

Doc29 voor lichte propellervliegtuigen

24 mei 2024

Begin 2023 is een rapport verschenen waarin uit de doeken gedaan wordt hoe Doc29 toegepast zal worden voor regionale luchthavens. Nieuw hierin is de implementatie van Doc29 voor lichte propellervliegtuigen, iets waarvoor de Doc29-methode niet primair bedoeld is. In dit rapport wordt uitgelegd dat deze nieuwe implementatie te veel zwakke punten kent om een betrouwbaar beeld te kunnen geven van de geluidshinder. Als alternatief wordt voorgesteld om het geluid van lichte propellervliegtuigen te berekenen met een aangepaste versie van de huidige rekenmethode.

[Dit betreft een update van een eerdere versie van mei 2023. Nieuw zijn de documenten die ter inzage liggen ten behoeve van de internetconsultatie. Toegevoegde gedeelten staan in blauw.](#)

Inhoud

1	Inleiding.....	2
2	Achtergrond	3
3	Invulling Doc29.....	5
3.1	Algemeen (grote straalvliegtuigen)	5
3.2	Lichte propellervliegtuigen	6
4	Beoordeling.....	7
4.1	Proxytypes.....	7
4.2	Geluidstabellen	8
4.3	Omzetting geluidsruimte	9
4.4	Vergelijking met NRM	11
4.5	Samenvatting	11
4.5.1	Voordelen van de Doc29-implementie	11
4.5.2	Nadelen van de Doc29-implementie	11
5	Alternatieve rekenmethode.....	11
5.1	Methode	12
5.2	Voordelen.....	12
5.3	Doc29-elementen	13
6	Conclusies	13
7	Referenties.....	14
	Appendix A: Nomenclatuur.....	15
	Appendix B: Proxytypes	15
	Appendix C: Narekenen certificatie-niveaus.....	16
	Appendix D: Berekening <i>level flight</i> niveaus.....	18

1 Inleiding

Op 20 februari 2023 meldde de Minister van Infrastructuur en Waterstaat aan de Tweede Kamer dat de bepalingmethode Doc29 voor geluidbelasting rond vliegvelden technisch gereed is om gebruikt te worden voor regionale luchthavens (Ref. 1). Deze mededeling is onder meer gebaseerd op de uiteenzetting in Ref. 2. Een belangrijk verschil met de al eerder gereedgekomen Doc29-implementatie voor Schiphol is dat Doc29 nu ook geïmplementeerd is voor de kleine luchtvaart, dat wil zeggen voor lichte propellervliegtuigen.

[In april 2024 heeft de Minister een concept wijziging Regeling burgerluchthavens gepubliceerd \(Ref. 3\), met daarin een beschrijving van Doc29.](#)

Ref. 1 heeft het over “*technisch gereed*”, waarmee waarschijnlijk bedoeld wordt dat er software klaarligt om Lden-geluidcontouren uit te rekenen. Of Doc29 nu ook *geschikt* verklaard is voor lichte propellervliegtuigen wordt in het midden gelaten. Er staat wel dat Doc29 *niet* geschikt is voor helikopters. De lezer zou daarmee kunnen denken dat Doc29 *wel* geschikt is voor lichte propellervliegtuigen, maar dat staat nergens.

In het ECAC-document dat de toepasbaarheid van Doc29 beschrijft (Ref. 4) staat dat toepassing van Doc29 voor lichte propellervliegtuigen in zekere mate mogelijk is, als die een klein deel van de geluidhinder veroorzaken. Wanneer echter rond een vliegveld de geluidhinder gedomineerd wordt door de kleine luchtvaart, wordt Doc29 ongeschikt geacht (zie Appendix C2 van Ref. 4).

Dit staat ook verwoord in de Staatscourant van 1 maart 2022 (Ref. 5, Toelichting, Artikel II, Onderdeel B):

Als het luchthavenluchtverkeer grotendeels bestaat uit lichte vliegtuigen of helikopters, kan, vanwege het ontbreken van voldoende representatieve geluidemissiegegevens en bij toewijzing aan de vliegtuigtypen die wel in de rekenmethode beschikbaar zijn, een onder- of overschatting van de geluidsbelasting ontstaan, met doorwerking in de geluidcontouren.

Daarom staat er ook:

Aangezien voor luchthavens met overwegend lichte vliegtuigen of helikopters niet altijd voldoende vast staat of de rekenuitkomsten representatief zijn, kan een andere rekenmethode worden gebruikt om een oordeel te vellen of de bijdrage wezenlijk is.

In de tussentijd is blijkbaar toch het besluit genomen om Doc29 als uitgangspunt te nemen voor lichte propellervliegtuigen. In het kader van de harmonisatie van Europese rekenmodellen (Ref. 6) is het niet nodig, want een Europees rekenvoorschrift voor lichte propellervliegtuigen is er niet. Voor deze vliegtuigen zou dus nog steeds het huidige Nederlandse rekenmodel (NRM) gebruikt kunnen worden, eventueel geüpdatet met de nieuwste inzichten zoals die binnen Doc29 toegepast worden.

Een motivatie voor het gebruik van Doc29 is te vinden in Ref. 7:

De grotere onzekerheid in de gegevens [grondpaden; PS] 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.

Op deze motivatie is het nodige af te dingen:

- a) NRM maakt gebruik van geluidstabellen waarin ook niveaus staan zoals gemeten bij *level flight*. Doc29 maakt gebruik van andere tabellen, die alleen toepasbaar zijn voor *departure* en *approach*. Daarmee is NRM geschikter voor het circuitvliegen met lesvliegtuigen, iets wat veel hinder veroorzaakt en waarvoor dus een zo goed mogelijke modellering gewenst is.
- b) De omzetting van geluidsruijnte van NRM naar Doc29 brengt veel onzekerheid met zich mee. Dus als Doc29 niet een duidelijke verbetering is, dan is het voor de continuïteit beter om NRM te blijven gebruiken.
- c) Het toepassen van de laatste inzichten kan ook direct in NRM.
- d) Van een enkele rekenkern is toch al geen sprake, omdat het geluid van helikopters ook apart berekend zal worden.

In dit rapport gaat het om de volgende stellingen:

- Doc29 is niet geschikt voor lichte propellervliegtuigen.
- De implementatie van Ref. 2 verandert daar niets aan.
- De geluidsniveaus die NRM berekent zijn te laag.
- Een aangepaste versie van NRM is de beste oplossing.

Om te begrijpen wanneer en waarom een rekenmethode voor lichte propellervliegtuigen geschikt genoemd mag worden, staat in Hoofdstuk 2 relevante achtergrondinformatie. In Hoofdstuk 3 wordt het basisidee van de Doc29-implementatie van Ref. 2 samengevat. In Hoofdstuk 4 volgt een beoordeling daarvan. In Hoofdstuk 5 wordt een andere rekenwijze voor het geluid van lichte propellervliegtuigen gepresenteerd, waarmee invulling gegeven wordt aan de mogelijkheid die genoemd werd in Ref. 5. De conclusies staan in Hoofdstuk 6.

2 Achtergrond

Het doel van Doc29 is om de geluidbelasting te berekenen in de omgeving van een vliegveld. De geluidbelasting wordt uitgedrukt in Lden. Dat is een soort jaargemiddelde van het geluid, waarbij het geluid 's avonds en 's nachts zwaarder meetelt. De Lden wordt uitgedrukt in dB(A), waarbij de toevoeging "(A)" uitdrukt dat A-weging is toegepast. Dat is een standaardcorrectie voor de gevoeligheid van het menselijk oor. De toevoeging "(A)" is in de rest van dit rapport weggelaten.

De Lden is geïntroduceerd als geluidsmaat in de "geluidsrichtlijn" 2002/49/EG (Ref. 6). De Lden is daarin niet alleen van toepassing op de luchtvaart, maar ook op wegverkeer, spoorwegen en industrie. Sinds 2002 is de geluidsrichtlijn regelmatig geüpdatet, bijvoorbeeld met rekenvoorschriften. De Lden is inmiddels een wereldwijd geaccepteerde maat voor geluidbelasting.

De Lden is geen doel op zich, maar een middel om een inschatting te maken van het aantal mensen dat ernstig gehinderd wordt door geluid. Daartoe zijn dosis/effectrelaties ontwikkeld (Ref. 6). Lden-waarden van verschillende types geluid kunnen niet één op één met elkaar vergeleken worden. Een geluidbelasting van 50 dB door wegverkeer, bijvoorbeeld, is minder hinderlijk dan 50 dB door de luchtvaart. Daarom bestaan er afzonderlijke dosis/effectrelaties. Bij het cumuleren van geluid houdt de nieuwe Omgevingswet daar rekening mee (Ref. 8).

In de Regelgeving burgerluchthavens en militaire luchthavens (RBML) uit 2008 (Ref. 9) is bepaald dat de Lden de geluidsmaat zou worden voor regionale luchthavens. Voorts werd bepaald dat er één geluidsruijnte zou komen voor grote en kleine luchtvaart en dat handhaving daarvan zou plaatsvinden in handhavingspunten op 100 m van de uiteinden van de startbanen. Tot dan toe waren er afzonderlijke geluidsruijntes voor grote en kleine luchtvaart, met de kosteneenheid (Ke) als

geluidsmaat voor de grote luchtvaart en de belastingseenheid kleine luchtvaart (Bkl) voor de kleine luchtvaart. Handhaving gebeurde door “zonering” (Ref. 10).

De RBML gaat uit van 48 dB Lden als hindergrens voor de luchtvaart. Bij waarden onder deze grens is er wettelijk geen sprake van geluidhinder. Bij het samenvoegen van grote en kleine luchtvaart is niet onderzocht of grote en kleine luchtvaart dezelfde of soortgelijke dosis/effectrelaties hebben, met andere woorden of 48 dB berekend voor de grote luchtvaart even hinderlijk is als 48 dB voor de kleine luchtvaart. Dit is niet vanzelfsprekend, want het geluid is wezenlijk anders (laagfrequent en tonaal).

Ook om andere redenen zijn er vraagtekens te zetten bij de gelijkwaardigheid van grote en kleine luchtvaart bij de samenvoeging:

- De hindergrens voor de kleine luchtvaart was vroeger 47 Bkl. Dit is opmerkelijk, omdat 47 Bkl ongeveer hetzelfde is als 43 dB Lden¹, terwijl de nieuwe hindergrens op 48 dB Lden ligt. Dat betekent dat de hindergrens voor de kleine luchtvaart 5 dB hoger ligt dan voorheen. Bewoners van gebieden tussen de contouren van 47 en 52 Bkl komen in nieuwe hinderstatistieken niet meer voor.
- Er is af te leiden dat NRM ongeveer 5 dB te weinig berekent voor lichte propellervliegtuigen. Zie daarvoor Hoofdstuk 5.

In de toelichting bij de RBML (Ref. 11) bleven deze aspecten onvermeld. Wel werden “strenger dan de ICAO”-maatregelen aangekondigd om de specifieke hinder door de kleine luchtvaart te verminderen. Zulke maatregelen zijn echter nooit ingevoerd.

In de RBML werd bepaald dat er omzettingsregelingen (voorlopige luchthavenbesluiten) voor regionale luchthavens zouden komen, waarin de invoersets (vliegscenario's die de geluidruimte bepalen) voor de grote en de kleine luchtvaart werden samengevoegd. Ook voor de omzettingsregelingen zijn geen studies gedaan naar de effecten op geluidhinder. De omzettingsregelingen werden gepresenteerd als “één op één omzettingen zonder rechtsgevolgen”, waarin de “maximale geluidsruimte” hetzelfde zou blijven. Hier ging de suggestie vanuit dat de bescherming tegen geluidhinder voor individuele omwonenden gelijk zou blijven. Dit was niet het geval, want RBML maakte uitwisseling mogelijk tussen grote en kleine luchtvaart en daarmee een geografische verschuiving van de hinder.

Hinderonderzoek kwam/komt pas weer aan de orde bij de voorbereiding op luchthavenbesluiten. Op basis van hinderonderzoek heeft de Commissie voor de m.e.r. in dat verband geadviseerd om 5 dB toe te voegen aan de Lden van de kleine luchtvaart, alvorens het geluid van grote en kleine luchtvaart bij elkaar op te tellen (b.v. §4.6 van Ref. 12). In het MER voor Rotterdam The Hague Airport (Ref. 13) is dit advies evenwel niet opgevolgd².

Tot op heden bestaan er geen dosis/effectrelaties voor lichte propellervliegtuigen. Het advies van de Commissie voor de m.e.r. is dus het beste dat beschikbaar is. Geluidsberekeningen voor lichte propellervliegtuigen zijn dus “zo geschikt mogelijk” als de Lden 5 dB hoger is dan berekend met NRM.

¹ Het precieze verschil tussen Bkl en Lden hangt af van hoeveel er in de weekenden gevlogen wordt. Hiervoor kende de Bkl een aparte weefactor. Het verschil is altijd minimaal 3 dB.

² Er werd invulling aan het advies gegeven door het plotten van de 48 dB Lden-contour voor de kleine luchtvaart, zonder de geadviseerde 5 dB-toevoeging. Daarmee werd het advies zodanig geïnterpreteerd dat het aantal gehinderde woningen niet vast te stellen was.

De vraag of de Lden zoals berekend met de Doc29-implementatie voor lichte propellervliegtuigen een juiste weergave geeft van de hinder, of het dus in de pas loopt met dosis/effectrelaties voor de grote luchtvaart, wordt in Refs. 2 en 7 niet gesteld.

3 Invulling Doc29

De Doc29-implementatie is nogal complex. Mocht de lezer ergens in Hoofdstuk 3 of 4 het spoor bijster raken, dan kan men de draad weer oppakken in §4.5.

3.1 Algemeen (grote straalvliegtuigen)

Wanneer men spreekt over Doc29, bedoelt men de methodologie zoals in detail beschreven in Ref. 14. De geluidsmodellering wordt internationaal beschouwd als de *state-of-the-art*. Dezelfde methodologie staat ook beschreven in een ICAO-document (Ref. 15) en is geïmplementeerd in de AEDT-software van de FAA.

Doc29 gaat uit van vliegtuiggegevens (geluid en prestaties) uit de *Aircraft Noise and Performance* (ANP) database (Ref. 16). Van diverse vliegtuigtypes bestaan er ANP-data. We noemen deze hier de ANP-vliegtuigen. Maar omdat er van ieder vliegtuigtype (met dezelfde ICAO-code) een groot aantal configuraties (b.v. motorvarianten) bestaan, is er niet voor iedere vliegtuigconfiguratie ANP-data beschikbaar. Dan moet er gerekend worden met een “ANP-proxy”, dat is een ANP-vliegtuig waarvan de ANP-data het beste passen. Ref. 14 beschrijft hoe deze substitutie in zijn werk gaat, hieronder kort samengevat:

1. Van een objectvliegtuig (waar het geluid van berekend moet worden) wordt bepaald wat zijn ANP-proxy is.
2. De geluidsberekening wordt gedaan met de bijbehorende ANP-data.
3. Er vindt een dB-correctie³ plaats op basis van de verschillen in geluidcertificatieniveaus van het objectvliegtuig en zijn ANP-proxy.

Van de meeste vliegtuigconfiguraties is er een geluidcertificaat. Daarin staan geluidsniveaus die onder voorgeschreven condities gemeten zijn aan het prototype van die configuratie. Certificatietabellen voor verschillende soorten vliegtuigen zijn te vinden op de website van de EASA (Ref. 17). Ieder certificaat heeft zijn eigen identificatiecode, vaak “recordnummer” genoemd.

Om de substitutie te kunnen doen zijn er de volgende uitdagingen:

1. Het vaststellen van de certificateniveaus van de ANP-vliegtuigen.
2. Een methode om objectvliegtuigen te koppelen aan ANP-proxy's.

Uitdaging 1 is groter dan men zou verwachten. De ANP-data zijn niet voorzien van recordnummers, waardoor het op voorhand niet duidelijk is om welke vliegtuigconfiguratie het gaat. Er dient dus een zoektocht plaats te vinden naar “proxytypes” (lees: recordnummers) die het beste passen bij de ANP-data. De resultaten van een dergelijke zoektocht voor Schiphol staan in Appendix A.2 van Ref. 18. De selectiecriteria die onder de tabel staan zijn nogal summier. Hoe er gehandeld wordt als meerdere recordnummers aan de criteria voldoen is niet duidelijk.

[Bijlage 1 van Ref. 3](#) zegt er helemaal niets over hoe dit gebeurt. Men heeft het over “proxytypes waar geluid- en prestatiegegevens van beschikbaar zijn”, alsof het een vanzelfsprekendheid is. [Welke proxytypes bij welke ANP-proxytypes horen is waarschijnlijk te vinden in de “vliegtuigindellingslijst”, die niet ter inzage ligt.](#)

³ apart voor start en landing

Uitdaging 2 is ook niet eenvoudig. In Ref. 18 staat een tamelijk gecompliceerde methode beschreven om een koppelingsscore te berekenen tussen een objectvliegtuig en ANP-vliegtuigen, op basis van een aantal vliegtuigkenmerken. Het ANP-vliegtuig met de hoogste score wordt de ANP-proxy van het objectvliegtuig.

Deze methodiek uit Ref. 18 was ontwikkeld voordat er een gedetailleerde substitutietabel per vliegtuigconfiguratie gepubliceerd werd (Ref. 19). In deze tabel staat bij ieder recordnummer de ANP-proxy en de dB-correcties. Voor de vliegtuigconfiguraties die in de substitutietabel staan maakt dit beide uitdagingen in één keer achterhaald. Het is niet meer nodig om proxytypes aan te wijzen. Dit maakt het allemaal een stuk eenvoudiger.

De nieuwe ANP-substitutietabel zou consistent zijn met de methode van Ref. 18, als in Appendix A.2 daarvan bij ieder recordnummer dezelfde ANP-proxy staat als in de substitutietabel en als de dB-correcties daarin nul zijn. In de meeste gevallen klopt dat inderdaad, maar er zijn ook veel uitzonderingen.

Ondanks de nieuwe ontwikkelingen blijft Ref. 2 uitgaan van het aanwijzen van proxytypes. De substitutietabel wordt niet als uitgangspunt geadopteerd, hoewel dat in het kader van Europese harmonisatie wel voor de hand zou liggen. Wel maakt Ref. 2 gebruik van de substitutietabel om proxytypes aan te wijzen, door te kijken wanneer de dB-correcties nul zijn⁴. Voor de koppeling met proxytypes maakt Ref. 2 gebruik van de standaard indelingslijst in het tabblad “by ICAO code” in de substitutietabel.

Daarmee gaat de Doc29-implementatie van Ref. 2 *de facto* uit van de substitutietabel. De reden om vast te houden aan het concept van proxytypes is waarschijnlijk dat er dan een consistent verhaal is met lichte propellervliegtuigen.

[In Bijlage 1 \(Annex A1\) van Ref. 3 wordt uitgegaan van de vliegtuigindingslijst. Dat zou dan een eigen versie moeten zijn van de substitutietabel. Deze indingslijst, een essentieel onderdeel van het rekenvoorschrift, ligt niet ter inzage.](#)

Om een beetje overzicht te kunnen houden over de veelheid van begrippen die hierboven zijn geïntroduceerd, staat in Appendix A een samenvatting van de nomenclatuur.

3.2 Lichte propellervliegtuigen

Doc29 is bedoeld voor grote straalvliegtuigen die gecertificeerd zijn volgens Hoofdstuk 3 of Hoofdstuk 4 van het document “ICAO Annex 16 Volume 1” (Ref. 20).

Met lichte propellervliegtuigen bedoelen we vliegtuigen tot 19000 lb (8618 kg) MTOW⁵ die gecertificeerd zijn volgens Hoofdstuk 6 (H6) of Hoofdstuk 10 (H10) van Ref. 20. Bij H6 wordt het certificatie-niveau gemeten met *fly-overs* op maximale snelheid op 1000 ft hoogte. Het piekniveau (LAm_{ax}) geldt als de certificatie-waarde. Bij H10 gaat het om een startprocedure met *best rate of climb speed*, waarbij de LAm_{ax} gemeten wordt op 2.5 km van het vertrekpunt. H6 was van toepassing tussen 1975 en 1988. Vanaf 1988 is H10 van toepassing voor nieuwe prototypes.

Er zijn ANP-data beschikbaar van 15 verschillende lichte propellervliegtuigen. Ref. 2 maakt melding van 11 geschikte ANP-datasets, dus 4 datasets zijn ongeschikt geacht. Waarschijnlijk gaat het hier om de 4 ANP-vliegtuigen waarvan de prestatie is uitgedrukt in toerental (RPM). Dat is een logische

⁴ Daarmee wijkt Ref. 2 dus af van Ref. 18.

⁵ Maximum Take-Off Weight (maximaal startgewicht)

uitsluiting⁶, omdat dit soort ANP-data ongeschikt zijn voor geluidsberekeningen van een *level flight*, zoals bij het circuitvliegen met lesvliegtuigen. Uit de beschikbare gegevens is immers niet te herleiden wat het toerental bij *level flight* zou zijn.

Voor lichte propellervliegtuigen bestaat geen substitutietabel. Voor het aanwijzen van proxytypes en om koppelingen te maken, bouwt Ref. 2 daarom voort op de systematiek van Ref. 18. Voor ieder ANP-vliegtuig worden daarbij twee proxytypes aangewezen, één uit H6 en één uit H10. Zo worden de vliegtuigconfiguraties verdeeld over 22 proxytypes. De ANP-data van het proxytype worden gebruikt voor de geluidsberekeningen. De daarop toegepaste dB-correctie⁷ is het verschil tussen certificatiewaarde (H6 of H10) van objectvliegtuig en proxytype.

Voor de identificatie van proxytypes (uitdaging 1) hanteert Ref. 2 het principe dat deze de lawaaiigste configuratie is met dezelfde basisgegevens (vliegtuigtype, motortype, MTOW) als in de ANP-data. De gedachte daarachter is dat ANP-metingen plaatsvinden tijdens de eerste certificatie van een vliegtuigtype en dat latere modificaties het vliegtuig stiller maken.

Helaas rapporteert Ref. 2 niet welke proxytypes aangewezen zijn. Mede daarom roept dit vragen op:

- Voor vliegtuigtypes (ICAO-codes) die na 1988 geïntroduceerd zijn, zijn er geen H6-certificaten. Hoe worden er dan H6-proxytypes geïdentificeerd?
- Voor vliegtuigtypes die voor 1988 geïntroduceerd zijn, hebben de H10-certificaten (als die bestaan) betrekking op modificaties die stiller zouden moeten zijn dan het vliegtuig dat gebruikt is voor de ANP-geluidstabellen. Hoeveel onnauwkeurigheid wordt daarmee geïntroduceerd?

Voor de koppelingsmethode (uitdaging 2) volgt Ref. 2 de methode van Ref. 18, met een aantal aanpassingen. Er wordt daarnaast gesproken over 23 relatief veel voorkomende vliegtuigtypes waarvoor handmatig een proxytype moest worden aangewezen. Niet duidelijk is of het hier om lichte propellervliegtuigen gaat.

[De gemaakte keuzes zijn ongetwijfeld te vinden in de vliegtuigindellingslijst. Voorlopig moeten we uitgaan van eerdere publicaties.](#)

4 Beoordeling

Bij de beoordeling van de Doc29-methode voor lichte propellervliegtuigen beperken we ons tot de geluidsniveaus bij de start en bij *level flight*. Geluidsniveaus bij de start zijn belangrijk, niet alleen vanwege de hinder maar ook omdat die grotendeels bepalend zijn voor de geluidsniveaus in de handhavingspunten die op 100 m van de uiteinden van de baan liggen. Geluid bij *level flight* is een grote bron van hinder door lesvliegtuigen die op lage hoogte oefencircuits vliegen.

4.1 Proxytypes

Zoals in het vorige hoofdstuk genoemd, zijn er geschikte ANP-data van 11 vliegtuigen. Dit betreft dus propellervliegtuigen met MTOW tot 8618 kg. Aangezien de bulk van het kleine vliegverkeer gebeurt met vliegtuigen tot 2000 kg, kijken we bij de beoordeling van de methode alleen naar de 3 lichtste ANP-vliegtuigen. Dezen staan vermeld in Tabel 1. De 8 andere ANP-vliegtuigen hebben een MTOW van meer dan 2700 kg.

⁶ Er zou dan wel sprake zijn van voortschrijdend inzicht t.o.v. Ref. 7, waar de RPM-gebaseerde ANP-datasets (PA28, CNA206, CNA20T en PA31) nog wel een rol spelen.

⁷ Voor H6 en H10 gaat het om één correctiewaarde voor zowel start als landing.

Volgens Ref. 2 zijn hiervoor proxytypes gedefinieerd voor zowel H6 als H10. Omdat deze niet vermeld worden, is in Appendix B is berekend om welke proxytypes het waarschijnlijk gaat. Een overzicht daarvan, met certificatie-niveaus, staat in Tabel 2.

Tabel 1 Relevante ANP-vliegtuigen

ANP code	Beschrijving	MTOW (kg)
CNA172	Cessna 172R / Lycoming IO-360-L2A	1111
CNA182	Cessna 182H / Continental O-470-R	1270
PA30	Piper Twin Comanche PA-30 / IO-320-B1A	1633

Tabel 2 Recordnummers en certificatie-niveaus van veronderstelde proxytypes

ANP code	proxytypes		berekend
	H6	H10	H10
CNA172	?	C60: 76.3 dB	72.8 dB
CNA182	C3212: 73.5 dB	C5571: 80.7 dB	88.8 dB
PA30	C4344: 72.0 dB	C11433: 81.5 dB	81.1 dB

Uit Appendix B blijkt dat het aanwijzen van een proxytype lang niet altijd evident is. Er zijn vaak meerdere opties. De keuze voor een proxytype is echter van groot belang, omdat het certificatie-niveau daarvan direct doorwerkt in de berekende geluidsniveaus. Een proxytype met een 3 dB hoger certificatie-niveau leidt in de berekening tot 3 dB lagere geluidsniveaus. De lawaaiigste configuratie (zie §3.2) is voor vliegvelden dus de beste keuze.

Met de juiste startprofielen en de ANP-geluidstabellen voor startcondities is na te rekenen wat het H10-certificatie-niveau zou moeten zijn. Dit is uitgewerkt in Appendix C. De gevonden waarden staan in de meest rechtse kolom van Tabel 2. Voor de CNA172 en de CNA182 is er sprake van een behoorlijk verschil, beide kanten op. Dat ondergraaft verder het idee dat de proxytypes representatief zouden zijn.

Er liggen geen voorbeelden van vliegprofielen ter inzage in de internetconsultatie. Bijlage 1 van Ref. 3 zegt niet veel over hoe prestatieprofielen van lichte propellervliegtuigen worden samengesteld, behalve dat het niet op basis van radargegevens gebeurt. Hoe je bijvoorbeeld de klimhoek bij de start moet bepalen staat nergens beschreven.

4.2 Geluidstabellen

De geluidstabellen bevatten data voor een beperkt aantal stuwkrachtwaarden. Voor *departure*-condities zijn dat de zwarte getallen in Tabel 3, die de tabelwaarden op 1000 ft afstand laat zien. De stuwkracht is gegeven als percentage van de maximale stuwkracht.

Tabel 3 ANP-geluidstabelwaarden voor startcondities op 1000 ft, met extrapolaties in blauw en afgekapte extrapolaties in rood; de bovenste niveaus hebben betrekking op level flight (circuit) en de onderste niveaus op de start.

CNA172	L _{Amax}	CNA182	L _{Amax}	PA30	L _{Amax}
47%	65.8	37%	67.7	31%	65.0
60%	66.4	55%	72.7	52%	70.0
100%	68.2	66%	80.9	55%	72.7
		start	87.9	87%	78.6
				100%	80.9

Een normale start vindt doorgaans plaats bij 100% stuwkracht. Om geluidsniveaus te krijgen moet er daarom geëxtrapoleerd worden voor zowel de CNA182 als de PA30. Voor de CNA182 ligt het nog wat genuanceerder. Zie daarvoor Appendix C.

De stuwkrachtpercentages voor *level flight* staan in de bovenste rijen en zijn afgeleid in Appendix D. Dan moet er voor alle ANP-vliegtuigen geëxtrapoleerd worden. Voor een aantal extrapolaties is in Ref. 2 besloten dat die te hoog of te laag waren. Daarom werden deze afgekap. Dat zijn de rode getallen in Tabel 3.

Al met al is er dus weinig reden om vertrouwen te hebben in de gebruikte geluidsniveaus bij start en *level flight*.

Interessant is het om te kijken naar de verschillen tussen start en *level flight*. Dit is 2.4 dB voor de CNA172, 20.2 dB voor de CNA182 en 15.9 dB voor de PA30. De verschillen lopen dus enorm uiteen.

De verschillen tussen start en *level flight* kunnen vergeleken worden met die uit de NRM-geluidstabellen (Ref. 21). In NRM worden lichte propellervliegtuigen⁸ verdeeld over 8 geluidscategorieën, elk met een eigen geluidstabel. Per categorie staan de verschillen tussen start en *level flight* in Tabel 4. De tabellen van Cat. 6 t/m 8 zijn extrapolaties van Cat. 5 en voegen daarom geen informatie toe. De variaties van de verschillen zijn binnen NRM aanmerkelijk kleiner.

De NRM-tabellen zijn gebaseerd op metingen, zonder extrapolaties en afkap, dus betrouwbaarder. Merk op dat de Cat. 2 tabel gemeten is aan een Cessna 182P en de Cat. 3 tabel aan een Cessna 172M, dus uit dezelfde families als de CNA182 de CNA172.

Mochten de startniveaus correct berekend worden, dan is er weinig aanleiding om erop te vertrouwen dat de *level flight* niveaus ook correct bepaald worden.

Tabel 4 Verschillen tussen start en level flight niveaus op 1000 ft afstand in NRM-tabellen

Cat.	Vershil
1	8.9
2	10.0
3	11.5
4	11.8
5	11.9
6	11.9
7	11.9
8	11.9

4.3 Omzetting geluidsruijnte

Bij de overgang van NRM naar Doc29 zal de invoerset van NRM overgezet moeten worden, zodanig de geluidsruijnte even groot blijft. Het is niet bekend hoe deze omzetting plaatsvindt, ook niet voor Schiphol.

Een logische procedure zou zijn:

1. Ga uit van het feitelijke vliegverkeer van het meest recente gebruiksjaar.
2. Corrigeer de feitelijke verdeling van het baangebruik naar die van de invoerset, bijvoorbeeld met weegfactoren per baannummer.
3. Bereken de Lden in de handhavingpunten met zowel NRM als Doc29.
4. Corrigeer de limietwaarden met het verschil tussen de Lden van Doc29 en NRM.

⁸ tot 6000 kg

- De nieuwe invoerset wordt dan het feitelijke vliegverkeer van het meest recente invoerset, gecorrigeerd voor baangebruik. Deze wordt vervolgens nog gecorrigeerd met het kleinste verschil tussen berekende Lden en limietwaarde in handhavingspunten.

Met deze procedure blijft de feitelijke maximale geluidsruijnte dezelfde. De Lden-contouren kunnen wel anders komen te liggen. Dit hangt sterk af van het proxytype waaraan veel voorkomende vliegtuigtipes gekoppeld worden en hoeft niet overeen te komen met contouren zoals die feitelijk zouden moeten zijn.

Wanneer echter de nieuwe invoerset direct afgeleid moet worden uit de oude, dan wordt het erg ingewikkeld, zeker voor kleine propellervliegtuigen.

Het aandeel kleine luchtvaart in NRM-scenario's wordt samengesteld met 8 verschillende vliegtuigen, die elk representatief zijn voor een geluidscategorie. Voor gebruik in Doc29 dient ieder representatief vliegtuig voorzien te worden van een certificatie niveau (en -hoofdstuk) en moet het gekoppeld worden aan een proxytype.

Binnen NRM worden geluidscategorieën geassocieerd met certificatie niveaus. Voor representatieve vliegtuigen kan daarom voor het certificatie niveau het energetisch gemiddelde van de categoriegrenzen genomen worden.

Welk proxytype gekozen moet worden aan welk representatief vliegtuig is niet duidelijk. In dit rapport zijn 5 proxitypes geselecteerd waaraan gekoppeld zou kunnen worden. Deze staan in Tabel 5, inclusief de certificatie waarde.

In Tabel 5 staan ook, als voorbeeld, de geluidsniveaus tijdens start en *level flight* van het representatieve Cat. 3-vliegtuig. Dat zijn de waarden uit Tabel 3, gecorrigeerd voor het verschil tussen de certificatie niveaus van het Cat. 3-vliegtuig en het proxytype. Het Cat. 3-vliegtuig heeft een H6-certificatie niveau van 73.8 dB en een H10-certificatie niveau van 78.5 dB.

Tabel 5 Kandidaat proxitypes voor NRM Cat. 3-vliegtuig met start en level flight (circuit) niveau op 1000 ft afstand.

ANP code	Hfdst	Proxytype	Certificatie	Start	Circuit
CNA172	H10	C60	76.3	70.4	68.0
CNA182	H10	C5571	80.7	85.7	65.5
PA30	H10	C11433	81.5	77.9	62.0
CNA182	H6	C3212	73.5	88.2	68.0
PA30	H6	C4344	72.0	82.7	66.8

Wat opvalt is dat de niveaus enorm uiteenlopen, vooral bij de start. Wat ook opvalt is dat er weinig verband is tussen certificatie niveaus enerzijds en de niveaus van start en *level flight* anderzijds. Bij een H10-koppeling is het mogelijk dat een hoger certificatie niveau leidt tot lagere niveaus bij start en *level flight*. Daarmee is het dus ook mogelijk dat een hoger certificatie niveau leidt tot minder verbruik van de geluidsruijnte.

Omdat de feitelijke verdeling over NRM-geluidscategorieën meestal anders is dan die in de invoerset, kan deze manier van omzetting onvoorspelbare gevolgen hebben. Het zou kunnen dat er ineens veel meer geluidsruijnte beschikbaar komt voor de actuele vloot, maar het kan ook zijn dat het aantal vliegtuigbewegingen met de actuele vloot gereduceerd moet worden.

Bij het samenstellen van nieuwe scenario's zou strategisch gebruik gemaakt kunnen worden van de grote verschillen, om een scenario samen te stellen met maximale geluidsruijnte en minimale impact op de omgeving. Dit is uiteraard ongewenst.

4.4 Vergelijking met NRM

De met Tabel 5 corresponderende NRM-tabelwaarden⁹ voor Cat. 3-vliegtuigen zijn 69.5 dB voor de start en 58.0 dB voor *level flight* (zie Ref. 21). Dat is dus lager dan alle niveaus in de twee rechtse kolommen van Tabel 5. Dat betekent dus dat er met de Doc29-implementatie altijd hogere geluidbelastingniveaus berekend zullen worden dan met NRM. Dat is een bevestiging van de twijfels over de correctheid van de NRM-berekeningen. Zie ook Hoofdstuk 5.

Met Doc29 zullen de Lden-geluidscontouren dus aanmerkelijk ruimer worden dan de contouren berekend met NRM.

4.5 Samenvatting

4.5.1 Voordelen van de Doc29-implementie

1. Er wordt gecorrigeerd voor het certificatieniveau.
2. De berekende geluidsniveaus zijn hoger dan met NRM.

4.5.2 Nadelen van de Doc29-implementie

1. Er worden proxytypes gebruikt die representatief zouden moeten zijn voor de ANP-data. Die representativiteit is allerm minst zeker. Het criterium van het luidruchtigste vliegtuig is twijfelachtig. Er is geen substitutietabel die de keuzes kunnen bevestigen. Nagerekende H10-certificatieniveaus stemmen niet overeen met die van de proxytypes. Het proces van aanwijzen van proxytypes is niet verifieerbaar. De proxytypes bepalen wel het berekende geluidsniveau.
2. De ANP-data van de CNA182 spelen een belangrijke rol. Dit zijn oude data, nog geassocieerd met een H2-certificatie. Om de data gereed te maken voor Doc29-gebruik wordt er geëxtrapoleerd en vervolgens weer afgekapt, zowel voor de start als voor *level flight*. Dit geldt deels ook voor de twee andere relevante datasets, zie Tabel 3. Dit betekent dat er veel te veel onzekerheid over de geluidstabellen is.
3. Er zit te veel *engineering judgement* in het koppelen van objectvliegtuigen en proxytypes. Handmatige koppeling van veel voorkomende vliegtuigtypes zou niet mogelijk moeten zijn.
4. Het is mogelijk dat een lager certificatieniveau leidt tot meer verbruik van de geluidsruijnte. Dat kan de prikkel wegnemen om stillere vliegtuigen aan te schaffen.
5. De omzetting van de invoersets en de definitie van nieuwe scenario's bevatten veel vrijheidsgraden die het risico met zich meebrengen dat het samenstellen van scenario's een studie wordt om een situatie te creëren die optimaal is voor de luchtvaart. Er is te weinig informatie om dit te verifiëren.
6. Het hele proces is nogal ondoorzichtig en moeilijk te begrijpen. De veronderstelde betere uitlegbaarheid met één rekenkern wordt daarmee volledig tenietgedaan. Gezien de grote mate van onzekerheid die er desondanks is, heeft de complexiteit geen enkele toegevoegde waarde.
7. Het is niet wenselijk dat alleen enkele gespecialiseerde ingenieursbureaus nog van de hoed en de rand weten.

5 Alternatieve rekenmethode

In dit hoofdstuk wordt een andere rekenmethode voorgesteld om het geluid van lichte propellertoestellen te berekenen. Het is een modificatie van NRM, die vele malen eenvoudiger en robuuster is dan de Doc29-implementatie van Ref. 2.

⁹ De NRM-tabelwaarden op 316.2 m afstand zijn gebruikt. Dit is bijna hetzelfde als 1000 ft.

Het goede van NRM voor lichte propellervliegtuigen zijn de tabellen die uitgaan van gemeten geluidsniveaus, zowel bij de start als bij *level flight*.

Het curieuze aan NRM is de categorie-indeling (Ref. 21), waarvoor geen motivatie te vinden is. De categorie-indeling voor H10-vliegtuigen staat vermeld in Tabel 6. Het curieuze eraan is dat nagerekende H10-certificatieniveaus (laatste kolom in Tabel 6) een stuk beneden de categoriegrenzen liggen. De H10-certificatieniveaus zijn nagerekend aan de hand van de geluidstabel en het standaard startprofiel (Ref. 22) van de betreffende categorie.

Tabel 6 NRM-indeling in geluidscategorieën op basis van H10-certificatieniveaus; in de laatste kolom het nagerekende H10-certificatieniveau

categorie	min	max	berekend
1	82.3	ICAO-limiet	77.5
2	79.6	82.3	76.4
3	76.9	79.6	72.9
4	74.2	76.9	72.3
5	71.6	74.2	67.6
6	68.9	71.6	64.4
7	66.2	68.9	62.6
8	-	66.2	58.9

5.1 Methode

1. Verdeel vliegtuigconfiguraties in geluidscategorieën op basis van de H10-indeling van Ref. 21.
2. Als het objectvliegtuig een H6-certificaat heeft: tel daar 8 dB bij op om een equivalent H10-geluidsniveau te verkrijgen.
3. Bereken de geluidbelasting zoals in NRM.
4. Reken voor iedere categorie het H10-certificatieniveau na. De resultaten staan in Tabel 6.
5. Corrigeer voor het (equivalente) H10-certificatieniveau van het objectvliegtuig. Bijvoorbeeld: als het objectvliegtuig een H10-certificatieniveau van 78.0 dB heeft, en dus in NRM-Cat. 3 zit, tel dan $78.0 - 72.9 = 5.1$ dB op bij het geluid berekend in stap 3.

5.2 Voordelen

1. Het goede van NRM blijft behouden: de geluidstabellen bevatten immers gemeten waarden voor start en *level flight*. Er hoeft niet geëxtrapoleerd te worden.
2. Er wordt geijkt op H10-certificatieniveau. Fouten worden daarmee geminimaliseerd.
3. Door de ijking wordt er ongeveer 5 dB meer berekend dan voorheen met NRM. Daarmee is meteen voldaan aan het advies van de Commissie voor de m.e.r. om 5 dB toe te voegen.
4. Doordat er 5 dB meer berekend wordt, valt de oude grenswaarde van 47 Bkl ongeveer samen met de nieuwe Lden-grenswaarde van 48 dB. Immers 47 Bkl is ongeveer 43 dB. Daarmee zijn er dus binnen de nieuwe 48 dB Lden-contour ongeveer even veel woningen als binnen de oude 47-Bkl contour.
5. Door de 8 dB toevoeging aan het H6-certificatieniveau wordt voor H6-vliegtuigen t.o.v. H10-vliegtuigen relatief meer geluid berekend dan in het huidige NRM, waar de toevoeging ongeveer 5 dB is (zie Ref. 21). Behalve dat 8 dB realistischer is (zie Appendix C), gaat er meer stimulans vanuit om H6-vliegtuigen te vervangen door modernere H10-configuraties¹⁰.
6. De omzetting van NRM-scenario's is eenduidig en eenvoudig. Representatieve vliegtuigen krijgen als certificatie-niveau het energetische gemiddelde van de categoriegrenzen. Bij het

¹⁰ Het betekent ook dat H6-vliegtuigen in een (meestal één) hogere geluidscategorie terechtkomen.

doorrekenen van scenario's dienen dan correcties plaats te vinden op basis van de nagerekende certificatieniveaus uit Tabel 6, zoals in stap 5 van §5.1.

7. Binnen de klasse van lichte propellervliegtuigen is hiermee weinig ruimte voor het creatief samenstellen van scenario's.
8. Er is geen grote plotselinge verandering in rekenwijze.
9. De methode is veel eenvoudiger, dus voor meer mensen te begrijpen, dan de Doc29-implementatie van Ref. 2.
10. Als het geluid van lichte propellervliegtuigen niet met de Doc29-implementatie van Ref. 2 gedaan wordt, is er geen reden meer om in Doc29 voor de grote luchtvaart met proxytypes te werken. Dan kan gewoon direct de substitutietabel gebruikt worden. Daarmee wordt Doc29 voor de grote luchtvaart ook eenvoudiger.

5.3 Doc29-elementen

De hier voorgestelde rekenmethode is een modificatie van NRM. Specifieke Doc29-elementen die anders zijn dan in NRM zijn dus niet automatisch inbegrepen. Deze elementen worden hieronder kort besproken.

- Een belangrijk verschil tussen NRM en Doc29 is dat NRM het geïntegreerde geluid (SEL) zelf berekent, terwijl Doc29 die uit een tabel haalt. Het verschil is echter klein (~ 1 dB) ten opzichte van andere onnauwkeurigheden.
- Doc29 berekent afscherming van motorgeluid door de romp anders dan NRM. Voor propellervliegtuigen wordt echter überhaupt geen afscherming in rekening gebracht.
- Doc29 berekent bodemdemping anders dan NRM. De formules voor bodemdemping zijn afgeleid van oude metingen aan grote straalvliegtuigen (met motoren aan de romp). In tegenstelling tot dit soort vliegtuigen zit het meeste geluid van propellervliegtuigen bij lage frequenties, tot 250 Hz, waar er van bodemdemping nauwelijks sprake is. Beter is het dus om helemaal geen bodemdemping in rekening te brengen, een mogelijkheid die voor propellervliegtuigen [en helikopters](#) ook bestaat in de AEDT-software van de FAA. [Voor \(lichte\) propellervliegtuigen zou ook de NORAH-systematiek voor helikopters \(Ref. 23\) gevolgd kunnen worden. Binnen NORAH wordt niet de Doc29-methode gebruikt, maar is de bodemdemping afhankelijk van de frequentie. De geluidsspectra van helikopters en propellervliegtuigen zijn vergelijkbaar.](#)
- Doc29 bevat een protocol om geluidstabellen te corrigeren voor atmosferische demping. Dit protocol kan overgenomen worden als de atmosferische omstandigheden die gelden voor de NRM-tabellen bekend zijn. Niettemin zou het effect te verwaarlozen zijn vanwege de lage frequenties en de korte afstanden.

6 Conclusies

Op grond van de in §4.5.2 van dit rapport genoemde nadelen is de Doc29-implementatie van Ref. 2 ongeschikt om een betrouwbaar beeld te kunnen geven van de geluidhinder rond regionale luchthavens met een groot aandeel kleine luchtvaart. Dit heeft niet zozeer te maken met specifieke onderdelen van de implementatie (die niet allemaal bekend zijn), maar vooral met de beperkte ANP-data voor lichte propellervliegtuigen.

De rekenmethode uit Hoofdstuk 5 is een veel beter alternatief. De voordelen daarvan staan vermeld in §5.2.

7 Referenties

1. Brief IENW/BSK-2022/289613 d.d. 20 februari 2023, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/02/20/kamerbrief-voortgang-meten-en-rekenen-luchtverkeergeluid>
2. Invoergegevens voor Doc.29 geluidberekeningen voor Nederlandse regionale luchthavens, To70/NLR, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/02/20/bijlage-7-doc-29-invoergegevens-voor-regionale-luchthavens>
3. Concept wijziging Regeling burgerluchthavens, april 2024, https://www.internetconsultatie.nl/wijziging_regeling_burgerluchthavens_rekenvoorschrift_geluid/b1
4. ECAC.CEAC Doc 29, 3rd Edition, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports; Volume 1: Applications Guide, 2005, <https://www.aircraftnoisemodel.org/>
5. Staatscourant 103, 1 maart 2022, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2022-103.pdf>
6. Richtlijn 2002/49/EG, : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02002L0049-20210729>
7. Ontwikkeling rekenmethode Doc 29 voor Nederlandse regionale luchthavens, To70, 2021, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2021/08/11/methoderapport-ontwikkeling-rekenmethode-doc-29-voor-nederlandse-regionale-luchthavens>
8. Aanvullingsregeling geluid Omgevingswet, 2001, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2021-15868.pdf>
9. Wijzigingswet Wet luchtvaart (Regelgeving burgerluchthavens en militaire luchthavens), <https://wetten.overheid.nl/BWBR0024928/2021-06-19>
10. Basiskennis geluidzoning luchtvaart, F.J. van Deventer, https://www.vlieghinder.nl/images/knipsels/Basiskennis_Geluidzoning_Luchtvaart.pdf
11. Toelichting bij de RBML, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30452-3.html>
12. Advies over de reikwijdte en het detailniveau van het MER voor RTHA, Commissie voor de m.e.r., 2014, <https://www.commissiemer.nl/docs/mer/p28/p2890/a2890rd.pdf>
13. MER Rotterdam The Hague Airport 2016, deelrapport geluid, <https://www.commissiemer.nl/projectdocumenten/00000792.pdf>
14. ECAC.CEAC Doc 29, 4th Edition, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports; Volume 2: Technical Guide, 2016, <https://www.aircraftnoisemodel.org/>
15. ICAO Doc 9911, Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, Second Edition, 2018, <https://store.icao.int/en/recommended-method-for-computing-noise-contours-around-airports-doc-9911>
16. ANP database, <https://www.aircraftnoisemodel.org>
17. EASA Certification Noise Levels, <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/easa-certification-noise-levels>
18. Methodenrapport Doc29, NLR-CR-2019-076, <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-931606.pdf>
19. ANP v2.2 Aircraft substitutions - jets & heavy props, <https://www.aircraftnoisemodel.org/>
20. ICAO Annex 16: Environmental Protection - Volume I - Aircraft Noise, 2017, <https://store.icao.int/en/annex-16-environmental-protection-volume-i-aircraft-noise>
21. Appendices van het voorschrift voor de berekening van de geluidsbelasting ten gevolge van de kleine luchtvaart, NLR-CR-2000-564, <https://www.luchtvaartmilieu.nl/regelgeving/appendices/NLR-CR-2000-564.pdf>
22. <https://www.luchtvaartmilieu.nl/Appendices/>

23. Rekenvoorschrift voor de berekening van de geluidbelasting als gevolg van helikoptervluchten. Op basis van het NORAH model, NLR-CR-2022-033, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/02/20/bijlage-8-nlr-rekenvoorschrift-voor-de-berekening-van-de-geluidbelasting-als-gevolg-van-helikoptervluchten>
24. https://nl.wikipedia.org/wiki/Cessna_172
25. https://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_182_Skylane
26. https://en.wikipedia.org/wiki/Piper_PA-30_Twin_Comanche

Appendix A: Nomenclatuur

ANP-proxy	ANP-vliegtuig dat gebruikt wordt voor geluidsberekeningen van een objectvliegtuig
ANP-vliegtuig	Vliegtuig met ANP-data
Recordnummer	EASA <i>record number</i> : identificatiecode behorend bij de geluidcertificatie van een vliegtuigconfiguratie
Certificatietabel	Excel file met certificatiegegevens
ICAO-code	Identificatiecode van een vliegtuigtype (dat verschillende configuraties kan hebben)
MTOW	Maximaal startgewicht
Objectvliegtuig	Vliegtuigconfiguratie waarvan het geluid uitgerekend moet worden
Prototype	Eerste exemplaar van een vliegtuigconfiguratie
Proxytype	Vliegtuigconfiguratie die geassocieerd kan worden met een ANP-vliegtuig
Substitutietabel	Excel file waarin vliegtuigconfiguraties gekoppeld worden aan ANP-proxy's

Appendix B: Proxytypes

De drie relevante ANP-vliegtuigen staan in Tabel 7, samen met een aantal gegevens. De parameter N is het aantal motoren, “max T” is de maximale totale stuwkracht en “Max HP” is het maximale vermogen (in hp) per propeller.

Tabel 7 Relevante ANP-vliegtuigen

ANP code	Beschrijving	MTOW (kg)	N	Max T (lbf)	Max HP
CNA172	Cessna 172R / Lycoming IO-360-L2A	1111	1	436	155
CNA182	Cessna 182H / Continental O-470-R	1270	1	965	222.4
PA30	Piper Twin Comanche PA-30 / IO-320-B1A	1633	2	777	139.5

Zoals in Hoofdstuk 2 genoemd, bevat Ref. 2 geen overzicht van proxytypes. Daarom wordt hier een poging gedaan om proxytypes te identificeren op grond van de in Ref. 2 geschetste methodiek.

CNA172

Als men in de certificatietabel selecteert op type = 172R, MTOW = 1111 kg en motor = IO-360-L2A, blijven er 12 configuraties over, die allemaal H10-gecertificeerd zijn. Dat is logisch, want de Cessna 172R stamt uit 1996 (Ref. 24). Onduidelijk is dus waar Ref. 2 een “best passende” H6-proxytype vandaan haalt.

De helft van de 12 configuraties betreft modificaties waarbij het propellervermogen verhoogd is van 155 hp naar 180 hp. Meer vermogen betekent meer lawaai, dus is het niet redelijk om deze configuraties mee te nemen. Na weglating van de configuraties met 180 hp, blijft 76.3 dB over als maximaal certificatieniveau. Het bijbehorende recordnummer is C60.

In Ref. 7 was het hogere propellervermogen blijkbaar geen probleem, want de daar (in Tabel 4) geselecteerde proxytype (C8860) heeft een H10-certificatieniveau van 84.7 dB. In Appendix A.2 van Ref. 18 wordt weer een ander proxytype geïdentificeerd, de C8861, met 78.2 dB als H10-certificatieniveau. Dit is ook een van de configuraties met hoger propellervermogen.

Dit geeft aan dat de keuze van een proxytype afhangt van wie de keuze maakt. De verschillen in certificatieniveau zijn groot.

CNA182

Selectie op type = 182H, MTOW = 1270 en motor = O-470-R levert 11 configuraties op: 4 uit H6 en 7 uit H11. De hoogste certificatieniveaus zijn 73.5 dB voor H6 (C3212) en 80.7 dB voor H10 (C5571). Deze niveaus zijn dezelfde als in Tabel 4 van Ref. 7. Maar in Ref. 18 wordt weer een andere keuze gemaakt: C2546, met 80.5 dB als H10-certificatieniveau.

Het H6-proxytype hoeft niet overeen te komen met het ANP-vliegtuig. Bij de ANP-metingen ging het nog om een H2-certificatie, wat betekent dat die metingen voor 1975 gedaan zijn. Dat is mogelijk, want de Cessna 182H is een oud vliegtuigtype, geïntroduceerd in 1964 (Ref. 25). De H10-configuraties zijn allemaal modificaties, die stiller zouden moeten zijn dan het ANP-vliegtuig. Dus is 80.7 dB naar alle waarschijnlijkheid te laag ingeschat.

PA30

De introductie van dit vliegtuig was in 1962 (Ref. 26). Selectie op type = PA-30, MTOW = 1633 en motor = IO-320-B1A levert één H6-configuratie op, met recordnummer C4344. Het bijbehorende certificatieniveau is 72.0 dB. Dit niveau staat ook in Tabel 4 van Ref. 7.

Als men ook "(L)IO-320-B1A" accepteert voor de motor levert dat twee extra configuraties uit H10 op, beide met certificatieniveau 81.5 dB, bijvoorbeeld C11433. Dit zijn weer modificaties, met in ieder geval andere propellers, dus de bruikbaarheid is weer twijfelachtig. In Ref. 18 is de C11433 aangewezen als proxytype (dus niet het H6-vliegtuig).

Een overzicht van de gevonden proxytypes met hun certificatieniveaus staat in Tabel 2.

Appendix C: Narekenen certificatieniveaus

H10-certificatieniveaus kunnen nagerekend worden m.b.v. *best rate of climb* vertrekprocedures bij maximale stuwkracht.

Bij de start wordt het hoogteprofiel van een vliegtuig benaderd door een initiële startrol, gevolgd door een gedeelte met vaste klimhoek. De lengte van de startrol kan bepaald worden met formule B-9 van Ref. 14:

$$s_{TOS} = \frac{B_8 \theta (W/\delta)^2}{N (F_n/\delta)}.$$

Hierin is B_8 een coëfficiënt uit de ANP-data, θ een temperatuurcorrectie, W het maximale startgewicht (MTOW), δ een luchtdrukcorrectie, N het aantal motoren en F_n de maximale stuwkracht per motor. De klimhoek volgt uit formule B-12 van Ref. 14:

$$\gamma = \arcsin \left(K \left[N \frac{F_n/\delta}{W/\delta} - R \right] \right).$$

Hierin is $K = 1.01$ en R de weerstandscoëfficiënt die betrekking heeft op de start. De hoogte op $L = 2.5$ km is daarmee:

$$H = (L - s_{TOS}) \tan \gamma .$$

Bij de uitwerking van bovenstaande formules kunnen we aannemen dat $\theta = \delta = 1$. Door lineair te interpoleren op de logaritme van de afstand kan uit de ANP-tabel dan het certificatie-niveau bepaald worden. De resultaten van de relevante ANP-vliegtuigen staan vermeld in Tabel 8.

Tabel 8 Berekening H10 certificatie-niveaus

ANP code	MTOW (lb)	Max T (lbf)	N	B_8	S_TOS (m)	R	Gamma	h (ft)	H10
CNA172	2450	436	1	0.103	430	0.083	5.5	654	72.8
CNA182	2800	688.5	1	0.058	201	0.127	6.9	912	88.8
PA30	3600	388.5	2	0.100	509	0.068	8.6	990	81.1

Voor de CNA182 zijn alleen geluidsdata beschikbaar voor 55% en 66% van de maximale stuwkracht. De startprocedure wordt waarschijnlijk niet bij 100% stuwkracht gedaan. Dit lijkt veel te hoog. Wat het dan wel moet zijn is niet duidelijk. Ref. 2 geeft daar ook geen antwoord op. We hebben hier aangenomen dat het 71% is. Dat leidt tot een klimhoek van 6.9° . Bij 80 kts horizontale snelheid is de klimsnelheid dan 980 ft/s. We moeten dan de beschikbare geluidsdata lineair extrapoleren.

In Ref. 2 wordt kennelijk uitgegaan van meer dan 71%, want men heeft het over “meer dan 10 dB” extrapolatie t.o.v. de beschikbare data, wat vervolgens wordt afgekapt tot 7 dB. Bij 71% is de extrapolatie iets minder dan 4 dB.

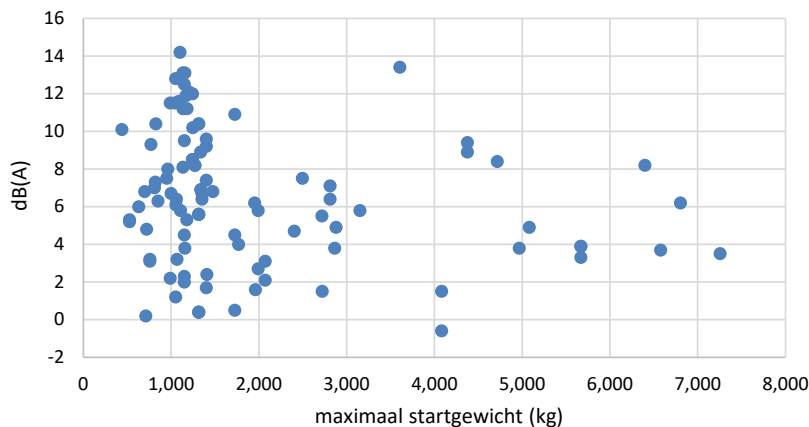
Voor de PA30 zijn geluidsdata beschikbaar voor 52%, 55% en 87%. Ook hier is dus extrapolatie nodig.

De nagerekende certificatie-niveaus staan in Tabel 3. Er zijn duidelijke verschillen tussen de certificatie-niveaus van de H10-proxytypes en de nagerekende H10-niveaus.

Verder is in Tabel 3 te zien dat de H6-certificatie-niveaus van de proxytypes lager zijn dan de nagerekende H10-niveaus. Dat is op zich niet vreemd. H10-niveaus van vergelijkbare vliegtuigen zijn doorgaans hoger dan H6-niveaus. Datzelfde geldt ook voor de limieten die de ICAO stelt aan de certificatie-niveaus. Voor H10 liggen die limieten 8 dB hoger.

Een zoektocht in de certificatie-database levert 102 ogenschijnlijk identieke configuraties op met zowel een H6 als een H10-certificatie. De verschillen, uitgezet tegen MTOW, staan geplot in Figuur 1. De verschillen variëren tussen net iets onder 0 dB tot ruim 14 dB. Het energetisch gemiddelde van alle verschillen is ongeveer 8 dB, wat overeenkomt met de verschillen in ICAO-limieten.

De verschillen in Tabel 3 vallen binnen het bereik van Figuur 1.



Figuur 1 Verschillen tussen H10 en H6-certificatie-niveaus

Appendix D: Berekening *level flight* niveaus

De procedure om de *level flight* (circuitvliegen op lage hoogte en lage snelheid) geluidsniveaus te bepalen is als volgt.

Zoek in de ANP-data de weerstandscoefficiënt ("R") op die betrekking heeft op de start, met de vleugelkleppen ingetrokken. Vermenigvuldig deze met de MTOW (lb) om de stuwkracht ("T") uit te rekenen. Het resultaat van de berekening staat in Tabel 9.

Om het niveau op 1000 ft (typische circuithoogte) te bepalen, moet er vanuit de ANP-geluidsdata geëxtrapolerd worden vanuit de data die gelden voor *departure*. Nu is in Ref. 2 geconstateerd dat de *level flight* niveaus onrealistisch laag waren t.o.v. de laagste waarden uit de tabel. Daarom is besloten om de extrapolatie te beperken tot -5 dB. De tabel met de afgekapte extrapolaties, dus waarmee de Doc29-implementatie gaat rekenen, staat in Tabel 3.

Tabel 9 Berekening van stuwkracht bij circuit *level flight*

ANP code	MTOW (lb)	Max T (lbf)	R	Circuit T	%
CNA172	2450	436	0.083	203.6	47%
CNA182	2800	965	0.127	355.6	37%
PA30	3600	777	0.068	243.0	31%