vorm die een contour typisch krijgt bij een grofmazig raster. Ten opzichte van de methode volgens Doc 29 heeft deze methode het voordeel dat er geen extra rekenpunten worden toegevoegd. De referentie implementatie van de nabewerking van rasters is opgenomen in het open-source python package genaamd SSDTools. Hierin wordt voor Schiphol een verfijningsfactor van 10 gebruikt, waarmee een nieuw raster ontstaat met een maaswijdte van effectief 25 meter. Voor Doc 29 Schiphol worden de contouren bepaald met Matplotlib, een Python package.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal

Pas voor de implementatie van Doc 29 regionaal op het vaste rekenraster eerst een verfijning toe van het rekenraster met een verfijningsfactor van 10 om vervolgens de contouren te bepalen. Voor deze verfijning wordt dezelfde methode gebruikt als voor Doc 29 Schiphol en voor het bepalen van geluidniveaus op woninglocaties, zie ook paragraaf 5.2.

5.2 Tellen van woningen, inwoners en ernstig gehinderden “binnen contouren”

Het vaststellen van de aantallen woningen en inwoners, met eventuele doorvertaling naar gehinderden op basis van dosis-effectrelaties, met een zekere geluidbelasting kan grofweg op twee manieren:

1. Vaststellen of een adreslocatie ligt binnen de geluidcontour, of
2. Vaststellen van de geluidbelasting op de adreslocatie.

Bij de implementatie van Doc 29 voor Schiphol is een uitgebreide analyse uitgevoerd naar beschikbare methodes en hun nauwkeurigheid voor het bepalen van de geluidbelasting op woninglocaties (als stap naar het bepalen van het aantal woningen, inwoners of gehinderden boven een drempelwaarde):

6.1 Algemeen

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

6.2 Bepaling geluidbelasting op woonlocaties

Als eerste stap in het telproces wordt de geluidbelasting bepaald op de woonlocaties 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)¹⁶. Als implementatie van deze methode is gekozen voor het gebruik van de functie `BivariateSpline` uit de `SciPy` bibliotheek voor de programmeertaal `Python`¹⁷.

Er is geen aanleiding om voor Doc 29 *regionaal* hiervan af te wijken.

MVoorstel methode voor Doc 29 regionaal

Maak gebruik van de methode voor het bepalen van de geluidbelasting op woonlocaties zoals deze is opgenomen in het methoderapport van Doc 29 Schiphol.

¹⁶ Paul Dierckx, Curve and Surface Fitting with Splines, Oxford University Press, 1993

¹⁷ SciPy, Scientific Computing Tools for Python, <http://www.scipy.org/>, versie 0.19.0, Maart 2017

6 Klein verkeer

Op de grote Nederlandse regionale luchthavens komt een mix van groot commercieel verkeer en klein verkeer voor. Als groot commercieel verkeer wordt gezien het verkeer met een maximaal startgewicht boven de 6.000 kilogram. Verkeer met een lager startgewicht wordt in de regeling burgerluchthavens gedefinieerd als klein verkeer¹⁸: *"Passages met een luchtvaartuig op een luchthaven uitgevoerd met vliegtuigtypes (met uitzondering van 'jet' vliegtuigen) met een maximaal startgewicht tussen de 150 en 6.000 kilogram."* Op veel van de regionale luchthavens vliegt echter alleen klein verkeer.

ECAC Doc 29 heeft betrekking op vliegtuiggeluid op civiele, commerciële luchthavens, met voornamelijk straal- of propellervliegtuigen. Het gebruik en de geluidprestatiekenmerken van het vliegtuig op deze luchthavens is doorgaans geordend en voorspelbaar. Als er geschikte gegevens beschikbaar zijn voor andere luchtvaartuigen, waaronder militaire vliegtuigen, lichte propellervliegtuigen of helikopters, mogen ook deze in de evaluatie worden meegenomen, mits hun bijdrage niet de totale geluidbelasting domineert:

ECAC Doc 29 Volume 1 - Scope of guidance

The guidance covers aircraft noise at civil, commercial airports, where the aeroplanes in operation are mostly jet-powered or propeller-driven transports. In such cases the operations and the noise performance characteristics of the aircraft tend to be ordered and predictable. If appropriate noise and performance data are available for other aircraft types including military aeroplanes, propeller-driven light aeroplanes or helicopters, these too may be included in the evaluation provided their contribution does not dominate the total noise exposure. Where the noise exposure derives mostly from military aeroplanes, propeller-driven light aeroplanes or helicopters however, this guidance is not applicable - the operations and noise performance characteristics of such aircraft are usually much less predictable than those of the transport types considered and the facilities from which they operate are very different, as explained in Appendix B. ECAC has not yet developed comparable guidance covering these classes of aircraft.

Gelet op de richtlijnen van ECAC Doc 29 zou de rekenmethode Doc 29 niet van toepassing zijn voor de regionale luchthavens waar de geluidbelasting voornamelijk wordt bepaald door klein verkeer. In ECAC Doc 29 wordt beschreven dat de kenmerken van de vluchttuitvoeringen en de geluidprestaties van klein verkeer (en militair gebruik) gewoonlijk minder voorspelbaar zijn dan die van het groot commercieel verkeer.

Dit hoofdstuk gaat in op de toepassing van ECAC Doc 29 voor klein verkeer op de Nederlandse regionale luchthavens, ongeacht of dit luchthavens betreft waar de geluidbelasting voornamelijk of geheel wordt gedomineerd door klein verkeer.

6.1 Toepassing Doc 29 voor klein verkeer

ECAC Doc 29 geeft een beperking voor het berekenen van de geluidbelasting door klein verkeer. Die beperking is het gevolg van de grotere onzekerheid in de kenmerken van de vluchttuitvoeringen en de geluidprestaties van klein verkeer ten opzichte van het groot verkeer.

¹⁸ Regeling burgerluchthavens (<https://wetten.overheid.nl/BWBR0026564/2019-11-07>)

Het huidige Nederlands rekenmodel wordt toegepast voor zowel groot als klein verkeer (en voor militair verkeer en helikopters). Het model maakt alleen voor de grondpadmodellering onderscheid tussen deze verkeerssoorten: voor het groot verkeer (met uitzondering van circuitbewegingen) dient wel horizontale spreiding ten opzichte van nominale routes in rekening te worden gebracht, terwijl dit voor het klein verkeer niet verplicht is.

De grotere onzekerheid in de gegevens voor klein verkeer zoals genoemd in ECAC Doc 29 geldt daarmee ook in de huidige modellering. Het Nederlands rekenmodel is op dit punt niet ‘beter’ of ‘slechter’ dan Doc 29. De onderdelen van het rekenmodel die verschillen tussen Doc 29 en het Nederlands rekenmodel leveren ook voor het klein verkeer een verbetering (toepassing laatste inzichten) op. Vanuit dit oogpunt is er dan ook geen reden om voor klein verkeer niet ook over te stappen naar Doc 29. Met de toepassing van Doc 29 voor zowel klein als groot verkeer blijft de rekenkern gelijk en is daarmee beter uitlegbaar.

Voor de toepassing van Doc 29 voor klein verkeer zijn alle elementen in het rekenproces volgens de ECAC Doc 29 methode opnieuw langsgelopen en is nagegaan hoe de implementatie van Doc 29 voor het klein verkeer kan worden vormgegeven. De volgende paragrafen gaan in op de elementen die specifiek voor de toepassing voor klein verkeer heroverwogen dienen te worden ten opzichte van de toepassing voor het groot verkeer.

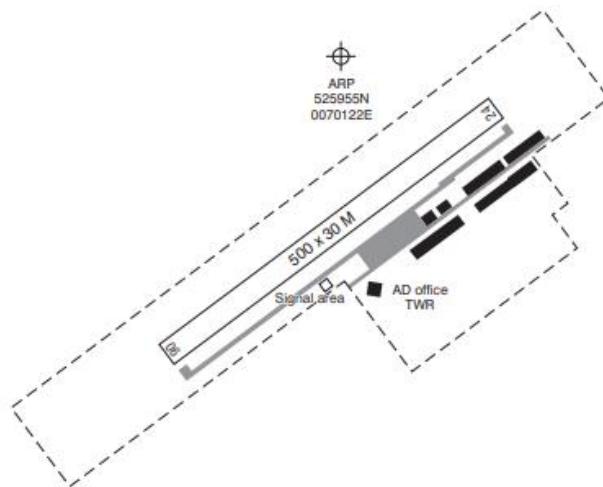
6.2 Invoergegevens

De elementen van de invoergegevens die heroverwegen dienen te worden bij het berekenen van de geluidbelasting van klein verkeer zijn:

1. Verplaatsing van het startpunt met 100m van de kop van de baan;
2. De koppeling van start- en naderingsprofielen.

6.2.1 Verplaatsing startpunt

Voor groot verkeer is voorgesteld om het startpunt voor de modellering op 100 meter van het begin van de baan (waar het asfalt begint, tenzij de start niet vanaf het begin van de baan plaatsvindt) te plaatsen. Op basis van de inventarisatie van de verschillende eigenschappen van de verschillende luchthavens uit de AIP is geanalyseerd in hoeverre een verplaatsing van het startpunt met 100 meter ook toepasbaar is voor regionale luchthavens met (voornamelijk) klein verkeer. Uit de analyse blijkt dat nagenoeg alle regionale luchthavens met (voornamelijk) klein verkeer een beschikbare baanlengte hebben van tussen de 500 meter (Stadskanaal) en 1200 meter (Teuge).



Figuur 6: Luchthavenkaart vliegveld Stadskanaal.

Figuur 6 geeft als voorbeeld de luchthavenkaart weer van vliegveld Stadskanaal, een van de regionale luchthavens met uitsluitend klein verkeer. De start- en landingsbaan heeft een enkele oprit aan de kop van de baan. Uit de analyse blijkt dat een groot deel van de regionale luchthavens met (voornamelijk) klein verkeer eenzelfde enkele oprit bij de baankop heeft. Het verplaatsen van de startrol met 100 meter op een start- en landingsbaan van 500 tot 1200 meter zou voor deze luchthavens en voor klein verkeer een onrealistische verplaatsing van het startpunt leveren.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal – klein verkeer

Plaats voor het klein verkeer het startpunt voor de modellering van het grondpad aan het (fysieke) begin van de baan. Dit in tegenstelling tot de modellering van het groot verkeer, waar voorgesteld wordt een verplaatsing van 100 meter toe te passen.

6.2.2 Selectie start- en naderingprofiel

Voor groot verkeer zijn de start- en landingsprocedures doorgaans goed te achterhalen via data-analyse of via navraag bij de luchtvaartmaatschappij. Net als voor de profielen voor groot verkeer, wordt ook voor klein verkeer geadviseerd om voor het samenstellen van passende profielen een analyse te doen op basis van positiewaarnemingen (x, y, z) van het vliegverkeer en een analyse te doen naar de impact op de geluidbelasting. Als het daarbij nodig is om meerdere profielen te maken, dan zal tevens beoordeeld moeten worden hoe profielen worden gekoppeld aan vliegtuigbewegingen.

Voor groot verkeer is er momenteel beperkt informatie beschikbaar over het actuele startgewicht. In de inventarisatiefase is geconcludeerd dat het daadwerkelijke startgewicht van klein verkeer nog lastiger te bepalen is en dat het een beperkt effect heeft op de geluidbelasting.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal – klein verkeer

Maak voor de toewijzing van het startprofiel voor het klein verkeer geen koppeling/onderscheid met het geregistreerde startgewicht of vliegafstand.

6.3 Voorbewerking

Voor de voorbewerking van de invoergegevens dient voor het berekenen van de geluidbelasting van klein verkeer de substituimetode heroverwogen te worden. Doordat er geen ANP substituimetode voor klein verkeer beschikbaar is en de beschikbare types in de ANP database met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg zeer beperkt is, dient er een specifieke substituimetode te worden uitgewerkt voor klein verkeer.

6.3.1 Substituimetode klein verkeer

In de ANP database (versie 2.2) zijn 11 verschillende vliegtuigtypes met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg opgenomen. Om tot een substituimetode voor klein verkeer te komen is een analyse gedaan naar de beschikbare ANP types met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg. Eén hiervan, de ECLIPSE 500, is uitgerust met staalmotoren. Voorgesteld wordt om dit type als representatief ANP type te hanteren voor alle door straalmotoren aangedreven vliegtuigen met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg. Voor propeller aangedreven varianten is er daarmee nog keuze tussen 10 ANP types.

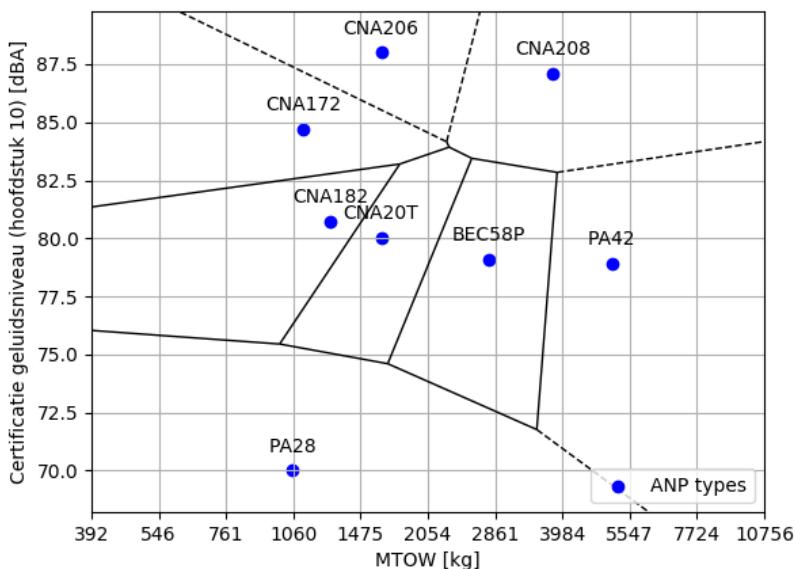
Met behulp van de "Light propeller driven aeroplanes noise database¹⁹" van EASA zijn de geluidcertificatie waarden voor hoofdstuk 6 en hoofdstuk 10 (conform ICAO Annex 16 – volume 1) vliegtuigen bepaald voor de beschikbare ANP types met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg, zie Tabel 4.

Tabel 4: Certificatie geluidniveaus voor kleine toestellen uit de ANP lijst

#	Aircraft ID	Maximaal startgewicht [kg]	Overflight certificatie geluidniveau (hoofdstuk 6) [dB(A)]	Take-off certificatie geluidniveau (hoofdstuk 10) [dB(A)]
1	BEC58P	2767	-	79.1
2	CNA172	1111	-	84.7
3	CNA182	1270	73.5	80.7
4	CNA206	1633	-	88.0
5	CNA208	3969	-	87.1
6	CNA20T	1633	-	80.0
7	PA28	1055	-	70.0
8	PA30	1633	72.0	-
9	PA31	3175	80.0	-
10	PA42	5080	76.8	78.9

Voor een substituimetode voor *Doc 29 regionaal* met betrekking tot klein verkeer aangedreven door een propeller wordt voorgesteld om het certificatienniveau, het maximale startgewicht en het onderscheid tussen hoofdstuk 6 en hoofdstuk 10 van Annex 16 volume 1 te gebruiken. Er is een analyse uitgevoerd naar de mogelijke invulling van een substituimetode op basis van deze parameters, welke is opgenomen in 'Bijlage 17 – Substituimetode klein verkeer'.

¹⁹ <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/MAdB%20Light%20Prop%28201012%29.xlsm>



Figuur 7: Representatief ANP type op basis van gewicht en certificatie geluidniveaus.

Figuur 7 is een veronoi-diagram dat het resultaat van de uitwerking van een substitutiemethode voor klein verkeer illustreert. Door voor klein verkeer de relatie tussen het gewicht en de geluidniveaus te bepalen kunnen er clusters worden gedefinieerd rondom de beschikbare ANP types. Op deze manier kunnen alle vliegtuigtypen aan een representatief ANP type worden gekoppeld op basis van het maximale startgewicht en de certificatiegegevens.

Voorstel methode voor Doc 29 regionaal – klein verkeer

Hanteer de ECLIPSE 500 als representatief ANP type voor alle door straalmotoren aangedreven vliegtuigen met een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg.

Stel voor klein verkeer aangedreven door een propeller een nog uit te werken substitutiemethode vast, aangezien deze niet beschikbaar is gesteld door EUROCONTROL (in de ANP database). Neem hierbij in ieder geval het certificatieniveau, het maximale startgewicht en het onderscheid tussen hoofdstuk 6 en hoofdstuk 10 van Annex 16 volume 1 mee in de bepaling van de substitutiemethode voor klein verkeer. Een vervolgstudie is noodzakelijk om de exacte invulling van deze substitutiemethode vast te stellen.

6.4 Nabewerking

In de nabewerking zijn geen keuzes geïdentificeerd waarvoor een aangepaste methode moet worden vastgelegd voor klein verkeer. De voorgestelde methode voor de nabewerking voor klein verkeer is daarmee gelijk aan de methode zoals opgenomen in hoofdstuk 5.

7 Conclusies en aanbevelingen

Achtergrond

De minister van Infrastructuur en Waterstaat zal in navolging van de implementatie van Doc 29 voor Schiphol besluiten of (en hoe) de ECAC Doc 29 rekenmethode zal worden ingevoerd voor de regionale (burger)luchthavens in Nederland. To70 en Aerlabs hebben daarvoor in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een onderzoek gedaan naar de technische implementatie van Doc 29.

Scope

De toepassing van Doc 29 heeft in eerste instantie betrekking op het berekenen van de geluidbelasting voor het groot commercieel vliegverkeer (passages met een vliegtuig met een maximaal startgewicht van 6.000 kg of meer). Voor klein verkeer (vliegtuigen met een maximaal startgewicht tot 6.000 kg) is de toepasbaarheid en praktische bruikbaarheid van de rekenmethode beoordeeld. Helikopters en militair verkeer zijn buiten beschouwing gelaten. ECAC Doc 29 geeft geen richtlijnen voor deze luchtvaartuigen. Wel wordt er op Europees niveau gewerkt aan een apart rekenvoorschrift voor helikoptergeluid. Dit laat onverlet dat de geluidbelasting van helikopterverkeer en militair verkeer, berekend met andere modellen, bij de met Doc 29 berekende geluidbelasting van civiel verkeer kan worden opgeteld.

Conclusie

To70 en Aerlabs hebben met een systematische analyse een voorstel ontwikkeld voor de implementatie van de Doc 29 rekenmethode. Deze methode is beschreven in dit rapport. Uit de systematische analyse blijkt dat de ECAC Doc 29 rekenmethode toepasbaar is voor het berekenen van de geluidbelasting van de Nederlandse regionale luchthavens toepasbaar is. De rekenregels zoals beschreven in ECAC Doc 29 zijn daarbij één-op-één gevolgd. Op basis van een set van eisen en wensen zijn voorstellen gedaan voor de invoergegevens en de nabewerking van de resultaten. Een nadere afweging is vereist over:

- Het detailniveau van atmosferische condities. Het gebruik van luchthavenspecifieke condities over een kortere periode dan een jaar leidt tot een hogere nauwkeurigerheid dan het gebruik van ISA-condities, maar wijkt af van de implementatie van Doc 29 voor Schiphol.
- De toepassing van nieuwe ANP gegevens. Het zonder meer toepassen van nieuwe gegevens kan beleidsmatige consequenties hebben, bijvoorbeeld op het aantal vluchten dat kan worden gerealiseerd binnen de (milieu)gebruiksruimte.

Aanbevelingen

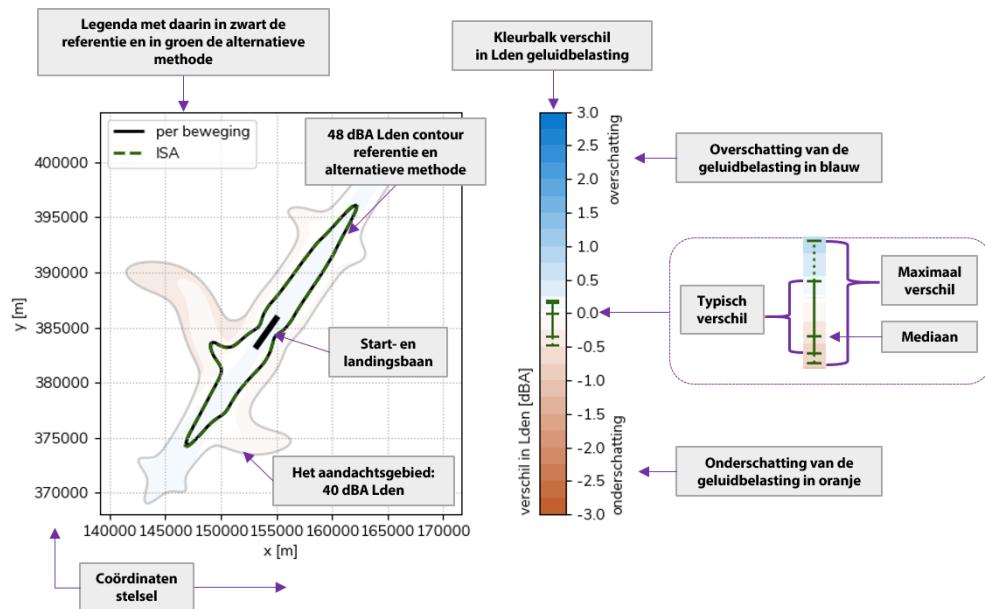
De volgende aanbevelingen volgen uit het onderzoek::

- Leg met de implementatie van Doc 29 ook een checklist vast voor de rapportage van een Doc 29 geluidberekening. Hiermee is overzichtelijk welke gegevens zijn gehanteerd, kunnen berekeningen gereproduceerd worden en kunnen verschillen tussen berekeningen beter geduid worden.
- Onderzoek of een koppeling van de vliegprocedure voor startend verkeer op basis van radardata leidt tot nauwkeurigere resultaten van de geluidberekening.
- Onderzoek op een systematische wijze hoe prestatieprofielen kunnen worden afgeleid en wat de impact van keuzes daarin is op de berekende geluidbelasting.
- Ontwikkel een substituemethode (voor de koppeling aan vliegtuigtypegegevens uit de ANP database) voor klein verkeer en vliegtuigtypes die niet in de ANP database zijn opgenomen.

- Ga na of registraties van het startgewicht en het gebruik van intersectiestarts beschikbaar te maken zijn voor gebruik in geluidberekening.

Bijlage 1 – Leeswijzer afbeeldingen

In dit rapport zijn verschillende analyses opgenomen. De resultaten van deze analyses zijn veelal grafisch weergegeven met grafieken en figuren. Figuur 8 beschrijft hoe die figuren zijn opgebouwd en hoe deze geïnterpreteerd dienen te worden.



Figuur 8: Leeswijzer figuren.

In de figuur zijn geluidcontouren zichtbaar en een aandachtsgebied met verschillen. De geluidcontouren zijn de 48 dB(A) L_{den} contouren van twee methodes (de referentie en een alternatieve methode). Het aandachtsgebied met de 40 dB(A) L_{den} contour wordt gebruikt als begrenzing voor het bepalen van de verschillen tussen de methodes.

In de figuur wordt het geluidresultaat uitgedrukt als zijnde een onderschatting en een overschatting ten opzichte van de referentie. De referentie is steeds de methode met de hoogste nauwkeurigheid. Er is sprake van een onderschatting van het geluid als de referentie een hogere geluidbelasting laat zien dan de alternatieve methode. Van een overschatting van het geluid is sprake als de geluidbelasting van de alternatieve methode lager is dan de referentie.

Om de verschillen te duiden tussen de referentie en de alternatieve methode wordt gebruik gemaakt van drie indicatoren, weergegeven in de kleurbalk:

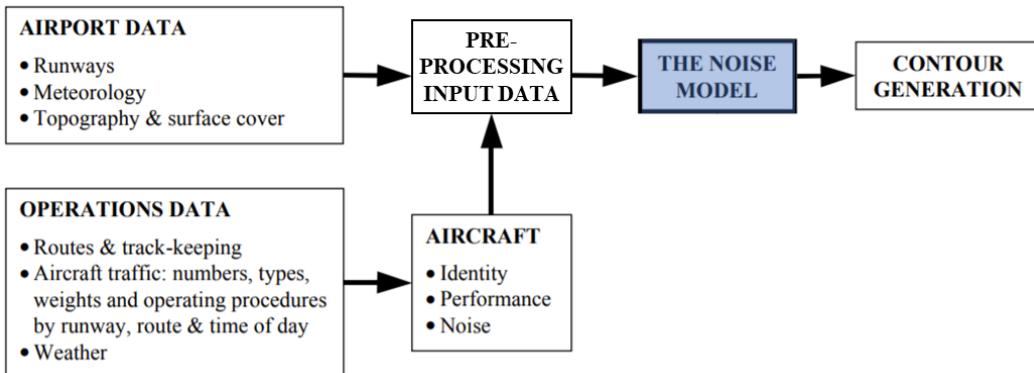
- Het maximale verschil. Dit geeft de uiterste verschillen weer.
- Het typische verschil. Het typische verschil bevat de verschillen tussen het 5^{de} en 95^{ste} percentiel, waardoor eventuele uitschieters geïdentificeerd kunnen worden.
- De mediaan (het 50^{ste} percentiel) geeft het gemiddelde verschil aan.

De verschillen in L_{den} maken altijd gebruik van dezelfde kleurstelling en bereik (-3 tot + 3 dB(A)) van de verschillen in geluidbelasting. De bijlages bevatten ook andere geluidmaten, namelijk Sound Exposure

Level (SEL) en Effective Perceived Noise Level (EPNL). Indien dit het geval is wijken de kleurstelling en het bereik af ten opzichte van de figuren op basis van Lden om dit kenbaar te maken. De verder opbouw van de figuren is identiek aan datgeen voor Lden is vastgelegd.

Bijlage 2 – Beschrijving rekenkern

Deze bijlage heeft betrekking op het geluidmodel voor *Doc 29 regionaal*. In het geluidmodel, de kern van de geluidberekening, wordt op basis van de gegevens over het geluid en de prestaties van vliegtuigen de geluidbelasting berekend voor het gebruik van de luchthaven.



ECAC Doc 29 Volume 2 beschrijft in detail de rekenmethode van het geluidmodel per (unieke) vlucht. De rekenmethode ligt daarmee vast. In deze bijlage wordt deze rekenmethode en de berekening van de totale (L_{den}) geluidbelasting op basis van de geluidbelasting per vlucht gepresenteerd

Geluidberekening per vlucht

De rekenkern van Doc 29 is gebaseerd op SAE AIR1845²⁰. Binnen deze rekenkern wordt het geluid van een vliegtuig berekend op basis van het cumulatieve effect op verschillende rechte segmenten, waarvoor geluidniveaus afzonderlijk worden berekend. Het basisgeluidniveau van een segment is gebaseerd op de geluidgegevens – noise-power-distance tabellen – van het vliegtuig. Deze noise-power-distance (NPD) gegevens, geven in tabelvorm de referentie geluidwaarden bij combinaties van stuwwerkt en afstand.

Er worden in ECAC Doc 29 twee geluidsmetrieken besproken: gebaseerd op de hoeveelheid geluid van een vliegtuigpassage (zoals de sound exposure level, SEL) of op het maximum geluidniveau tijdens een vliegtuigpassage (zoals het maximum A-gewogen geluidniveau). De L_{den} berekening is gebaseerd op SEL-waarden, een A-gewogen geluidseenheid uitgedrukt in dB(A). De dB(A) is de eenheid waarin de sterkte van het geluid in verreweg de meeste gevallen wordt weergegeven. De dB(A) is afgeleid van de gewone decibel, maar corrigeert de geluidssterktes voor de gevoeligheid van het (menselijk) oor.

Bij SEL berekeningen wordt de geluidbelasting van de gehele passage berekend door de geluidwaarden van alle afzonderlijke segmenten ($L_{AE,seg}$) energetisch bij elkaar op te tellen:

$$SEL = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{L_{AE,i}/10} \right)$$

Hierbij is:

- i het resultaat van een individueel segment,
- $L_{AE,i}$ de geluidwaarde van een afzonderlijk segment

²⁰ <https://www.sae.org/standards/content/air1845a/>

n het totaal aantal segmenten.

De geluidwaarde van een afzonderlijk segment is niet enkel afhankelijk van het basisgeluidniveau op basis van de NPD-tabellen. Bijkomende correcties worden toegepast afhankelijk van het vliegtuig en enkele typische vluchtkarakteristieken. De volgende correcties worden toegepast:

- Correctie voor motorconfiguratie Δ_I , om de te corrigeren voor directiviteit als gevolg van de locatie van de motor,
- Correctie voor laterale verzwakking Δ_L , om te corrigeren voor grondreflectie,
- Correctie voor tijdsduur Δ_V , om te corrigeren voor afwijkende vliegtuig snelheden,
- Correctie voor geluidsfracties Δ_F , om te corrigeren voor het feit dat het segment niet oneindig doorloopt,
- Correctie voor de start rol Δ_{SOR} , om te corrigeren voor de gerichtheid van het geluid tijdens de startrol,
- Correctie voor de akoestische impedantie $\Delta_{impedance}$, om te corrigeren voor de afwijkende karakteristieken voor de akoestische impedantie,
- Correctie voor atmosferische absorptie, om te corrigeren voor afwijkende absorptie van geluid door de atmosfeer.

Het segmenttype is van invloed op de berekening van de akoestische correctie. Twee segmenttypes zijn geïdentificeerd: de grondrol op de baan en het vliegen (airborne).

Berekening van de totale (L_{den}) geluidbelasting

Zoals beschreven in ECAC Doc 29 Volume 2 Hoofdstuk 5, wordt een gewogen equivalent geluidniveau $L_{eq,W}$ (zoals de Lden) berekend met de volgende generieke formule:

$$L_{eq,W} = 10 \log_{10} \left(\frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_{j=1}^N g_j \cdot 10^{SEL_j/10} \right) + C$$

Hierbij is:

- SEL_j het geluidniveau van elke beweging j ,
 N het totaal aantal bewegingen,
 g_j de wegingsfactor afhankelijk van het moment van de dag voor de beweging j ,
 T_0 het tijdsinterval van de periode waarvoor het equivalente geluidniveau voor wordt bepaald,
 t_0 het tijdsinterval van de periode waarvoor SEL_j is gegeven,
 C een constante.

Voor de berekening van de Lden geluidbelasting, gelden hierbij de volgende constanten:

$$C = 0$$

$$t_0 = 1s$$

$$T_0 = 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 86400s \cdot 365$$

$$g_j = \begin{cases} 1 & \text{als } 07:00 \leq t < 19:00 \\ \sqrt{10} & \text{als } 19:00 \leq t < 23:00 \\ 10 & \text{als } 23:00 \leq t < 07:00 \end{cases}$$

Bijlage 3 – Checklist rapportage

Bij het uitvoeren van een analyse conform *Doc 29 regionaal* is het van belang dat alle relevante gegeven opgenomen worden in de rapportage. De lezer moet in staat zijn om de volledige analyse te herproduceren. Deze checklist kan gebruikt worden als voorbeeld voor het documenteren van de gehanteerde invoergegevens.

Luchthaven Specifieke gegevens

Parameters	Beschrijving	Voorbeeld gegevens
Naam luchthaven	Specificeer de naam van de luchthaven waarvoor de analyse is uitgevoerd	Luchthaven Eindhoven (EHEH)
Coördinatenstelsel	Definieer in welk coördinaten stelsel de invoer gegevens zijn uitgedrukt. Voor luchthavens in Nederland is het gebruikelijk het lokale coördinatenstelsel het Rijksdriehoekstelsel (RD) te hanteren	Rijksdriehoekstelsel (RD) Epsg 28992
Hoogte ARP	Specificeer de hoogte van het referentiepunt van de luchthaven en vermeld duidelijk de eenheid	74ft
Gemiddelde meteo conditie zomer/winter	Specificeer de meteo condities gebaseerd op meerjarige gemiddeldes. Deze dienen opgesplitst te worden in zomer en winter periodes	Zie bijlage 6
Bron vermelding hoogte bestand	Wanneer de er sprake is van een significante hoogte verschillen rondom de luchthaven, kan het noodzakelijk zijn rekening te houden met lokale topografie. In dit geval moet er verwezen worden naar het gebruikte bronbestand	https://www.ahn.nl/

Parameters	Voorbeeld gegevens	
Periode	2010 t/m 2019	
Tijd van de dag	7:00 t/m 23:00 lokale tijd	
Zomer periode	April t/m oktober	
Winter periode	November t/m maart	
Meteostation	370 Eindhoven	
Bron	http://projects.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/selectie.cgi	
Meteocondities	Zomer	Winter
Temperatuur [°C]	16	6
Luchtvochtigheid [%]	69	82
Luchtdruk [hPa]	1015,3	1015,9

Parameters Baangebruik

Parameters	Beschrijving	Voorbeeldgegevens
Betreffende start-/landingsbaan	Specificeer de naam van de start-/landingsbaan met bijhorend baanrichting waarvoor de analyse is uitgevoerd	RWY 03/21
Coördinaat baankop	Specificeer de coördinaat van de baankop	X: 153257, Y: 383332
Coördinaat baaneinde	Specificeer de coördinaat van het baaneinde	X: 154978, Y: 385789

Parameters	Beschrijving	Voorbeeldgegevens
Startpunt vertrek	Specifieer de coördinaat waar de take-off roll begint voor groot en klein verkeer. Wanneer de volledige baanlengte gebruikt wordt is dit 100m (0 m voor klein verkeer) voor de baankop. Wanneer er intersectiestarts worden gebruikt ligt dit anders	X: 153932, Y: 384292
Landing threshold	Specifieer de coördinaat van de Landing threshold.	X: 153396, Y: 383531

Beschrijving grondpad

Parameters	Beschrijving	Voorbeeld gegevens
Bron	Specifieer het bronbestand van de gebruikte radardata	EHTX-casper-20200127133851.dbf
Periode	Specifieer de periode van het gebruikte radardata	2017 t/m 2019

Parameters	Beschrijving	Voorbeeld gegevens
AIP-versie	Specifieer de gebruikte AIP-versie	Effective date: 10 SEP 2020 Publication date: 30 JUL 2020 Aerodrome: EHEH - EINDHOVEN/Eindhoven
Afwijkingen t.o.v. AIP-data	Specifieer en beargumenteer eventuele afwijkingen t.o.v. de AIP-data	Aanstaande wijziging van een vliegroute
Translatie t.o.v. startpunt	Specifieer de afstand tussen het start- of landingspunt en het eerste of laatste punt op het pad	300 m
Aantal subpaden	Specificeer het aantal subpaden	7

Beschrijving verkeerssamenstelling

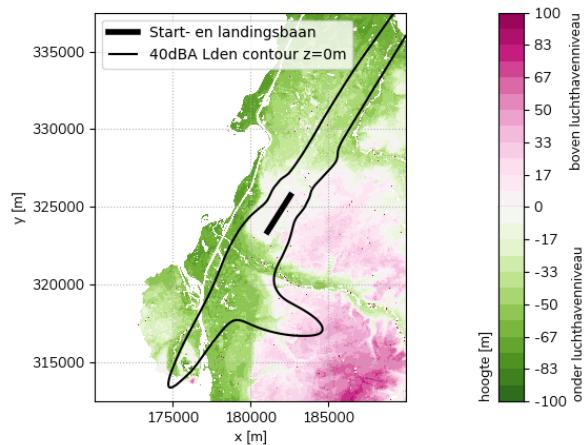
Parameters	Beschrijving	Voorbeeld gegevens
Periode	Specifieer de periode van het gebruikte verkeersbestand	1 november 2018 t/m 31 oktober 2019

Bijlage 4 – Analyse naar effect hoogteverschillen binnen studiegebied

Deze bijlage beschrijft de analyse naar de invloed van topografie op de berekende geluidbelasting.

Het doel van de analyse is om het effect van de hoogteverschillen in de omgeving en ten opzichte van de hoogteligging van de luchthaven op de geluidbelasting in kaart te brengen. De analyse is gedaan voor de omgeving van Maastricht Aachen Airport. Deze omgeving kenmerkt zich door, voor Nederlands begrip, relatief grote hoogteverschillen.

Figuur 9 geeft grafisch de hoogteverschillen rondom de luchthaven Maastricht Aachen Airport weer.



Figuur 9: Topografie rondom Maastricht Aachen Airport.

Paragraaf 3.3.4 in volume 2 van Doc 29 beschrijft hoe hoogteverschillen rondom de luchthaven moeten worden meegenomen in de berekening van de geluidbelasting (voor de situaties waar de topografie meegenomen moet worden):

3.3.4 ACCOUNTING FOR TOPOGRAPHY

In cases where topography has to be taken into account (see Section 2.4.5), the aircraft height coordinate z has to be replaced by $z' = z - z_0$ (where z_0 is the z co-ordinate of the observer location O) when estimating the propagation distance d . The geometry between aircraft and observer is shown in Figure 3-3. For the definitions of d and ℓ see Chapter 4.

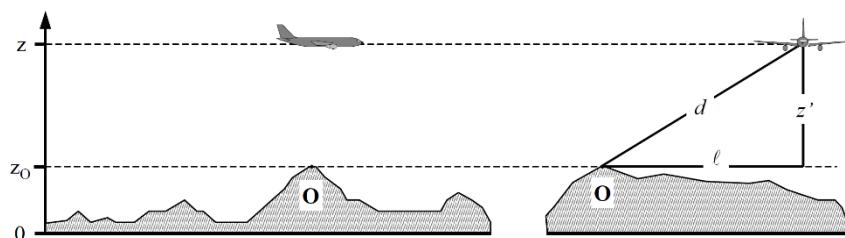


Figure 3-3: Ground elevation along (left) and lateral (right) to ground track. The nominal ground plane $z = 0$ passes through the aerodrome reference point. O is the observer location.

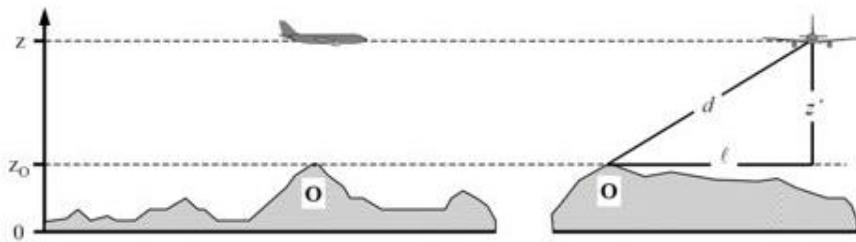


Figure 3-3: Ground elevation along (left) and lateral (right) to ground track. The nominal ground plane $z = 0$ passes through the aerodrome reference point. O is the observer location.

Op basis van de gevonden hoogteverschillen in de omgeving van de luchthavens is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Wat is het effect op de geluidbelasting als er wordt gecorrigeerd voor de hoogteverschillen rondom de luchthaven?

Het antwoord op deze onderzoeksvraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om keuzes te maken voor de methode voor Doc 29 regionaal.

Methode

Om het effect van topografie op de berekende geluidbelasting in kaart te brengen, zijn drie verschillende situaties gehanteerd. Hierbij is er voor gekozen om een referentiesituatie te modelleren en twee uiterste situaties. In de referentiesituatie worden alle rekenpunten doorgerekend met de hoogte op het lokale luchthavenniveau. Deze methode wordt ook toegepast bij geluidberekeningen conform Doc 29 Schiphol.

Om de uiterste effecten in kaart te brengen zijn er twee situaties beschouwd:

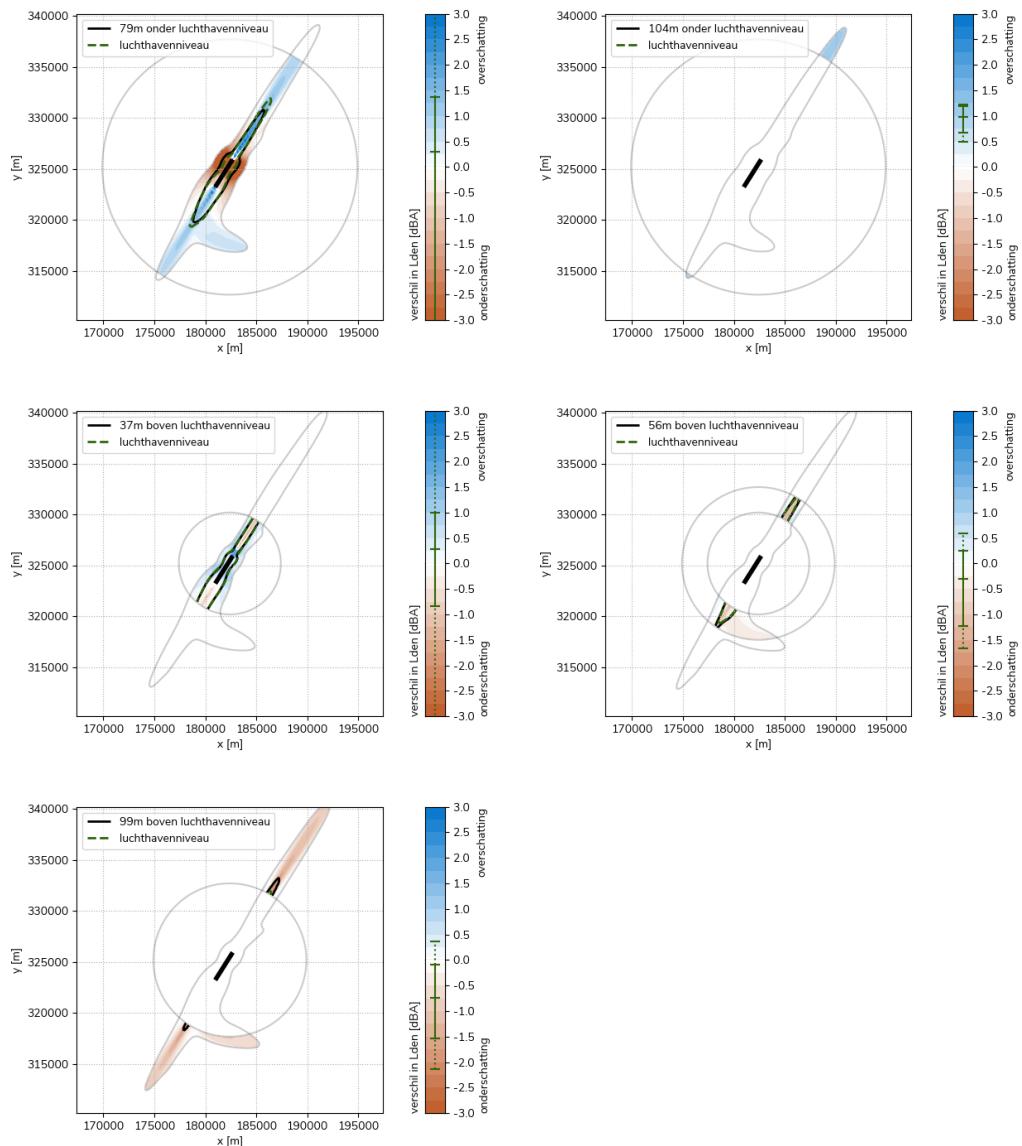
1. Alle rasterpunten worden ingesteld op de *minimale* hoogte. In deze situatie wordt verondersteld dat alle rekenpunten op het *laagste* punt uit de omgeving liggen. Voor de situatie rondom Maastricht Aachen Airport is dit op 79 meter *onder* het lokale luchthavenniveau.
2. Alle rasterpunten worden ingesteld op de *maximale* hoogte. In deze situatie wordt verondersteld dat alle rekenpunten op het *hoogste* punt uit de omgeving liggen. Voor de situatie rondom Maastricht Aachen Airport is dit op 37 meter *boven* het lokale luchthavenniveau.

Voor de analyse is een verdere verfijning aangebracht door binnen drie afstanden tot de luchthaven te kijken en voor deze gebieden de minimale en maximale hoogte te bepalen. Hiermee wordt voorkomen dat grote hoogteverschillen op ruime afstand van de luchthaven maatgevend worden voor de effecten dichtbij de luchthaven, terwijl dichterbij de luchthaven de hoogteverschillen in praktijk beperkter zijn.

Op deze wijze wordt de bandbreedte aan mogelijke effecten verkregen.

Resultaten

Het effect op de geluidbelasting bij gebruik van minimale en maximale hoogte op verschillende afstanden van de luchthaven is weergegeven in Figuur 10. In elk van de figuren is de minimale of de maximale hoogte als referentie genomen en vergeleken met de hoogte op het luchthavenniveau.



Figuur 10: Effect op de geluidbelasting bij gebruik van minimale en maximale hoogte op verschillende afstanden van de luchthaven.

Zoals blijkt uit Figuur 9 ligt de luchthaven typisch boven de omgeving. De uitzondering hierop is de Vaalserberg, die hoger ligt dan de luchthaven. Voor de situaties waar de grondhoogte op 37, op 56 en op 99 meter boven de hoogte van de luchthaven is gemodelleerd, wordt de geluidbelasting typisch onderschat met maximaal circa 1,2 dB(A) zoals te zien is in Figuur 10. Op basis van de feitelijke hoogtes in de omgeving zal het effect echter beperkt zijn tot circa 0,5 dB(A). In de andere uiterste situaties, waarbij de rasterpunten op 79 en op 104 meter onder het lokale luchthavenniveau liggen, is af te lezen in Figuur 10

dat de geluidbelasting typisch wordt overschat met circa 1 dB(A). Bij hoogteverschillen tot 25 meter is het effect op de geluidbelasting maximaal circa 0,5 dB(A).

Opties voor Doc 29 regionaal

Uit de analyse blijkt dat hoogteverschillen typisch kunnen zorgen tot een verschil van 0,5 tot 1 dB(A) op de geluidbelasting. Hoogteverschillen worden niet meegenomen in Doc 29 Schiphol, maar kunnen voor enkele regionale velden wel een effect hebben op de geluidbelasting. Er zijn meerdere opties denkbaar voor het omgaan met hoogteverschillen. Drie opties zijn beschouwd:

- Er wordt geen correctie toegepast ("maximaal uniform"/"rechttoe rechtaan")
- De correctie wordt gebaseerd op het werkelijke hoogteverschil per rasterpunt ("werkelijk geluid")
- De correctie wordt gebaseerd op het maximale hoogteverschil (conservatief "rechttoe rechtaan")

Toetsing eisen en wensen

De drie methodes voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29 en zijn eenduidig en navolgbaar. Het meenemen van het werkelijke hoogteverschil per rasterpunt is minder praktisch vanwege de aanvullende dataverwerking die noodzakelijk is. De dataverwerking hoeft maar eenmalig te worden uitgevoerd. De methodes waarbij gecorrigeerd wordt voor de omgevingshoogte wijken af van de methode voor Schiphol. Bij gebruik van het maximale hoogteverschil wordt wel een andere hoogte gebruikt, maar deze is wel constant voor het gehele raster. Daarmee wordt deze beoordeeld als neutraal. Het gebruik van het werkelijke hoogteverschil per rasterpunt wijkt daarentegen ook af in methode, omdat er voor elk rasterpunt afzonderlijk een hoogte wordt bepaald. Dit zorgt voor een negatieve score voor conformiteit met Doc 29 Schiphol.

Tabel 5: Scoretabel hoogteverschillen.

Eis/wens	Geen correctie voor hoogteverschillen	Correctie voor werkelijke hoogteverschil per rasterpunt	Correctie voor maximale hoogteverschil
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	□	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓	✓
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✓	✗	□
Hoge nauwkeurigheid	✗	✓	✗

De correctie voor het werkelijke hoogteverschil wordt beschouwd als het meest nauwkeurig en scoort daarmee positief voor hoge nauwkeurigheid. Uit de analyses is gebleken dat het niet corrigeren of het corrigeren op basis van de uitersten geeft verschillen in geluidniveaus die groter kunnen zijn dan 0,5 dB(A). Deze opties scoren daarom negatief op hoge nauwkeurigheid.

Bijlage 5 – Analyse naar toepassing van filter op hoogtedata

Wanneer er rekening wordt gehouden met hoogteverschillen kan men gebruik maken van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Deze biedt de mogelijkheid één of meerdere “tegels” te selecteren en te downloaden. Voor geluidberekeningen is er minder detail vereist dus het volstaat hierbij om kaartbladen met de grootste maaswijdte te selecteren (in dit geval 5m).

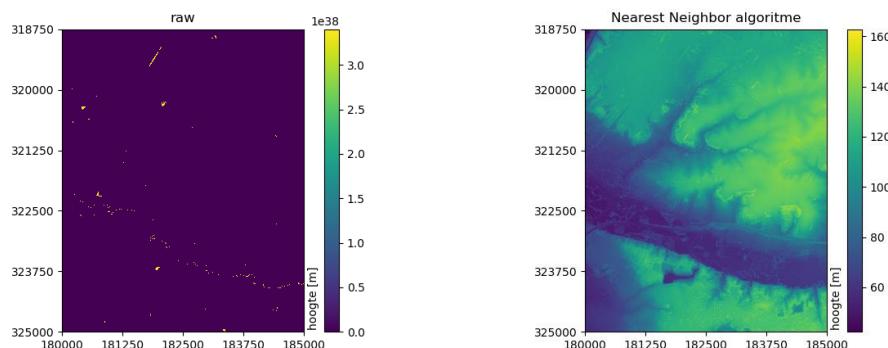
Wanneer men deze data wil gebruiken zijn er echter wel enkele stappen die op voorhand doorlopen moeten worden, namelijk:

1. Ontbrekende data aanvullen
2. Data filteren zodat uitschieters uit de data verdwijnen

Ontbrekende data aanvullen

In het AHN worden ontbrekende datapunten ingevuld door een extreem hoog getal (3.403E+38). De eerste stap in de voorbewerking van de data is deze extreme waarde omzetten naar een waarde die de werkelijkheid benaderd. Een doeltreffende methode hiervoor is het “nearest neighbor” algoritme. Bij deze methode worden deze hoge waarden gelijkgesteld aan het dichtstbijzijnde datapunt dat wel een realistische waarde heeft.

Figuur 11 geeft het effect van deze methode. In de linker figuur is te zien dat de hoogtedata nog enkele extreme waarden bevat, te herkennen door de gele punten. In de rechter figuur zijn deze extreme waarden vervangen met het *nearest neighbor* algoritme.



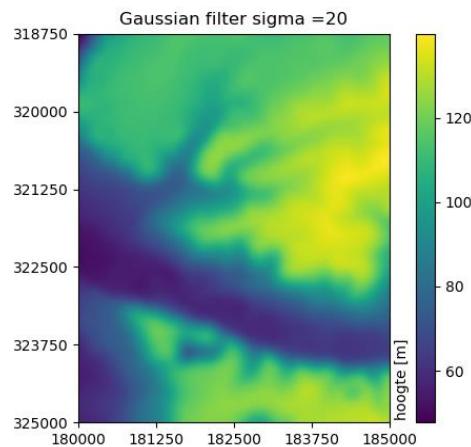
Figuur 11: Voorbeeld hoogtedata AHN met en zonder 'ontbrekende' data.

Data filteren

Het AHN is vervaardigd door middel van laseraltimetrie. Deze worden vervolgens ter beschikking gesteld als geotiff bestand waar elke pixel een werkelijke oppervlakte van 5x5 meter vertegenwoordigt. Omwille van deze discrete representatie is het noodzakelijk om een filter toe te passen en een continue benadering te bekomen. Daarnaast is het ook wenselijk om snel wisselende hoogteverschillen te beperken, omdat dit onvoorspelbare vormen van de geluidcontouren kan leiden. Een kleine aanpassing in het raster zou hiermee tot een grote verandering van de geluidcontour kunnen leiden.

Vanwege deze redenen is gekozen voor een Gaussian filter. Deze filter gebruikt naburige hoogtepunten met een wegingsfactor om een nieuwe waarde voor de huidige hoogtepunt te bepalen. In deze analyse is

gebruik gemaakt van gaussian filter uit de SciPy toolbox²¹. In deze analyse zijn meerdere instellingen van de filter onderzocht waarbij een filter met standaardafwijking van 20 het gewenste effect had. Aangezien de pixels een oppervlakte van 5 bij 5 meter voorstellen betekent een sigma van 20 voor deze Gaussian filter dat pixels binnen een diameter van 100 meter (20 maal 5 meter) de nieuwe waarde voor de centerpixel voor 68.2% (1 standaardafwijking) beïnvloeden. Pixels met een grotere afstand tot de centerpixel zullen minder invloed hebben in de bepaling van de nieuwe waarde. Het resultaat van de filter (met standaardafwijking van 100m) op de data uit Figuur 11 (rechts) is getoond in Figuur 12.



Figuur 12: Voorbeeld van hoogtedata na het toepassen van een nearest neighbour algoritme en een Gaussian filter.

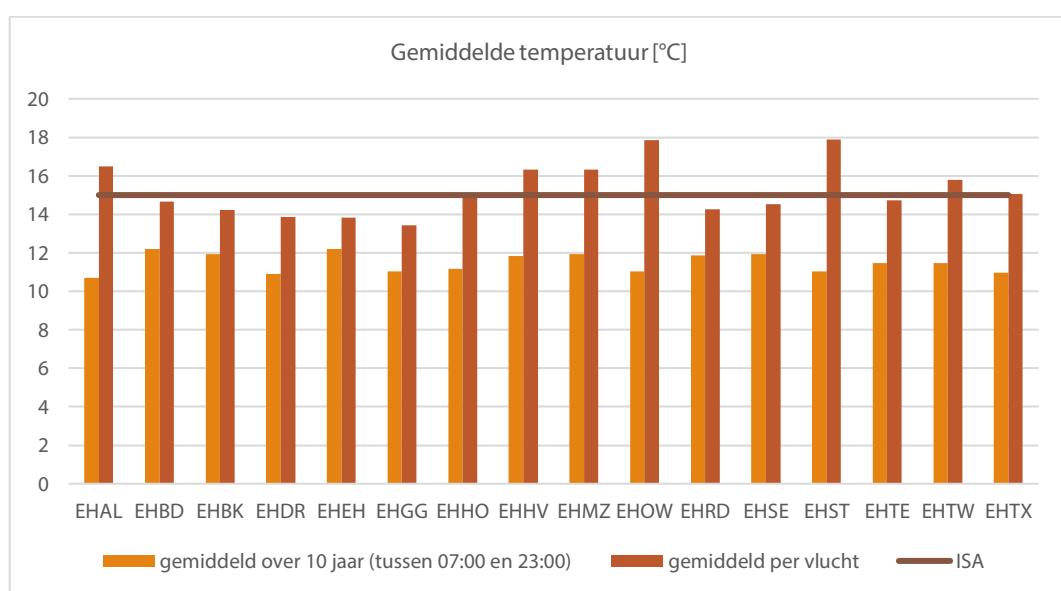
²¹ https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.ndimage.gaussian_filter.html

Bijlage 6 – Analyse naar invloed atmosferische condities

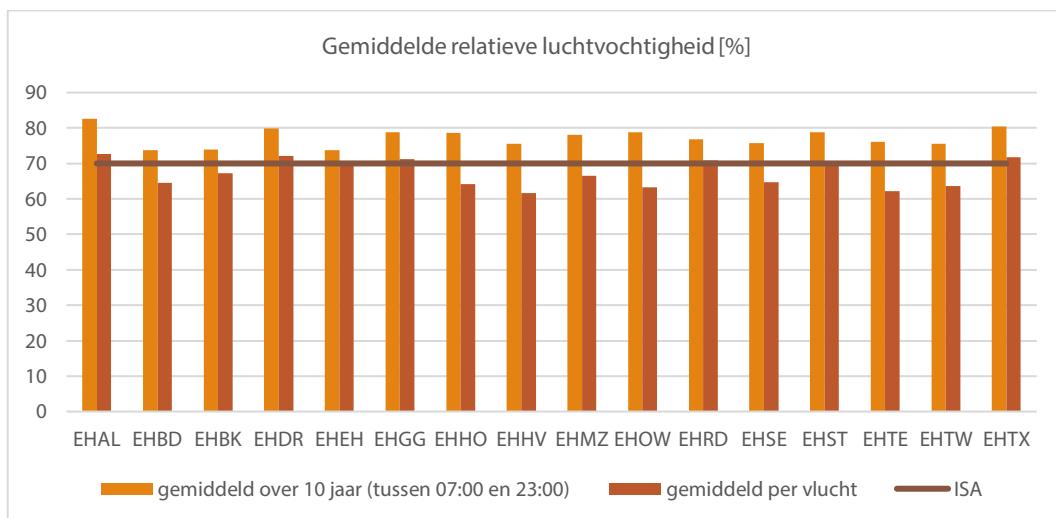
Om inzichtelijk te maken wat het effect is van het toepassen van daadwerkelijke atmosferische condities bij het bepalen van de geluidbelasting op de regionale luchthavens, is er een verdiepende analyse uitgevoerd. In deze analyse zijn verschillende methodes opgenomen voor hoe de atmosferische condities kunnen worden meegenomen in de berekeningen.

Meteorologische condities (temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid) hebben impact op de demping van het geluid in de atmosfeer. In welke seizoenen en op welke momenten van de dag er wordt gevlogen heeft ook impact op wat moet worden beschouwd als de gemiddelde meteorologische condities per vliegbeweging op een luchthaven. Om het effect van de atmosferische condities op de geluidbelasting in kaart te brengen wordt er getoetst welke (gemiddelde) meteorologische condities het meest representatief zijn voor de werkelijke geluidbelasting in de omgeving van de luchthaven.

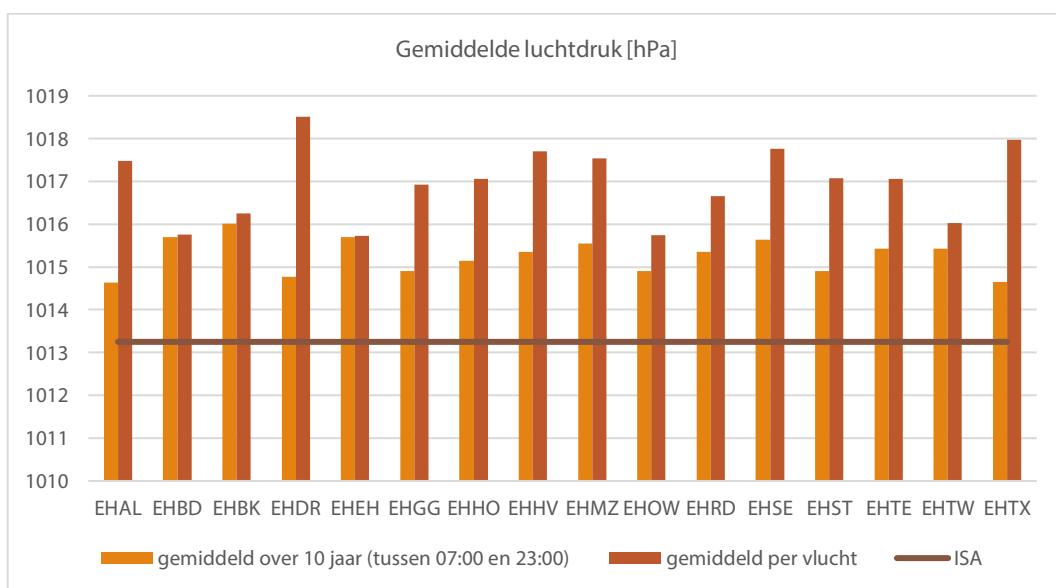
Figuur 13, Figuur 14 en Figuur 15 geven de typische meteorologische condities (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtdruk) op verschillende regionale luchthavens weer. Hierbij is gebruik gemaakt van de meetgegevens van de meest nabij gelegen KNMI-meetpost. Steeds weergegeven is de gemiddelde waarde over de afgelopen jaar, de gemiddelde waarde op het tijdstip van de vlucht en de ISA (Internationale Standaard Atmosfeer) waarde.



Figuur 13: Gemiddelde temperatuur per luchthaven.



Figuur 14: Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid per luchthaven.



Figuur 15: Gemiddelde luchtdruk per luchthaven.

Uit bovenstaande figuren blijkt dat de gemiddelde atmosferische condities (tussen 07:00 en 23:00) in bepaalde mate afwijken van de ISA-condities: een lagere temperatuur, een hogere luchtvochtigheid en een hogere luchtdruk. Meteorologisch zijn de verschillen tussen de luchthavens beperkt. Wanneer mee wordt genomen onder welke meteorologische condities bewegingen plaatsvinden dan zijn er grotere verschillen tussen de luchthavens zichtbaar. Belangrijke reden hiervoor zijn de seizoeneffecten op de luchthavens.

Om inzicht te krijgen in het effect van de verschillen in meteorologische condities op de geluidbelasting is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Wat is het effect op de geluidbelasting als meer gedetailleerde atmosferische condities worden gehanteerd in de geluidberekening?

Het antwoord op deze onderzoeksraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om te komen tot een keuze welke atmosferische condities gebruikt dienen te worden in de geluidberekeningen. Deze oplossingen worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

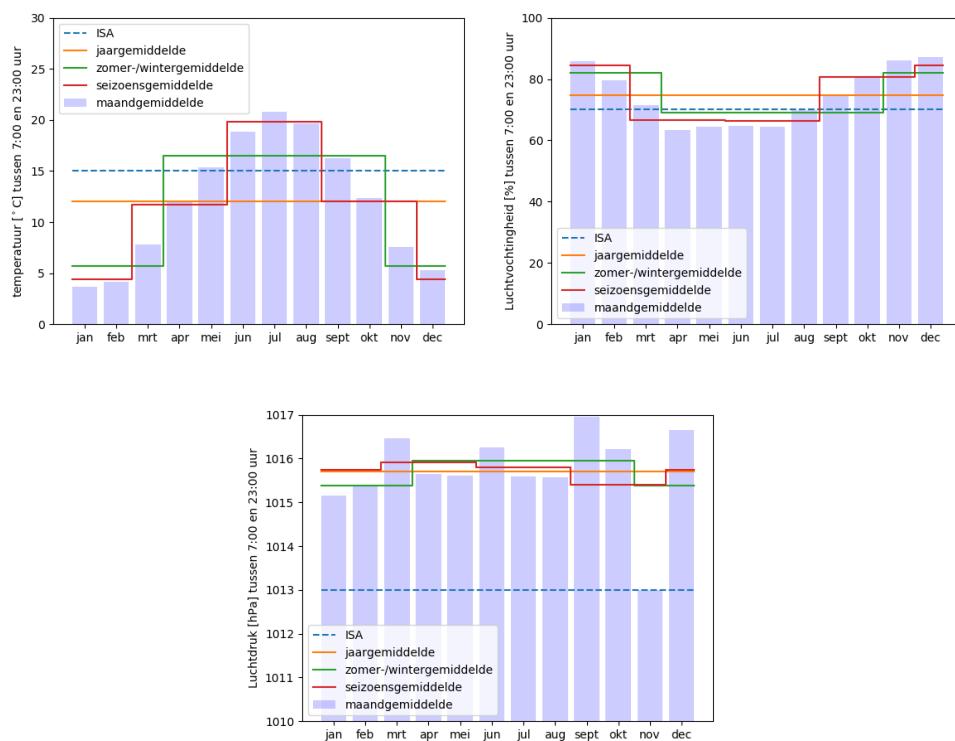
Methode

Om het effect van de atmosferische condities op de berekende geluidbelasting in kaart te brengen, zijn de volgende vier methodes gehanteerd:

1. ISA standaard zeeniveau condities toegepast op alle bewegingen - "recht-toe-recht-aan"/"maximaal uniform"
2. Gemiddelde (07:00-23:00) atmosferische condities toegepast op alle bewegingen - "benadering werkelijk geluid"
3. Gemiddelde (07:00-23:00) atmosferische condities per periode (zomer/winter, seizoen en maand) toegepast op alle bewegingen in de betreffende periode - "benadering werkelijk geluid"
4. Atmosferische condities op het tijdstip van de beweging - "werkelijk geluid"

Voor methodes 2, 3 en 4 is steeds gebruik gemaakt van weersgegevens voor de afgelopen 10 jaar. Op basis van deze 10 jaar, worden de gemiddelde atmosferische condities bepaald op jaarbasis (methode 2), per zomer/winter, per seizoen en per maand (methode 3) en op het tijdstip van de vlucht (methode 4).

Voor methode 2 en 3 worden de waarden bepaald op basis van alleen het weer 'overdag', omdat er 's nachts op de meeste regionale luchthavens niet wordt gevlogen.

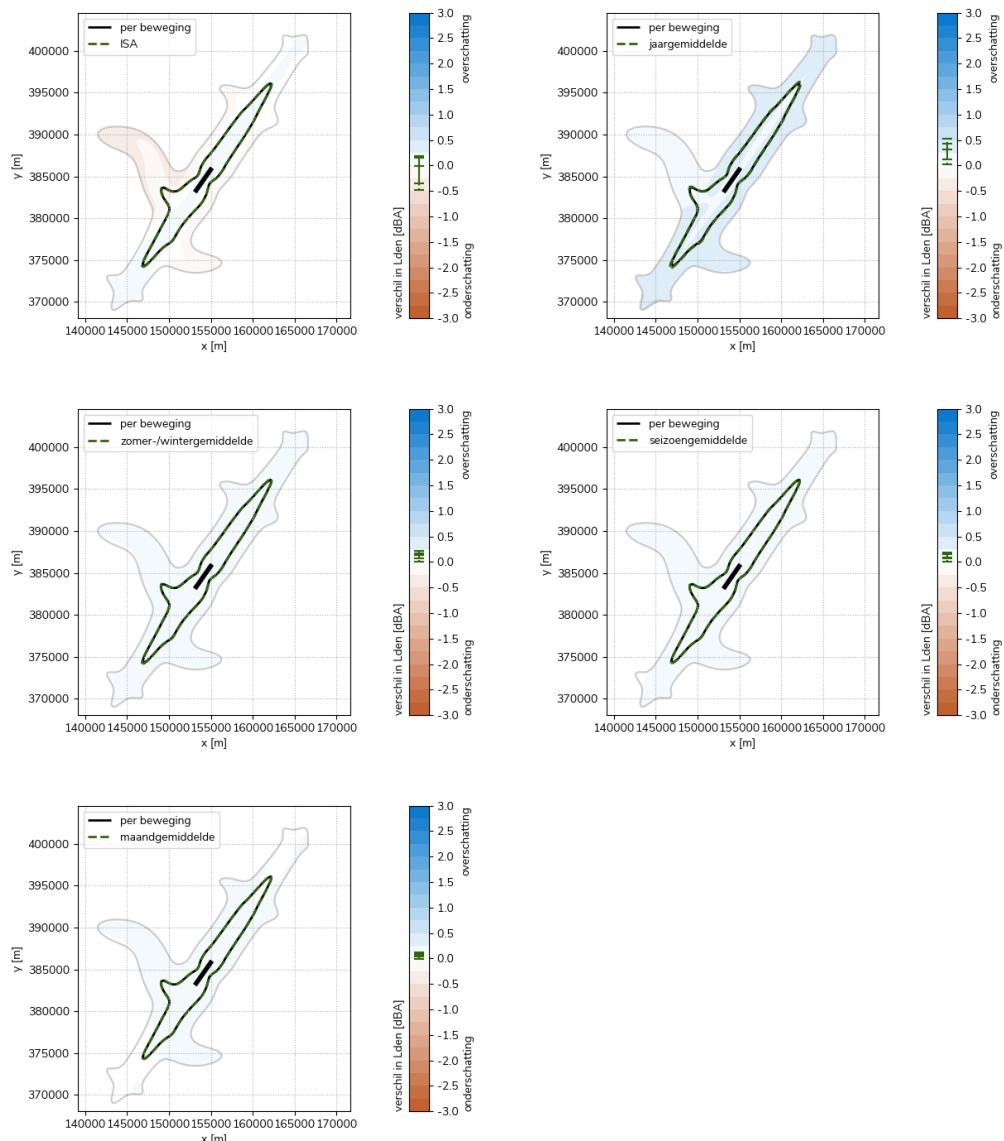


Figuur 16: Voorbeeld gemiddelde temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtdruk per periode voor de luchthaven Eindhoven Airport.

De gehanteerde waarden voor de verschillende methodes zijn weergeven in Figuur 16. Op basis van deze waarden zijn de meteorologische correcties in de geluidberekeningen toegepast.

Resultaten

Methode 4 wordt gezien als de meest accurate methode, namelijk de methode die de meteorologische condities per beweging beschouwt. Deze situatie vormt de referentie waarmee de andere methodes worden vergeleken.



Figuur 17: Verschillende methodes uitgezet t.o.v. de referentie (meteorologische condities per beweging).

De resultaten van de analyse in Figuur 17 laten zien dat er bij het hanteren van de ISA-condities typisch een overschatting tot 0,2 dB(A) binnen de 48 dB(A) L_{den} contour is. Bij lagere niveaus, maar nog binnen het aandachtsgebied van 40 dB(A) L_{den} verandert dit beeld en is in toenemende mate ook een onderschatting van de geluidniveaus zichtbaar. De spreiding in de typische verschillen is in deze variant het grootst. Zoals

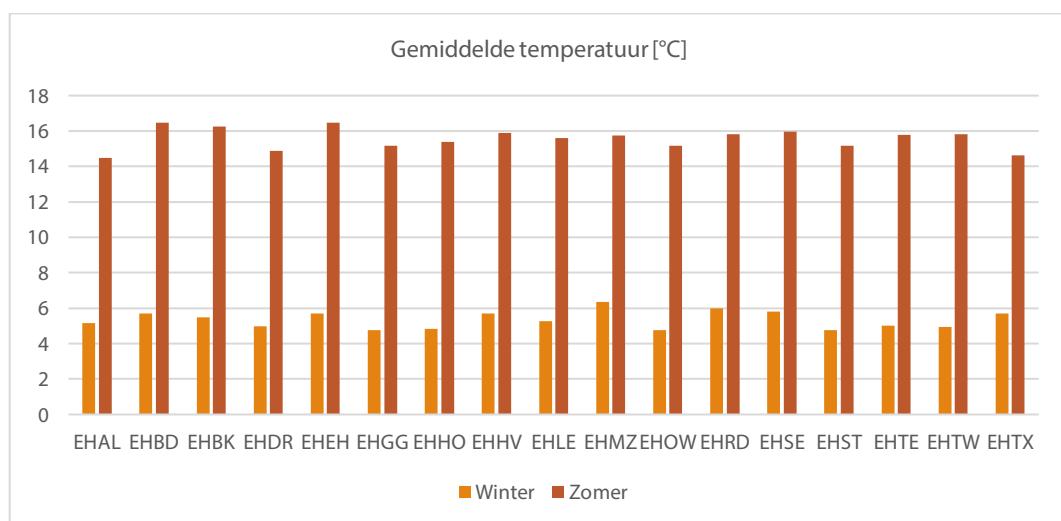
te zien in Figuur 17 is de oppervlakte van de 40 dB(A) contour bij ISA-condities dan ook 7% kleiner dan de referentiecontour en de 48 dB(A) ISA-contour is 1% groter.

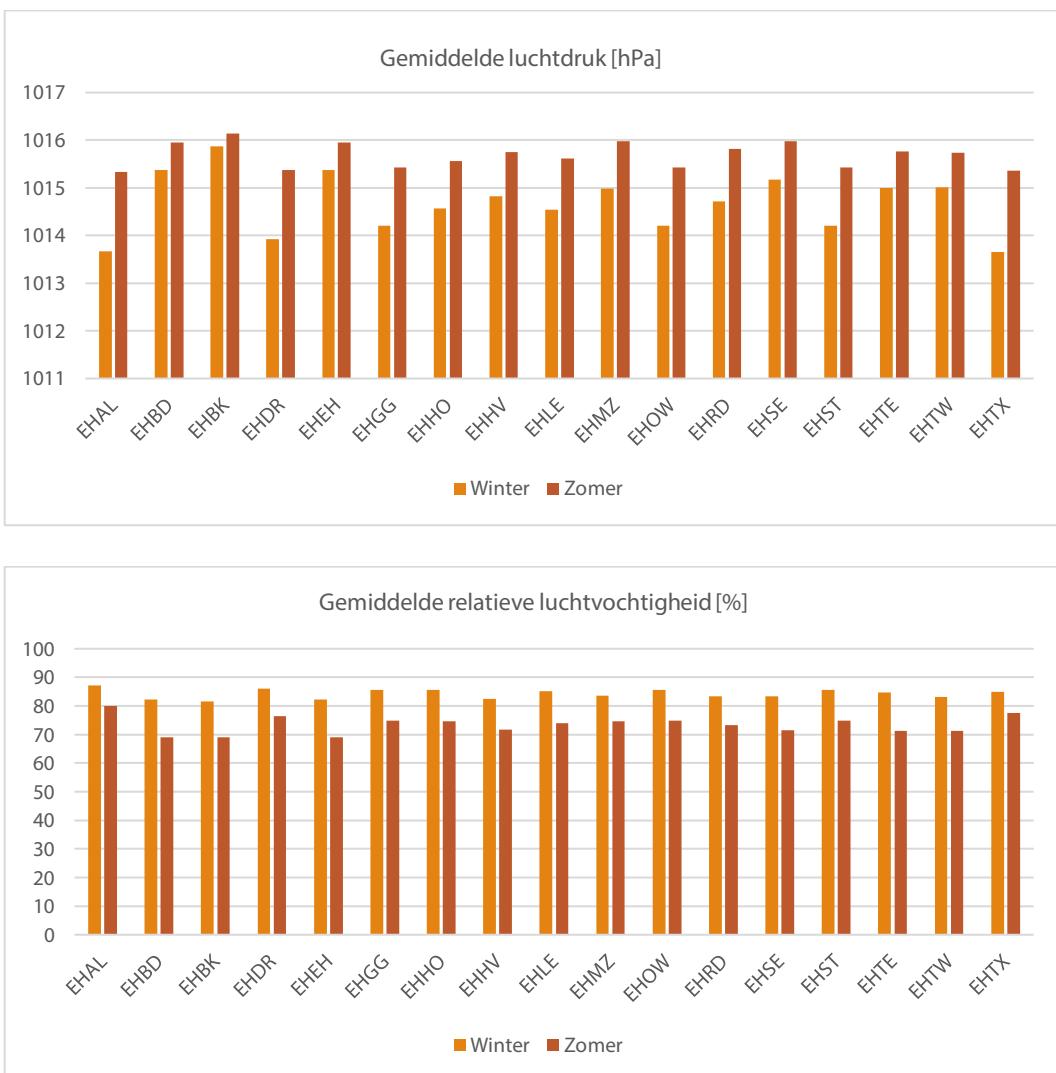
Het gebruik van luchthaven specifieke waarden voor een periode van een jaar of korter (per zomer/winter, per kwartaal of per maand) laat een systematische overschatting zien. Bij het toepassen van gemiddelde atmosferische waarden nemen de verschillen af naarmate de periode korter wordt. Zo levert het gebruik van maandgemiddelde waarden bijvoorbeeld een kleinere overschatting op dan het gebruik van half jaar gemiddelde waarden. Ook de spreiding in de typische verschillen neemt af. Hetzelfde patroon is te zien bij de 48 en 58 dB(A) contouropervlaktes in Tabel 6.

Tabel 6: Contouropervlaktes [km²] en verschil t.o.v. referentie (meteorologische condities per beweging) [%].

	40 dB(A) L _{den}	48 dB(A) L _{den}	58 dB(A) L _{den}
Per beweging (methode 4)	220	51.5	6.54
ISA (methode 1)	213 (-2.9%)	51.9 (+0.8%)	6.81 (+4.2%)
Jaargemiddelde (methode 2)	233 (+5.9%)	54.5 (+5.8%)	6.91 (+5.6%)
Zomer-/wintergemiddelde (methode 3)	224 (+2.2%)	52.9 (+2.7%)	6.8 (+3.9%)
Seizoengemiddelde (methode 3)	224 (+1.9%)	52.5 (+1.9%)	6.67 (+2.0%)
Maandgemiddelde (methode 3)	222 (+1.3%)	52.2 (+1.3%)	6.64 (+1.6%)

Deze analyse is uitgevoerd voor één van de regionale luchthavens. Om vast te stellen of de typische verschillen voor deze ene regionale luchthaven geen uitzonding is, is er een analyse gedaan naar de meteorologische condities voor alle regionale luchthavens. Figuur 18 laat de gemiddelde temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid zien (met onderscheid naar zomer en winter) voor alle regionale luchthavens.





Figuur 18: Gemiddelde temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid per luchthaven opgedeeld in zomer- en winterperiodes.

Figuur 18 laat voor de verschillende regionale luchthavens gelijkwaardige waarden zien voor de gemiddelde temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid. Hierdoor mogen gelijkwaardige resultaten worden verwacht voor de invloed van de atmosferische condities op de geluidbelasting.

Opties voor Doc 29 regionaal

Uit de analyse blijkt dat het hanteren van meer gedetailleerde atmosferische condities typisch niet leidt tot grotere verschillen dan 0,5 dB(A) L_{den}. Bij het gebruik van ISA-condities nemen de verschillen toe bij een grotere afstand van de luchthaven. Het gebruik van periodieke gemiddeldes (jaar-, 2 seizoens-, 4 seizoens- of maandgemiddelde) laat een systematische overschatting zien. Vanwege de relatief kleine onderlinge verschillen en gelijke karakteristieken worden de 2 seizoens-, 4-seizoens- en maandgemiddeldes gezamenlijk geëvalueerd als "gewogen gemiddelde atmosferische condities".

Dit levert de volgende vier opties op:

- ISA standaard zeeniveau condities

- Luchthaven-specifieke jaargemiddelde atmosferische condities
- Luchthaven-specifieke gemiddelde atmosferische condities per zomer/winter, per kwartaal of per maand
- Luchthaven-specifieke gemiddelde atmosferische condities op het tijdstip van de beweging

Toetsing eisen en wensen

De vier opties voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29. Verschillen zijn er wel in de toepasbaarheid, de praktische haalbaarheid, de eenduidigheid en de navolgbaarheid. Deze verschillen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 7: Scoretabel atmosferische condities.

Eis/wens	ISA-condities	Luchthaven specifieke jaargemiddelde condities	Luchthaven specifieke condities per zomer/winter, per kwartaal of per maand	Luchthaven specifieke condities op het tijdstip van de beweging
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓	✓	✓/✗
Eenduidig en navolbaar	✓	✓	✓	✓
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✓	□	✗	✗
Hoge nauwkeurigheid	□	□	✓	✓

Voor Doc 29 Schiphol wordt gebruik gemaakt van ISA standaard zeeniveau condities. Het gebruik van jaargemiddelde atmosferische condities voor de specifieke luchthaven is qua methode vergelijkbaar met het gebruik van ISA-condities, maar is toegespitst op de omstandigheden op de luchthaven. Hierdoor scoort deze methode neutraal voor uniformiteit met Doc 29 Schiphol. De spreiding in de typische verschillen is kleiner en de methode sluit beter aan bij de richtlijnen voor ECAC Doc 29 door het gebruik van lokale gemiddelde meteorologische omstandigheden ("Average meteorological parameters at or close to the aerodrome reference point").

Verder differentiëren naar gemiddelde atmosferische condities (per zomer/winter, per kwartaal en per maand) maakt dat de nauwkeurigheid toeneemt (t.o.v. het gebruik van ISA-condities of jaargemiddelde condities toeneemt) en de spreiding in verschillen afneemt. Hierdoor scoort deze methode beter op hoe nauwkeurigheid, maar scoort negatief op uniformiteit met Doc 29 Schiphol.

Het gebruik van atmosferische condities per tijdstip van de beweging wijkt af van Doc 29 Schiphol en vereist meer detail in de invoergegevens (tijdstip van de beweging), terwijl de nauwkeurigheid nauwelijks nog toeneemt.

Bijlage 7 – Analyse naar verschoven baandempel

Deze bijlage beschrijft de analyse naar de wijze van de modellering van verschoven baandempels. De analyse gaat in op het effect van verschoven baandempels op de geluidbelasting.

Om inzicht te krijgen in het effect van de verschillen keuzes in de modellering van de verschoven baandempel, is de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat is het effect van verschoven baandempels en een rollende start op de geluidbelasting?

Het antwoord op deze onderzoeksraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om te komen tot een keuze voor hoe de start gemodelleerd dient te worden in de geluidberekeningen. Deze oplossingen worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

Methode

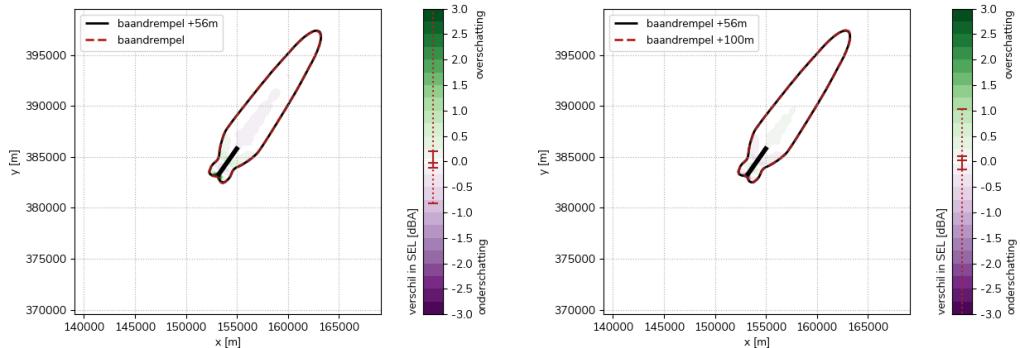
Om de mogelijke effecten van verschoven baandempels op de geluidbelasting in kaart te brengen, zijn twee analyses uitgevoerd. De analyse geeft het effect van verschillende baandempel definities en een rollende start.

In prestatieprofielen wordt standaard aangenomen dat een vliegtuig vanaf de baandempel start vanuit stilstand. Vliegtuigen starten echter soms ook door na het oprijden van de baan direct door te accelereren zonder op de baandempel te stoppen. Dit wordt een rollende start genoemd. Om het effect van rollende starts op de geluidniveaus onder het vliegpad inzichtelijk te maken, is de baandempel fictief naar achter verschoven zodat het vliegtuig op de baandempel de snelheid heeft van een rollende start. Een rollende start van 15 m/s is equivalent aan een verschoven baandempel van -56 meter. Om negatieve waarden te voorkomen, is de rollende start vanaf de baankop gemodelleerd en is de start vanuit stilstand vanaf 56 meter vanaf de baankop gehanteerd. Dit leidt tot de volgende drie situaties om met elkaar te vergelijken:

1. Berekening vanaf baankop
2. Berekening vanaf baankop + 56m – *rollende start*
3. Berekening vanaf baankop + 100m – *baandempel conform Doc 29 Schiphol*

Resultaten

Figuur 19 geeft een start vanaf de baandempel vergeleken met starts met een verschoven baandempel van 56 meter (gelijk aan een rollende start) en 100 meter (conform Doc 29 Schiphol). In de berekening is de geluidproductie genormaliseerd tot de SEL van één vlucht om het effect van de verkeerssamenstelling uit te sluiten.



Figuur 19: Start vanaf de baandrempel vergeleken met starts met een verschoven baandrempel van 56 meter en 100 meter.

In beide vergelijkingen zijn geen grote maximale verschillen in de geluidbelasting zichtbaar. De maximale verschillen treden op direct achter het startpunt van het vliegtuig. Typisch blijven de verschillen in SEL onder de 0,2 dB(A). Die verschillen treden vooral op dichtbij de baan en direct onder het vliegpad. Het grootste gedeelte van de contour buiten het luchthaventerrein is nagenoeg onveranderd.

Suggestie rekenvoorschrift

Uit de analyse blijkt dat de invloed van de rollende start en de verschoven baandrempel beperkt zijn. De extra nauwkeurigheid die hiermee gerealiseerd kan worden, weegt niet op tegen de onzekerheden rond de beschikbaarheid en nauwkeurigheid van de vereiste informatie. Voor de verschoven baandrempel voor starts vanaf het begin van de baan, kan worden aangesloten bij de gemaakte keuze voor Schiphol (100 meter).

Bijlage 8 – Gegevens in het luchthavenregister

De exploitant van de luchthaven dient op basis van de *Regeling veilig gebruik luchthavens en andere terreinen*²² en de Regeling burgerluchthavens per vliegtuig- en helikopterbeweging op de luchthaven gegevens vast te leggen in een luchthavenregister.

*De Regeling veilig gebruik luchthavens en andere terreinen*²² schrijft voor welke gegevens de exploitant van een luchthaven voor (niet-)verkeersvluchten moet bijhouden. Dit betreft ten minste de volgende gegevens:

- het nationaliteits- en inschrijvingskenmerk, type luchtvaartuig tevens inhoudende de inrichting van het luchtvaartuig en de naam van de eigenaar of houder;
- de naam van de gezagvoerder van het luchtvaartuig (alleen voor niet-verkeersvluchten);
- het vluchtnummer (alleen voor verkeersvluchten);
- de luchthaven, waarvan het luchtvaartuig het laatst is vertrokken, alsmede het tijdstip van aankomst;
- de luchthaven van bestemming, alsmede tijdstip van vertrek;
- de aard van de vlucht, alsmede het aantal inzittenden (alleen voor niet-verkeersvluchten);
- de baan- en circuitrichting.

In de Regeling burgerluchthavens is vastgelegd dat in een handhavingsberekening voor geluid de in het luchthavenregister vastgelegde gegevens worden gebruikt over de periode waarop de berekening betrekking heeft. Dit betreft de volgende door een exploitant te registreren kenmerken per beweging:

- luchtvaartuigtype (ICAO-code);
- luchtvaartuigregistratienummer;
- maximaal startgewicht van het luchtvaartuig;
- baangebruik;
- vluchtsoort (start/landing/circuit);
- CBS-vluchtcode;
- bestemmingsluchthaven bij starts;
- het gevolgde circuit;
- start of landingstijdstip;
- IFR / VFR;
- aantal bewegingen (waarbij één circuitvlucht geldt als 2 bewegingen).

²² <https://wetten.overheid.nl/jci.3:c:BWBR0026570&hoofdstuk=2&afdeling=3¶graaf=2&artikel=14&z=2020-07-11&q=2020-07-11>

Bijlage 9 – Analyse naar effect gebruik modelroute vs. radartracks

Deze bijlage geeft de analyse naar de mogelijke effecten van het toepassen van verschillende methodes om een prognose verkeerssituatie door te rekenen op basis van historische radardata.

Methode

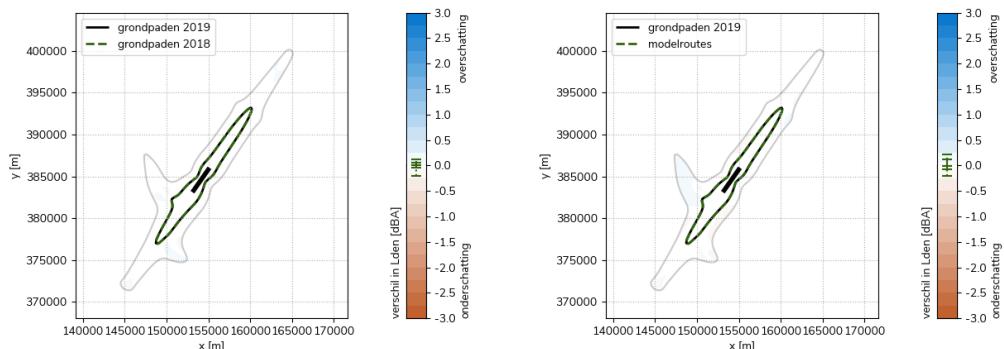
Voor de analyse zijn de geluidniveaus bepaald volgens volgende methodes:

- Modelroutes o.b.v. radardata uit verleden – “recht-toe-recht-aan”
- Historische radar tracks – “maximaal uniform”
- Radar tracks (referentie) – “werkelijk geluid”

De “werkelijk geluid” methode is niet beschikbaar voor prognoses, maar wordt gebruikt ter referentie om vast te stellen hoe goed met de twee andere methodes de twee andere methodes de geluidbelasting kan worden voorspeld. De analyse wordt uitgevoerd op basis een verkeerssituatie voor Eindhoven Airport, omdat hiervoor empirische bepaalde modelroutes (per route) beschikbaar zijn. Voor dezelfde clusters als de modelroutes kan de geluidbelasting vervolgens ook worden bepaald aan de hand van een set geluidresultaten behorende bij individuele historische tracks. Het controlejaar voor “werkelijk geluid” is 2019 en de historische radar tracks uit 2018 worden gebruikt voor de “maximaal uniform” methode.

Resultaten

Figuur 20 geeft de verschillen tussen modelroutes (linker figuur) en het gebruik van radar tracks uit het voorgaand jaar (rechter figuur) ten opzichte van de situatie “werkelijk geluid”. Voor beide methodes zijn de verschillen beperkt. De maximale verschillen van de methode met modelroutes zijn groter dan de maximale verschillen van de methode op basis van historische radartracks.



Figuur 20: Verschil tussen gebruik radardata voorgaand jaar en gebruik modelroutes. Clustering op basis van route.

In beide situaties zijn de verschillen kleiner dan 0,3 dB(A). Ook de verschillen in contouropervlaktes in Tabel 8, zijn beperkt waarbij de oppervlaktes van de modelroutes methode grotere wijzigingen met zich mee brengen (+0,2%) dan de methode op basis van historische radartracks (kleiner dan 0,1%).

Tabel 8: Contouropervlaktes [km²] en verschil t.o.v. de resultaten van grondpaden 2019 [%].

	40 dB(A)	48 dB(A)	58 dB(A)
grondpaden 2019	116	27.1	2.91
grondpaden 2018	116 (-0.0%)	27.1 (+0.1%)	2.91 (-0.0%)
modelroutes	116 (+0.2%)	27.1 (+0.1%)	2.91 (-0.0%)

Suggesties rekenvoorschrift

Beide methodes zijn bruikbaar voor het maken van een geluidprognose voor regionale luchthavens. De volgende twee opties zullen daarom worden getoetst aan de eisen en wensen voor routemodellering in het kader van *Doc 29 regionaal*:

1. Modelroutes op basis van historische radardata
2. Historische radardata

Toetsing eisen en wensen

Beide methodes voldoen aan de richtlijnen van Doc 29 en zijn toepasbaar en praktisch haalbaar. Het gebruik van radardata levert meerwerk op in het aantal berekeningen dat noodzakelijk is voor de analyse. Het is echter niet aannemelijk dat dit het doorrekenen van een jaar aan individuele vluchten overschrijdt.

Beide methodes bieden enige keuzevrijheid in het vormen van de clusters die aan de berekening ten grondslag liggen. Met een cluster wordt hier een groep vluchten bedoeld die worden gerepresenteerd door dezelfde grondpaden. Een studie uitgevoerd door verschillende gebruikers kan (beperkte) verschillen in resultaten opleveren als andere keuzes worden gemaakt in het clusteren van vluchten. De wijze van clusteren dient door de gebruiker beoordeeld te worden op basis van een balans tussen het aantal vluchten enerzijds en de kenmerken (bijvoorbeeld vliegtuigtype(s), vliegmaatschappij, start- of landingsprocedure, etmaalperiode) waarop gegroepeerd wordt anderzijds. De gebruiker zal de onderbouwing van de keuzes in beide gevallen moeten documenteren. Daarmee krijgen beide methodes een neutrale score voor eenduidigheid en navolgbaarheid.

Bij Doc 29 Schiphol wordt gebruik gemaakt van historische radardata voor het maken van prognoses. Het gebruik van modelroutes wijkt hier van af. De verschillen in geluidniveaus zijn dermate klein dat beide methodes worden beschouwd als nauwkeurig voor het maken van prognoses.

Tabel 9: Scoretabel modelroutes vs. radardata.

Eis/wens	Modelroutes o.b.v. historische radardata	Historische radardata
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	□	□
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✗	✓
Hoge nauwkeurigheid	✓	✓

Bijlage 10 – Analyse naar effect gebruik werkelijke startgewicht

Deze bijlage geeft de analyse naar het gebruik van het werkelijke startgewicht voor de selectie van de afstandsklasse. Per afstandsklasse zijn in de ANP database startgewichten toegekend. Per afstandsklasse / startgewicht zijn prestatieprofielen gemaakt op basis van het gekoppelde startgewicht voor de betreffende afstandsklasse. Voor Doc 29 Schiphol wordt de selectie van de afstandsklasse gebaseerd op (de afstand tot) de bestemming van de vlucht. Daarmee wordt de koppeling aan een prestatieprofiel gebaseerd op de relatie tussen bestemming en het startgewicht, in plaats van op het startgewicht zelf.

Vanwege het ontbreken van gegevens is er voor de implementatie van Doc 29 Schiphol geen analyse uitgevoerd naar het effect van het gebruik van het werkelijke startgewicht in de geluidberekeningen. Er is wel een aanbeveling gedaan om hier, indien er wel gegevens beschikbaar zijn, een analyse naar uit te voeren. Bij (enkele) regionale luchthavens zijn er wel gegevens beschikbaar zijn over het daadwerkelijke startgewicht.

Voor de analyse hebben we de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat is het effect op de geluidbelasting wanneer het prestatieprofiel wordt gebaseerd op het werkelijke startgewicht van de vliegtuigen (i.p.v. afstandsklasse)?

Het antwoord op deze onderzoeksraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om suggesties te doen voor het rekenvoorschrift. Deze suggesties worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

Methode

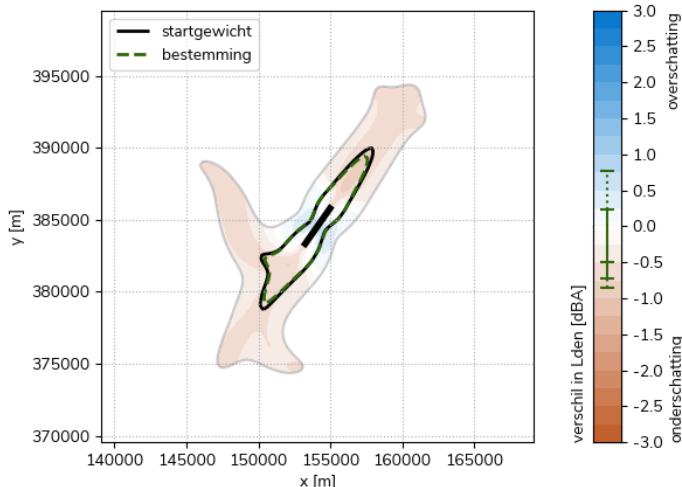
Om het effect van het daadwerkelijke startgewicht op de berekende geluidbelasting in kaart te brengen zijn voor de analyse twee verschillende situaties beschouwd:

- Selectie van de afstandsklasse voor starts o.b.v. bestemming - "recht-toe-recht-aan"/"maximaal uniform"
- Selectie van de afstandsklasse voor starts o.b.v. het daadwerkelijke startgewicht - "werkelijk geluid"

Voor de analyse is gebruik gemaakt van geregistreerde startgewichten en bestemmingen van starts. Er is een verkeersbestand gemaakt voor de vluchten waarvoor een startgewicht is geregistreerd. Deze set laat zien dat er per saldo meer bewegingen zijn die worden toegekend met een hogere afstandsklasse als de afstandsklasse wordt afgeleid van het daadwerkelijke startgewicht dan wanneer deze wordt afgeleid uit de bestemming.

Resultaten

Figuur 21 geeft het verschil in geluidbelasting tussen de twee methodes.



Figuur 21: Afstandsklasse o.b.v. bestemming en o.b.v. startgewicht.

Uit Figuur 21 blijkt dat het typische verschil tussen de methodes circa 0,5 dB(A) L_{den} bedraagt. Volgens de verwachting (per saldo zijn er meer bewegingen met een hogere afstandsklasse als er gewerkt wordt met werkelijke startgewichten) levert de selectie van afstandsklasse op basis van de bestemming een onderschatting van de geluidbelasting. Binnen de 40 dB(A) L_{den} contour zijn er maximale verschillen zichtbaar tot circa 1 dB(A) L_{den} . Op en rondom het luchthaventerrein is er een overschatting van de geluidbelasting zichtbaar. Dit wordt verklaard doordat bewegingen met een lagere afstandsklasse eerder loskomen van de startbaan.

Tabel 10 geeft de contouroppervlaktes weer op basis van beide methodes.

Tabel 10: Contouroppervlaktes [km^2] en verschil t.o.v. de methode op basis van startgewicht [%].

	40 dB(A)	48 dB(A)	58 dB(A)
Afstandsklasse o.b.v. startgewicht	104	21	2.18
Afstandsklasse o.b.v. bestemming	95.6 (-7.8%)	19 (-9.9%)	2.13 (-2.4%)

Suggesties rekenvoorschrift

Beide methodes kunnen gebruikt worden voor het bepalen van de geluidbelasting. Daardoor zijn er twee mogelijkheden voor het rekenvoorschrift:

- Selectie van afstandsklasse o.b.v. bestemming
- Selectie van afstandsklasse o.b.v. werkelijk startgewicht

Toetsing eisen en wensen

De methodes voldoen beide aan de richtlijnen van ECAC Doc 29. De toepasbaarheid en de praktische haalbaarheid verschillen tussen de methodes, omdat meer gegevens nodig zijn voor de selectie van de afstandsklasse o.b.v. het daadwerkelijk startgewicht. Om die methode in de praktijk toe te passen, moeten luchthavens het startgewicht gaan registreren, wat momenteel nog niet gebeurt. Mede hierdoor is de methode o.b.v. daadwerkelijk startgewicht voor alle regionale luchthavens niet direct toepasbaar en praktisch haalbaar.

Omdat invoergegevens direct afhankelijk zijn van de gegevens die door de luchtvaartmaatschappij of grondafhandelaar wordt opgegeven is eenduidigheid en navolgbaarheid lastiger te waarborgen. Hier moeten passende regels en toezichthouding voor komen. Daarnaast is het zo dat er van luchthaven tot luchthaven en van jaar tot jaar verschillen kunnen optreden. Dit doet afbreuk aan de eenduidigheid van deze methode.

Bij Doc 29 Schiphol wordt de afstandsklasse bepaald o.b.v. bestemming. Als voor regionale luchthavens gebruik zou worden gemaakt van daadwerkelijk startgewicht, dan zou dit afwijken van de methode zoals deze nu voor Doc 29 Schiphol wordt toegepast. Daarentegen scoort de methode waarbij er gebruik gemaakt wordt van het daadwerkelijke startgewicht leidt tot een hogere nauwkeurigheid. Afstandsklasse o.b.v. bestemming kan op plekken met meer dan 0,5 dB(A) afwijken en wordt daarom beschouwd als minder nauwkeurig. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat het bepalen van de afstandsklasse op basis van het geregistreerde startgewicht nauwkeuriger is.

Tabel 11: Scoretabel afstandsklasse.

Eis/wens	Afstandsklasse starts wordt bepaald o.b.v. de bestemming	Afstandsklasse starts wordt bepaald o.b.v. het daadwerkelijk startgewicht
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✗
Eenduidig en navolgbaar	✓	□
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✓	✗
Hoge nauwkeurigheid	✗	✓

Bijlage 11 – Analyse naar effect gebruik full flaps/reduced flaps

Deze bijlage geeft de analyse naar het gebruik van full flaps/reduced flaps bij de nadering. Het gebruik van full flaps en reduced flaps kan verschillen per luchthaven en/of luchtvaartmaatschappij. De selectie van flaps is tevens afhankelijk van het vliegtuigtype, de lengte van de baan, het weer en procedures van de luchtvaartmaatschappij. Het gebruik van reduced flaps in plaats van een full flaps leidt tot een lagere geluidbelasting in de omgeving van de luchthaven. Op basis van de verschillen in geluidproductie op individueel vluchtniveau is de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat is het effect op de geluidbelasting bij gebruik van full flaps (FF) of reduced flaps (RF)?

Het antwoord op deze onderzoeksraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om suggesties te doen voor het rekenvoorschrift. Deze suggesties worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

Methode

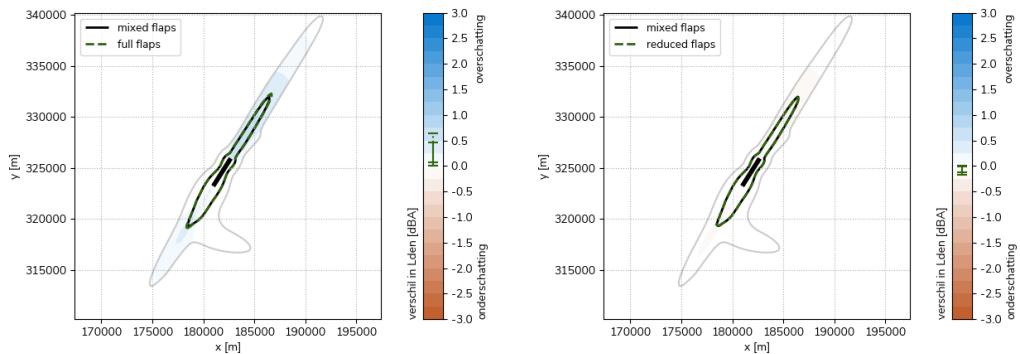
Om inzicht te krijgen in de geluidbelasting bij verschillende flap settings zijn de volgende situaties met elkaar vergeleken:

- Voor alle naderingen is een full flaps nadering verondersteld - "recht-toe-recht-aan (conservatief)"
- Voor alle naderingen is, waar mogelijk, een reduced flaps nadering verondersteld - "recht-toe-recht-aan"
- Voor de naderingen is een mix van full flaps en reduced flaps naderingen verondersteld - "maximaal uniform" / "benadering werkelijk geluid"

De eerste verkeerssamenstelling is gebaseerd op de huidige methodiek van het NRM, waarbij alle vluchten met full flaps prestatieprofielen worden berekend. De tweede verkeerssamenstelling past waar deze beschikbaar zijn reduced flaps prestatieprofielen toe. Hoewel in de praktijk met reduced flap settings wordt gevlogen wanneer dit mogelijk is, zal dit niet altijd mogelijk zijn (bijvoorbeeld door ongunstige weersomstandigheden). Daarom wordt er ook een verkeerssamenstelling getoetst met een mix van full flaps en reduced flaps vluchten. De verhouding die wordt gehanteerd in deze studie is 80% reduced flaps en 20% full flaps, gebaseerd op de verwachting dat in de praktijk overwegend reduced flaps wordt toegesteld. Deze samenstelling is gebaseerd op *expert judgement* en wordt het meest realistisch geacht.

Resultaten

Figuur 22 laat zien wat het effect is op de geluidbelasting volgens de drie verschillende methodes. De toepassing van een mix wordt het meest realistisch geacht en geldt daarom als referentiesituatie in de figuren.



Figuur 22: Drie mogelijke flaps settings - full flaps, reduced flaps en mixed flaps.

In Figuur 22 is zichtbaar dat het toepassen van alleen full flaps naderingen in de geluidberekening leidt tot een overschatting van het geluid. Figuur 22 toont ook aan dat het gebruik van alleen reduced flaps prestatieprofielen leidt tot een onderschatting van het geluid t.o.v. de meest realistische methode (mixed flaps). Deze overschatting bij het toepassen van louter full flaps en de onderschatting van louter reduced flaps gebruik zijn ook te zien in toename en afnames van de contouroppervlaktes getoond in Tabel 12.

Tabel 12: Contouroppervlaktes [km²] en verschil t.o.v. de methode op basis van mixed flaps [%].

	40 dB(A)	48 dB(A)	58 dB(A)
mixed flaps	70.2	13.7	1.5
full flaps	71.2 (+1.4%)	14.3 (+4.7%)	1.55 (+3.4%)
reduced flaps	70 (-0.4%)	13.5 (-1.1%)	1.46 (-2.8%)

Omdat de mix van full en reduced flaps overwegend uit reduced flaps vluchten bestaat, zijn de verschillen ten opzichte van de situatie met alleen full flaps groter (typisch tot 0,5 dB(A) en maximaal tot 0,7 dB(A) L_{den}) dan de verschillen ten opzichte van de reduced flaps verkeerssamenstelling (zowel typische als maximale waarde tot 0,2 dB(A) L_{den}).

Suggesties rekenvoorschrift

Het gebruik van alleen full of reduced flaps leidt tot respectievelijk een overschatting en onderschatting van het geluid. In de praktijk ligt zal de geluidbelasting tussen deze twee situaties in zitten. Verschillen tussen de situaties met alleen full flaps en de veronderstelde mix zijn groter dan tussen de situaties met alleen reduced flaps en de veronderstelde mix, omdat de veronderstelde mix een groter aandeel reduced flaps vluchten bevat (80%) dan full flaps vluchten (20%). Ondanks dat de verhoudingen van full flaps en reduced flaps in werkelijkheid anders kunnen zijn (in werkelijkheid zullen de verhoudingen verschillen per luchthaven en/of luchtvaartmaatschappij) dan in deze analyse is getoetst, is het duidelijk dat de methode kan voor het toewijzen van de flaps setting effecten kan hebben op de geluidbelasting die groter kunnen zijn dan 0,5 dB(A) L_{den}.

Op basis van deze inzichten zijn er vier opties geïdentificeerd:

- 100% full flaps
- 100% reduced flaps (wanneer mogelijk)
- Vaste mix full flaps/reduced flaps (voor alle velden gelijk)

- Mix full flaps/reduced flaps per veld en evt. per bijvoorbeeld luchtvaartmaatschappij.

Toetsing eisen en wensen

De vier voorgestelde methodes voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29 en zijn toepasbaar en praktisch haalbaar. De methode waarbij de verhouding wordt bepaald per luchthaven eventueel per bijvoorbeeld luchtvaartmaatschappij levert meerwerk op omdat er aanvullende dataverzameling en analyse noodzakelijk is. Deze dataverzameling moet periodiek gedaan worden om de verhoudingen actueel te houden. Wat betreft eenduidigheid en navolgbaarheid scoort de optie waarbij de verhouding full flaps/reduced flaps wordt bepaald per luchthaven/luchtvaartmaatschappij neutraal, omdat de verhouding nog moet worden vastgelegd. De kwaliteit van de inschatting is afhankelijk van de data die hiervoor wordt gebruikt. Op dit moment zijn dergelijke gegevens niet beschikbaar.

Een aantal van de onderzochte methodes wijkt af van Doc 29 Schiphol. Bij Doc 29 Schiphol wordt per luchtvaartmaatschappij bepaald of er met full flaps of reduced flaps wordt gevlogen.

De meest nauwkeurige optie is de optie waarbij er luchthaven en luchtvaartmaatschappij specifieke informatie worden gebruikt. 100% full flaps en 100% reduced flaps zijn twee uitersten en daarmee per definitie het minst nauwkeurig. Een vaste verhouding full flaps/reduced flaps vluchten voor alle velden en alle luchtvaartmaatschappijen is minder nauwkeurig dan verder specificeren, maar is waarschijnlijk voldoende accuraat om deze als neutraal te kunnen beoordelen.

Tabel 13: Scoretabel flap settings.

Eis/wens	100% full flaps	100% reduced flaps wanneer mogelijk	Vaste mix FF/RF	Bepalen per luchthaven/airline
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓	✓	□
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✗	✗	✗	✓
Hoge nauwkeurigheid	✗	✗	□	✓

Bijlage 12 – Analyse naar effect gebruik nieuwe ANP-gegevens

In deze bijlage wordt de analyse naar het gebruik van verschillende ANP gegevens gepresenteerd. Sinds december 2012 zijn er 4 verschillende ANP versies gepubliceerd door EUROCONTROL, namelijk versie 2.0, 2.1, 2.2. en 2.3.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de wijzigingen in de verschillende ANP versies.

Tabel 14: Wwijzigingen in verschillende versies van de ANP database.

	ANP versie 2.0 wijzigingen t.o.v. versie 1.0	ANP versie 2.1 wijzigingen t.o.v. versie 2.0	ANP v2.2 wijzigingen t.o.v. versie 2.1	ANP v2.3 Wijzigingen t.o.v. 2.2
Datum	December 2012	Augustus 2016	Februari 2018	Oktober 2020
Nieuwe vliegtuigtypes	20 verschillende vliegtuigtypes aangepast/aangevuld	9 verschillende vliegtuigtypes aangepast/aangevuld	9 verschillende vliegtuigtypes aangepast/aangevuld (A350-941 en 7378MAX)	4 verschillende vliegtuigtypes aangepast, 1 aangevuld (ATR72)
Wijzigen bestaande vliegtuigtypes	Representatieve gewicht voor bepaalde afstandsklassen aangepast en maximale stuwwerkt waardes gecorrigeerd van 21 vliegtuigtypes. Daarnaast een aantal modificaties aan procedures doorgevoerd voor een aantal vliegtuigtypes	Flap identifiers toegevoegd aan 'Aerodynamic coefficient' tabel en afrondingsfouten hersteld in 'jet engine coefficients' tabel	-	
Toevoegen ontbrekende data	-	LMax en PNLT M maat voor verschillende NPD identifiers	-	
Methodische wijzigingen	STANDARD procedure hernoemd to DEFAULT en Reverse thrust waardes aangepast	Accel Percentage (%) kolom toegevoegd (voor 7478, 7773ER, 7878R) in de 'Procedural steps' tabel	Nieuwe step types in procedural steps: Descend-Idle, Level-Idle, Level-Decel	Wijziging EPNL, LMax, PNLT M en SEL waardes voor ATR72, CF567B, A350-941 en 7378MAX

Zoals te zien in Tabel 14, kan er jaren zitten tussen twee nieuwe versies van de ANP database. Het kan dus ook jaren duren voordat geluid- en prestatiegegevens beschikbaar zijn van een nieuw vliegtuigtype. Een nieuw vliegtuigtype zal tot die tijd worden doorgerekend op basis van een proxy met bijbehorende geluidcorrectiefactoren, zie onder andere hoofdstuk 4 en 'Bijlage 15 – Analyse naar effect van verschillende substitutiemethodes'. Als eerst een proxy is toegepast voor een type en vervolgens dat type op basis van nieuwe ANP gegevens anders wordt doorgerekend kan dat effect hebben op de berekende geluidniveaus in de omgeving van de luchthaven. Dit werkt op soortgelijke wijze als bij de substitutie met een proxy.

In Appendix G van volume 2 van ECAC Doc 29 wordt het gebruik van de ANP database aangehaald. Er wordt echter niet beschreven hoe er omgegaan moet worden nieuwe geluid- en prestatiegegevens.

APPENDIX G: THE INTERNATIONAL AIRCRAFT NOISE AND PERFORMANCE (ANP) DATABASE

Users will represent 'in-service' aeroplanes, i.e. airframe/engine combinations, by equivalent ones designated in the ANP database. Aircraft models and variants that are not covered by the ANP database have to be represented by substitutes (often referred to as 'proxy' aircraft) - aircraft with similar noise and performance characteristics that are included in the ANP database, and that can be adequately scaled (through the use of either adjusted NPD noise data or 'adjusted number of movements') to represent the missing aircraft.

To facilitate the work of aircraft noise modellers, the ANP database website includes a Substitutions table providing a list of suggested aircraft substitutions which was derived in line with the substitution method described in Volume 1 - section 6.4.4 - of this ECAC guidance (ref. 4). A detailed description of the Substitutions table content is provided in Section G5.

The database continues to be expanded so that the need for substitution can be reduced over time. Users who consider that their modelling work is compromised by a lack of coverage are urged to communicate their needs to the managers, via the website.

Op basis van de verschillen tussen ANP versies is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

Leidt het gebruik van andere (oudere/nieuwere) versies van de ANP database tot significante verschillen in (I) koppelingen en/of (II) de resulterende geluidbelasting?

Het antwoord op deze onderzoeksvraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om suggesties te doen voor het rekenvoorschrift. Deze suggesties worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

Methode

Om een indicatie te krijgen van het mogelijke effect van verschillende ANP gegevens op de berekende geluidbelasting in kaart te brengen, zijn twee situaties met elkaar vergeleken:

- Berekening 'nieuw vliegtuigtype' o.b.v. geluid- en prestatiegegevens soortgelijk 'huidig/ouder vliegtuigtype' incl. correctie o.b.v. geluidcertificatiegegevens
 - Bijvoorbeeld Boeing 737-700 doorrekenen met gegevens Boeing 737-300/400/500 incl. correctie
- Berekening 'nieuw vliegtuigtype' o.b.v. geluid- en prestatiegegevens 'nieuw vliegtuigtype'
 - Bijvoorbeeld Boeing 737-700 doorrekenen met gegevens Boeing 737-700

Vergelijking 1: correctie van geluidniveaus voor substitutie van landende vliegtuigen

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

In vergelijking 1 is $\Delta_{landing}$ de landing correctie van proxy naar sub in dB, $L_{approach,sub}$ is de approach certificatie waarde van sub vliegtuig in EPNdB en $L_{approach,proxy}$ is de approach certificatie waarde van proxy vliegtuig in EPNdB.

Vergelijking 2: correctie van geluidniveaus voor substitutie van startende vliegtuigen

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

In vergelijking 2 is Δ_{start} de start correctie van proxy naar sub in dB, $L_{lateral,sub}$ is de *lateral* certificatie waarde van sub in EPNdB, $L_{lateral,proxy}$ is de *lateral* certificatie waarde van proxy in EPNdB, $L_{flyover,sub}$ is de *flyover* certificatie waarde van sub in EPNdB en $L_{flyover,proxy}$ is de *flyover* certificatie waarde van proxy in EPNdB,

Vergelijking 3: conversie van correctie in decibellen naar correctie in aantallen bewegingen

$$\Delta n_{start/landing} = 10^{\frac{\Delta_{start/landing}}{10}}$$

In Vergelijking 3 is $\Delta_{start/landing}$ de start/landing correctie in dB en $\Delta n_{start/landing}$ is de start/landing correctie in percentage van het aantal vluchten.

Met behulp van de bovenstaande vergelijkingen zijn de geluidcertificatiegegevens uit Tabel 15 omgezet naar de correctiefactoren zoals opgenomen in Tabel 16.

Tabel 15: Geluidcertificatiegegevens voor vliegtuigtypes (737 familie) uit de ANP database.

Anp_proxy	$L_{approach}$ [EPNdB]	$L_{lateral}$ [EPNdB]	$L_{flyover}$ [EPNdB]
737300	99.9	90.2	86.5
7373B2	99.9	91.9	85.7
737400	100.2	93.1	87.1
737500	97.4	89.6	84.2
737700	95.9	93	85.9

Tabel 16: Correctiefactoren van geluidniveaus in decibellen en percentage van aantal vluchten.

Anp_proxy	$\Delta_{landing}$ [dB]	$\Delta n_{landing}$ [%]	Δ_{start} [dB]	Δn_{start} [%]
737300	-4.0	39.8%	+1.425	138.8 %
7373B2	-4.0	39.8%	+0.673	116.8%
737400	-4.3	37.2%	-0.615	86.8%
737500	-1.5	70.8%	+2.633	183.3%
737700 (sub)	0.0	100.0%	0.0	100.0%

Met behulp van de correctiefactoren zijn voor verschillende geluidmaten (SEL, EPNL en LAmax) verschillende berekeningen uitgevoerd om de impact van het gebruik van nieuwe ANP gegevens te bepalen:

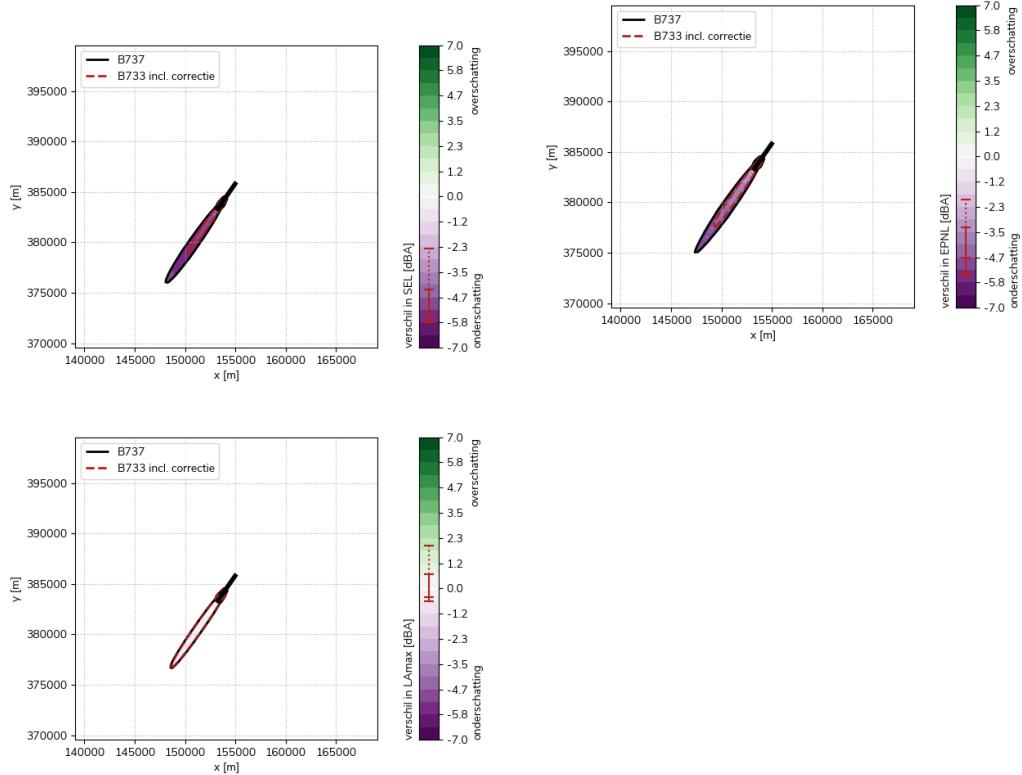
- Impact gebruik Boeing 737-300/400/500 gegevens inclusief correctie voor bepalen geluidniveau/belasting Boeing 737-700. Hierbij zijn de volgende vergelijkingen gemaakt:
 - Standaard nadering Boeing 737-300/400/500 incl. correctiefactor t.o.v. standaard nadering Boeing 737-700
 - Standaard start Boeing 737-300/400/500 incl. correctiefactor t.o.v. standaard start Boeing 737-700
- Impact gebruik Airbus A319-131/A320-211/A320-232 gegevens inclusief correctie voor bepalen geluidniveau/belasting Airbus A321. Hierbij zijn de volgende vergelijkingen gemaakt:

- Standaard nadering Airbus A319-131/A320-211/A320-232 incl. correctiefactor t.o.v. standaard nadering Airbus A321
- Standaard start Airbus A319-131/A320-211/A320-232 incl. correctiefactor t.o.v. standaard start Airbus A321

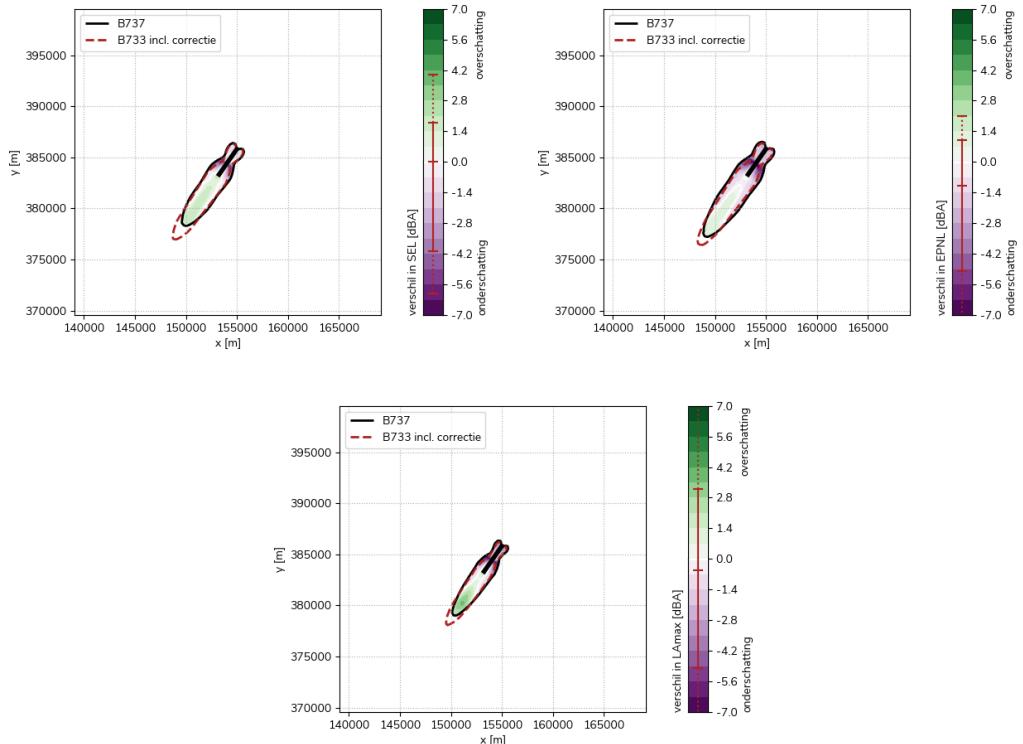
Tevens zijn de starts doorgerekend voor verschillende afstandsklassen om eventuele onzekerheden omtrent deze variabele te ondervangen.

Resultaten

Figuur 23 en Figuur 24 geven de resultaten van de SEL, EPNL en LAmox berekeningen van de Boeing 737-300 inclusief correctiefactor t.o.v. de Boeing 737-700 weergegeven.



Figuur 23: Berekening SEL, EPNL en LAmox voor nadering 737-300 incl. correctie t.o.v. Boeing 737-700.

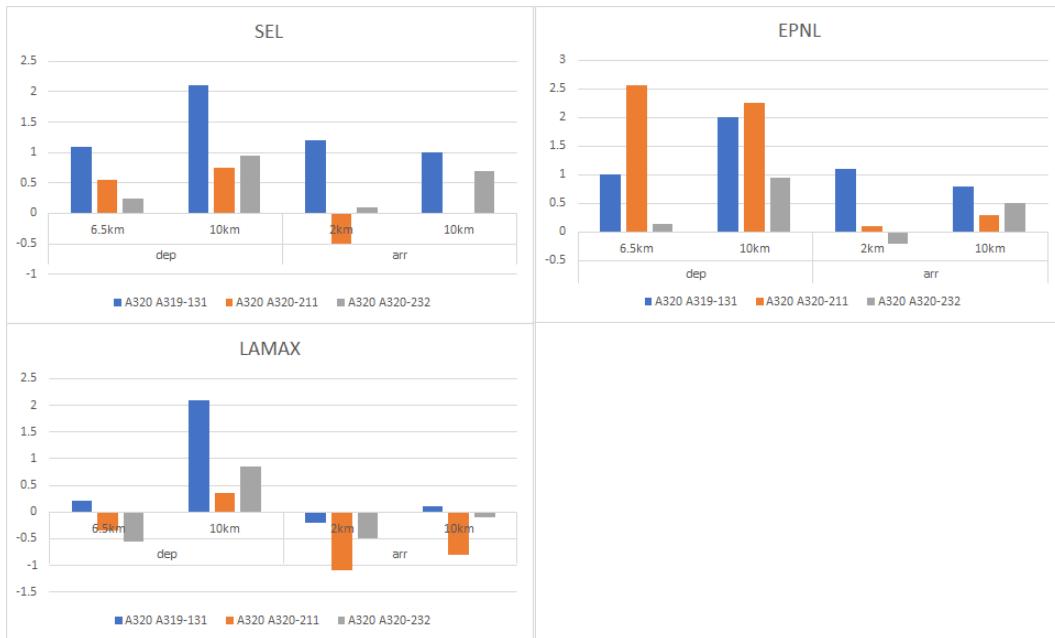


Figuur 24: Berekening SEL, EPNL en LAmax voor start 737-300 incl. correctie t.o.v. Boeing 737-700.

Uit de resultaten is af te leiden dat er voor zowel starts als naderingen typische verschillen tot circa 5 dB(A) zichtbaar zijn wanneer het gebruik van de Boeing 737-300 inclusief correctiefactor wordt afgezet t.o.v. de berekening waarbij gebruik gemaakt is van de gegevens van de Boeing 737-700. Dit geldt voor zowel de SEL en de EPNL als de LAmax berekeningen.



Figuur 25: Verschil in SEL, EPNL en LAmax voor de Boeing 737 familie na toepassen geluidcorrectie.



Figuur 26: Verschil in SEL, EPNL en LAmox voor de Airbus A320 familie na toepassen geluidcorrectie.

Bovenstaande grafieken (Figuur 25 en Figuur 26) laten duidelijk zien dat het gebruik van correctiefactoren resulteert in verschillen per vliegtuigtype en per geluidmaat.

Suggesties rekenvoorschrift

De resultaten van deze analyse laten zien dat er duidelijke verschillen kunnen ontstaan in de berekende geluidbelasting bij de introductie van nieuwe ANP gegevens. Het is daarom belangrijk om te bepalen wat het effect is als er niet direct gebruik wordt gemaakt van de meest actuele ANP gegevens. Twee mogelijke opties in het kader van het rekenvoorschrift zijn:

- Hanteer de (op het moment van het uitvoeren van de berekeningen) meest actuele ANP gegevens of
- Hanteer een eerdere versie van de ANP gegevens

Toetsing eisen en wensen

De voorgestelde methodes voldoen beide aan ECAC Doc 29, simpelweg omdat ECAC Doc 29 niet specifiek aangeeft hoe om te gaan een actualisatie van de ANP gegevens. De resultaten van de analyse laten zien dat het direct toepassen van nieuwe ANP gegevens kan leiden tot een andere geluidbelasting. Op het gebied van toepasbaar en praktisch haalbaar scoren beide methodes gelijk. Het gebruik van een eerdere ANP wordt neutraal bevonden op het gebied van eenduidigheid en navolgbaarheid, aangezien niet de laatst beschikbare gegevens worden gehanteerd.

Tabel 17: Scoretabel vernieuwen ANP gegevens.

Eis/wens	Meest actuele ANP gegevens	Eerdere versies ANP gegevens
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	□
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	□	□
Hoge nauwkeurigheid	✓	✗

Bij Doc 29 Schiphol is toentertijd gebruik gemaakt van de meest actuele ANP gegevens. Hoe met een actualisatie van de ANP gegevens wordt omgegaan is niet opgenomen in het methoderapport voor Doc 29 Schiphol, hierdoor krijgen beide methodes een neutrale score. Omdat nieuwe ANP gegevens worden beschouwd als het meest accuraat, wordt het direct meenemen van de nieuwste ANP gegevens als het meest nauwkeurig beschouwd. Het hanteren van een eerdere ANP versie in plaats van het gebruik van de nieuwste gegevens wordt beschouwd als minder nauwkeurig, omdat dan niet wordt gecorrigeerd voor het voortschrijdend inzicht van de nieuwe ANP gegevens.

Bijlage 13 – Analyse naar modellering intersectiestarts en motorvermogen

Deze bijlage geeft de analyse naar de wijze van de modellering van intersectiestarts. De analyse gaat in op het effect op de geluidbelasting van intersectiestarts.

Om inzicht te krijgen in het effect van de verschillen keuzes in de modellering van intersectiestarts, is de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat is het effect van intersectiestarts op de geluidbelasting?

Het antwoord op deze onderzoeksraag biedt inzichten die kunnen worden gebruikt om te komen tot een keuze voor hoe de start gemodelleerd dient te worden in de geluidberekeningen. Deze oplossingen worden vervolgens getoetst aan de eisen en wensen.

Methode

Om de mogelijke effecten van het gebruik (en het modelleren) van intersecties op de geluidbelasting in kaart te brengen is er in de analyse specifiek gekeken naar het effect hiervan. Vanwege de beschikbare gedetailleerde SSR (Secondary Surveillance Radar) data is Eindhoven gekozen als testcase waarvoor het gebruik van intersecties kon worden vastgesteld.

Het gebruik van intersectiestarts leidt niet alleen tot een andere startpunt op de baan. In veel gevallen zal ook een hoger motorvermogen worden gehanteerd omdat de resterende baanlengte voor de start bij een intersectiestart korter is. Of anders gezegd, als er meer baanlengte beschikbaar is, dan kan er worden gekozen voor een verminderd startvermogen. Voor de starts is het motorgeluid dominant. Een lager motorvermogen zal resulteren in een lagere geluidbelasting. Het NLR is gevraagd om prestatieprofielen af te leiden behorend bij starts van verschillende intersecties voor baan 03 op Eindhoven Airport. Deze profielen zijn afgeleid door voor een Boeing 737-700 (per afstandsklasse). Hierbij is gekeken naar starts vanaf de baankop (R7), starts vanaf intersectie R6 (op 243 meter vanaf R7) en starts vanaf intersectie R5 (op 1080 meter vanaf R7). Tabel 18 geeft de verdeling van het verkeer over de verschillende intersecties weer.

Tabel 18: Verdeling van starts over de verschillende intersecties van startbaan 03 (EHEH).

Intersectie	Afstand tot de baankop	Afstandsklasse 1	Afstandsklasse 2
R5	1.080 meter	53%	39%
R6	243 meter	23%	31%
R7	0 meter	24%	30%
Totaal		100%	100%

Tussen maatschappijen kan een ander beleid bestaan voor het te selecteren motorvermogen bij de start. Om de analyse zuiver uit te voeren, is een selectie gemaakt van starts van dezelfde airline, vliegtuigtype, vertrekrichting en afstandsklasse. Tabel 19 geeft voor deze selectie een overzicht van de best-passende startprofielen per intersectie. In deze tabel is D00 een start met maximaal vermogen en zijn D01 en D03 varianten met een gereduceerd vermogen.

Tabel 19: Best-passende startprofielen per intersectie van startbaan 03 (EHEH) o.b.v. radardata.

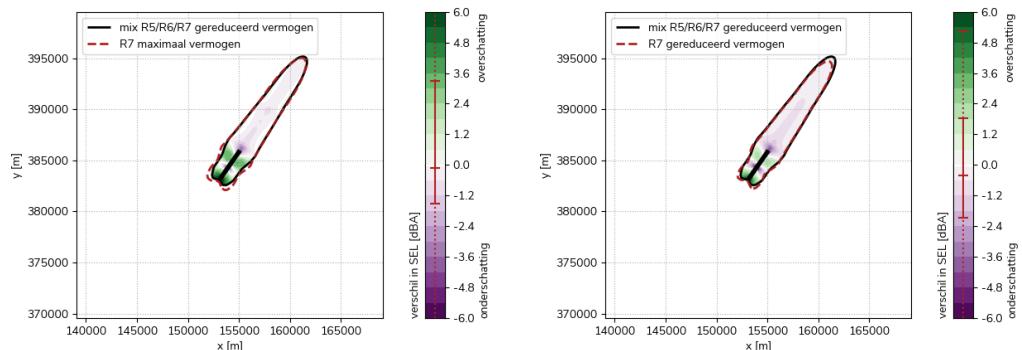
Intersectie	Afstandsklasse 1	Afstandsklasse 2
R5	D01	D00
R6	D03	D03
R7	D03	D01
Geen uitsplitsing	D03	D01

Met behulp van deze nieuwe profielen zijn de volgende opties vergeleken:

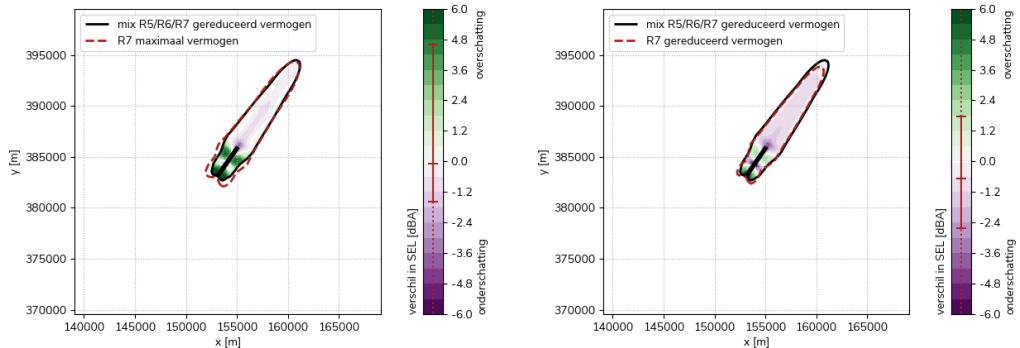
1. Modellering gebruik intersecties, gebaseerd op een verdeling van het verkeer over R5, R6 en R7 en gebruik van best-passende profielen per intersectie. Deze benadering sluit zo goed mogelijk aan bij het werkelijke gebruik van de intersecties en resulterende prestatieprofielen – “*werkelijk geluid*”
2. Alle starts met maximaal vermogen vanaf de baankop (R7). In deze modellering wordt er geen rekening gehouden met intersectiestarts en wordt er ook geen rekening gehouden met het gebruik van gereduceerd vermogen bij de start – “*recht-toe-recht-aan – conservatief*”
3. Alle starts met gereduceerd vermogen vanaf de baankop (R7). Ook in deze modellering wordt er geen rekening gehouden met intersectiestarts, maar wordt er wel rekening gehouden met het gebruik van gereduceerd vermogen bij de start – “*recht-toe-recht-aan – variant 1*” / “*maximaal uniform*”
4. Modellering gebruik intersecties, maar met een vast profiel (D00/D01/D03) – “*recht-toe-recht-aan – variant 2*”

Resultaten

Figuur 27 geeft het verschil in SEL voor de modellering van starts voor afstandsklasse 1 vanaf de baankop met maximaal vermogen (optie 2) of gereduceerd vermogen (optie 3) ten opzichte van de modellering van het gebruik van de intersecties (optie 1). Figuur 28 geeft dezelfde vergelijking maar dan voor afstandsklasse 2. In deze figuren is gekozen voor een schaal van -6 tot +6 dB(A) om de effecten volledig te kunnen laten zien.



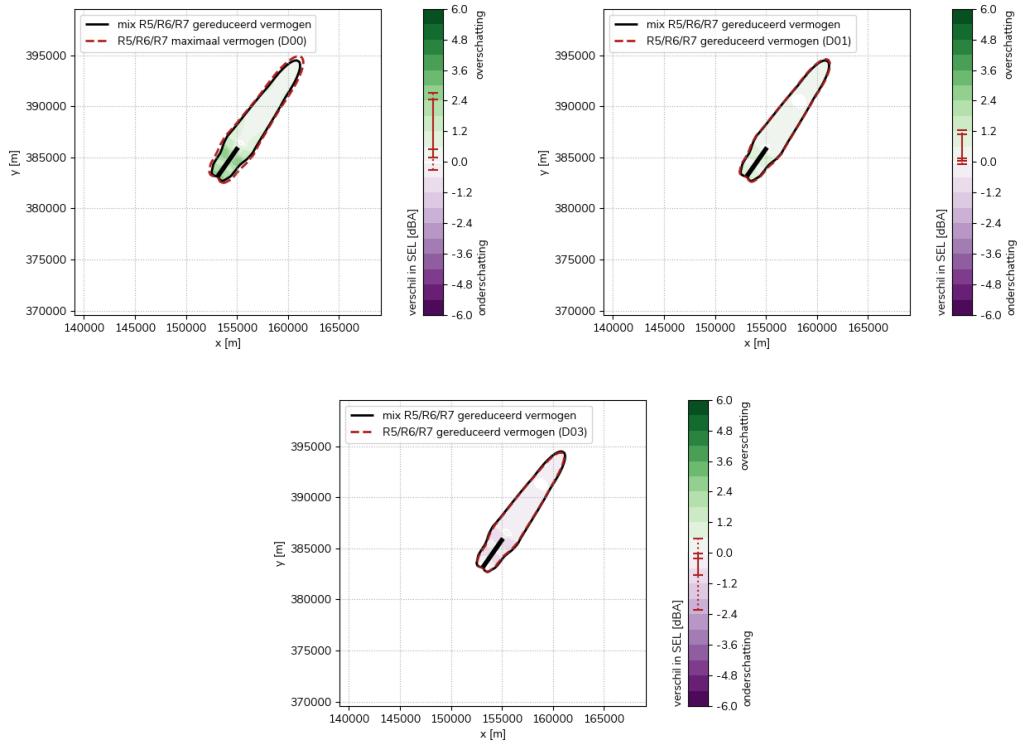
Figuur 27: Effect start met maximaal of gereduceerd vermogen (D03) vanaf de baankop vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 1.



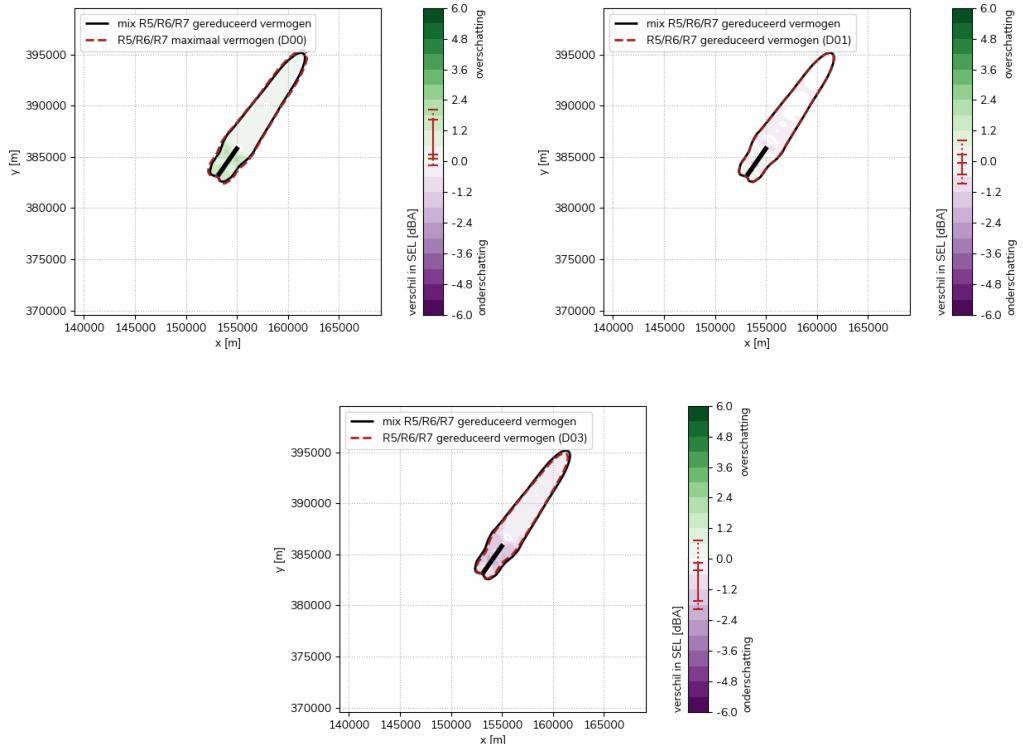
Figuur 28: Effect start met maximaal of gereduceerd vermogen (D03) vanaf de baankop vergeleken met de modelleren van intersecties – afstandsklasse 2.

Als geen correctie wordt toegepast voor het startvermogen (optie 2), dan leidt dit vooral rondom de baan tot een overschatting van de geluidbelasting. Het modelleren van intersectiestarts zorgt achter de baan voor een kleinere contour, maar onder en naast het vliegpad voor een grotere contour. Het niet meenemen van intersectiestarts in de modellering kan dus leiden tot een onderschatting van het geluid onder het vliegpad en een overschatting van het geluid rondom de luchthaven. De grootste overschatting is zichtbaar direct rond de baan (op of direct rondom het luchthaventerrein). De typische verschillen tussen deze twee methodes liggen tussen een onderschatting met 1,5 tot 2,5 dB(A) en een overschatting met 2 tot 4,5 dB(A).

In Figuur 27 en Figuur 28 is gebruik gemaakt van de meest nauwkeurige methode als referentie, namelijk het best-passende prestatieprofiel per intersectie. In onderstaande vergelijking (Figuur 29 en Figuur 30) is deze referentie afgezet tegen de situatie waarbij een vast prestatieprofiel (D00, D01 of D03) per intersectie wordt gebruikt. De analyse maakt inzichtelijk wat de mogelijke invloed is van de profielkeuze op de geluidbelasting.



Figuur 29: Effect vast prestatieprofiel (D00, D01 of D03) per intersectie vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 1.



Figuur 30: Effect vast prestatieprofiel (D00, D01 of D03) per intersectie vergeleken met de modellering van intersecties – afstandsklasse 2.

De resultaten in Figuur 29 en Figuur 30 laten zien dat de keuze voor het profiel lokaal typische verschillen geeft tot circa 2,5 dB(A). De verschillen zijn verreweg het grootst nabij de baan. De verschillen onder het vliegpad zijn aanmerkelijk kleiner.

Opties voor Doc 29 regionaal

Uit de analyse naar de intersectiestarts blijkt dat het gebruik van intersectiestarts kan leiden tot andere geluidniveaus in de omgeving van de luchthaven, voornamelijk onder het vliegpad. Ook is gebleken dat het bepalen van best passende profielen per vliegtuigtype en intersectie extra stappen vereist.

Dit levert de volgende vier opties op voor de modellering van intersectiestarts:

- Geen intersectiestarts, maximaal vermogen vanaf baankop – “recht-toe-recht-aan”
- Geen intersectiestarts, best-passende profielen, vanaf de baankop + 100m – “maximaal uniform”
- Wel intersectiestarts, best-passende profielen – “recht-toe-recht-aan 2”
- Wel intersectiestarts, best-passende profielen per vliegtuigtype/intersectie – “werkelijk geluid”

Toetsing eisen en wensen

De vier opties voor de modellering van intersectiestarts voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29.

Verschillen zijn er wel in de toepasbaarheid, de praktische haalbaarheid, de eenduidigheid en de navolgbaarheid. Deze verschillen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 20: Scoretabel intersectiestarts.

Eis/wens	Geen intersectiestarts, maximaal vermogen	Geen intersectiestarts, best-passende profielen	Intersectiestarts, ‘vaste’ best-passende profielen	Intersectiestarts, best-passende profielen
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓	□	□
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓	✓	□
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	□	✓	✗	✗
Hoge nauwkeurigheid	✗	✗	□	✓

Het toepassen van intersectiestarts vereist dat er voldoende informatie beschikbaar is over het gebruik van de intersecties. Deze informatie blijkt op dit moment niet of beperkt beschikbaar te zijn. De opties waarbij gebruik wordt gemaakt van intersectiestarts worden daarom lager beoordeeld op het gebied van toepasbaar en praktisch haalbaar. Daarnaast levert de methode waarbij het gereduceerd vermogen wordt bepaald per intersectie wel meerwerk op omdat er aanvullende dataverzameling en -verwerking noodzakelijk is. Deze dataverzameling moet periodiek gedaan worden om de verhoudingen actueel te houden. De methode hiervoor kan gestandaardiseerd worden, maar alleen als er voor de verschillende luchthavens standaard hoge kwaliteit radardata en profielen beschikbaar zijn. Hoewel deze data op dit moment niet overal beschikbaar zijn wordt het gebruik van best-passende profielen per intersectiestart wel als haalbaar beschouwd. Echter leidt dit bij gebrek aan een standaardmethode o.b.v. hoge kwaliteit

data wel tot minder eenduidigheid en navolgbaarheid. Op dit moment wordt het bepalen van best-passende profielen per intersectiestart daarom beoordeeld als minder eenduidig en navolbaar.

Bij Doc 29 Schiphol worden intersectiestarts niet specifiek gemodelleerd. Deze aanpak is vergelijkbaar met de methode "Geen intersectiestarts, best-passende profielen, vanaf de baankop + 100m". De methode "Geen intersectiestarts, maximaal vermogen vanaf baankop" is vergelijkbaar met deze methode, maar maakt wel gebruik van andere profielen en scoort daarom neutraal. In Doc 29 Schiphol wordt geen onderscheid gemaakt per intersectie, daarom scoren de overige twee methodes negatief op dit punt.

Het daadwerkelijke intersectiegebruik met best passende profielen wordt het meest nauwkeurig geacht. Uit de analyse blijkt dat de selectie van de juiste prestatieprofielen invloed heeft op de geluidbelasting, al zijn de effecten op de nauwkeurigheid van de geluidbelasting verder weg van de luchthaven beperkt. De overige opties worden allen als minder nauwkeurig beschouwd.

Bijlage 14 – Analyse naar effect maaswijdte op geluidcontour

Deze bijlage beschrijft de analyse naar de invloed van maaswijdte op de resulterende geluidcontouren.

Op basis van de mogelijkheid om verschillende maaswijdtes te hanteren is de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat is het effect op de ligging van de contour bij het toepassen van verschillende maaswijdtes?

Methode

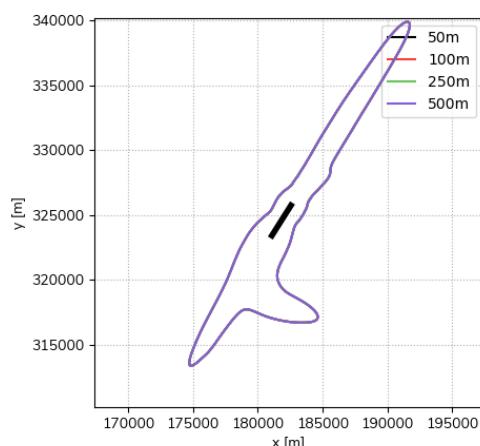
Om te toetsen wat het effect is van verschillende maaswijdtes zijn geluidberekeningen uitgevoerd met verschillende rekenrasters. Per definitie geldt dat hoe kleiner de maaswijdte is, hoe nauwkeurige de geluidcontour vervolgens kan worden bepaald. In de analyse is de maaswijdte gevarieerd tussen de 50 en 500 meter. Een maaswijdte van 50 meter is nauwkeuriger dan het huidige rekenvoorschrift voor regionale luchthavens voorschrijft (100 meter). Een maaswijdte van 250 meter wordt gehanteerd voor Schiphol; een maaswijdte van 500 meter werk met het Nederlands rekenmodel gehanteerd voor Schiphol. De contour bij een maaswijdte van 50 meter geldt als referentie (meest nauwkeurig).

- Raster met maaswijdte van 50 meter – “Werkelijk geluid” (referentie)
- Raster met maaswijdte van 100 meter – “Recht-toe-recht-aan”
- Raster met maaswijdte van 250 meter – “Maximaal uniform”
- Raster met maaswijdte van 500 meter

De contouren zijn bepaald op basis van een verkeersbeeld van Maastricht Aachen Airport met een raster van 30 km bij 30 km met het middelpunt in het ARP. Alle berekende rasters zijn verfijnd tot een raster van 10m conform de interpolatie methode zoals beschreven in Doc 29 Schiphol

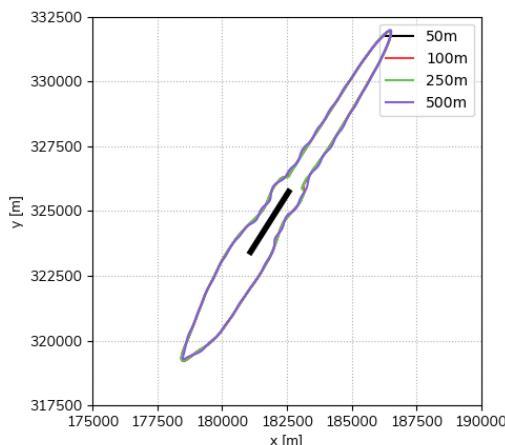
Resultaten

Het effect op de 40 dB(A) L_{den} geluidcontour bij gebruik van verschillende maaswijdtes is weergegeven in Figuur 31 t/m Figuur 33. In elk van de figuren zijn de contouren getoond op basis van de een maaswijdte van 50, 100, 250 en 500 meter. Hierbij geldt de contour van het 50 meter raster als referentie.



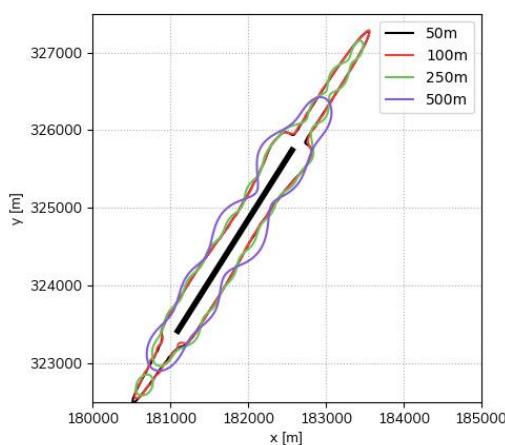
Figuur 31: 40 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.

Uit Figuur 31 blijken er geen zichtbare verschillen bij een vergelijking tussen de verschillende maaswijdtes van de 40dB(A) L_{den} contouren.



Figuur 32: 48 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.

Bij de 48 dB(A) L_{den} contouren in Figuur 32 zijn er wel verschillen te zien. Het gaat hierbij om de resultaten van het 500 meter raster. In de figuur is te zien dat dit rekenraster afwijkingen in de ligging van de contour veroorzaakt. De contouren op basis van de rekenrasters met een maaswijdte van 250 meter of minder laten deze afwijkingen niet zien.



Figuur 33: 58 dB(A) contouren op basis van resultaten van meerdere rekenrasters met verschillende maaswijdtes.

In Figuur 33 zijn de 58 dB(A) contouren weergegeven. Hierbij zijn verschillen te zien tussen alle contouren. In lijn met de 48 dB(A) contour wijken de contouren bij een maaswijdte van 500 meter het meeste af van de contouren op basis van het 50 meter-raster. Verder zorgt het rekenraster met een maaswijdte van 250 meter ook voor de eerder geïdentificeerde afwijkende ligging. Dit leidt tot forse afwijkingen van de

contour bij een maaswijdte van 50 meter. Ook zijn in deze figuur beperkte verschillen zichtbaar tussen de een maaswijdte van 50 meter en een maaswijdte van 100 meter.

Tabel 21: Contouroppervlaktes [km²] en verschil t.o.v. de referentie (contour o.b.v. rekenraster met 50m maaswijdte) [%].

Maaswijdte	40dB(A)	48dB(A)	58dB(A)
50m	70.03	13.57	1.60
100m	70.03 (+/-0.0%)	13.57 (+/-0.0%)	1.61 (+0.8%)
250m	70.02 (-0.0%)	13.55 (-0.2%)	1.70 (+6.7%)
500m	70.12 (+0.1%)	13.71 (+1.0%)	1.87 (+17.1%)

De verschillen die te zien zijn in de contouren zijn ook te zien in de contouroppervlaktes in Tabel 21. Bij toenemende contourniveaus neemt het contouroppervlak af en nemen de onderlinge verschillen in contouroppervlaktes toe. Hoe groter het verschil in maaswijdte, hoe groter het procentuele verschil in oppervlakte.

Het aantal rasterpunten is te koppelen aan de hoeveelheid resources dat nodig is om geluidberekeningen uit te voeren. Tabel 22 geeft het aantal rasterpunten per maaswijdte weer zoals gebruikt in deze analyse. De ordegrootte van het aantal rasterpunten voor het raster met een maaswijdte van 100m komt overeen met het aantal rasterpunten dat wordt gebruikt voor een geluidberekening conform Doc 29 Schiphol.

Tabel 22: Aantal rasterpunten voor verschillende maaswijdtes.

Maaswijdte	Aantal rasterpunten
50 meter	361,201
100 meter	90,601
250 meter	14,641
500 meter	3,721

Opties voor Doc 29 regionaal

Uit de analyse blijkt dat de nauwkeurigheid van de contour sterk afhangt van enerzijds de maaswijdte en anderzijds de beoogde contourwaarde. De maaswijdtes zoals deze zijn getoetst in deze analyse, zijn ook beschouwd als de potentiële opties voor in het rekenvoorschrift en getoetst aan de eisen en wensen.

Toetsing eisen en wensen

Alle rasterinstellingen voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29. Daarnaast zijn ook alle instellingen navolgbaar en eenduidig, als deze worden gebruikt als verplichte rasterinstelling. Hoewel de verschillende instellingen allemaal toepasbaar zijn, zorgen niet alle instellingen voor een acceptabele inspanning en kosten. Zo zorgt het 50 meter raster voor een grote toename in aantal rasterpunten. Dat vereist meer resources voor de berekeningen. Hoewel onwenselijk, is dit niet onmogelijk. Daarom krijgen alle instellingen, inclusief een maaswijdte van 50 meter, een positieve score voor toepasbaarheid en praktisch haalbaarheid.

Tabel 23: Scoretabel maaswijdte.

Eis/wens	Maaswijdte van 50 meter	Maaswijdte van 100 meter	Maaswijdte van 250 meter	Maaswijdte van 500 meter
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓	✓	✓
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✗	✗	✓	✗
Hoge nauwkeurigheid	✓	✓	□	□

Wat betreft uniformiteit met Doc 29 Schiphol voldoet alleen een raster met een maaswijdte van 250 meter aan de wensen. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat Schiphol met meer banen en meer vliegverkeer dan de regionale velden andere eigenschappen heeft die om andere instellingen (kunnen) vragen.

Uit de resultaten van de analyse is af te leiden dat de nauwkeurigheid van de contour van verschillende maaswijdtes afhankelijk is van de beoogde contour. Zo kan de 40 dB(A) contour voor Maastricht Aachen Airport worden bepaald met een maaswijdte van 500 meter, maar hiermee kan niet nauwkeurig de 48 dB(A) of 58 dB(A) contour worden bepaald. Maaswijdtes van 250 meter en 500 meter worden daarom als neutraal beoordeeld. De rekenrasters met maaswijdtes van 50 meter en 100 meter worden als positief beoordeeld omdat hierbij zelfs de kleinste contouren dicht bij elkaar liggen.

Bijlage 15 – Analyse naar effect van verschillende substitutiemethodes

Wereldwijd zijn er honderden verschillende vliegtuigtypes die ook nog eens op verschillende manieren geconfigureerd kunnen worden (motortype, maximaal startgewicht, etc.). Voor geluidberekeningen zijn 'slechts' voor ruim 150 verschillende vliegtuigtypes geluid- en prestatiegegevens beschikbaar in de Aircraft Noise and Performance database (ANP) die onderschreven is door ECAC²³. Vliegtuigtypes dienen daarom te worden gekoppeld aan één van deze types. Dit wordt gedaan met een substitutiemethode: voor een vliegtuigtype waarvoor geen prestatiegegevens beschikbaar zijn wordt een representatief vliegtuigtype aangewezen waar wel gegevens beschikbaar voor zijn met een bijhorende correctiefactor voor het verschil in geluid.

Methode

In deze analyse zijn drie bestaande substitutiemethodes met elkaar vergeleken:

1. De ANP substitutielijst op vliegtuigtype niveau (ICAO) - "*recht-toe-recht-aan*"
2. Schiphol substitutieprotocol - "*maximaal uniform*"
3. De ANP substitutielijst op vliegtuigtype/motor combinatie niveau - "*werkelijk geluid*"

De ANP substitutielijst op vliegtuigtype niveau kent een representatief type en correctiefactor toe op basis van enkel de ICAO type aanduiding. Deze methode is de meest eenvoudige manier om een substitutie uit te voeren.

De Schiphol substitutielijst/-protocol kent op basis van meerdere kenmerken met ieder een eigen weging (multicriteria-methode) een representatief vliegtuigtype toe. Hierbij wordt gekeken naar:

- motorcategorie (jet, turboprop, piston)
- aantal motoren
- motorinstallatie (vleugel/romp)
- maximaal startgewicht (MTOW)
- stuwracht-gewichtsratio
- geluidcertificatieneaus
- vliegtuigproducent
- motorproducent

De ANP substitutielijst op vliegtuigtype/motor combinatie niveau maakt gebruik van zowel vliegtuigtype als motortype en kan worden beschouwd als meest nauwkeurige substitutiemethode.

Iedere methode hanteert een correctiefactor voor het verschil in geluidcertificatieneaus voor starts en landingen tussen het betreffende vliegtuigtype en het representatief vliegtuigtype (de proxy). Daarbij wordt steeds uitgegaan van het meest lawaaiige type binnen de categorie.

Bij de laatste twee methodes zijn er minder conservatieve aannames nodig aangezien er met meerdere parameters rekening wordt gehouden, wat tot de beste benadering van het werkelijke geluid moet leiden.

²³ <https://www.aircraftnoisemodel.org/>

Om de verschillen per substitutiemethode inzichtelijk te maken is een testcase opgezet. In deze testcase zijn de meest voorkomende vliegtuigtypes uit de verkeersgegevens van een regionale luchthaven over een periode van drie jaar (2017 t/m 2019) gebruikt.

In de analyse zijn eerst voor de verschillende vliegtuigtypes de bijhorende proxies en correctiefactoren bepaald volgens de verschillende substitutiemethodes, zie Tabel 24.

Tabel 24 Resulterende substitutie proxy en correctie factoren voor B737-800 en A320-232.

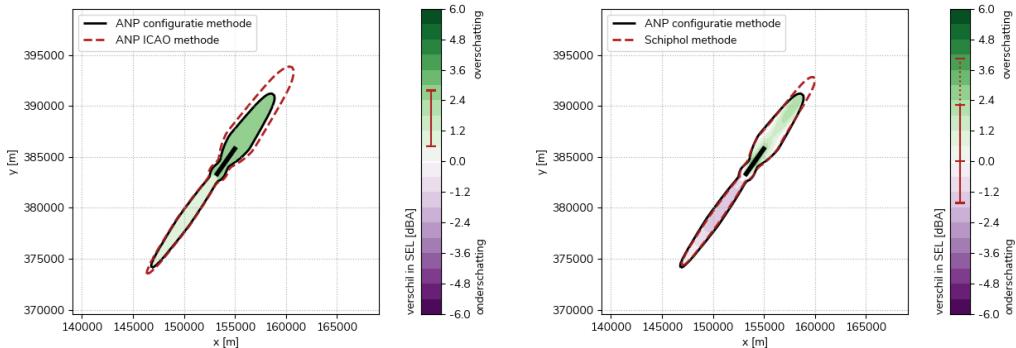
Vliegtuigtype	ANP ICAO substitutie-methode	Schiphol substitutiemethode / protocol	ANP vliegtuigtype/motor combinatie substitutiemethode
737-800 – CFM56-7B26 <i>Maximaal startgewicht: +/- 67.000 kg</i>	737-700 corr. dep: 1.5 dB corr. arr: 1.0 dB	A320-211 corr. dep: 0.1 dB corr. arr: 0.4 dB	737-700 corr. dep: -1.3 dB corr. arr: 0.4 dB
737-800 - CFM56-7B26 <i>Maximaal startgewicht: +/- 75.000 kg</i>	737-700 corr. dep: 1.5 dB corr. arr: 1.0 dB	A320-211 corr. dep: 0.1 dB corr. arr: 0.4 dB	737-700 corr. dep: 0.5 dB corr. arr: 0.5 dB
A320-232 – V5-2725A	A320-232 corr. dep: 2.3 dB corr. arr: 2.2 dB	A320-232 corr. dep: 0.0 dB corr. arr: 0.0 dB	A320-232 corr. dep: -0.7 dB corr. arr: 0.0 dB

Vervolgens zijn de geselecteerde proxies en correctiefactoren gebruikt om de geluidberekeningen uit te voeren. Met deze methode zijn drie geluidberekeningen uitgevoerd met dezelfde verkeerssamenstelling.

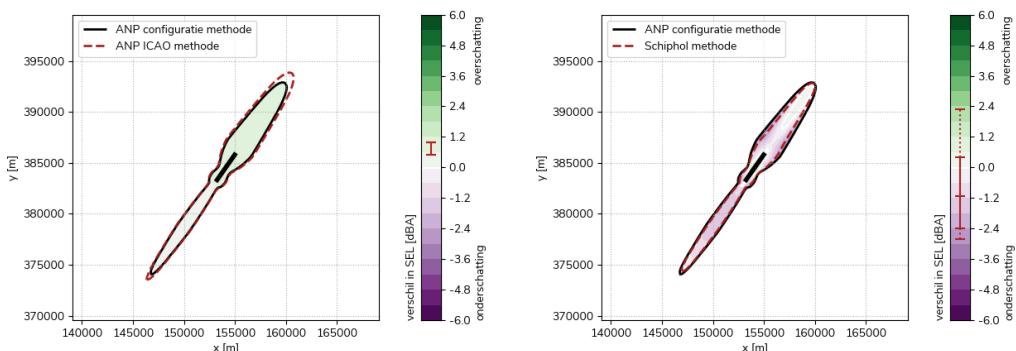
Resultaten

Tabel 24 geeft de resulterende proxies en bijhorende correctiefactoren voor de Boeing 737-800 en Airbus A320-232. Uit de analyse naar de verkeersgegevens van de regionale luchthavens blijkt dat het maximaal startgewicht en mede daardoor het geluidcertificatienniveau van een Boeing 737-800 verschilt per maatschappij. Bij de ANP ICAO substitutiemethode wordt de hoogte van de correctiefactor gebaseerd op het hoogst voorkomende certificatienniveau voor het vliegtuigtype, ongeacht het maximaal startgewicht. Ook volgens het protocol van Schiphol wordt in beide gevallen dezelfde correctiefactor toegekend, maar wordt een andere proxy toegekend (een Airbus A320-211 in plaats van een Boeing 737-700).

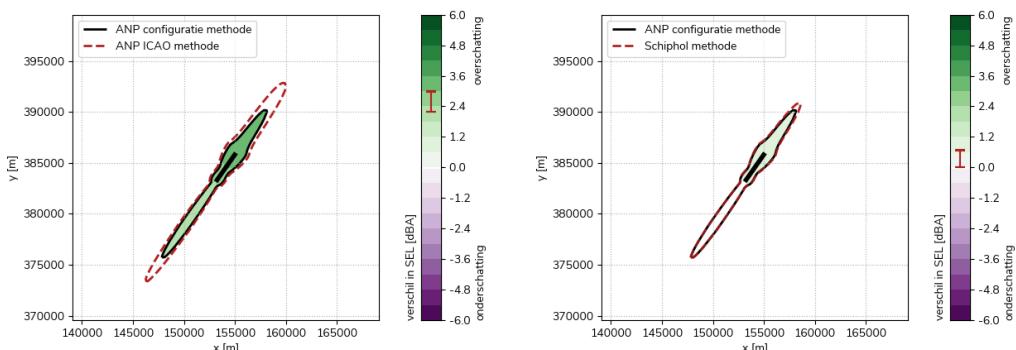
Na het analyseren van de proxy en de bijhorende correctiefactoren zijn in eerste instantie SEL contouren met elkaar vergeleken waarbij de ANP substitutiemethode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau als referentie is aangenomen. De resultaten zijn opgenomen in Figuur 34, Figuur 35 en Figuur 36.



Figuur 34: Verschil in SEL contouren voor B737-800 -CFM56-7B26 (Maximaal startgewicht 67.000 kg)



Figuur 35: Verschil in SEL contouren voor B737-800 - CFM56-7B26 (Maximaal startgewicht 75.000 kg)

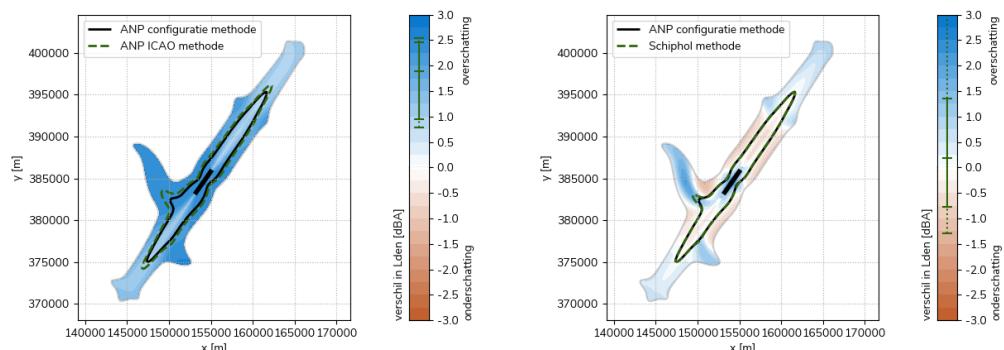


Figuur 36: Verschil in SEL contouren voor A320-232 - V5-2725.

De figuren laten zien wat het verschil is tussen de verschillende substituimetodes op basis van één start en één landing op dezelfde baan. Voor zowel starts als landingen resulteert de ANP ICAO substituimetode in een overschatting (t.o.v. de ANP substituimetode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau) van het geluid. Ook blijkt dat bij de ANP ICAO substituimetode voor alle onderzochte vliegtuigtypes de start meer wordt overschat dan de landing. Bij het vergelijken van de Schiphol substituimetode en de ANP substituimetode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau zijn de resultaten meer verdeeld. Zo laten de figuren met de Boeing 737-800 duidelijk een onderschatting van het geluid bij landingen zien, terwijl de Airbus A320-232 de referentie nagenoeg perfect benadert. Voor starts is voornamelijk een overschatting waarneembaar bij de Boeing 737-800 met een maximaal

startgewicht van 67.000 kg en de Airbus A320-232 en een onderschatting bij de Boeing 737-800 met een maximaal startgewicht van 75.000 kg.

Aanvullend zijn ook de effecten van de verschillende substitutiemethodes op de jaargemiddelde Lden geluidbelasting onderzocht voor een veronderstelde verkeerssituatie. Voor de drie methodes zijn steeds de vliegtypes in de verkeerssituatie met de substitutiemethode gesubstitueerd.



Figuur 37: Verschil in geluidniveaus van verschillende substitutiemethodes (Lden).

Figuur 37 (links) geeft het verschil tussen het toepassen van de ANP ICAO substitutiemethode en de substitutiemethode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau op een volledige verkeerssituatie weer. Als de ANP substitutielijst op vliegtuigtype niveau (ICAO) wordt toegepast blijkt er (in deze situatie) over het algemeen een overschatting van het geluid van circa 0,9 tot 2,5 dB(A). Figuur 37 (rechts) geeft de verschillen tussen de Schiphol substitutielijst/protocol en de ANP substitutiemethode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau. Hierbij is vooral op het luchthaventerrein en verder van het luchthaventerrein sprake van een overschatting oplopend tot circa 1,5 dB(A). Op andere locaties is juist sprake van een onderschatting tot circa 0,7 dB(A). Het verschil in contouroppervlaktes is weergegeven in Tabel 25.

Tabel 25 Contouroppervlaktes [km²] en verschil t.o.v. de resultaten op basis van ANP Aircraft configuration substitutiemethode[%].

Methode	40 dB(A)	48 dB(A)	58 dB(A)
ANP substitutiemethode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau	150	38	4.63
ANP ICAO substitutiemethode	230 (+42.3%)	51.9 (+36.8%)	6.81 (+47.2%)
Schiphol substitutielijst/protocol	185 (+5.5%)	38.7 (+1.8%)	4.77 (+3.0%)

Opties voor Doc 29 regionaal

Uit deze analyse blijkt dat het toepassen van verschillende substitutiemethodes kan leiden tot verschillen in de jaargemiddelde geluidbelasting van enkele dB's. Alle methodes voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29 en zijn daarmee een optie voor de toepassing voor *Doc 29 regionaal*.

Toetsing eisen en wensen

De drie substitutiemethodes voldoen allemaal aan de specificaties van ECAC Doc 29. Doordat de ANP ICAO substitutiemethode slechts gebruik maakt van de ICAO type aanduiding is deze altijd beschikbaar in de verkeersgegevens van de regionale luchthavens en is deze methode goed toepasbaar, eenduidig en navolgbaar. De overige twee methodes maken naast het vliegtuigtype ook gebruik van het motortype en andere specifieke gegevens van het betreffende type. Deze gegevens dienen (I) uit een luchtvaartregister verzameld te worden, wat voor vliegtuigtypes uit het buitenland complex kan zijn, of (II) door de luchthaven bij de gebruikers achterhaald te worden. Dit maakt dat deze twee methodes wat betreft toepasbaarheid en praktische haalbaarheid slechter scoren.

Tabel 26: Scoretabel substitutiemethode.

Eis/wens	ANP ICAO substitutie- methode	Schiphol substitutie- methode/ protocol	ANP substitutiemethode op vliegtuigtype/motor combinatie niveau
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	□	□
Eenduidig en navolgbaar	✓	□	✓
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	✗	✓	✗
Hoge nauwkeurigheid	✗	□	✓

Na het uitvoeren van deze analyse kan geconcludeerd worden dat alle methodes voldoen aan de richtlijnen van ECAC Doc 29 en dat de ANP substitutiemethode op vliegtuigtype/motor-combinatie niveau het beste scoort op eenduidigheid en navolbaarheid en de hoogste nauwkeurigheid biedt. De positieve score op navolbaarheid en eenduidigheid is ook het gevolg van het feit dat de ANP substitutiemethode explicet wordt aanbevolen in ECAC Doc 29. Daar staat tegenover dat deze methode wel meer specifieke gegevens vereist t.o.v. de ANP ICAO substitutiemethode.

Bijlage 16 – Analyse naar effect grondpadbewerking

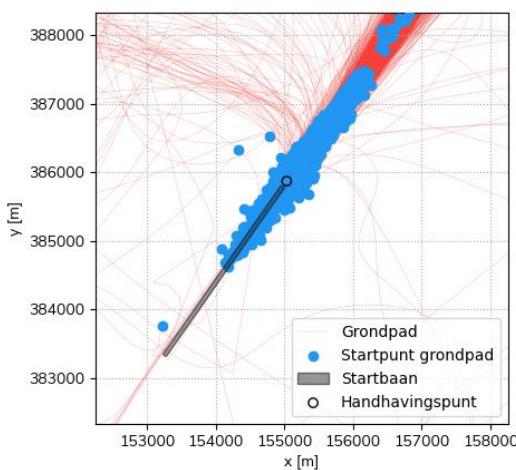
Een juiste grondpadbewerking is essentieel voor onder andere segmentatie van het vliegpad en de bepaling van de rolhoek. Er zijn meerdere methodes denkbaar om grondpaden te bewerken, zodat deze gebruikt kunnen worden bij een geluidberekening. Het is echter onbekend hoe dit van invloed is op de resulterende geluidbelasting.

Waar het grondpad aan moet voldoen, is afhankelijk van de fase van de vlucht. Deze twee fases zijn: de fase op de baan (de grondrol) en het deel in de lucht. Het deel op de baan bestaat uit een rechte lijn. Het vliegtuig rolt daarbij over de hartlijn van de baan. Door afwezigheid van bochten speelt een rolhoek hierbij geen rol. Het deel in de lucht is lateraal dynamischer van aard en kan zowel bestaan uit rechte lijnen en krommen. Door aanwezigheid van krommen speelt rolhoek (en de bepaling ervan) wel een rol.

Op basis van de verschillende methodes die zijn geïdentificeerd voor grondpadbewerking is de volgende onderzoeksraag geformuleerd:

Wat zijn de effecten van het toepassen van verschillende methodes om een grondpad geschikt te maken voor geluidberekeningen?

Voor het deel op de baan is uitlijnen van het grondpad noodzakelijk. Uitlijnen van grondpaden op de baan is noodzakelijk om alle starts vanaf de baandrempel te laten beginnen. Daarnaast geldt zowel voor starts als landingen dat de wielen bij hoogte 0 op de grond staan en dat het vliegtuig zich dan op het asfalt bevindt, dicht bij de hartlijn van de baan. Zoals te zien is in Figuur 38 liggen de startpunten van de onbewerkte radartracks niet op de baandrempel. Ook kan hieruit worden opgemaakt dat het simpelweg toevoegen van de positie van de baandrempel aan de track, niet zal leiden tot een analyse waarbij het rollende deel van de start over de hartlijn loopt. Idem voor naderingen. Het is daarom noodzakelijk om verder te analyseren wat het effect is van het uitlijnen van het grondpad.



Figuur 38: Startpunten van radartracks Eindhoven, zonder uitlijning of verlenging tot de start van de baan.

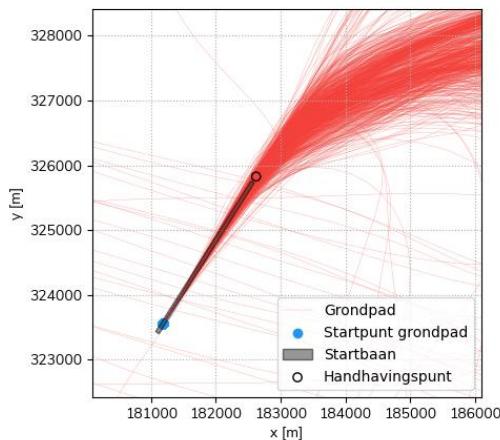
Voor het deel in de lucht is verwijderen van ruis noodzakelijk voor het bepalen van de rolhoek. De rolhoek is afhankelijk van de bochtstraal en de snelheid. De bochtstraal kan worden bepaald aan de hand van drie

punten uit het grondpad. Als er te veel ruis is, zullen opeenvolgende punten in één bocht andere bochtstralen hebben en dus een schommelende rolhoek, waar dit in de praktijk niet het geval is. Als de schommeling dermate groot is, lijkt het alsof het vliegtuig aan het slalommen is. Het verwijderen van deze ruis is nodig voor de correcte bepaling van de rolhoek. Het verwijderen van punten is daarnaast wenselijk, omdat dit het aantal segmenten en daarmee de rekentijd vermindert.

Methode

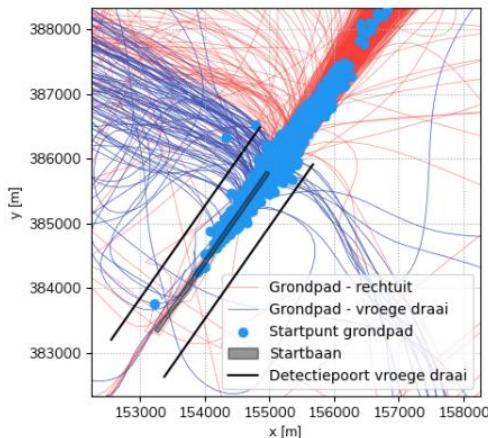
Analyse 1: op de baan – uitlijnen van het grondpad

Uit een inventarisatie van beschikbare methodes voor grondpadbewerking uit meerdere systemen (Casper, FANOMOS, Ldentsool) blijkt dat het verlengen van de track tot de baankop de meest gebruikelijke methode is. Een voorbeeld van dergelijke radartracks is te vinden in Figuur 39. Zoals te zien is in deze figuur wijken vluchten al snel af van de baan. Dit is echter niet aannemelijk, omdat er een zekere afstand op de grond moet worden afgelegd totdat het vliegtuig de benodigde snelheid heeft om van de grond te komen. Een betere methode zou zijn om de grondpaden over de hartlijn van de startbaan te laten gaan totdat het vliegtuig het punt bereikt waarop deze afdraait. In de meeste gevallen zal dit betekenen dat het vliegtuig over de hartlijn zal blijven vliegen tot het einde van de baan is bereikt. Het is wenselijk om een dergelijke methode te toetsen, waarbij de grondpaden volledig worden uitgelijnd met de baan en dus over beide baankoppen gaan.



Figuur 39: Radartracks op Maastricht Airport van starts vanaf startbaan 03 verlengd tot de start van de baan.

Ondanks dat de meeste vluchten over de volledige hartlijn van de baan plaatsvinden, kan op basis van de radardata in Figuur 40 worden geconcludeerd dat een deel van het (groot) verkeer vroeg afdraait. Vluchten die vroeg afdraaien kunnen worden gedetecteerd door poorten naast de baan te plaatsen. De poortjes zijn zo geplaatst, dat als een vlucht door deze poortjes vliegt het niet aannemelijk is dat het vliegtuig over de baankop is gevlogen. Figuur 40 geeft een voorbeeld van dergelijke detectiepoortjes. Voor vluchten die niet over beide baankoppen plaatsvinden is het niet wenselijk om uit te lijnen op beide baankoppen. Het is dus noodzakelijk om vroeg afdraaiend verkeer te detecteren en buiten beschouwing te laten in deze analyse.



Figuur 40: Radartracks op Eindhoven van starts vanaf startbaan 03 met detectiepoortjes voor vroeg afdraaiend vliegverkeer.

Voor al het verkeer dat niet vroeg afdraait zijn de volgende methodes geanalyseerd.

1. Verlengen tot baan start/eind – “recht toe recht aan”
2. Uitlijnen baan start en eind – “werkelijk geluid”

Analyse 2: in de lucht – verwijderen ruis/overbodige punten

Uit een inventarisatie blijkt dat er (een combinatie van) meerdere methodes kan/kunnen worden gebruikt om ruis en overbodige punten uit het grondpad te verwijderen. Deze analyse vergelijkt vier methodes voor het verwijderen ruis/overbodige punten in de lucht en de effecten hiervan op de geluidbepaling.

De eerste methode brengt een grondpad terug naar een aantal rechte lijnen en krommen (stukken van een cirkel), zodat deze lijkt op het laterale pad van een vliegprocedure. De methode ‘rechte lijnen en krommen’ komt vanwege de hoge mate van nauwkeurigheid en overeenkomst met hoe er in praktijk wordt gevlogen (naar verwachting) het dichtste bij het werkelijke geluid. Afhankelijk van de databron wordt bij Schiphol gebruik gemaakt van rechte lijnen en krommen (Casper) of niet (FANOMOS). Op termijn zal deze methode worden gebruikt voor Doc 29 berekeningen bij Schiphol. Naast de ‘rechte lijnen en krommen’ methode is in het methodenrapport van Doc 29 Schiphol ook te lezen dat splines worden toegepast alvorens gebruik. Het advies uit Doc 29 Schiphol luidt om radardata te versimpelen, waarbij de originele punten in de bocht in stand worden gehouden, maar overbodige punten op lange rechte stukken worden verwijderd.

De methode om rechte lijnen en krommen af te leiden van radardata zijn niet beschikbaar voor deze studie. Om deze methode te toetsen zijn de rechte lijnen en krommen handmatig bepaald. De meest simpele methode is het niet bewerken van de radardata, dit zal ook meegenomen worden in de analyse. Hoewel een spline vaak als aanvullende (voor)bewerking wordt gezien zal deze ook worden toegepast en vergeleken met de andere methodes. Als laatste zal ook de methode uit Doc 29 Schiphol worden getoetst.

Omdat de rechte lijnen en krommen handmatig zijn bepaald, is er een beperkte dataset van 5 vluchten op Eindhoven en 5 vluchten op Maastricht gebruikt.

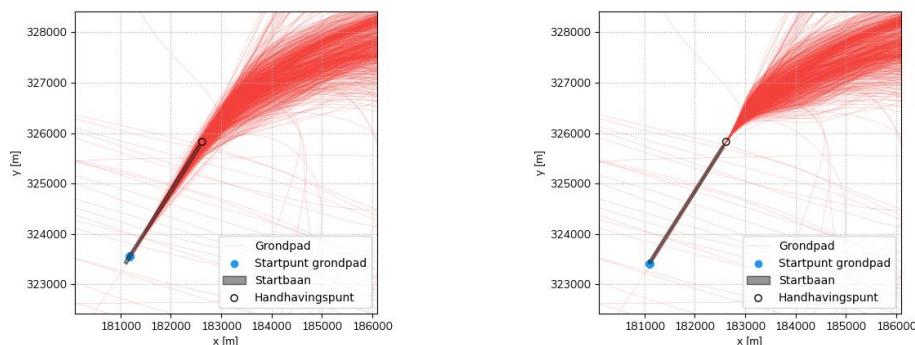
Samengevat zijn de volgende methodes toegepast op de radardata om de effecten van de methodes op de geluidbelasting in kaart te brengen:

1. Rechte lijnen en krommen – “werkelijk geluid”/“maximaal uniform”
2. Radardata zonder bewerking – “recht toe recht aan 1”
3. Radardata met spline smoothing – “recht toe recht aan 2”
4. Radardata rechte lijnen versimpeld (methode uit Doc 29 Schiphol) – “maximaal uniform”

Resultaten

Analyse 1: op de baan – uitlijnen van het grondpad

Voor deze analyse zijn de grondpaden met beide methodes uitgelijnd, zodat deze met elkaar kunnen worden vergeleken. Hierbij worden de baan en het handhavingspunt als referentie genomen. Uit Figuur 41 (links) blijkt dat de tracks niet direct over het handhavingspunt lopen wanneer de tracks alleen worden verlengd tot de baankop. In Figuur 41 (rechts) is uitgelijnd met beide baankoppen. Het resultaat hiervan is dat de vluchten met zeer beperkte spreiding over het handhavingspunt vliegen.

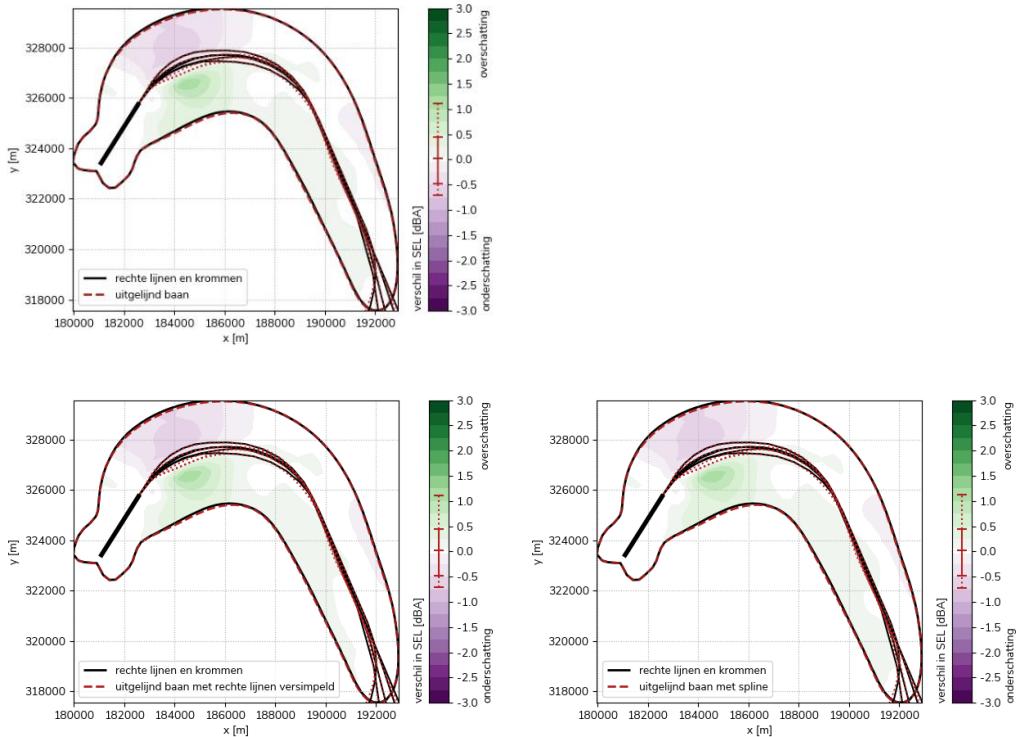


Figuur 41: Grondpaden van starts (links) verlengd tot de start van de baan, en (rechts) uitgelijnd over beide baankoppen.

Analyse 2: in de lucht – verwijderen ruis/overbodige punten

Figuur 42 geeft het effect op de geluidbelasting bij gebruik van verschillende grondpadbewerkingen . In elk van de figuren is de rechte lijnen en krommen methode als referentie genomen.

Voor alle methodes zijn de typische verschillen t.o.v. rechten/krommen kleiner dan 0,5 dB(A). Deze verschillen zijn vooral zichtbaar in de eerste fase van de vlucht, waarbij de rechten/krommen methode een nette kromme laten zien. De track data met verschillende bewerkingsmethodes wijkt hier echter vanaf. Uit de figuur is af te leiden dat de mate van afwijking niet sterk afhankelijk is van de track bewerkingsmethode, omdat de verschillen dezelfde ordegrootte hebben en in hetzelfde gebied te vinden zijn.



Figuur 42: Geluidverschillen van verschillende grondpadbewerkingen ten opzichte van de referentie methode (rechte lijnen en krommen).

Het aantal segmenten per track is een indicator voor de nauwkeurigheid van de manier van uitlijnen. Tevens zegt het aantal segmenten per track iets over de vereiste rekentijd, omdat er in Doc 29 per segment wordt gerekend. Tabel 27 geeft een overzicht van het gemiddeld aantal segmenten per track per methode.

Tabel 27: Gemiddeld aantal segmenten per methode voor grondpadbewerking.

Methode	Eindhoven	Maastricht
Brondaten (origineel)	68	121
Rechte lijnen en krommen	20 (-70%)	24 (-80%)
Uitgelijnd baan	74 (+9%)	98 (-19%)
Uitgelijnd baan met spline	74 (+9%)	98 (-19%)
Uitgelijnd baan met rechte lijnen versimpeld	41 (-39%)	41 (-66%)

De methode met rechte lijnen en krommen heeft het kleinste aantal segmenten, maar heeft ten opzichte van de andere methodes de grootste verschillen. De methode waarbij het grondpad alleen is uitgelijnd met de baan zorgt voor een kleine verandering in het aantal punten t.o.v. de brondaten, omdat voor de uitlijning van de baan punten worden weggehaald of toegevoegd (afhankelijk van de brondaten). Er zit geen verschil in het wel/niet gebruiken van een spline methode ten opzichte van onbewerkt pad, omdat de spline is ingesteld om ruis te verwijderen, maar wel hetzelfde aantal punten blijft behouden.

Suggesties rekenvoorschrift

In lijn met de analyse zijn de volgende opties geïdentificeerd als mogelijkheden voor het rekenvoorschrift voor het uitlijnen van het grondpad op de baan:

1. Verlengen tot baankop
2. Uitlijnen beide baankoppen

Ook in lijn met de analyse voor grondpadbewerking voor het verwijderen van ruis en overbodige punten in de lucht kunnen de methodes uit de analyse worden gebruikt als opties voor het rekenvoorschrift.

De methode met rechte lijnen en krommen wordt gezien als geschikte methode, omdat deze zorgt voor een hoge compressie van het aantal trackpunten.

Het niet bewerken van de radardata is ook een optie, hoewel er in dat geval wel vanuit moet worden gegaan dat er al een voorbewerking heeft plaatsgevonden door het systeem dat de data levert.

Het gebruik van een spline heeft de eigenschap om ruis te verwijderen. De brondata uit de analyse bevatten weinig ruis omdat deze al is bewerkt. Ook bij het toepassen op brondata zonder ruis levert het weinig verschillen op ten opzichte van de methode uit Doc 29 Schiphol waarbij rechte lijnen worden versimpeld. Wel zijn er gevallen denkbaar waarbij het wenselijk is om een spline toe te passen en daarom wordt deze methode meegenomen als optie voor het rekenvoorschrift.

Het toepassen van versimpelingen van rechte lijnen zoals beschreven in Doc 29 Schiphol laat kleine verschillen zien ten opzichte van de onbewerkte resultaten. Dat wil zeggen dat deze methode dicht bij het originele grondpad blijft, maar wel een compressie oplevert van het aantal segmenten.

Voor het verwijderen van ruis en overbodige punten in de lucht zijn de volgende opties geïdentificeerd:

1. Rechte lijnen en krommen
2. Geen bewerking
3. Spline smoothing
4. Rechte lijnen versimpeld

Toetsing eisen en wensen

Analyse 1: op de baan – uitlijnen van het grondpad

ECAC Doc 29 beschrijft niet expliciet hoe radardata moeten worden voorbewerkt. Geen van de methodes conflicteert dus met de eisen die zijn gesteld aan de keuzevrijheid in ECAC Doc 29. Beide methodes worden beschouwd als toepasbaar, praktisch haalbaar, eenduidig en navolgbaar.

Doc 29 Schiphol beschrijft niet expliciet hoe grondpaden moeten worden uitgelijnd met de baan. Beide methodes conflicteren dus niet met Doc 29 Schiphol en worden als neutraal beoordeeld op het gebied van uniformiteit met Doc 29 Schiphol.

De methode waarbij het grondpad alleen wordt verlengd tot de baankop wordt als minder nauwkeurig beschouwd, omdat hierbij ruis in de positiesdata vrij spel heeft rond het handhavingspunt. In de methode waarbij op beide baankoppen wordt uitgelijnd is dit niet het geval. Alleen als hier aantoonbaar van wordt afgeweken door vroeg wegdraaien van de baan kan hoeft het grondpad niet te worden uitgelijnd met beide baankoppen.

Tabel 28: Scoretabel grondpadbewerking - uitlijnen met start- en landingsbaan.

Eis/wens	Verlengen tot baankop	Uitlijnen beide baankoppen
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	□	□
Hoge nauwkeurigheid	✗	✓

De effecten op het geluid door toepassen van geluidsarmere procedures en operationele wijzigingen zijn beperkt zichtbaar. Vroeg wegdraaien van de baan wordt in het geval van uitlijnen op beide baankoppen opgevangen door een alternatieve methode. Inzichten in de geluidseffecten in de omgeving zijn voor beide methodes vergelijkbaar.

Analyse 2: in de lucht – verwijderen ruis/overbodige punten

ECAC Doc 29 beschrijft niet expliciet hoe radardata moeten worden voorbewerkt. Geen van de methodes conflicteert dus met de eisen die worden gesteld aan de keuzevrijheid in ECAC Doc 29. Alle methodes worden beschouwd als praktisch haalbaar. Een methode om rechten en krommen af te leiden is niet direct beschikbaar, maar een dergelijke methode is reeds geïmplementeerd in Casper bij Schiphol en zal daarom naar verwachting ook voor regionale velden ontwikkeld en geïmplementeerd kunnen worden. Ondanks dat een methode voor rechte lijnen en krommen niet direct beschikbaar is, kan ervan uit worden gegaan dat de overige methodes eenduidig geformuleerd zijn en navolbaarheid in de resultaten opleveren.

In Doc 29 Schiphol is beschreven hoe rechte lijnen worden versimpeld. In het methodenrapport van Doc 29 Schiphol is geschreven dat de methode uit Casper die gebruik maakt van rechten en krommen wenselijk is. Op termijn zal deze methode namelijk worden gebruikt voor Doc 29 berekeningen. In het methodenrapport is ook te lezen dat splines worden toegepast. Omdat de onderzochte methodes voor *Doc 29 regionaal* gecombineerd worden gebruikt bij Doc 29 Schiphol, worden deze als uniform met Doc 29 Schiphol beschouwd, behalve als er geen bewerking van radargegevens wordt toegepast.

Tabel 29: Scoretabel grondpadbewerking - verwijderen ruis en versimpelen grondpad.

Eis/wens	Rechte lijnen en krommen	Rechte lijnen versimpeld	Spline smoothing	Geen bewerking
Voldoet aan ECAC Doc 29	✓	✓	✓	✓
Toepasbaar en praktisch haalbaar	□	✓	✓	✓
Eenduidig en navolgbaar	✓	✓	✓	✓

Eis/wens	Rechte lijnen en krommen	Rechte lijnen versimpeld	Spline smoothing	Geen bewerking
Uniformiteit met Doc 29 Schiphol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	x
Hoge nauwkeurigheid	✓	✓	✓	x

Alle onderzochte methodes zorgen voor een hoge nauwkeurigheid van de geluidmodellering, behalve als er geen bewerking wordt toegepast omdat er dan nog steeds ruis zit in de positiedata. Wat betreft zichtbaarheid van geluidsarmere procedures en operationele wijzigingen zijn er geen verschillen tussen de methodes.

Bijlage 17 – Substitutiemethode klein verkeer

Deze bijlage beschrijft de analyse naar een substitutiemethode voor klein verkeer. De ANP database beschikt over elf toestellen die een maximaal startgewicht onder de 6.000 kg hebben, zie Tabel 30. Tien types worden voortgedreven door middel van (een) propeller(s) en één door twee straalmotoren. Er vliegen in Nederland echter bij benadering 100 verschillende soorten klein verkeer rond. In tegenstelling tot het groot verkeer heeft EUROCONTROL via het ANP geen substitutielijst beschikbaar gesteld voor dit kleine verkeer. Er dient dus een substitutiemethode te worden bepaald om de verschillende klein verkeer vliegtuigtypen aan het meest representatieve vliegtuigtype waarover wel gegevens beschikbaar zijn te koppelen.

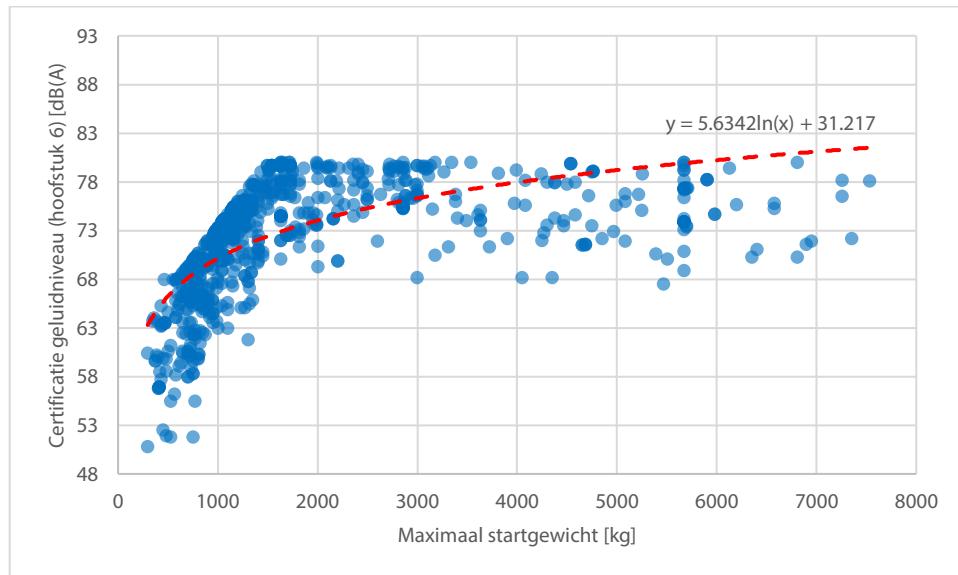
Tabel 30: Niet-commerciële toestellen uit de ANP lijst met een maximaal startgewicht <6.000kg.

#	Aircraft ID	Beschrijving	overflight certificatie geluidniveau (hoofdstuk 6) [dB(A)]	Take-off certificatie geluidniveau (hoofdstuk 10) [dB(A)]	Maximaal start- gewicht [kg]	Maximaal landings- gewicht [kg]
1	BEC58P	Raytheon BARON 58P / TS10-520-L	-	79.1	2767	2767
2	CNA172	Cessna 172R / Lycoming IO-360-L2A		84.7	1111	1111
3	CNA182	Cessna 182H / Continental O-470-R	73.5	80.7	1270	1270
4	CNA206	Cessna 206H / Lycoming IO-540-AC	-	88.0	1633	1633
5	CNA208	Cessna 208 / PT6A-114	-	87.1	3969	3856
6	CNA20T	Cessna T206H / Lycoming TIO-540-AJ1A	-	80.0	1633	1633
7	ECLIPCE500	Eclipse 500 / PW610F	Straalmotor	Straalmotor	2722	2540
8	PA28	Piper Warrior PA-28-161 / O-320-D3G	-	70.0	1055	1055
9	PA30	Piper Twin Comanche PA-30 / IO-320-B1A	72.0	-	1633	1633
10	PA31	Piper Navajo Chieftain PA-31-350 / TIO-5	80.0	-	3175	3175
11	PA32	Piper PA-42 / PT6A-41	76.8	78.9	5080	4686

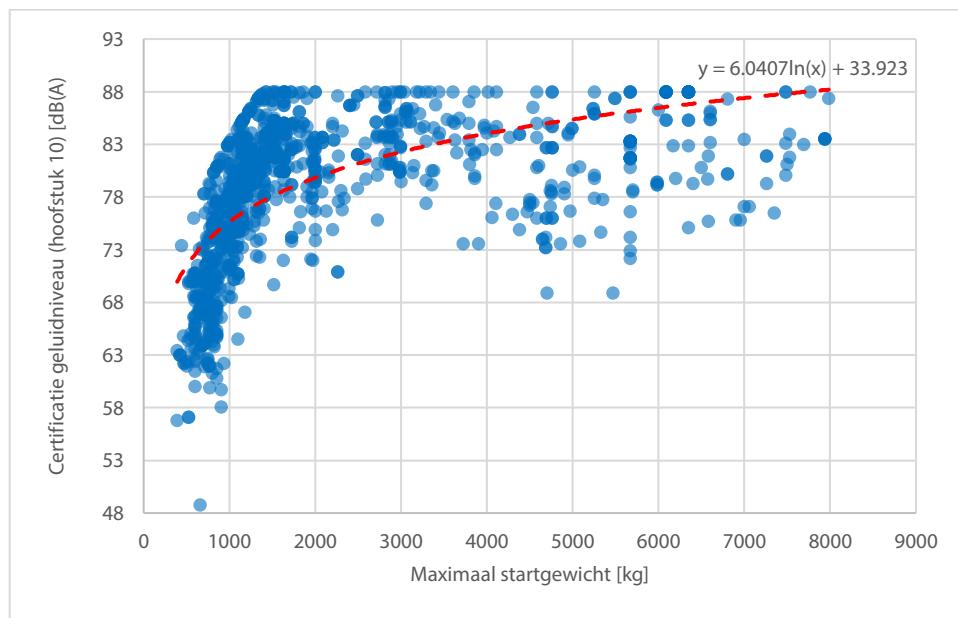
Zoals kan worden vastgesteld in Tabel 30, hebben bepaalde ANP vliegtuigtypen een zeer vergelijkbaar certificatie geluidniveau. De substitutiemethode enkel baseren op basis van het certificatie geluidniveau blijkt niet afdoende om voldoende hoge nauwkeurig te kunnen substitueren. Hetzelfde argument is ook van toepassing als er enkel naar gewicht wordt gekeken. Doordat een aantal ANP vliegtuigtypen vergelijkbare geluidniveaus hebben, maar heel verschillend zijn in gewicht, wordt voorgesteld om een substitutiemethode te ontwikkelen op basis van de combinatie van het maximale startgewicht en het certificatie geluidniveau.

Om met beide parameters rekening te kunnen houden tijdens de substitutie dient er een correlatie tussen het gewicht en het geluid bepaald te worden. Deze correlatie kan worden bepaald door het maximale

startgewicht en het maximale geluidniveau per vliegtuigtype uit de EASA database ("Light propeller driven aeroplanes noise database") t.o.v. elkaar uit te zetten en een trendlijn te bepalen, zie Figuur 43 en Figuur 44.



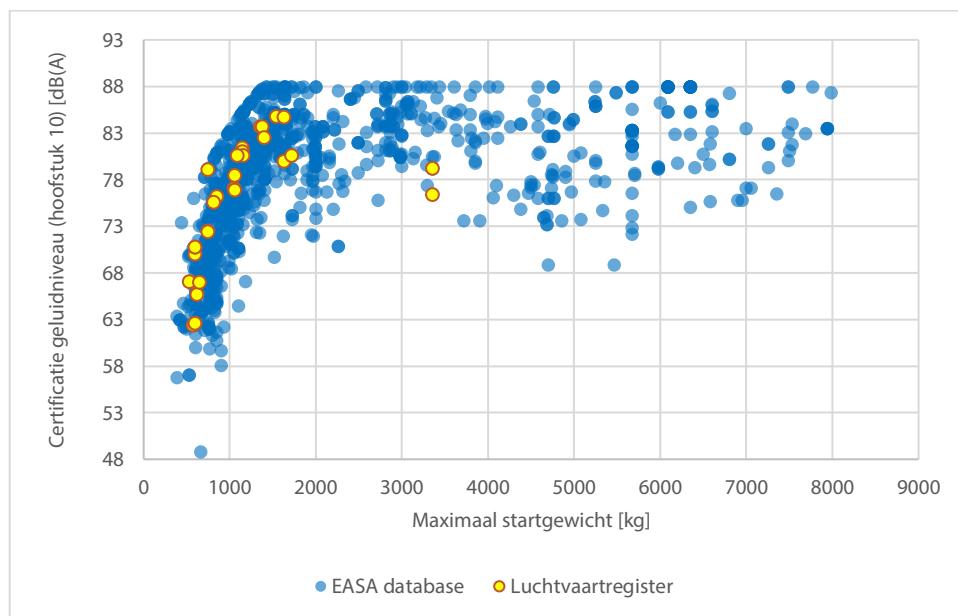
Figuur 43: Correlatie maximaal startgewicht en certificatie geluidniveau (hoofdstuk 6 Annex 16 volume 1).



Figuur 44: Correlatie maximaal startgewicht en certificatie geluidniveau (hoofdstuk 10 Annex 16 volume 1).

In deze figuren valt op dat de relatie tussen gewicht en geluid niet rechtlijnig is. Er lijkt een lineair verband te zitten tussen gewicht en geluid voor toestellen met een maximaal startgewicht tot 1500kg. Voor toestellen met een hoger maximaal startgewicht lijkt het geluid nagenoeg constant te blijven maar is de spreiding significant groter.

Een vervolgstudie is wenselijk om de best passende trendlijn te bepalen die toepasbaar is voor het kleine verkeer. Verder kan ook worden vastgesteld dat de gecertificeerde geluidniveaus maximaal 80 dB(A) bedraagt voor toestellen en onder de regelgeving vallen van hoofdstuk 6 van Annex 16, volume 1 en maximaal 88 dB(A) bedraagt voor toestellen en onder de regelgeving vallen van hoofdstuk 10 van Annex 16, volume 1. Toestellen met een hoger certificatie geluidniveau zijn opgenomen in "Heavy propeller driven aeroplanes noise database" van EASA.



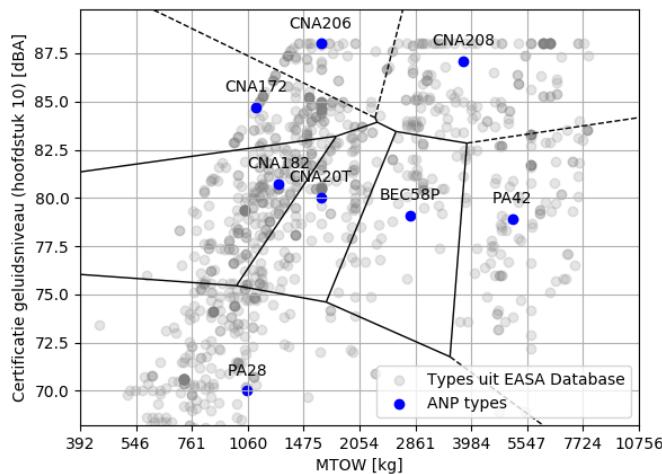
Figuur 45: Gewicht-geluid verhouding EASA database en Nederlands luchtvaart register.

Figuur 45 bevestigt dat vliegtuigtypen die als "small aeroplane" zijn geregistreerd in het Nederlands luchtvaartregister eenzelfde gewicht-geluid verhouding laten zien als de veel uitgebreidere EASA database. Momenteel zijn er geen toestellen geregistreerd in de categorie "small aeroplane" die onder de Annex 16, volume 1, Hoofdstuk 6 regelgeving vallen.

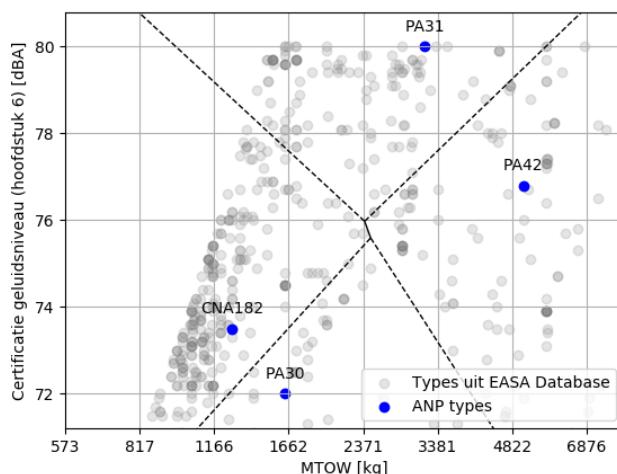
Met behulp van de trendlijnen beschreven in Figuur 43 en Figuur 44 kan het gewicht vervolgens worden uitgedrukt in dB(A) waardes. Dit heeft als voordeel dat er een algoritme kan worden toegepast om het meest representatieve ANP type te bepalen. Het resultaat van deze clusteringsmethode is gevisualiseerd als een voronoi-diagram²⁴ in Figuur 46 en Figuur 47. De grijze punten in de figuren tonen het maximale geluidniveau per vliegtuigtype en maximaal startgewicht uit de EASA database. Op basis van het vlak waarin het vliegtuig valt, is één ANP type aan te wijzen als representatief vliegtuigtype. Met deze

²⁴ Een Voronoi-diagram verdeelt een vlak in gebieden die het dichts bij elk van de objecten (in dit geval de ANP types) ligt

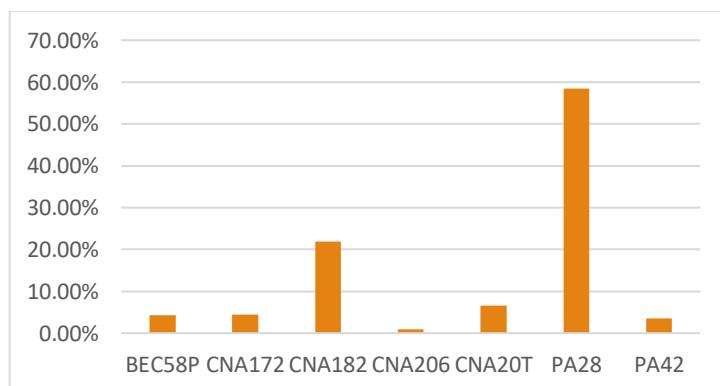
clusteringsmethode zullen de meeste toestellen worden gesubstitueerd met een CNA182 en een PA28 (zie Figuur 48).



Figuur 46: Representatieve ANP types (hoofdstuk 10, Annex 16, volume 1).



Figuur 47: Representatieve ANP types (hoofdstuk 6, Annex 16, volume 1).



Figuur 48: Representatietvitiet per ANP type boor types uit de EASA database.