



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2022-034 | oktober 2022

# Adviesrapport: het gebruik van het NORAH model voor het bepalen van de geluidbelasting van helikopters

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Koninklijke NLR – Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

# Adviesrapport: het gebruik van het NORAH model voor het bepalen van de geluidbelasting van helikopters



## Probleemstelling

Voor de Nederlandse luchthavens wordt overwogen om voor vliegtuigen met vaste vleugels de geluidbelasting te bepalen met behulp van het Europese ECAC Doc29 model. Op het moment dat Doc29 het huidige rekenmodel (NRM) vervangt ontstaat potentieel een leemte: de bijdrage van helikopters aan de geluidbelasting wordt dan niet meer in kaart gebracht. Op termijn wordt er voor helikopterverkeer een alternatieve oplossing voorzien in de vorm van NORAH2 model, wat specifiek bedoeld is als geluidmodel voor helikopters. NORAH2 is echter nog in ontwikkeling en zal nog enkele jaren op zich laten wachten.

## Beschrijving van de werkzaamheden

Er zijn mogelijkheden om het huidige rekenmodel in stand te houden, maar dan in de toekomst alleen nog voor het helikopterverkeer toe te passen. Een alternatief is om nu al de overstap te maken naar de eerste versie van NORAH (NORAH1). Deze eerste versie is namelijk al beschikbaar en vormt de basis van NORAH2 zoals nu ontwikkeld wordt, maar waarbij de functionaliteit beperkt is. De mogelijkheden van deze eerste versie zijn onderzocht en vergeleken met het huidige model.

### RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2022-034

### AUTEUR(S)

K.M. Knepper  
S.J. Heblj

### RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

### DATUM

oktober 2022

### KENNISGEBIED(EN)

Vliegtuiggeluidseffecten op de omgeving  
Helikoptertechnologie

### TREFWOORD(EN)

Geluidsbelasting  
Helikopters  
NORAH

## Resultaten en conclusies

De vergelijking tussen NORAH1 en de huidige situatie laat zien dat het gebruik van NORAH1 diverse toevoegingen met zich meebrengt. Zo wordt de bron in meer detail gemodelleerd, wat meer recht doet aan het complexe karakter van het helikoptergeluid. Daarnaast wordt voor de modellering in de voorgestelde implementatie van NORAH1 veel meer gebruik gemaakt van radargegevens, in plaats van gemodelleerde routes en van gestandaardiseerde prestatieprofielen. Omdat deze routes en profielen niet altijd (meer) goed aansluiten bij de praktijk, mag verwacht worden dat de methode zoals die is toegepast bij de NORAH berekeningen ook op dit vlak representatiever is.

Voor NORAH2 worden er nog diverse toevoegingen aan het model verwacht. Dat deze toevoegingen in de eerste versie nog niet beschikbaar zijn, leidt niet tot een beperking ten opzichte van de huidige situatie met het NRM. De voorziene functionaliteit is namelijk ook niet beschikbaar in het NRM.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat het overstappen op de eerste versie van NORAH diverse verfijningen zal brengen in de modellering, met als resultaat een representatiever beeld van de van de geluidbelasting als gevolg van het helikopterverkeer. Het feit dat NORAH zelf nog in ontwikkeling is biedt mogelijkheden voor de toekomst, maar vormt geen beperking ten opzichte van de huidige situatie.

### NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p ) +31 88 511 3113

e ) [info@nlr.nl](mailto:info@nlr.nl) i ) [www.nlr.nl](http://www.nlr.nl)



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2022-034 | oktober 2022

# Adviesrapport: het gebruik van het NORAH model voor het bepalen van de geluidbelasting van helikopters

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat




**AUTEUR(S):**

K.M. Knepper  
S.J. Heblj

NLR  
NLR

*Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar en/of opdrachtgever.*

<b>OPDRACHTGEVER</b>	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
<b>CONTRACTNUMMER</b>	31174427
<b>EIGENAAR</b>	NLR
<b>NLR DIVISIE</b>	Aerospace Operations
<b>VERSPREIDING</b>	Beperkt
<b>RUBRICERING TITEL</b>	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		
AUTEUR	REVIEWER	BEHERENDE AFDELING
 Sander Heblj 2022.10.13 13:06:34 +02'00'	 Martijn Tuinstra 2022.10.13 13:28:39 +02'00'	 Digitally signed by Martin Nagelsmit Date: 2022.10.17 16:54:36 +02'00'

# Inhoudsopgave

<b>Afkortingen</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Achtergrond	5
1.2 Aanleiding	5
1.3 Interimoplossing	7
1.4 Leeswijzer	7
<b>2 Verbeteringen t.o.v. huidige situatie</b>	<b>8</b>
2.1 Brondefinitie met meer detail	8
2.2 Routemodellering	10
2.3 Profielmodellering	11
<b>3 Beperkingen en aandachtspunten bij het gebruik van NORAH</b>	<b>13</b>
3.1 Gebruik van radargegevens	13
3.2 Certificatieniveaus	15
3.3 Algemene niveaucorrectie	16
<b>4 Toekomstige ontwikkelingen</b>	<b>18</b>
4.1 Meetcampagne	18
4.2 Modelaanpassingen	18
4.3 Modelaanvullingen	19
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>21</b>
5.1 Conclusies	21
5.2 Aanbevelingen	23
<b>6 Referenties</b>	<b>24</b>
<b>Appendix A Modelling vliegconditie</b>	<b>25</b>
<b>Appendix B Geluidcertificatieniveaus in buitenlandse luchtvaarttuigregisters</b>	<b>27</b>
<b>Appendix C Niveaucorrectie gebruik grondplaten</b>	<b>29</b>

## Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AIRMOD	Aircraft Noise Modelling Task Group
ANOTEC	Aircraft NOise TEChnology
BVI	Blade Vortex Interactie
EASA	European Union Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
END	European Noise Directive
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
ICAO	International Civil Aviation Organization
IGPM	Inverted Ground-Plane Microphone
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
LVB	Luchthavenverkeerbesluit
NLR	Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NNHS	Nieuw Normen- en Handhaving-stelsel Schiphol
NORAH	NOise of Rotorcraft Assessed by a Hemisphere-approach
NRM	Nederlands Rekenmodel
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

In opdracht van de Europese Commissie heeft een consortium van NLR, SINTEF en ANOTEC onder begeleiding van EASA enkele jaren geleden een nieuw geluidmodel speciaal voor helikopters ontwikkeld [1][2]. Tot dat moment was het gebruikelijk om de geluidbelasting als gevolg van helikopterterverkeer in kaart te brengen met dezelfde methoden als die worden gebruikt voor het vliegverkeer met vaste vleugels. Deze methoden, zoals ECAC Doc29 [3][4], zijn echter maar beperkt in staat om rekening te houden met het complexe karakter van het geluid van helikopters. De nieuwe helikoptermethode is bedoeld als vervangend model, zonder deze beperking.

Naast het ontwikkelen van de methode heeft het consortium ook een prototype van een software implementatie ontwikkeld (NORAH - NOise of Rotorcraft Assessed by a Hemisphere-approach). Daarnaast is met behulp van een meetcampagne een database aangelegd met geluidgegevens. Met de gegevens van de helikoptertypes die in de huidige database aanwezig zijn, kan zo'n 70% van het Europese helikopterterverkeer worden gerepresenteerd. Voor het overige verkeer is een aanvullende indelingsmethode beschikbaar, om zo ook dit verkeer mee te kunnen nemen in de berekening.

NLR heeft daarna in opdracht van Schiphol de methode en de software in de praktijk getoetst. Veel van de werkzaamheden waren destijds gericht op het vertalen van praktijkgegevens naar invoer die geschikt is voor de software. In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is daarna ook de bredere inzetbaarheid van de methode verkend, door een vergelijkbare verkenning uit te voeren voor de luchthaven Rotterdam The Hague Airport.

Parallel aan deze onderzoeken is het oorspronkelijke consortium van NLR, SINTEF en ANOTEC in 2020 in opdracht van EASA begonnen aan een vervolgonderzoek, om de methode verder te ontwikkelen [5]. Hierbij wordt onder andere gekeken naar de mogelijkheden om tussen verschillende vliegcondities te interpoleren, de methode uit te breiden voor o.a. bochten en taxiën en het modelleren van afscherming als gevolg van gebouwen en terreinhoogte. Daarnaast is een meetcampagne voorzien, waarbij de database met geluidgegevens wordt aangevuld met de gegevens van extra helikoptertypes. Het onderzoek heeft een verwachte doorlooptijd van vier jaar, waardoor de eindresultaten niet voor 2024 worden verwacht. In dit rapport worden dit onderzoek en het verwachte eindresultaat aangeduid met NORAH2.

Als gevolg van nationale ontwikkelingen zijn er aanleidingen om nu al over te stappen op het nieuwe model. Dit betreft dan de eerste versie, waarvan de ontwikkeling gereed is, de validatie heeft plaatsgevonden en er tevens software beschikbaar is om de berekeningen mee uit te voeren.

## 1.2 Aanleiding

Van oudsher wordt de geluidbelasting als gevolg van het vliegverkeer op de Nederlandse luchthavens berekend met behulp van het Nederlands Rekenmodel (NRM) [6][7]. Deze methode wordt gebruikt voor zowel het vastvleugelig verkeer als voor de helikopters.



In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft het NLR in 2017 in samenwerking met To70 een Doc29 implementatie voor Schiphol ontworpen [8]. Deze implementatie omvat het totaal aan werkafspraken, de vaste invoergegevens, de rekenkern en de nabewerkingstappen van de resultaten. De implementatie is toegepast voor de geluidberekeningen binnen het MER Nieuw Normen- en Handhavingstelsel Schiphol (NNHS) [9]. Dit MER ligt aan de basis van een nieuw Luchthavenverkeerbesluit Schiphol (LVB). Op het moment dat het nieuwe LVB van kracht wordt, wordt ook Doc29 formeel als rekenmethode voor Schiphol geïntroduceerd [10] en vervangt de methode het NRM.

ECAC Doc29 zelf ondersteunt formeel beperkt helikopterterverkeer, waarbij helikopters alleen met het model mogen worden doorgerekend op het moment dat ze de totale geluidbelasting niet domineren [3]. In het verlengde van start- en landingsbanen zal typisch wel aan deze voorwaarde worden voldaan. Op andere locaties rondom de luchthavens kan het helikopterterverkeer echter wel dominant zijn. Een bijkomende hindernis is, dat de ANP database met invoergegevens voor Doc29 ook geen gegevens voor helikopters bevat. Helikopterterverkeer is dan ook geen onderdeel van de voor Schiphol ontwikkelde implementatie van Doc29. Zonder andere oplossing ontstaat er een leemte: de bijdrage van helikopters aan de geluidbelasting wordt dan niet in kaart gebracht.

Ook voor de regionale luchthavens wordt het gebruik van Doc29 overwogen [10]. In 2021 hebben To70 en Aerlabs een eerste onderzoek afgerond naar de mogelijkheden [11]. Op basis van de uitkomsten en aanbevelingen wordt op dit moment in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat een vervolgonderzoek uitgevoerd. Zodra dit onderzoek gereed is, kan de besluitvorming plaatsvinden of en hoe Doc29 opgenomen zal worden in het rekenvoorschrift voor de regionale luchthavens.

Als wordt besloten voor de regionale luchthavens Doc29 te introduceren, ontstaat dezelfde situatie als op Schiphol. Voor de regionale luchthavens waar sprake is van helikopterterverkeer zal een andere oplossing gezocht moeten worden voor het helikopterterverkeer.

Ook vanuit de Europese richtlijn omgevingslawaaai 2002/49/EC [12] is er de noodzaak om de bijdrage aan de geluidbelasting als gevolg van helikopterterverkeer in kaart te brengen. In plaats van het gebruik van een apart helikoptermodel stelt de richtlijn dat de methode volgens ECAC Doc29 toch kan worden toegepast, waarbij helikopters als propellervliegtuig worden behandeld. Middels een bijlage van de richtlijn worden ook de bijbehorende geluid- en prestatiegegevens gespecificeerd. Hierbij worden een aantal generieke helikoptertypen geïntroduceerd, waarbij alleen het maximale startgewicht bepaalt welke helikopter met welke gegevens worden berekend.

Hoewel de richtlijn stelt dat de methode toch gebruikt kan worden, moet dit wel worden gezien als een noodgreep, bij gebrek aan een alternatief. Het feit blijft dat de onderliggende methode is ontworpen voor civiele vliegtuigen met vaste vleugels en dat deze methode maar beperkt in staat is om rekening te houden met het complexe karakter van het geluid van helikopters. Hierbij moet worden bedacht dat NORAH2 ook bedoeld is om op termijn gebruikt te worden in relatie tot de verplichtingen uit de richtlijn [5], zoals het 5-jaarlijks opstellen van de strategische geluidsbelastingkaarten.

Op termijn lijkt het daarmee ook logisch over te stappen op NORAH2. Omdat de overgang op Doc29 echter op kortere termijn kan spelen en de ontwikkeling van de nieuwe methode nog enkele jaren kan duren, dienen er voor de tussenliggende periode ook keuzes te worden gemaakt.

## 1.3 Interimoplossing

Voor de periode totdat NORAH2 beschikbaar komt, waarbij op een specifieke luchthaven het NRM wordt vervangen door Doc29, kunnen, de volgende opties worden overwogen:

1. De bijdrage van het helikopterverkeer wordt helemaal niet in kaart gebracht.
2. Het NRM blijft in gebruik voor uitsluitend het bepalen van de bijdrage van het helikopterverkeer.
3. De methode uit richtlijn Omgevingslawaai wordt gebruikt voor het bepalen van de bijdrage van het helikopterverkeer.
4. De bijdrage van het helikopterverkeer wordt in kaart gebracht met de eerste versie van het NORAH model.

De eerstgenoemde oplossing zou op specifieke locaties een grote onderschatting kunnen geven van de geluidbelasting. De tweede en de derde oplossing zijn technisch gezien redelijk vergelijkbaar. Vanuit praktisch oogpunt ligt het daarbij voor de hand om te kiezen voor het in stand houden van het NRM. Dit model is immers beschikbaar en al ingericht voor de situatie op de Nederlandse luchthavens.

Dit rapport gaat in op de vierde oplossing, waarbij vooruitlopend op NORAH2 de eerste versie van het NORAH model wordt gebruikt. Hierbij wordt specifiek ingegaan op het voordeel van NORAH ten opzichte van de huidige situatie met het gebruik van NRM.

Dit voordeel is vaak gebaseerd op het feit dat NORAH in meer detail modelleert en invoergegevens worden gebruikt die beter aansluiten op de praktijk. Op basis hiervan mag verwacht worden dat NORAH een representatiever beeld zal geven van de daadwerkelijke geluidbelasting. Zeker voor bepaalde toepassingen van berekeningen, zoals informatievoorziening, komt dat de uitlegbaarheid en acceptatie van de resultaten ten goede. Voor meer informatie over de toepassingen van berekening, zie het rapport van de verkenningsfase van de Programmatische Aanpak Meten Vliegtuiggeluid [13].

## 1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat nader in de op verschillen tussen de huidige rekenmethode op basis van NRM en de implementatie van het NORAH model zoals eerder is verkend voor Amsterdam Airport Schiphol en Rotterdam The Hague Airport. De belangrijkste verschillen die hier aan bod komen zijn de definitie van de geluidbron en het gebruik van radargegevens in plaats van profielen voor het modelleren van het bronniveau, het hoogteverloop en het snelheidsverloop.

Hoofdstuk 3 kijkt specifiek naar beperkingen en aandachtspunten bij het inzetten van NORAH. Deze beperkingen en aandachtspunten volgen uit de ervaring opgedaan bij de verkennende berekeningen voor Rotterdam en Schiphol.

In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de voorziene ontwikkelingen van NORAH. Dit betreft allereerst een meetcampagne om de database verder aan te vullen, maar betreft ook modelaanpassingen en modeltoevoegingen.

De conclusies en aanbevelingen volgen tenslotte in hoofdstuk 5.

## 2 Verbeteringen t.o.v. huidige situatie

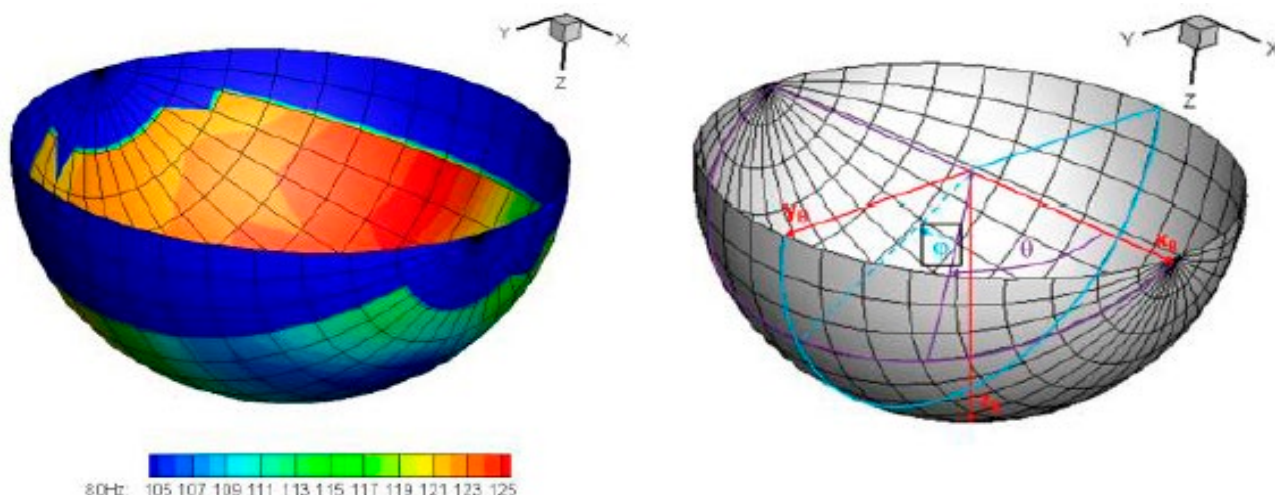
De huidige Nederlandse standaard voor het bepalen van de geluidbelasting als gevolg van het helikopterverkeer is het 'Nederlands Rekenmodel' (NRM). NRM berekent het geluid met behulp van gemodelleerde vliegprofielen in combinatie met geluidtabellen. Afhankelijk van de implementatie worden de grondpaden uit radargegevens afgeleid, of wordt gebruik gemaakt van modelroutes.

De NORAH implementatie zoals getest voor Amsterdam Airport Schiphol en Rotterdam The Hague Airport maakt daarnaast meer gebruik van praktijkgegevens, om zo beter aan te sluiten bij de praktijk.

De verschillen tussen de twee modellen worden in de volgende paragrafen in meer detail besproken.

### 2.1 Brondefinitie met meer detail

Het NORAH model is gebaseerd op hemisferen, soms ook geluidbollen genaamd. Een voorbeeld van een NORAH hemisfeer is te vinden in Figuur 1. De bronniveaus van de helikopter worden hiermee afhankelijk van de uitstraalrichting gedefinieerd. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar zowel de azimut (links-rechts) als de poolhoek (voor-achter). De geluidniveaus worden vervolgens gedefinieerd in vlakken van 10 bij 10 graden. Omdat met halve bollen wordt gewerkt, kunnen tot 344 verschillende geluidniveaus worden vastgelegd per vliegconditie.

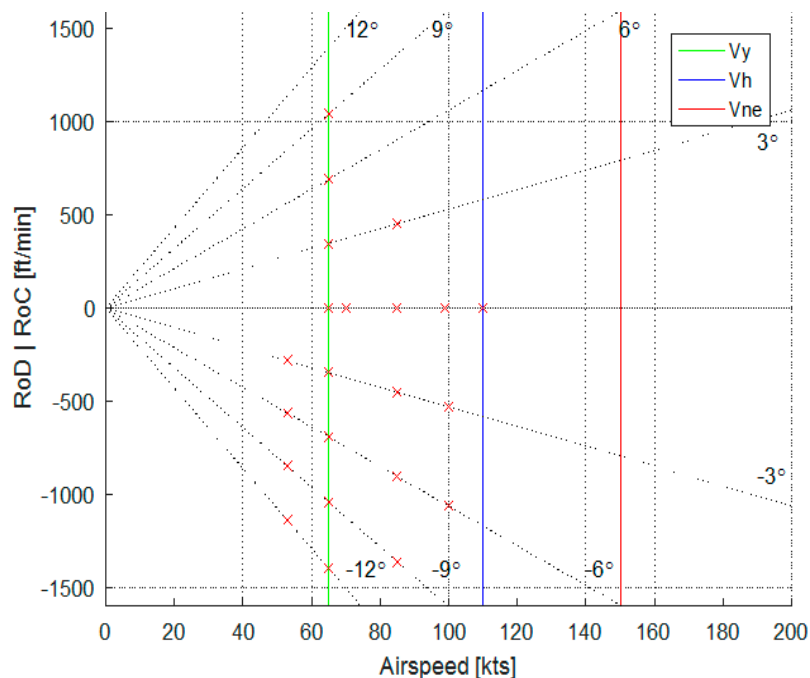


Figuur 1: Voorbeeld van een hemisfeer zoals gebruikt in NORAH

Zoals in het voorbeeld ook te zien is, kunnen de geluidniveaus tussen de linker en rechterkant van de helikopter sterk verschillen. Aan welke zijde de hogere niveaus optreden, is daarbij afhankelijk van de draairichting van de hoofdrotor en daarmee vaak afhankelijk van het type helikopter.

Binnen het NORAH model zijn per helikoptertype verschillende geluidbollen beschikbaar, waarbij elke geluidbol past bij een specifieke vliegconditie: een combinatie van de vliegsnelheid en baanhoek. Bij het opstellen van de verschillende hemisferen wordt de nadruk gelegd op de dalhoeken. Bij de daling kan, afhankelijk van de vliegcondities, zogenaamde Blade Vortex Interactie (BVI) gaan optreden, waarbij een rotorblad door de tipwervel van

het voorgaande rotorblad gaat. Aangezien (de mate van) het optreden van dit fenomeen sterk van invloed kan zijn op het geluid, worden bij deze vliegcondities meer geluidbollen opgesteld. In Figuur 2 is een overzicht opgenomen van de (ideale) condities waarvoor de geluidemissies in een geluidbol worden vastgelegd.



Figuur 2: Keuze voor de ideale snelheid- en klim/daalhoekverdeling voor de te meten hemisferen. Relatief veel meetcondities (rode kruisjes) passen bij de daling (onderste helft van de grafiek)

Bij het NRM wordt gebuikt gemaakt van geluidtabellen. Hierbij wordt verondersteld dat het geluidniveau niet richtingsafhankelijk is. Wel wordt er in de tabellen onderscheid gemaakt naar verschillende vliegcondities. Dit onderscheid is in praktijk meestal beperkt. Vaak bevatten de geluidtabellen uit de Appendices van de rekenvoorschriften (zie [6][7]) voor helikopters maar 3 kolommen: één voor de klimvlucht, één voor horizontale vlucht en één voor de daalvlucht. Hierbij wordt vervolgens geen onderscheid meer gemaakt naar de stijg- of baanhoek en/of de vliegsnelheid. In sommige gevallen zijn nog enkele andere condities opgenomen.

Een ander verschil is de manier waarop de geluidniveaus worden gedefinieerd in het model. NORAH maakt gebruik van emissieniveaus nabij de bron, waarbij een referentieafstand van 60 m wordt gehanteerd. Het momentane geluiddruk niveau wordt gedefinieerd per tertsbands, binnen een bereik van 10 Hz tot 10 kHz. Het rekenmodel verzorgt vervolgens de propagatie naar de ontvanger, waarbij ook bij de ontvanger de niveaus per tertsbands beschikbaar zijn. Hierbij zijn de atmosferische condities instelbaar. Aansluitend worden ook de A-gewogen geluidblootstellingsniveaus bepaald, waarmee de bijdrage aan de geluidbelasting kan worden bepaald.

Het NRM gebruikt geluidtabellen, waarbij het immissieniveau bij de ontvanger (op een bepaalde afstand) al is bepaald. De keuze voor bepaalde atmosferische condities liggen al vast in de geluidtabellen. Bij de ontvanger kan ook alleen het totale A-gewogen niveau worden bepaald. Een eventuele detaillering naar tertsbands is niet mogelijk. Voor de typische toepassing van het bepalen van de geluidbelasting voor handavingsdoeleinden is dit verschil tussen beide modellen niet relevant. Wel biedt NORAH meer mogelijkheden voor onderzoek, bijvoorbeeld op het gebied van hinder, isolatiemaatregelen, omdat ook specifiek naar lagere frequenties en andere metriecken kan worden gekeken. Hierdoor kan één model met één set invoergegevens voor meerdere doeleinden worden gebruikt. Dit leidt tot meer efficiëntie en een consistenter resultaat.

Ten slotte is het van belang hoe goed een model in staat is om de vloot van werkelijk gebruikte helikoptertypes te representeren. Het NRM maakt voor de Schiphol-implementatie gebruik van 3 verschillend helikoptertypes. Voor de overige burgerluchthavens zijn in het model 7 helikoptertypen beschikbaar. De indeling zelf vindt plaats op basis van de ICAO typeaanduiding.

De huidige database van NORAH bevat de gegevens van 8 helikoptertypes. In tegenstelling tot de NRM implementaties wordt bij de indeling daarnaast (waar mogelijk) ook nog een geluidscorrectie toegepast, op basis van het verschil in certificatie-niveaus tussen het te modelleren type en het gekozen representatieve type. Dit leidt tot een hoger detailniveau dat in praktijk waardevol kan zijn. Zo leidt het gebruik van een stillere of luidruchtigere variant van hetzelfde helikoptertype in NRM niet tot andere resultaten, terwijl dit binnen NORAH wel tot uiting komt.

De verschillen op het gebied van de modellering van de bron zijn samengevat in Tabel 1.

Tabel 1: Verschillen tussen beide modellen op het gebied van de brondefinitie

Aspect	NRM	NORAH
Bronniveau - uitstraalrichting	Niet mogelijk	Onderscheid zowel voor-achter als links-rechts
Bronniveau - vliegcondities	Beperkt (3-5 condities)	Uitgebreid (>20 condities)
Atmosferische condities propagatie	Vast	Instelbaar
Niveaus	Alleen totale A-gewogen niveau	tertsbanden, totale niveaus met weging naar keuze
Representatie	3-7 akoestisch representatieve types zonder verdere correctie	8 types met correctie op basis van certificatie-niveaus

Samenvattend geldt dat NORAH, ten opzichte van NRM, over het algemeen de geluidniveaus met meer detail in kaart brengt. Op basis hiervan mag verwacht worden dat het een representatievere weergave oplevert van de geluidniveaus die in praktijk optreden.

## 2.2 Routemodellering

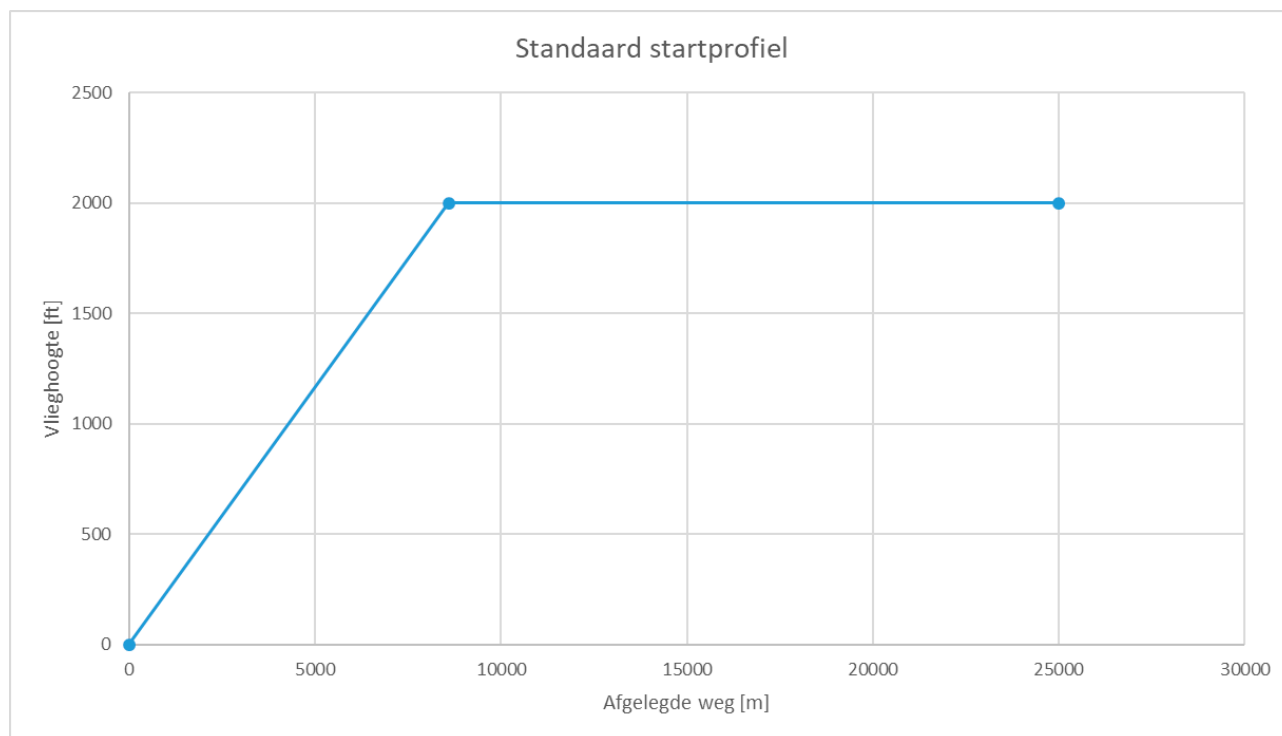
NRM en NORAH ondersteunen beide zowel het gebruik van modelroutes als het gebruik van grondpaden die zijn afgeleid uit radargegevens. In die zin zijn er geen verschillen in functionaliteit tussen beide modellen.

De NRM implementatie voor Schiphol gebruikt voor de handhavingsberekening grondpaden op basis van radargegevens. Dezelfde grondpaden zijn gebruikt voor de verkennende berekeningen voor Schiphol. Bij een eventuele overstap naar NORAH zijn er als gevolg van dit aspect dus geen verschillen te verwachten.

Voor de verkennende NORAH berekening voor Rotterdam The Hague Airport is ook gebruik gemaakt van radargegevens. Deze gegevens zijn beschikbaar gemaakt vanuit FANOMOS. De NRM jaarberekeningen voor Rotterdam worden (voor helikopters) echter uitgevoerd op basis van modelroutes. Dit levert grote verschillen op tussen beide implementaties. Hoewel er kanttekeningen zijn te plaatsen bij de kwaliteit en de beschikbaarheid van de radargegevens (zie ook hoofdstuk 3), is het aannemelijk dat de modellering op basis van radartracks een representatiever beeld geeft van de daadwerkelijke geluidbelasting. Bij een eventuele overstap naar NORAH mag in dit geval dus wel een verbetering worden verwacht ten opzichte van de huidige situatie.

## 2.3 Profielmodellering

Voor NRM wordt voor het modelleren van de hoogte en de snelheid gebruik gemaakt van gestandaardiseerde prestatieprofielen. Per helikoptertype zijn één of enkele start- en landingsprofielen gedefinieerd, waarin het aangenomen hoogte- en snelheidsverloop is gedefinieerd.

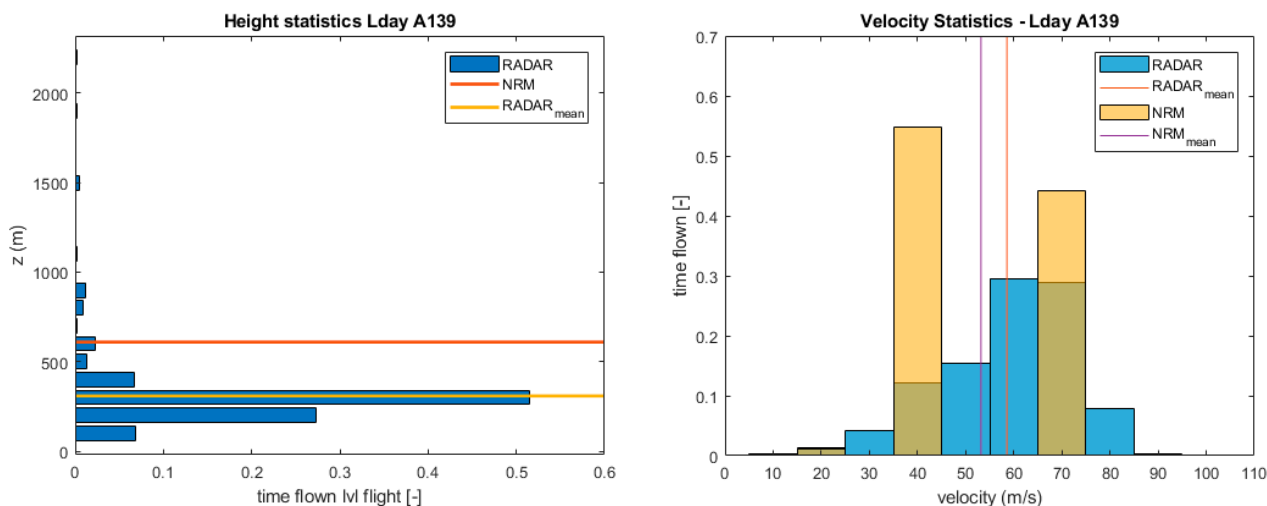


*Figuur 3: Voorbeeld van een standaard startprofiel voor NRM categorie 012 (een Sikorky S-76B)*

In Figuur 3 is een voorbeeld opgenomen van een standaard startprofiel zoals deze wordt gebruikt voor Schiphol voor NRM categorie 012. Het representatieve type van deze categorie is de Sikorsky S76 en de categorie wordt onder andere toegepast voor de Agusta A139, een veelgebruikt type op de luchthaven. Volgens het standaardprofiel wordt na de start met 4.1 graden geklommen naar een hoogte van 2000 ft (ca. 600 m). Vervolgens blijft de helikopter op deze hoogte horizontaal doorvliegen. De gemodelleerde snelheid is niet weergegeven, maar bedraagt ongeveer 74 knopen (38 m/s) tijdens de klimfase en 145 knopen (75 m/s) tijdens het horizontale deel van de vlucht.

Hoewel NORAH ook het gebruik van gestandaardiseerde profielen ondersteunt, is voor de verkennende berekeningen voor Schiphol en Rotterdam gebruik gemaakt van radargegevens. Hierbij is het hoogte- en snelheidsverloop van elke vlucht uit de radargegevens afgeleid.

In Figuur 4 zijn voor Schiphol de gemodelleerde hoogte- en snelheidsstatistieken van zowel NORAH en NRM te zien voor de A139. In de linker figuur is de verdeling over de verschillende hoogtes van alle horizontale segmenten weergegeven. Op basis van het standaardprofiel zoals weergegeven in Figuur 3 is de hoogte binnen de NRM modellering in dit geval altijd ong. 600 m. Bij de radargegevens is er sprake van een verdeling. Meer dan 50% van de tijd wordt er tussen de 250-350 m hoogte gevlogen, met een gemiddelde van ca. 300 m (1000 ft). Dit gemiddelde wijkt in dit geval behoorlijk af van de aangenomen hoogte binnen NRM.



Figuur 4: (links) Hoogte en (rechts) snelheidsstatistieken van radargegevens en NRM voor de vluchten binnen de dagperiode van de A139 voor het gebruiksjaar 2018 op Schiphol

In de rechter figuur is de verdeling van de snelheid te zien. In dit geval past het gemiddelde op basis van het NRM profiel wel redelijk goed bij het gemiddelde wat is bepaald op basis van de radargegevens. Wel is de variatie in snelheid bij het gebruik van radargegevens groter.

De voorbeelden laten duidelijk zien dat het gebruik van radargegevens om de hoogte en snelheid te modelleren beter aansluit bij de praktijk. Een bijkomend voordeel is dat de gegevens automatisch actueel blijven. Op het moment dat er in de praktijk veranderingen optreden in de vliegoperaties, werken deze veranderingen automatisch door in de geluidberekening. Bij de huidige praktijk met NRM, waarbij vaste profielen worden gebruikt, is dit niet het geval.

In het profiel wordt naast de snelheid en de hoogte ook nog de vliegconditie gekozen, die het bronniveau van de helikopter bepaalt. Voor helikopters is deze keuze gebaseerd op de stijg- of dalhoek en bij voorkeur de vliegsnelheid. Binnen NRM wordt daarmee een bepaalde kolom uit de geluidtabel geselecteerd. In NORAH wordt een bepaalde hemisfeer gekozen (zie ook paragraaf 2.1).

Bij NRM ligt de keuze van de vliegconditie vast in het profiel. Dit wil zeggen dat als op basis van het profiel wordt aangenomen dat de helikopter nog aan het klimmen is, ook een bronniveau wordt gebruikt dat past bij een klimmende helikopter. Bij de verkennende berekeningen voor Schiphol en Rotterdam is gebruik gemaakt van een algoritme dat op basis van de radargegevens op elk moment de best bijpassende hemisfeer kiest. Deze keuze wordt gebaseerd op de stijg- of dalhoek en de actuele snelheid. Voor meer informatie over de methode en afwegingen, zie Appendix A.

Voor de modellering van de vliegconditie gelden dezelfde afwegingen als voor de modellering van de hoogte en de snelheid. Op het moment dat de gestandaardiseerde profielen zoals gebruikt door NRM goed aansluiten bij de praktijk, zal de methode goed werken. Echter, op het moment dat de aannames uit het profiel niet goed (meer) aansluiten bij de praktijk, mag verwacht worden dat de methode zoals die is toegepast bij de NORAH berekeningen representatiever is. Een nadeel is dat de methode afhankelijk is van de beschikbaarheid en de kwaliteit van radargegevens. In hoofdstuk 3 wordt hier meer aandacht aan besteed.

## 3 Beperkingen en aandachtspunten bij het gebruik van NORAH

Dit hoofdstuk gaat in op een aantal specifieke aandachtspunten en aanbevelingen voor het gebruik van NORAH voor het modelleren van helikoptergeluid. In paragraaf 3.1 wordt aandacht besteed aan het gebruik van radargegevens in plaats van gemodelleerde routes, specifiek voor Rotterdam. Paragraaf 3.2 bespreekt de beschikbaarheid van geluidcertificatieniveaus, die nodig zijn om correcties uit te voeren ten opzichte van de types en configuraties waarmee binnen NORAH gerekend kan worden. Ten slotte wordt in 3.3 aanbevolen om voorlopig een algemene niveaucorrectie op de NORAH resultaten toe te passen, omdat de bronniveaus op dit moment mogelijk iets te laag zijn.

### 3.1 Gebruik van radargegevens

De NRM implementatie voor Schiphol gebruikt voor de handhavingsberekening al grondpaden op basis van radargegevens. Dezelfde gegevens zijn gebruikt voor de verkennende berekeningen voor Schiphol en er is daarom geen aanvullend onderzoek gedaan naar de beschikbaarheid en kwaliteit van deze gegevens.

De NRM jaarberekeningen voor Rotterdam worden (voor helikopters) uitgevoerd op basis van modelroutes, terwijl voor de NORAH berekeningen gebruik is gemaakt van radargegevens. Omdat dit (voor helikoptergeluidberekeningen) een nieuwe bron is, is daarbij extra aandacht besteed aan de beschikbaarheid en kwaliteit van de radargegevens.

Binnen de jaarberekening met de Lden-tool (NRM) zijn er op basis van de luchthavenadministratie 5848 vliegbewegingen met helikopters uitgevoerd in 2018. Het aantal beschikbare radartracks in FANOMOS ligt voor dezelfde periode aanzienlijk lager. Echter, een enkele radartrack kan zowel het vertrek als de aankomst van een bepaalde vlucht omvatten. Na classificatie van alle beschikbare radargegevens zijn hierin 4844 vliegbewegingen gedetecteerd. Dit is altijd nog ruim 1000 vliegbewegingen minder dan in de NRM berekening. Op basis van een detailanalyse van een deel van de vluchtgegevens is geconcludeerd dat de aantallen zoals gebruikt voor de jaarberekening met de Lden-tool plausibel zijn. Binnen deze gegevens heeft een specifieke registratie namelijk steeds afwisselend een start en een landing. In de radargegevens komt het regelmatig voor dat een specifieke registratie twee opeenvolgende starts of landingen heeft. Dit is fysiek niet mogelijk en betekent dat er in de gegevens een tussenliggende vliegbeweging ontbreekt. Dit betekent dat van ongeveer 17% van de vliegbewegingen geen radargegevens beschikbaar zijn. Hiervoor zal gecompenseerd moeten worden.

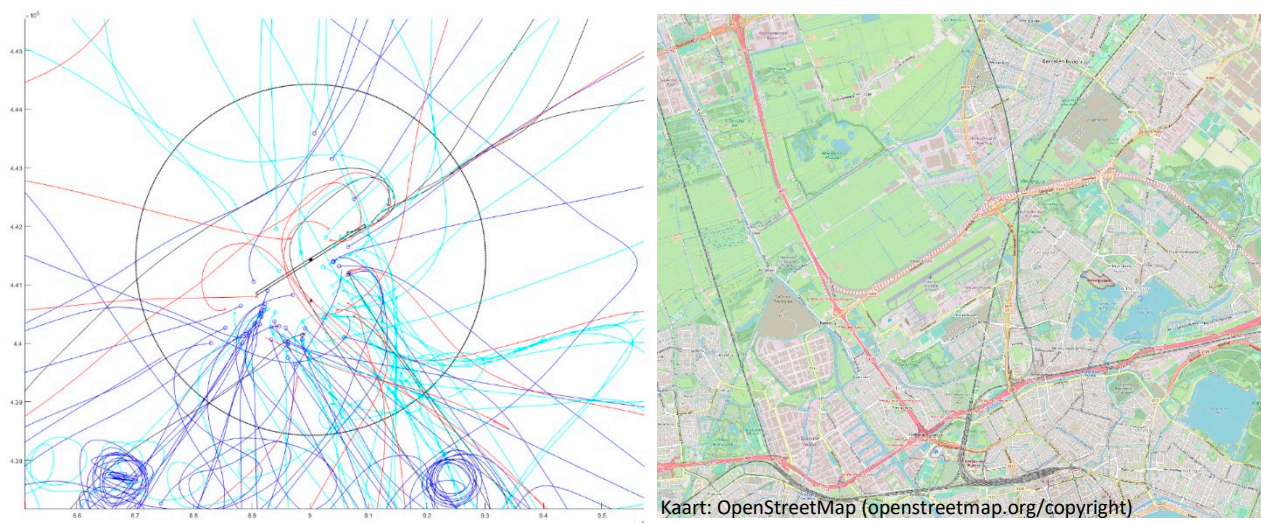
Naast de beschikbaarheid van tracks is ook het begin- en eindpunt van de beschikbare gegevens van belang. Dichtbij de luchthaven, waar op lage hoogte wordt gevlogen, zijn niet altijd radargegevens meer beschikbaar. Op het moment dat dergelijke tracks voor geluidberekeningen worden gebruikt, wordt een zogenaamde vliegbaanverlenging toegepast. Voor vastvleugelig verkeer is dit proces redelijke eenduidig, omdat ook bekend is vanaf welke start- of landingsbaan wordt geopereerd. Het grondpad van het begin of einde van de vlucht ligt daarmee vast en kan worden aangesloten op de radargegevens.

Voor helikopterbewegingen is dit proces niet eenduidig. Op Rotterdam kunnen bepaalde helikopters (indien voorzien van een landingsgestel met wielen) starten en landingen via de banen. Andere helikopters maken gebruik van één van



de helispots [15]. Op het moment dat niet bekend wat het exact begin- eindpunt van een bepaalde helikopterbeweging is geweest, is het niet mogelijk om de volledige vliegbaan te reconstrueren.

In Figuur 5 zijn voor enkele dagen de niet-verlengde vliegbanen van helikopters opgenomen.



*Figuur 5: Links: niet-verlengde vliegbanen voor enkele dagen helikoptertraffic, weergegeven samen met de start- en landingsbaan van Rotterdam en het gebied dat binnen 3 km vanaf het midden van de baan ligt. Rechts: ter referentie, een topografische kaart van hetzelfde gebied*

In dit figuur is duidelijk te zien dat een deel van het helikoptertraffic nadert dan wel vertrekt via de start- en landingsbaan. Een groter deel nadert vanuit en start naar andere richtingen, met name aan de zuidkant van de luchthaven.

Omdat het niet wenselijk is dat de geluidberekening niet wordt uitgevoerd op het moment dat geen radartrack (meer) beschikbaar is, is het verlengen van de tracks noodzakelijk. Echter, standaard verlengen naar één van de helispots of de startbaan doet geen recht aan het diverse karakter. Voor de verkennende berekening voor Rotterdam zijn daarom alle tracks die eindigen binnen 3 km van de luchthaven verlengd naar het midden van de baan. Hierbij worden de tracks in het verlengde van de baan verlengd richting de baan en worden de overige tracks in elk geval verlengd tot ruim binnen de grenzen van het luchthavengebied.

De straal van de cirkel (3 km) is hierbij zodanig gekozen dat:

- Het overgrote deel van de tracks eindigt binnen deze cirkel en daarmee verlengd kan worden,
- Wordt voorkomen dat tracks die in praktijk eindigen op andere locaties (bv. het Erasmus MC) zouden worden verlengd tot aan de luchthaven.

Hoewel het op deze wijze verlengen van de radartracks als werkbaar compromis wordt gezien, dat in elk geval buiten het luchthavengebied een representatieve inschatting van het werkelijke vluchtpad geeft, verdient het de aanbeveling om voor de toekomst het gebruik van alternatieve radargegevens voor Rotterdam te onderzoeken. Het doel hierbij is niet alleen om trackverlenging te verminderen (in afstand en/of aantal), maar ook om voor een groter deel van de vluchten een track beschikbaar te hebben.

Uit het voorbeeld van Rotterdam volgt ook dat voor andere regionale luchthavens en/of helihavens bij het gebruik van NORAH op basis van radargegevens eerst de beschikbaarheid en de kwaliteit van de radargegevens voor helikoptervluchten onderzocht moeten worden.

Hoewel uit bovenstaande analyse blijkt dat het gebruik van radargegevens voor NORAH berekeningen in elk geval voor Rotterdam nog diverse beperkingen geldt, is dit geen reden om het gebruik van radargegevens hier te heroverwegen. Figuur 5 laat duidelijk de grote spreiding in de vliegpatronen zien. De huidige handhavingsberekening met NRM, waarbij al het helikopterverkeer wordt gemodelleerd in het verlengde van de start- en landingsbaan, zal daarbij minder goed aansluiten op de praktijk dan een berekening op basis van NORAH, ondanks alle beperkingen die daarbij gelden.

## 3.2 Certificatieniveaus

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 wordt voor de indeling of representatie niet alleen een representatief type gekozen uit de database, maar wordt vervolgens ook gecorrigeerd voor een eventueel verschil in geluidcertificatieniveau tussen de helikopter die is opgenomen in de NORAH database en de helikopter die gemodelleerd dient te worden. Dit houdt in dat idealiter voor elke helikopter die een luchthaven of helihaven bezoekt, het geluidcertificatieniveau bekend zou moeten zijn.

In het rekenvoorschrift [14] worden voor het vaststellen van het certificateniveau(s) van elke vlucht de volgende methoden voorgeschreven, in volgorde van prioriteit:

1. De in de luchthavenadministratie geregistreerde geluidcertificatieniveau(s) voor de desbetreffende vlucht of van de gebruikte helikopter op basis van het vliegtuigregistratienummer.
2. De in een luchtvaartuigregister opgenomen geluidcertificatieniveaus(s) van de gebruikte helikopter op basis van het vliegtuigregistratienummer. Dit kan het Nederlandse register zijn voor in Nederland geregistreerde helikopters, maar ook een buitenlands of internationaal register.
3. De geluidcertificatieniveaus die zijn opgenomen in de *Rotorcraft noise database* (EASA Certification Noise Levels [16]), waarbij het hoogst opgenomen niveau van het desbetreffende helikoptertype wordt toegepast.

Het is mogelijk dat geen van deze drie methoden een certificateniveau oplevert, met name bij lichte en militaire helikopters. In dat geval kan niet gecorrigeerd worden voor een eventueel verschil in geluidcertificatieniveau tussen de helikopter die is opgenomen in de NORAH database en de helikopter die gemodelleerd dient te worden. De toe te passen correctie kan daarmee niet worden bepaald en wordt in dat geval op nul gesteld.

Op basis van genoemde volgorde is de voorkeur dat luchthavens zelf van elke vlucht en/of helikopter de certificateniveau(s) registreren. Op basis van een inventarisatie in het kader van een onderzoek naar de invoering van Doc29 voor de regionale luchthavens is bekend dat dit niet altijd het geval is. In dat geval komt het luchtvaartuigregister in beeld. Een nadeel van deze optie is dat elk land een eigen luchtvaartuigregister heeft, deze niet altijd publiek toegankelijk is en daarnaast niet altijd geluidsgegevens bevatten. In Appendix B is meer informatie opgenomen over een studie naar de beschikbaarheid van dergelijke gegevens in relatie tot de helikopters die de Nederlandse luchthavens bezoeken.

De derde en laatste optie is het raadplegen van de typecertificatiegegevens. Op het moment dat van een bepaalde vlucht alleen het ICAO vliegtuigtype bekend is, dan zijn er vaak meerdere certificaten in de database die van toepassing kunnen zijn. In dat geval wordt meestal<sup>1</sup> een conservatieve aanname gedaan, waarbij het hoogst mogelijke niveau wordt toegepast. Dit hoogste niveau wordt hierbij, indien van toepassing, apart voor starts en landingen bepaald<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Voor specifieke gevallen kan een conservatieve aanpak onbedoelde bijeffecten hebben. In dergelijke situaties kan het nodig zijn om in overleg met het bevoegd gezag een meer realistische aanname te doen, bijvoorbeeld op basis van gemiddelde waarden uit historische gegevens.

<sup>2</sup> Bij voorkeur worden certificatiegegevens op basis van ICAO Annex 16 Hoofdstuk 8 toegepast, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar starts en landingen. Indien dit niet mogelijk is, wordt gebruik gemaakt van de gegevens op basis van Hoofdstuk 11, waar dit onderscheid niet gemaakt wordt.

Uit de inventarisatie opgenomen in Appendix B blijkt dat:

- Zowel voor Schiphol als de onderzochte regionale luchthavens, voor het overgrote deel van de onderzochte helikoptervluchten het Nederlandse luchtvaartuigregister de certificatieniveaus heeft geregistreerd.
- De onderzochte buitenlandse registers geen certificatieniveaus bevatten, maar in bepaalde gevallen wel kunnen helpen om de exacte configuratie van de helikopter vast te stellen. Daarmee kan vervolgens alsnog het certificatieniveau eenduidig worden bepaald.

Op basis hiervan wordt geconcludeerd dat over het algemeen het daadwerkelijke certificatieniveau kan worden bepaald via methode 2 of 3. Voor slechts voor een klein deel van de bewegingen is er enige onzekerheid, omdat er op basis van slechts het type meerdere certificatieniveaus van toepassing kunnen zijn (zie methode 3 zoals hierboven beschreven).

### 3.3 Algemene niveaucorrectie

Voor de geluidmetingen die ten grondslag liggen aan de gegevens in de NORAH database wordt gebruik gemaakt van microfoons die ondersteboven op een grondplaat worden geplaatst, zie Figuur 6.



*Figuur 6: Microfoonopstelling waarbij de microfoon ondersteboven op een grondplaat wordt geplaatst (inverted ground-plane microphone of IGPM)*

Bij het verwerken van de meetgegevens wordt vervolgens aangenomen dat er bij de microfoon een perfecte reflectie heeft plaatsgevonden, waarbij een drukverdubbeling heeft plaatsgevonden. Hiervoor worden de gemeten niveaus gecorrigeerd, door ze 6 dB te verlagen.

In praktijk, mede gezien de afmetingen van de grondplaat, zal deze theoretische drukverdubbeling niet volledig optreden. De zorg bestaat dat de toegepaste correctie van 6 dB daardoor te groot is en de resulterende bronniveaus te laag zouden kunnen zijn.

Aan de hand van validatiegegevens van NORAH is nader naar dit effect gekeken. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gegevens van drie aanvullende microfoons die op een statief op 1.2 m hoogte hebben gestaan. Dit is de standaard meetopstelling die als representatief wordt geacht voor blootstelling aan vliegtuiggeluid en ook ten grondslag ligt aan de metingen die zijn verwerkt tot invoergegevens voor zowel NRM als ECAC Doc29.

De meetgegevens van deze statiefmicrofoons worden bij de NORAH metingen niet gebruikt bij het verwerken van de meetgegevens tot hemisferen, maar worden wel gebruikt om de NORAH metingen te controleren. Hierbij zijn de door NORAH berekende niveaus te plekke van deze drie statiefmicrofoons vergeleken met de daar gemeten niveaus.

De resultaten van deze vergelijking zijn opgenomen in Appendix C. In lijn met het vermoeden blijken de berekende niveaus op de statieflocaties gemiddeld 1.3 dB(A) te laag. Hierbij wordt wel opgemerkt dat deze conclusie is gebaseerd op de gegevens van slechts één meetcampagne en daarmee niet representatief hoeft te zijn voor andere type helikopters en/of andere typen ondergrond. De ontwikkelaars van NORAH is gevraagd hier nader naar te kijken en een definitieve uitspraak over te doen.

Vooruitlopend op een definitieve uitspraak van de ontwikkelaars wordt aanbevolen een voorlopige algemene correctie toe te passen van +1.3 dB(A) op de berekende geluidblootstellingsniveaus.

## 4 Toekomstige ontwikkelingen

Het huidige NORAH model is nog niet uitontwikkeld. Het consortium van NLR, SINTEF en ANOTEC werkt sinds 2020 in opdracht van EASA aan een vervolg om de methode verder te ontwikkelen [5]. Hierbij is een meetcampagne gepland, waarbij de database met geluidgegevens verder wordt aangevuld. Daarnaast zijn enkele aanpassingen en aanvullingen op de methode voorzien.

### 4.1 Meetcampagne

Bij de eerste versie van NORAH is een database meegeleverd waarin 8 verschillende helikoptertypen zijn opgenomen. Hiermee kan meer dan 70% van het Europese helikopterverkeer worden gemodelleerd. Het overige verkeer kan via een indelingsmethode ook in de berekening worden meegenomen.

Bij de huidige meetcampagne is het doel om het percentage dat direct in de database wordt gerepresenteerd te verhogen. Hierbij zijn onder andere metingen gepand aan de volgende helikoptertypes:

- AS332 Super Puma
- Sikorsky S-92
- Guimbal Cabri G2

In het licht van de verkennende berekeningen voor Schiphol en Rotterdam lijken deze aanvullingen echter relatief weinig toe te voegen. De helikoptervluchten op deze luchthavens worden voornamelijk uitgevoerd door de EC135 en AW139. Zo werd op Schiphol in 2008 meer dan 70% van de vluchtbewegingen op Schiphol uitgevoerd met een EC135 en meer dan 25% door een AW139. De EC135 is daarbij reeds beschikbaar in de database van de eerste versie van NORAH. De AW139 is dat niet (wordt daarom gerepresenteerd door de B412), maar dit type is op dit moment niet voorzien voor de aanvullende metingen.

### 4.2 Modelaanpassingen

Binnen de huidige versie van NORAH is het niet mogelijk om tussen de verschillende vliegcondities (hemisferen) te interpoleren. Vanuit NORAH1 wordt van de gebruiker verwacht om enkel vliegcondities te modelleren waarvoor meetgegevens beschikbaar waren. Dit leidt echter tot grote beperkingen. Deze beperking kan worden verholpen met het toepassen van een zogenaamde 'nearest neighbor' interpolatie. Dit wil zeggen dat als de vliegcondities in de praktijk niet overeenkomen met de condities die in het model beschikbaar zijn, wordt gerekend met de gegevens van de dichtstbijzijnde conditie (zie Appendix A voor meer details).

Binnen NORAH2 wordt het mogelijk om tussen verschillende hemisferen te interpoleren, op basis van Delaunay-triangulatie. Daarmee kan op basis van 3 (in termen van vliegcondities) nabijgelegen hemisferen een resulterende hemisfeer worden afgeleid voor elke willekeurige vliegconditie.

Bij een enkele vlucht zal het gebrek aan interpolatiemogelijkheden resulteren in stapveranderingen in niveaus. Voor het bepalen van de geluidbelasting van een grote groep vluchten lijkt het gebrek aan interpolatiemogelijkheden al een minder grote beperking. Bij een berekening op basis van vele vluchten, waarbij bij elke vlucht afzonderlijk de best

bijpassende hemisfeer wordt gekozen zal zowel overschatting als onderschatting voorkomen. Deze effecten zullen elkaar in elk geval deels opheffen.

Samenvattend is het toevoegen van interpolatiemogelijkheden aan NORAH2 wel een waardevolle aanvulling, zeker ook omdat het voor de gebruiker een stuk eenvoudiger zal worden. Tegelijkertijd is het gebrek aan interpolatiemogelijkheden in NORAH1 geen grote beperking. In vergelijking met NRM is het zeker geen beperking, omdat NRM ook geen interpolatie tussen vliegcondities ondersteunt en daarnaast ook nog minder verschillende vliegcondities kan modelleren.

## 4.3 Modelaanvullingen

Naast aanpassing aan het model zijn ook een aantal aanvullingen voorzien:

- Bochten: de huidige versie van NORAH geeft geen advies voor het modelleren van bochten. In de tweede versie is dit wel voorzien.
- Hover, taxi en stationair draaien: de methode wordt aangevuld met instructies om metingen uit te voeren voor dergelijke condities. Daarnaast worden instructies opgesteld om dergelijke situaties te modelleren.
- Gronddemping voor terrein met hoogteverschillen.
- Afscherming als gevolg van gebouwen en topografische elementen.

Elk van deze aanvulling wordt hieronder in meer detail besproken.

De huidige versie van NORAH bevat geen functionaliteit voor het modelleren van bochten. In de nieuwe versie is dit wel gepland, waarbij de hemisfeer wordt meegedraaid op basis van de (berekende) rolhoek van de helikopter. De richtingsafhankelijke uitstraling wordt hiermee in de bocht aangepast.

Met name op locaties waarbij veel helikopters een soortgelijke bocht draaien zal deze aanpassing naar verwachting wel een effect gaan hebben op de berekende geluidbelasting. In die zin is de geplande toevoeging een waardevolle aanvulling op de huidige versie. Ten opzichte van het NRM is het ontbreken van de functionaliteit geen beperking. De NRM modellering ondersteunt helemaal geen richtingsafhankelijkheid, waardoor het modelleren van dit effect van bochten niet mogelijk is.

Het ontbreken van de expliciete mogelijkheden voor het modelleren van de hover, de taxifase en stationair draaien op de grond zal voor een luchthaven waar ook groot vastvleugelig verkeer plaats vindt naar verwachting een zeer beperkt effect hebben bij de bepaling van de geluidbelasting. De starts van dergelijke vliegtuigen zullen over het algemeen dominant zijn, waardoor het verwaarlozen van deze helikoptermanoeuvres te verantwoorden is<sup>3</sup>. Mocht de eerste versie van NORAH ingezet gaan worden bij luchthavens (of helihavens) waarbij de hover, de taxifase en stationair draaien wel een significante bijdrage zouden kunnen leveren dan wordt aanbevolen te overwegen om voor die specifieke luchthaven aanvullende afspraken te maken. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door het modelleren van een vlucht over grond bij zeer lage snelheid, waarbij met het bevoegd gezag afspraken worden gemaakt over welke hemisfeer daarbij dient te worden gebruikt. Ten opzichte van het NRM is het ontbreken van de functionaliteit geen beperking. De NRM modellering ondersteunt ook geen expliciete mogelijkheden voor deze specifieke helikoptermanoeuvres.

<sup>3</sup> Zie ook in Volume I van ECAC Doc.29 [3] het begrip 'noise significance'. Vluchten of delen van vluchten die niet noemenswaardig bijdragen aan het geluidniveau kunnen verwaarloosd worden. Bij helikopters geldt dat de bronniveaus over het algemeen aanzienlijk lager zijn dan van een startend straalvliegtuig en dan (bij gelijke tijdsduur) niet noemenswaardig bijdragen aan de geluidbelasting. Als er echter sprake is van minutenlange helikoptermanoeuvres, dan geldt dit echter niet meer.

Verder wordt er gewerkt aan een uitbreiding van het modelonderdeel waarmee de gronddemping wordt berekend. In de huidige versie wordt aangenomen dat er sprake is van een vlak horizontaal terrein van een uniforme samenstelling. De nieuwe versie van NORAH zal rekening houden met hoogteverschillen in het landschap tussen de helikopter en de waarnemer. Daarbij wordt het ook mogelijk om verschillende type ondergronden te definiëren, op basis van verschillende stromingsweerstand.

Ten opzichte van het NRM is het ontbreken van deze functionaliteit in de huidige versie geen beperking. Ook het NRM is namelijk gebaseerd op een vlak horizontaal terrein van gelijke samenstelling. De toevoeging zou in de toekomst wel een waardevolle aanvulling kunnen zijn, maar vraagt wel een extra inspanning. Als van deze mogelijkheden gebruikt wordt gemaakt, dan moeten de invoergegevens niet alleen worden uitgebreid met digitale hoogtekaarten, ook zal het type ondergrond (bv. heide, gras, grind, zand of asfalt) voor het hele rekengebied moeten worden gespecificeerd. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of het gebruik van deze toevoeging voor de Nederlandse situatie meerwaarde heeft.

Ten slotte wordt er gekeken naar een toevoeging voor het modelleren van afscherming als gevolg van landschapselementen en gebouwen. De berekende geluidniveaus worden dan verlaagd, op het moment dat er zich bijvoorbeeld een bergkam of een groot gebouw tussen de helikopter en de waarnemer bevindt. Ook hier geldt weer dat het ontbreken van deze functionaliteit in de huidige versie geen beperking is ten opzichte van het NRM, omdat het NRM deze functionaliteit ook niet heeft. In hoeverre deze toevoeging in de toekomst voor de Nederlandse situatie gewenst is, zal nader onderzoek moeten uitwijzen. Afscherming door landschapselementen lijkt op voorhand in het overwegend platte Nederlandse landschap minder relevant, maar wellicht dat afscherming door grote gebouwen in met name stedelijk gebied specifiek voor het helikopterverkeer in de toekomst interessant kan zijn.

Samenvattend geldt dat het nu ontbreken van de vier geplande toevoegingen geen beperking vormt ten opzichte van de huidige situatie met NRM. Het ontbreken van deze voorziene functionaliteit is in die zin geen argument om te wachten op NORAH2. NORAH1 biedt daarnaast al wel diverse verbeteringen ten opzicht van NRM.

Van de geplande toevoegingen voor NORAH2 lijkt met name de mogelijkheid om het effect van bochten te kunnen modelleren functionaliteit waarvan het aan te bevelen is om deze in de toekomst toe te voegen. Voor de overige nieuwe onderdelen kan later worden beoordeeld in hoeverre deze voor de Nederlandse situatie wenselijk zijn.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

Op het moment dat op een specifieke luchthaven het NRM wordt vervangen door Doc29 ontstaat een leemte: de bijdrage van helikopters aan de geluidbelasting wordt dan niet meer in kaart gebracht. Op termijn wordt er vanuit Europa een alternatieve oplossing voorzien in de vorm van NORAH2. De intentie is dat NORAH2 op termijn gebruikt zal worden in relatie tot de verplichtingen uit de European Noise Directive (END). NORAH2 zal echter nog enkele jaren op zich laten wachten.

Tot het moment dat NORAH2 beschikbaar komt, kunnen de volgende opties worden overwogen:

1. De bijdrage van het helikopterterverkeer wordt helemaal niet in kaart gebracht.
2. Het NRM blijft in gebruik voor uitsluitend het bepalen van de bijdrage van het helikopterterverkeer.
3. De methode uit richtlijn Omgevingslawaai wordt gebruikt voor het bepalen van de bijdrage van het helikopterterverkeer.
4. De bijdrage van het helikopterterverkeer wordt in kaart gebracht met de eerste versie van het NORAH model.

De eerstgenoemde oplossing zou op specifieke locaties een grote onderschatting kunnen geven van de geluidbelasting. De tweede en de derde oplossing zijn technisch gezien redelijk vergelijkbaar. Vanuit praktisch oogpunt ligt het daarbij voor de hand om te kiezen voor het in stand houden van het NRM. Dit model is immers beschikbaar en al ingericht voor de situatie op de Nederlandse luchthavens. Daardoor is er in de eerste plaats sprake van een afweging tussen optie twee en vier. Op basis van eerdere ervaringen met NORAH, zijn NRM en NORAH met elkaar vergeleken.

### 5.1 Conclusies

Hoewel de eerste versie van NORAH nog verder wordt ontwikkeld, biedt het op dit moment al een aantal toevoegingen ten opzichte van NRM:

- De definitie van de bron is meer gedetailleerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar uitstraalrichting.
- Er wordt rekening gehouden met meer verschillende vliegcondities.
- De database bevat meer verschillende helikopters en er wordt niet alleen bij de indeling, maar ook bij de representatie rekening gehouden met verschillen in certificatieniveaus.
- De voorziene implementatie maakt meer gebruik van radargegevens, waardoor de modellering beter aansluit bij praktijk.
- Het model is beter op de toekomst voorbereid, omdat veranderingen in de operaties automatisch beter tot uiting komen in de modellering en het model ook meer mogelijkheden biedt op het gebied van aanvullend onderzoek.

Als gevolg van het hogere detailniveau van NORAH, mag verwacht worden dat NORAH een representatiever beeld zal geven van de geluidniveaus die in praktijk optreden. Zeker voor bepaalde toepassingen van berekeningen, zoals informatievoorziening, komt dat de uitlegbaarheid en acceptatie van de resultaten ten goede.

Wat betreft het hierboven genoemde gebruik van radargegevens geldt dat op het gebied van de routemodellering voor de verkennende NORAH berekeningen gebruik is gemaakt van deze radargegevens, terwijl NRM op dit moment gebruik maakt van gemodelleerde routes. Dit is op zich geen fundamenteel verschil tussen beide modellen: beide



ondersteunen beide opties. Het is echter aannemelijk dat de modellering op basis van radartracks beter aansluit bij de daadwerkelijke geluidbelasting. Bij een overstap naar NORAH op basis van radargegevens, mag dus een verbetering worden verwacht ten opzichte van de huidige situatie. Beschikbaarheid van radargegevens van voldoende kwaliteit is hierbij wel een voorwaarde.

Een soortgelijk verschil geldt op het gebied van de modellering van het verticale profiel. NRM gebruikt op dit moment gestandaardiseerde prestatieprofielen, terwijl de verkennende berekeningen met NORAH gebaseerd zijn op radargegevens. Uit de voorbeelden blijkt dat de gestandaardiseerde NRM profielen niet altijd goed (meer) aansluiten bij de praktijk. In dit geval mag verwacht worden dat de methode zoals die is toegepast bij de NORAH berekeningen representatiever zal zijn, zolang er tenminste radargegevens van voldoende kwaliteit beschikbaar zijn.

De indelings- en representatiesystematiek voor helikopters is in het geval van NORAH afhankelijk van de geluidcertificatieniveaus van de helikopters. Op basis van een analyse van het helikopterverkeer op een aantal Nederlandse luchthavens blijkt dat voor een overgrote meerderheid van de vluchten de geluidcertificatieniveaus op een eenduidige manier kunnen worden achterhaald met behulp van het Nederlandse en buitenlandse luchtvaartuigregisters. Voor een klein deel van de bewegingen bestaat enige onzekerheid, waarbij het certificatie-niveau zich binnen een bepaalde bandbreedte zal bevinden. Hier kan, voor de meeste toepassingen, worden gemodelleerd op basis van het hoogst mogelijke niveau binnen deze bandbreedte.

Voor NORAH2 is voorzien dat de hemisfeerdatabase met beschikbare helikoptertypes wordt uitgebreid. Op basis van de verkennende berekeningen voor Schiphol en Rotterdam lijken deze aanvullingen echter relatief weinig toe te voegen aan de huidige database. De database van NORAH1 biedt reeds voldoende dekking voor het bepalen van de geluidbelasting.

Er zijn voor NORAH2 daarnaast diverse ontwikkelingen voorzien. Zo is het binnen de huidige versie van NORAH niet mogelijk om tussen de verschillende vliegcondities (hemisferen) te interpoleren, terwijl de tweede versie zal dit wel zal ondersteunen. Het ontbreken van deze interpolatiemogelijkheid is een beperking. Deze beperking kan voor een voorlopige toepassing van het model worden verholpen met het inzetten van een zogenaamde 'nearest neighbor' interpolatie. De voorziene methode uit NORAH2 wordt gezien als een verdere verbetering, welke het ook voor de gebruiker makkelijker maakt. De 'nearest neighbor' methode wordt echter gezien als werkbare tussenoplossing. In vergelijking met NRM is het ontbreken van interpolatiemogelijkheden ook geen beperking, omdat NRM ook geen interpolatie tussen vliegcondities ondersteunt.

Verder krijgt NORAH2 naar verwachting extra functionaliteit op het gebied van bochten, hover, taxi en stationair draaien, grondtemping over terrein met hoogteverschillen en afscherming als gevolg van gebouwen en topografische elementen. Het nu ontbreken van deze toevoegingen vormt echter geen beperking ten opzichte van de huidige situatie met NRM. Het ontbreken van deze voorziene functionaliteit is in die zin geen argument om te wachten op NORAH2, in plaats van nu al de overstap te maken naar de eerste versie.

Samenvattend wordt geconcludeerd dat het overstappen op de eerste versie van NORAH diverse verfijningen zal brengen in de modellering, met als resultaat een representatiever beeld van de van de geluidbelasting als gevolg van het helikopterverkeer. Het feit dat NORAH zelf nog in ontwikkeling is biedt mogelijkheden voor de toekomst, maar vormt geen beperking ten opzichte van de huidige situatie.

## 5.2 Aanbevelingen

De verkennende berekeningen voor Rotterdam hebben laten zien dat hoewel de radargegevens een beter beeld van de vluchtpaden geven dan de modelroutes, de gebruikte radargegevens wel de nodige beperkingen gelden. Daarom wordt het aanbevolen bij een overstap op naar NORAH op basis van radargegevens de beschikbaarheid van alternatieve radargegevens voor Rotterdam te onderzoeken. Het doel hierbij is tweeledig. Het gaat in de eerste plaats om het om trackverlenging te verminderen (in afstand en/of aantal). Daarnaast is het doel om voor een groter deel van de vluchten een track beschikbaar te hebben. Voor andere regionale luchthavens en/of helihavens zal voor het gebruik van NORAH op basis van radargegevens eerst de beschikbaarheid en de kwaliteit van de radargegevens voor helikoptervluchten onderzocht moet worden.

Voor de geluidmetingen die ten grondslag liggen aan de gegevens in de NORAH database wordt gebruik gemaakt van microfoons die ondersteboven op een grondplaat worden geplaatst. Als gevolg van theoretische aannames bij de verwerking van deze gegevens, bestaat er een vermoeden dat de resulterende bronniveaus te laag zouden kunnen zijn. De beschikbare validatiegegevens ondersteunen dit vermoeden, maar zijn te beperkt voor een definitieve uitspraak. Vooruitlopend op een definitieve uitspraak van de ontwikkelaas, wordt aanbevolen een voorlopige algemene correctie toe te passen van +1.3 dB(A) op de berekende geluidblootstellingsniveaus.

Het ontbreken van de expliciete mogelijkheden voor het modelleren van de hover, de taxifase en stationair draaien op de grond zal voor een luchthaven waar ook groot vastvleugelig verkeer plaatsvindt naar verwachting een beperkt effect hebben bij de bepaling van de geluidbelasting. Mocht de eerste versie van NORAH ingezet gaan worden bij luchthavens (of helihavens) waarbij de hover, de taxifase en stationair draaien wel een significante bijdrage zouden kunnen leveren dan wordt aanbevolen te overwegen om voor die specifieke luchthaven aanvullende afspraken te maken.

Ten slotte is het van belang de ontwikkelingen van NORAH2 te blijven volgen. Hoewel het nu ontbreken van de verwachte toevoegingen geen beperking ten opzichte van de huidige situatie met NRM, zijn deze aanvullingen wel nuttig. Het wordt daarom aanbevolen om deze toevoegingen op een later moment te beoordelen en al dan niet toe te gaan passen in de Nederlandse situatie.

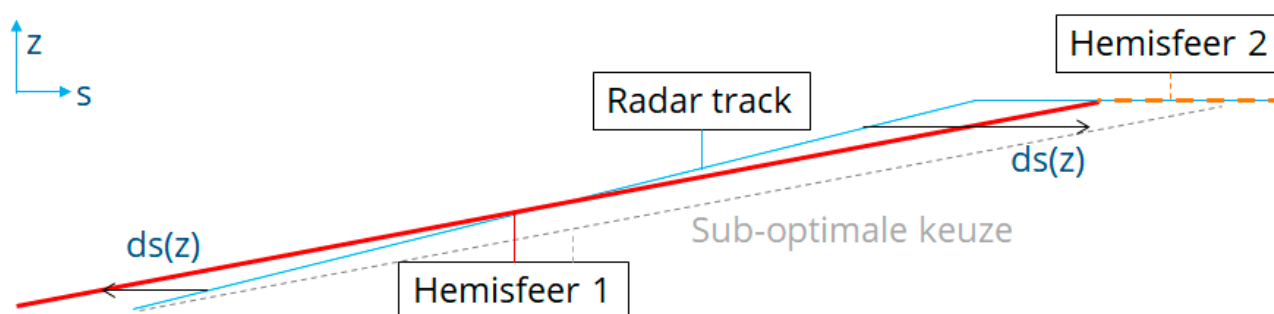
## 6 Referenties

- [1] M. Tuinstra, J. Stevens, N. van Oosten and H. Olsen, 'Towards a European helicopter noise calculation method', 44<sup>th</sup> European Rotorcraft forum, ERF-2018-46, 2018.
- [2] M. Tuinstra, N. van Oosten and H. Olsen, 'The development of a European helicopter noise model', 44th European Rotorcraft forum, ERF-2018-50, 2018.
- [3] ECAC, 'Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports', ECAC Doc29, Volume 1, 4th Ed., 2016.
- [4] ECAC, 'Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports', ECAC Doc29, Volume 2, 4th Ed., 2016.
- [5] Netherlands Aerospace Centre (NLR), Rotorcraft noise modelling method, EASA Research project report, D1.5 of Special Contract O1 Noise, 2021.
- [6] H.M.M. van der Wal, P. Vogel en F.J.M. Wubben, Voorschrift voor de berekening van de  $L_{den}$  en  $L_{night}$  geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol, Part 1: Berekeningsvoorschrift, NLR-CR-2001-372-PT-1, 2001.
- [7] Voorschrift voor de berekening van de  $L_{den}$ -geluidbelasting in dB(A) voor overige burgerluchthavens, onderdeel van Regeling burgerluchthavens, geraadpleegd via [www.wetten.nl](http://www.wetten.nl), versie geldend vanaf 07-11-2019.
- [8] S.J. Heblj, J. Derei, Methodenrapport Doc29, NLR-CR-2019-076, 2019.
- [9] E. Gordijn, Milieueffectrapportage 2020, Nieuw Normen- en Handhavingstelsel Schiphol, Deel 1 – Hoofdrapport, 2020.
- [10] Kamerbrief over rekenmethode Doc29 voor regionale luchthavens, kamerstuk 31936-870, 11 augustus 2021.
- [11] Ontwikkeling rekenmethode Doc29 voor Nederlandse regionale luchthavens – methoderapport, To70 19.171.34, juli 2021.
- [12] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, geconsolideerde versie van 29 juli 2021.
- [13] R.C.G.M. Smetsers, et al, Vliegtuiggeluid: meten, berekenen en beleven, Een verkenning van wensen en ontwikkelopties, RIVM rapport 2019-0201, 2019.
- [14] K.M. Knepper, S.J. Heblj, Rekenvoorschrift voor de berekening van de geluidbelasting als gevolg van helikoptervluchten – Op basis van het NORAH model, NLR-CR-2022-033, 2022.
- [15] I. Achterberg, Milieueffectrapport Luchthavenbesluit Rotterdam The Hague Airport, Deelonderzoek Geluid, ADECS Airinfra, 2015.
- [16] EASA Certification Noise Levels, geraadpleegd via [www.easa.europa.eu/domains/environment/easa-certification-noise-levels](http://www.easa.europa.eu/domains/environment/easa-certification-noise-levels)

## Appendix A Modelling vliegconditie

Voor de voorgestelde implementatie van NORAH wordt de modellering van de vliegcondities (hoogte, vliegsnelheid en baanhoek) afgeleid op basis van de radargegevens. Hier ontstaat echter een discrepantie tussen de praktijk en de instructies voor het gebruik van NORAH, omdat deze instructies vereisen dat een gebruiker voor de modellering altijd aansluit bij de condities waarvoor hemisferen beschikbaar zijn<sup>4</sup>. Dit houdt in dat de modellering van de vlucht aangepast zou moeten worden om daarmee wat betreft condities overeen te komen met de gekozen hemisfeer voor een bepaald vluchtsegment. Voor de level flight segmenten is dit niet ideaal, maar voor de stijgende en dalende segmenten kan het gemodelleerde vliegpada zelfs significant gaan afwijken van het door de radar vastgelegde vliegpada.

In eerste instantie is gekozen voor een methode waarbij wordt aangesloten bij de NORAH instructies, waarbij voor de te modelleren vliegcondities wordt gekozen uit de beschikbare hemisferen. Deze methode is toegepast voor de verkennende berekeningen voor Schiphol. Een voorbeeld hiervan is gegeven in Figuur 7, waar te zien is hoe de NORAH hemisferen gekoppeld zijn aan de radargegevens, in dit geval een stuk klimvlucht. Hierbij wordt dan eerst de best bijpassende hemisfeer gekozen op basis van klim/daalhoek en vluchtsnelheid.



*Figuur 7: Koppelen van de NORAH hemisfeer aan het vlucht profiel. Het radar track profiel is gegeven in de dunne lichtblauwe lijn. De begin en eindhoogte (hemisfeer 2) worden bepaald door de level flight segmenten en liggen daardoor vast. De best overeenkomende hemisfeer en locatie voor het stijprofiel is gegeven met de dikke rode lijn (hemisfeer 1)*

In het figuur is te zien dat het werkelijke vliegpada (blauw) steiler klimt dan de best bijpassende hemisfeer (grijs). Hoewel dit aan het begin van het klimsegment nog weinig effect heeft, ontstaat er al snel een hoogteverschil tussen het werkelijke en gemodelleerde vliegpada. Daarnaast bereikt het werkelijke vliegpada eerder het horizontale segment, terwijl het gemodelleerde vliegpada nog door moet stijgen om op dezelfde hoogte te komen.

Om de absolute verschillen tussen model en praktijk te verkleinen is vervolgens nog een aanpassing gedaan, waarbij het gemodelleerde vliegpada is verschoven (rood). Hierbij wordt nu aan het begin van het klimsegment een verschil gecreëerd, waardoor de verschillen aan het eind kleiner worden. Hoewel dit nog steeds niet ideaal is, zijn de absolute afwijkingen tussen praktijk en model daardoor kleiner. Ook is er gemiddeld gezien over het hele segment geen afwijking meer. Desondanks is ook deze situatie niet ideaal: ook hier worden er bewust positiefouten geïntroduceerd.

<sup>4</sup> Deze instructie komt voort uit de beperking van de eerste versie van NORAH, waarbij interpolatie tussen verschillende hemisferen nog niet beschikbaar is. Zoals beschreven in paragraaf 4.2 zal deze beperking bij het toekomstige NORAH2 niet meer van toepassing zijn.

Deze situatie is ook besproken binnen AIRMOD, de werkgroep van ECAC die zich bezighoudt met het modelleren van luchtvaartgeluid en ook de Doc29 methode beheert. Daar is vervolgens geconcludeerd dat de methode zoals hierboven gepresenteerd twee onnauwkeurigheden introduceert:

1. Het gebruik van de dichtstbijzijnde in plaats van de werkelijke vluchtconditie.
2. Een bewust geïntroduceerde positiefout (tussen werkelijke en gemodelleerde vliegbaan), om aan de hierboven genoemde instructie te voldoen.

Hiervan is de eerste onnauwkeurigheid het gevolg van het gebrek aan interpolatiemogelijkheden in de eerste versie van NORAH. Dit is op dit moment onontkoombaar. De tweede onnauwkeurigheid is echter kunstmatig en dient alleen om aan de instructies te voldoen. Dit is onwenselijk.

Voor de verkennende berekening voor Rotterdam is daarom mede op basis van de discussie binnen AIRMOD een andere aanpak gevolgd. Deze aanpak is veel eenvoudiger werkt op hoofdlijnen als volgt:

- De radargegevens wordt zonder verdere bewerkingen overgenomen voor het modelleren van het vliegp pad.
- Voor elk vluchtsegment wordt hier enkel nog de best bijpassende hemisfeer aan gekoppeld.
- Het resultaat van de gekoppelde hemisferen wordt met behulp van een afvlakfilter bewerkt, om frequente wisselingen tussen verschillende hemisferen als gevolg van onnauwkeurigheden in de radargegevens tegen te gaan.

De methode voor het selecteren van de best bijpassende hemisfeer staat beschreven in Ref. [14].

## Appendix B Geluidcertificatieniveaus in buitenlandse luchtvaarttuigregisters

Zoals beschreven in 3.2 heeft het de voorkeur dat de luchthaven op vluchtniveau of vliegtuigregistratieniveau de geluidcertificatiegegevens administreert en deze gegevens toegepast worden bij het berekenen van de geluidbelasting. Op het moment dat deze gegevens niet beschikbaar zijn, wordt in eerste instantie teruggevallen op het in een luchtvaarttuigregister opgenomen geluidcertificatieniveau(s) van de gebruikte helikopter. De koppeling met het luchtvaartregister gaat op basis van het vliegtuigregistratienummer.

Voor de in Nederland geregistreerde helikopters (registratie beginnend met PH-) kunnen de geluidcertificatieniveaus worden opgezocht in het Nederlands luchtvaarttuigregister. Dit register is toegankelijk via de website van Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) op <https://www.ilent.nl/onderwerpen/luchtvaartuigregister#/>.

De Nederlandse luchthavens worden ook gebruikt door helikopters die in andere landen geregistreerd zijn. Deze landen hebben eigen luchtvaarttuigregisters, maar dat wil niet automatisch zeggen dat de registers ook openbaar en digitaal benaderbaar zijn.

Deze appendix geeft de resultaten van een onderzoek waarbij allereerst is gekeken naar het herkomstland van de op Nederlandse luchthavens opererende helikopters. Vervolgens is voor enkele veelvoorkomende landen onderzocht in hoeverre de geluidcertificatiegegevens digitaal benaderbaar zijn.

Voor de luchthaven Schiphol blijkt op basis van de verkeersgegevens die zijn gebruikt voor de verkennende berekeningen dat ongeveer 99% van het helikopterverkeer een PH-registratie heeft. Voor Schiphol-berekeningen is daarmee de beschikbaarheid van de gegevens van in het buitenland geregistreerde helikopters minder relevant.

Voor de regionale luchthavens is het registratieland van het helikopterverkeer Lelystad Airport, Rotterdam The Hague Airport en Maastricht Aachen Airport over 2021 geanalyseerd. De top-5 van herkomstlanden (met onderscheid civiel/militair voor Nederland) is weergegeven in Tabel 2.

*Tabel 2: Herkomstgroepen op basis van vliegtuigregistratie van het helikopterverkeer op de regionale velden*

Herkomstgroep	Percentage
NL civiel	88.0%
F	5.4%
BE	4.6%
US	0.7%
NL militair	0.6%
Overig	0.7%

Op basis van deze gegevens blijkt dat voor een zeer groot gedeelte van de vluchten het Nederlandse (civiele) luchtvaarttuigregister geraadpleegd kan worden voor het achterhalen van de certificatiegegevens. Voor nagenoeg complete dekking vormen achtereenvolgens het register van Frankrijk, België en de Verenigde Staten van Amerika de belangrijkste aanvullingen. De kenmerken van deze registers zijn samengevat in Tabel 3.

Tabel 3: Eigenschappen van internationale luchtvaarttuigregisters

Land	Openbaar en online te raadplegen	MTOW	Details helikoptertype	Certificatieniveaus
F	Ja	Nee	Ja	Nee
BE	Ja	Nee	Ja	Nee
US	Ja	Nee	Ja	Nee

Uit het overzicht blijkt dat geen van deze drie registers geluidcertificatieniveau weergeeft. Dit zou betekenen dat deze alsnog op basis van het hoogst opgenomen niveau in Rotorcraft noise database (EASA Certification Noise Levels) afgeleid zou moeten worden. Wat de registers echter wel bieden, is een uitgebreidere omschrijving van het exacte helikoptertype. Daar waar vanuit de luchthavengegevens typisch alleen de ICAO typeaanduiding beschikbaar is, kan met behulp van de buitenlandse registers wel het exacte type worden afgeleid. Op basis hiervan kan vervolgens met behulp van de EASA database met veel minder onzekerheid het certificatieniveau worden bepaald. Het nut van deze tussenstap via buitenlandse luchtvaarttuigregisters is aan de hand van een voorbeeld weergegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Voorbeeld van effect van het bepalen van het exacte helikoptertype via een buitenlands luchtvaarttuigregister

ICAO-type	Typeaanduiding via register	Niveau nadering (EASA database)
EC35	-	90.3 – 94.9
EC35	EC135 P2+	92.7

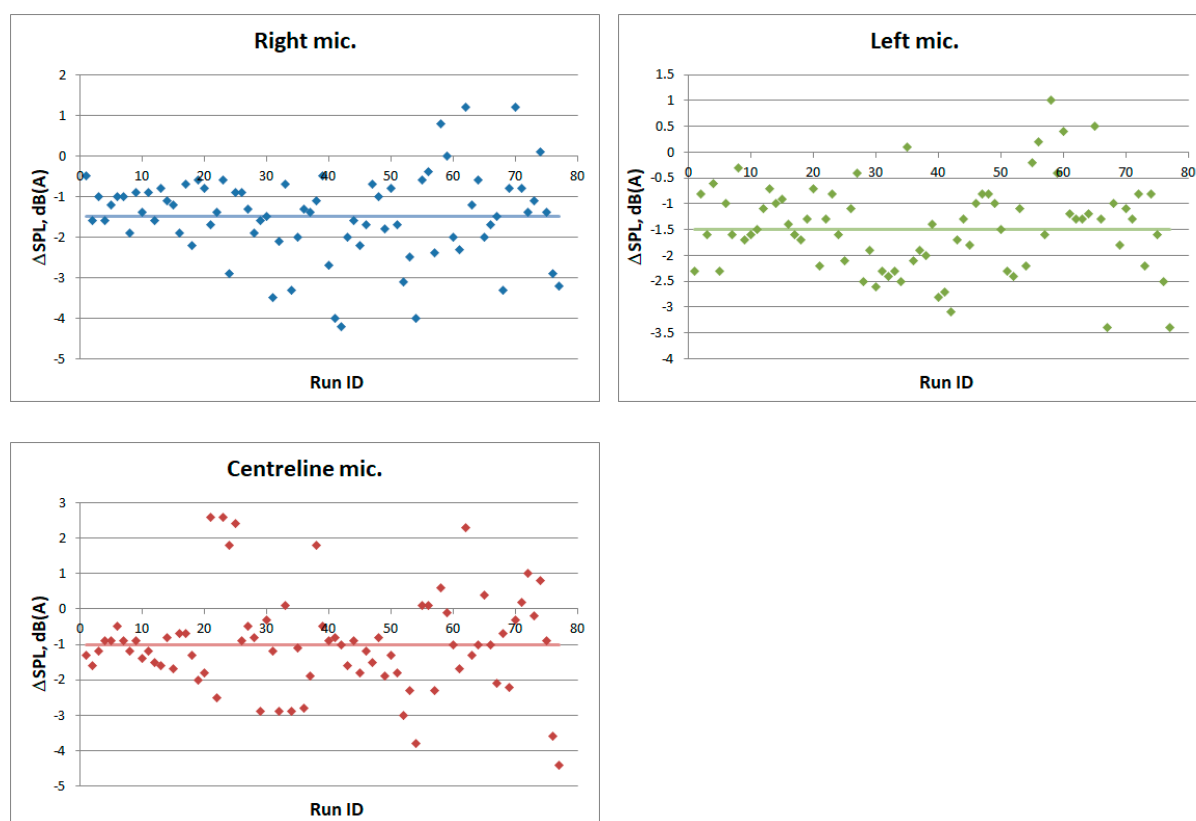
Uit de tabel blijkt dat op het moment dat alleen het ICAO-type bekend is, er nog veel onzekerheid is over het certificatieniveau. In het voorbeeld bedraagt het verschil tussen het stilste en het luidruchtigste subtype van de EC135 4.6 EPNdB. Op basis van de beschreven methode wordt vervolgens een conservatieve aanname gedaan, waarbij een certificatieniveau van 94.9 EPNdB wordt aangenomen.

Met behulp van een buitenlands luchtvaarttuigregister is het echter mogelijk om te achterhalen dat het een specifiek subtype betreft: in dit voorbeeld de EC135 P2+. Voor dit subtype kan met behulp van de EASA database worden bepaald dat het certificatieniveau 92.7 EPNdB bedraagt.

## Appendix C Niveaucorrectie gebruik grondplaten

Zoals beschreven in paragraaf 3.3 zijn voor één van de meetcampagnes de door NORAH berekende geluidniveaus ter plekke van drie aanwezige statiefmicrofoons vergeleken met gemeten niveaus op deze locaties. De overvluchten en metingen zijn verricht onder certificatiecondities met overvluchten op verschillende vlieghoogtes, één microfoon recht onder het vliegpad en de andere twee microfoons aan weerszijden op 150 m van het vliegpad.

Idealiter komt bij een dergelijke vergelijking het berekende niveau overeen met het gemeten niveau. Het verschil tussen het berekende en het gemeten niveau is weergegeven in Figuur 8.



Figuur 8: Verschillen tussen berekende en gemeten niveaus voor de drie statieflocaties voor elk van de 77 passages

De verschillen zijn weergegevens per statieflocatie (rechts, links en midden) en voor alle 77 helikopterpassages afzonderlijk. Hierbij is te zien dat er sprake is van spreiding: de verschillen kunnen van vlucht tot vlucht verschillen. Dit is ook te verwachten. De hemisferen worden afgeleid op basis van het totaal aan meetvluchten, terwijl het geluid van vlucht tot vlucht kan verschillen. Hierdoor zullen de variaties in de gemeten waarden wat groter zijn dan de variaties in de berekende waarden. Voor de toepassing waarbij het doel is om de geluidbelasting te bepalen over een langere periode als gevolg van meerdere vluchten is een dergelijke spreiding geen beperking.

In de figuren is ook het gemiddelde verschil weergegeven tussen meten en rekenen. Afhankelijk van de statieflocatie bedraagt dit verschil 1.0 tot 1.5 dB(A). Gemiddeld over de drie locatie is het verschil 1.3 dB(A). Een dergelijke systematische afwijking is, in tegenstelling tot wat spreiding, wel onwenselijk omdat dit ook leidt tot een lagere berekende geluidbelasting. Zoals beschreven in paragraaf 3.3 wordt daarom een voorlopige correctie van +1.3 dB(A) geadviseerd om voor dit verschil te compenseren.





Dedicated to innovation in aerospace

## Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het onderzoekscentrum Koninklijke NLR werkt op objectieve en onafhankelijke wijze met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

NLR is ruim 100 jaar een kennisorganisatie met de diepgewortelde wil om te blijven vernieuwen en zet zich in voor een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart.

De combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en toonaangevende onderzoeksfaciliteiten, maakt snel innoveren mogelijk. NLR vormt in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbrugt de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk. Daarnaast werkt NLR als Groot Technologisch Instituut ruim tien jaar in de TO2-federatie samen aan toegepast onderzoek in Nederland.

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

Voor meer informatie bezoek: [www.nlr.nl](http://www.nlr.nl)

### Postal address

PO Box 90502  
1006 BM Amsterdam, The Netherlands  
e) [info@nlr.nl](mailto:info@nlr.nl) i) [www.nlr.org](http://www.nlr.org)

### Royal NLR

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

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