



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-371 | oktober 2018

# Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

## Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

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

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

Opgericht in 1919 en met 650 betrokken medewerkers, realiseerde NLR in 2016 een omzet van 71 miljoen euro. Driekwart hiervan is afkomstig uit contractonderzoek, het overige betreft een overheidsbijdrage.

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

## Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen



### Probleemstelling

In 2016 heeft de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat besloten om voor Schiphol het tot dan toe gebruikte rekenmodel voor vliegtuiggeluid te vervangen door een nieuw rekenmodel. Het nieuwe model is gebaseerd op de aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference en ook wel bekend als ECAC Doc.29.

Nadat het Doc.29 model geschikt was gemaakt voor Schiphol en de eerste resultaten bekend waren, heeft het Ministerie het NLR gevraagd om op deze resultaten een trendvalidatie uit te voeren. Hierbij worden trends in de berekende geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer gevalideerd met trends in de geluidbelasting op basis van metingen.

### Beschrijving van de werkzaamheden

De trendvalidatie is uitgevoerd op basis van metingen van het Noise Monitoring System (NOMOS) van Amsterdam Airport Schiphol. Allereerst zijn uit de beschikbare meetlocaties 8 locaties geselecteerd met uiteenlopende kenmerken, met als doel een goede afspiegeling van verschillende soorten meetlocaties te krijgen. Voor deze meetlocaties zijn alle meetgegevens verzameld en is per maand de gemeten geluidbelasting bepaald.

Voor dezelfde periode is op de locaties van de meetposten ook de geluidbelasting berekend volgens de Doc.29 methode. Daarnaast is de geluidbelasting berekend volgens het Nederlandse rekenmodel (NRM), het model dat voorheen werd gebruikt. De trends in de berekende geluidbelasting van beide modellen zijn vergeleken met trends in de gemeten geluidbelasting. Ook is voor beide modellen

### RAPPORTNUMMER

NLR-CR-2017-371

### AUTEUR(S)

R.H. Hogenhuis  
S.J. Heblj

### RUBRICERING RAPPORT

ONGERUBRICEERD

### DATUM

oktober 2018

### KENNISGEBIED(EN)

Vliegtuiggeluidseffecten op de omgeving

### TREFWOORD(EN)

trendvalidatie  
Doc.29  
meten  
berekenen

de correlatie tussen de berekende en de gemeten geluidbelasting bepaald. Deze correlatie is een statistische maat die weergeeft hoe goed de metingen en de berekeningen samenhangen.

De analyses zijn uitgevoerd op de totale geluidbelasting, maar daarna ook uitgesplitst naar startend en landend verkeer. Tenslotte zijn de gemeten en berekende geluidniveaus van 5 veelgebruikte vliegtuigtypes vergeleken.

## Resultaten

Deze resultaten laten zien dat zowel voor het oude als het nieuwe rekenmodel de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van geluidmetingen dezelfde trends volgen. Wel geldt in de meerderheid van de gevallen dat de gemeten waarden hoger zijn dan de berekende waarden. De oorzaken hiervoor zullen zowel bij de metingen als bij de berekeningen liggen. Het feit dat metingen een hogere geluidbelasting geven kan onder andere verklaard worden door wind en het feit dat andere geluidsbronnen metingen kunnen verstoren.

Een bepaling van de correlatiecoëfficiënten laat zien dat de correlatie tussen meten en rekenen hoger ligt bij Doc.29 dan bij het huidige Nederlandse rekenmodel. Dit wil zeggen dat bij Doc.29 er een betere samenhang is tussen de gemeten en berekende waarden. De verbeterde correlatie komt vooral naar voren bij de landingen. Voor starts scoorde het NRM al relatief hoog en scoort Doc.29 nog iets beter..

Bij het onderzoeken van specifieke vliegtuigtypes is niet naar trends in de geluidbelasting gekeken, maar naar verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus van individuele passages. Op hoofdlijnen laten de onderzochte vliegtuigtypes hetzelfde beeld zien als de vergelijking van de geluidbelasting voor alle vliegtuigtypes gezamenlijk. Wel komen de verschillen voor de Boeing 747-400 het duidelijkst naar voren in de figuren. Voor de Airbus A330-200 is dit minder te zien.

Hoewel geen onderdeel van de trendvalidatie, kan uit de resultaten worden afgeleid dat de absolute verschillen tussen gemeten en berekende geluidbelasting die in het verleden voor het NRM al geconstateerd waren, ook bij het gebruik van Doc.29 nog steeds aanwezig zijn. Hiervoor zijn diverse oorzaken aan te wijzen, zowel aan de kant van het rekenen als aan de kant van het meten. Omdat metingen geen rol spelen in de systematiek van de handhaving, is het een optie om deze verschillen, net als in de afgelopen decennia, te blijven accepteren. Maatschappelijk lijkt er echter steeds meer behoefte om de metingen en de berekeningen verder naar elkaar te brengen. Het NLR ziet, in combinatie met een meetnet dat voldoet aan specifieke eisen, mogelijkheden om de rekenmodellen verder te verbeteren.

## Conclusies en aanbevelingen

Uit de resultaten blijkt dat zowel voor het oude als het nieuwe rekenmodel de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van geluidmetingen dezelfde trends volgen. De correlatie of samenhang tussen de gemeten en berekende geluidniveaus is verbeterd met de overgang naar Doc.29.

Om tegemoet te komen aan de maatschappelijke wens voor het gebruik maken van metingen, beveelt het NLR aan om metingen wel een rol te geven naast de berekeningen. Hierbij wordt aanbevolen om als eerste stap te zorgen dat de gehanteerde meetgegevens representatief en betrouwbaar zijn. Daarna kan overwogen worden om :

1. Nader onderzoek te doen naar verschillen tussen meten en rekenen en eventuele modelverbeteringen om deze verschillen te verkleinen.
2. Verschillen tussen meten en rekenen trachten te verkleinen door het toepassen van gekalibreerd rekenen.

Gezien de beperkingen van gekalibreerd rekenen ligt het voor de hand om eerst voor de eerste optie te kiezen.

NLR

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

p ) +31 88 511 3113 f ) +31 88 511 3210

e ) info@nlr.nl i ) www.nlr.nl



Dedicated to innovation in aerospace

NLR-CR-2017-371 | oktober 2018

# Trendvalidatie van Doc.29 berekeningen

OPDRACHTGEVER: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

**AUTEUR(S):**

**R.H. Hogenhuis**

NLR

**S.J. Heblj**

NLR

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

<b>OPDRACHTGEVER</b>	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
<b>CONTRACTNUMMER</b>	Zaaknummer 31132735
<b>EIGENAAR</b>	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
<b>NLR DIVISIE</b>	Aerospace Operations
<b>VERSPREIDING</b>	Beperkt
<b>RUBRICERING TITEL</b>	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:																				
AUTEUR			REVIEWER			BEHERENDE AFDELING														
R.H. Hogenhuis			H.W. Veerbeek			P.L.J. Eijssen														
DATUM	0	8	1	0	1	8	DATUM	0	8	1	0	1	8	DATUM	0	8	1	0	1	8

# Inhoudsopgave

<b>Afkortingen</b>	<b>4</b>
<b>1 Introductie</b>	<b>5</b>
1.1 Aanleiding en doelstelling	5
1.2 Leeswijzer	6
<b>2 Gehanteerde methodiek</b>	<b>7</b>
2.1 Bepaling berekende geluidbelasting	7
2.2 Bepaling geluidbelasting op basis van metingen	8
2.3 Statistische vergelijking trends in geluidbelasting	10
<b>3 Resultaten trendanalyse</b>	<b>11</b>
3.1 Trends in de geluidbelasting	11
3.2 Correlatie tussen gemeten en berekende geluidniveaus	15
3.3 Samenvatting resultaten trendanalyse	16
<b>4 Aanvullende analyses</b>	<b>17</b>
4.1 Effecten van het toepassen van <i>derating</i> voor starts	17
4.2 Effecten van het toepassen van een windfilter	19
4.3 Analyse individuele vliegtuigtypes	21
4.4 Samenvatting resultaten aanvullende analyses	25
<b>5 Omgaan met verschillen tussen meten en rekenen</b>	<b>26</b>
5.1 Optie 1: Accepteren	27
5.2 Optie 2: Nader onderzoek naar modelverbeteringen	27
5.3 Optie 3: Gekalibreerd rekenen	27
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>29</b>
6.1 Conclusies	29
6.2 Aanbevelingen	29
<b>7 Referenties</b>	<b>31</b>
<b>Appendix A Achtergrondinformatie meten versus rekenen van vliegtuiggeluid</b>	<b>32</b>
Appendix A.1 Uitvoering van geluidmetingen	32
Appendix A.2 Uitvoering van geluidberekeningen	33
Appendix A.3 Oorzaken van verschillen tussen meten en berekenen	34

## Afkortingen

ACRONIEM	OMSCHRIJVING
AIRMOD	Aircraft Noise Modelling Task Group
ECAC	European Civil Aviation Conference
IenW	Infrastructuur en Waterstaat
L <sub>AE</sub>	Geluidsblootstellingsniveau
L <sub>Amax</sub>	Piekniveau
L <sub>den</sub>	Dag-avond-nacht geluidbelasting
MER	Milieueffectrapportage
NLR	Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum
NMT	Noise Monitoring Terminal
NNHS	Nieuwe Normen- en Handhavingstelsel
NOMOS	Noise Monitoring System
NRM	Nederlands Rekenmodel
SEL	Sound Exposure Level



# 1 Introductie

Dit rapport is opgesteld in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Het beschrijft de resultaten van een onderzoek van het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum (NLR), waarin trends in de berekende geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer worden gevalideerd met trends in de geluidbelasting op basis van metingen. Dit onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van de introductie van een nieuw model voor de berekening van de geluidbelasting voor de luchthaven Schiphol.

## 1.1 Aanleiding en doelstelling

In verband met het Nieuwe Normen en Handhavingstelsel (NNHS) stelt Amsterdam Airport Schiphol een Milieu Effect Rapportage (MER) op. Aanvankelijk werden de geluidberekeningen voor deze MER uitgevoerd met het Nederlandse Rekenmodel (NRM) voor vliegtuiggeluid (ref. 1). In een tussentijds advies van augustus 2016 adviseerde de Commissie voor de milieueffectrapportage om de methoden aan te passen waarmee het effect van bepaalde procedurewijzigingen op de geluidbelasting rond luchthaven Schiphol wordt berekend (ref. 2). Dit advies was aanleiding voor de staatssecretaris om het NRM te vervangen door een rekenmodel gebaseerd op de nieuwste aanbevelingen van de European Civil Aviation Conference (ECAC), ook wel bekend als ECAC Doc.29 (ref. 3).

Als onderdeel van de implementatie van Doc.29 heeft het ministerie van IenW het NLR opdracht gegeven om de nieuw berekende geluidbelasting te valideren met behulp van een trendvalidatie. Hierbij worden trends in de berekende geluidbelasting vergeleken met trends in de geluidbelasting op basis van geluidmetingen die rondom Schiphol zijn uitgevoerd. Een dergelijke validatie is eerder ook uitgevoerd bij het invullen van de motie Neppérus-Jansen (ref. 4). Deze motie had betrekking op de geluidbelasting op Nederlands grondgebied nabij de vliegbasis Geilenkirchen in Duitsland. De regering is destijds verzocht om een validatieprocedure van de berekende geluidreductie, die gebouwd is op een fundament van zoveel mogelijk meten. Het NLR heeft vervolgens deze validatie uitgevoerd, waarbij ervoor gekozen is om trends in de berekende geluidbelasting te vergelijken met trends in de geluidbelasting op basis van metingen (ref. 5).

In dit onderzoek wordt een dergelijke validatie toegepast voor verschillende meetlocaties rondom de luchthaven Schiphol. Hierbij zullen ook de berekende geluidbelasting van het oude en nieuwe rekenmodel met elkaar worden vergeleken. De resultaten worden vervolgens gevisualiseerd.

Dit onderzoek beoogt de volgende vragen te beantwoorden:

- Volgen de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van metingen dezelfde trends?
- Wat is de correlatie tussen berekende en gemeten geluidniveaus?
- Zijn de gemeten en berekende geluidniveaus voor een aantal individuele vliegtuigtypes vergelijkbaar?

Voor de eerste twee vragen wordt daarbij ook een vergelijking gemaakt tussen het oude rekenmodel (NRM) en het nieuwe model (Doc.29).

## 1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de methodiek achter de uitgevoerde trendanalyse voor Schiphol. De resultaten van deze trendanalyse worden aansluitend beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 bevat een aantal aanvullende analyses, waaronder de analyse naar de verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus voor een aantal individuele vliegtuigtypes. Hoofdstuk 5 gaat verder in op de geconstateerde verschillen tussen het meten en berekenen van vliegtuiggeluid. Er worden in dit hoofdstuk een aantal opties geschetst over hoe in de toekomst om te gaan met deze verschillen. Ten slotte hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen beschreven.

## 2 Gehanteerde methodiek

Het doel van dit onderzoek is om trends in berekend en gemeten vliegtuiggeluid te vergelijken. Hiertoe zijn globaal de volgende stappen genomen:

- Keuze van de meetlocaties.
- Bepalen van de berekende geluidbelasting volgens de Doc.29 methode.
- Bepalen van de berekende geluidbelasting volgens het huidige Nederlandse rekenvoorschrift.
- Verzamelen van meetgegevens voor de periode waarvoor de geluidberekeningen zijn uitgevoerd.
- Vergelijking van trends in de geluidbelasting op basis van metingen en beide berekeningen.
- Bepaling van de correlatie tussen gemeten en berekende geluidniveaus voor beide berekeningen.
- Analyses van de verschillen tussen de berekende en gemeten geluidbelasting.

Het onderzoek is uitgevoerd voor de periode van 1 mei 2014 tot en met 28 februari 2015. Dit is de referentieperiode die bij de MER-berekeningen is toegepast. De geluidbelasting wordt uitgedrukt in de  $L_{den}$  geluidsmaat. Deze geluidsmaat is gekozen, aangezien dit een gangbare maat is voor het vaststellen van de geluidbelasting rondom Schiphol gedurende het gehele etmaal.

### 2.1 Bepaling berekende geluidbelasting

De berekende geluidbelasting rondom Schiphol is bepaald volgens de Doc.29 methodiek die voor de MER Schiphol is toegepast. Voor de onderzochte meetlocaties is het geluid berekend voor iedere vliegbeweging die gedurende de onderzochte periode plaatsvond. Op basis van deze berekening per vliegbeweging kan de totale maandelijkse geluidbelasting per meetpost worden bepaald. Alle gepresenteerde  $L_{den}$  waarden zijn gecorrigeerd voor de tijdsduur van de beschouwde periode. Dit betekent dat de waarde van deze maat niet verandert indien een andere periode beschouwd wordt. Kortom, de waarde van de  $L_{den}$  hangt niet af van de lengte van een maand en is van dezelfde orde grootte als een  $L_{den}$  geluidbelasting voor een jaar.

Ook is de  $L_{den}$  ter plaatse van de meetposten berekend met het Nederlandse rekenmodel (NRM). De vergelijking tussen meten en rekenen kan zo voor beide modellen worden gemaakt.

De berekende geluidbelasting kan op de volgende twee manieren bepaald worden:

1. Een berekening waarbij alleen de bijdrage wordt meegenomen van vliegbewegingen waarvan ook een meting beschikbaar is.
2. Een berekening waarbij de bijdrage van alle vliegbewegingen wordt meegenomen.

De resultaten in dit rapport zijn gebaseerd op de eerste aanpak: de berekende geluidbelasting is op basis van alleen die vliegbewegingen die ook gemeten zijn.

Bij het uitvoeren van berekeningen wordt gebruik gemaakt van een rekenmodel dat aannames doet om de werkelijke geluidbelasting te modelleren. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om aannames over de prestaties en geluidproductie van vliegtuigen en atmosferische condities zoals temperatuur en luchtvochtigheid. Deze aannames zullen leiden tot verschillen tussen de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van metingen.

## 2.2 Bepaling geluidbelasting op basis van metingen

Voor dit onderzoek zijn meetgegevens gebruikt van acht meetposten van het geluidmeetsysteem van Amsterdam Airport Schiphol (NOMOS):

- Meetpost 1 in Zwanenburg
- Meetpost 10 in Aalsmeer
- Meetpost 13 in Leimuiden
- Meetpost 14 in Abbenes
- Meetpost 19 in Spaarndam
- Meetpost 20 in Amsterdam-Bijlmer
- Meetpost 23 in Oostzaan
- Meetpost 27 in Uitgeest

Deze meetlocaties zijn zo gekozen dat ze verschillende eigenschappen hebben. Het doel achter de selectie was om met een beperkt aantal meetposten toch een goede afspiegeling van verschillende soorten locaties te krijgen. Dit betekent dat de posten zowel dichtbij als verder weg van Schiphol liggen. Ook varieert het aantal metingen en de verhouding tussen het aantal starts en landingen per meetpost. Tot slot liggen sommige meetposten vrijwel recht onder de gemiddelde vliegroutes, terwijl andere meetposten hier verder vanaf liggen. Tabel 1 geeft een overzicht van deze eigenschappen per meetpost.

Hieruit blijkt bijvoorbeeld dat meetposten 13 en 23 niet in de buurt van landingsroutes liggen, waardoor deze meetposten niet geschikt zijn om inzicht te geven in de gemeten geluidbelasting van landend vliegverkeer. Daarom zijn deze meetposten niet meegenomen bij de analyse van landend verkeer (zie bijvoorbeeld Figuur 3). Om diezelfde reden is meetpost 20 niet meegenomen bij de analyse van startend verkeer (zie bijvoorbeeld Figuur 4).

De uiteindelijke  $L_{den}$  geluidbelasting die wordt bepaald bij een meetpost hangt af van verschillende factoren, zoals:

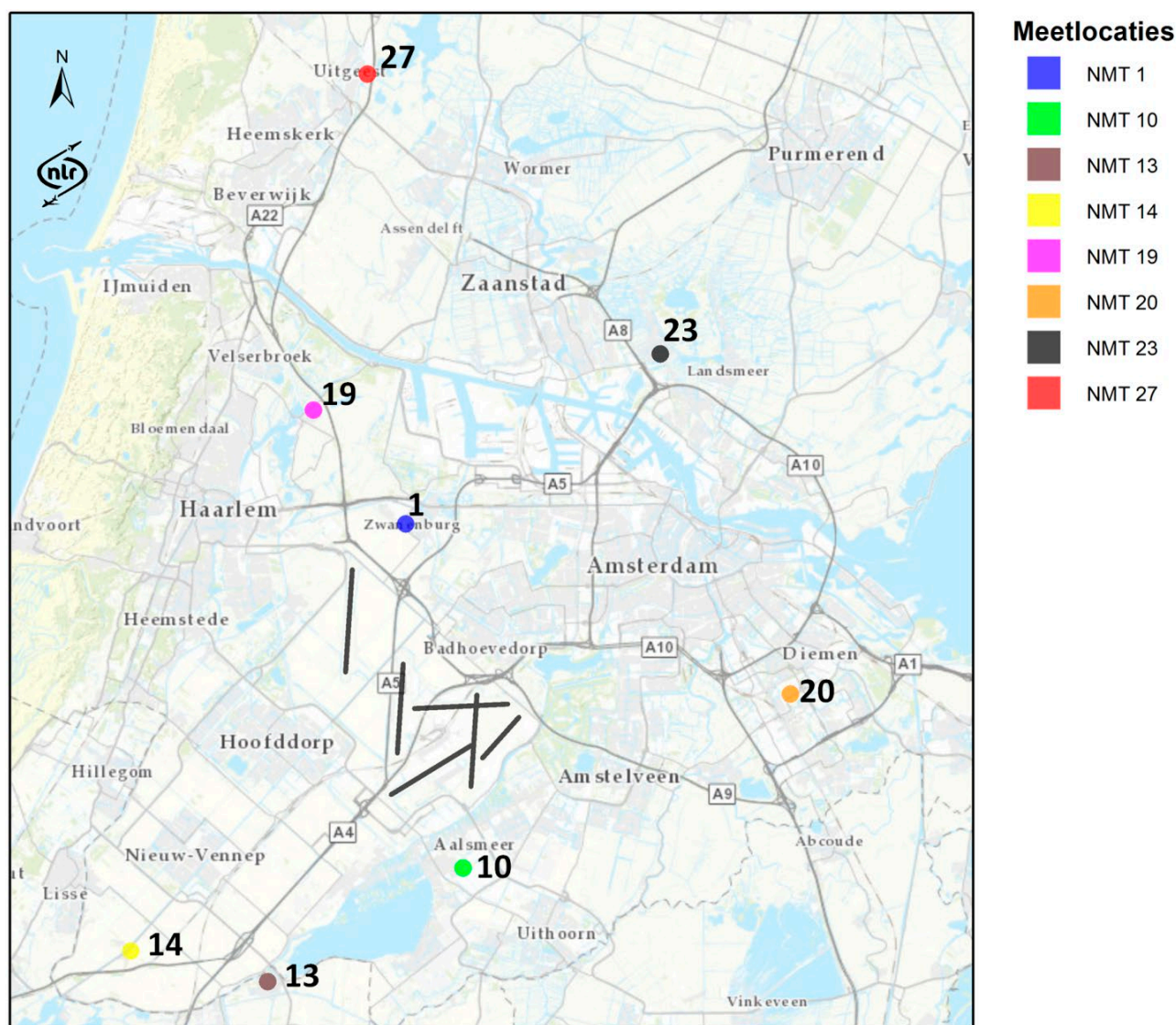
- De afstand tot de baandrempe(s) van verkeer dat in de omgeving van de meetpost vliegt.
- De hoeveelheid verkeer en vliegtuigtypes die in de omgeving van de meetpost vliegen.
- Of het grootste deel van het vliegverkeer recht over de meetpost vliegt of niet.
- Het soort vluchten, starts of landingen, dat passeert.

Doordat de geluidbelasting bepaald wordt door de combinatie van verschillende factoren is het mogelijk dat de geluidbelasting bij een meetpost verder van de luchthaven hoger is dan bij een dichterbij gelegen meetpost of dat een meetpost die geluid van verkeer van en naar een drukke baan meet een lagere geluidbelasting meet dan een meetpost voor verkeer van en naar een rustigere baan.

Tabel 1: Nadere informatie meetposten

Meetpost	locatie	globale afstand tot baandrempel (km)	onder startroute	naast startroute	onder landingsroute	naast landingsroute
1	Zwanenburg	5		X	X	
10	Aalsmeer	3		X	X	
13	Leimuiden	8		X		
14	Abbenes	12	X		X	
19	Spaarndam	5		X		X
20	Amsterdam-Bijlmer	10			X	
23	Oostzaan	16		X		
27	Uitgeest	19		X	X	X

Figuur 1 toont de locaties van de gebruikte meetposten. In deze rapportage worden meetposten ook aangeduid met de afkorting NMT (Noise Monitoring Terminal).



Figuur 1: Ligging meetposten

De individuele geluidmetingen kunnen worden gebruikt om de totale geluidbelasting over een langere periode te bepalen. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat niet iedere meetbare vliegbeweging wordt gemeten. Zo kunnen bijvoorbeeld metingen ontbreken als een meetpost een storing heeft of in onderhoud is. Hoe vaak dit gebeurt zal variëren per meetlocatie.
- Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat metingen gekoppeld kunnen zijn aan het verkeerde vliegplan. Voor meer uitleg, zie Tabel 7 in Appendix A.3.
- Helikopters worden buiten beschouwing gelaten. Voor Doc.29 is het nog niet mogelijk om helikopterbewegingen door te rekenen en ook bij het NRM wordt slechts een deel van de bewegingen doorgerekend.

## 2.3 Statistische vergelijking trends in geluidbelasting

De trends in de geluidbelasting worden in figuren getoond. Dit geeft een indruk in hoeverre de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van metingen dezelfde trends volgen. De figuren met trends zijn opgenomen in hoofdstuk 3.

Ter ondersteuning van deze visualisaties is gekeken naar de mate van correlatie tussen de gemeten en berekende geluidniveaus. De correlatiecoëfficiënten geven inzicht in de mate waarin de berekende geluidniveaus zijn gecorreleerd met de gemeten geluidniveaus, oftewel de mate waarin beide variabelen samenhangen (zie ref. 7). Hoe dichter de waarde van de correlatiecoëfficiënt bij 1 ligt, hoe sterker de positieve correlatie is. Door een combinatie van beperkingen aan metingen en aannames in de berekeningen zal de correlatie altijd lager dan 1 zijn.

De mate van correlatie geeft geen inzicht in hoe dicht beide geluidbelastingen bij elkaar liggen. Het is mogelijk dat de correlatie bij een meetpunt voor een rekenmodel beter is terwijl het absolute verschil tussen meten en rekenen groter is. Ook de resultaten van de correlatieanalyse zijn opgenomen in het volgende hoofdstuk.

## 3 Resultaten trendanalyse

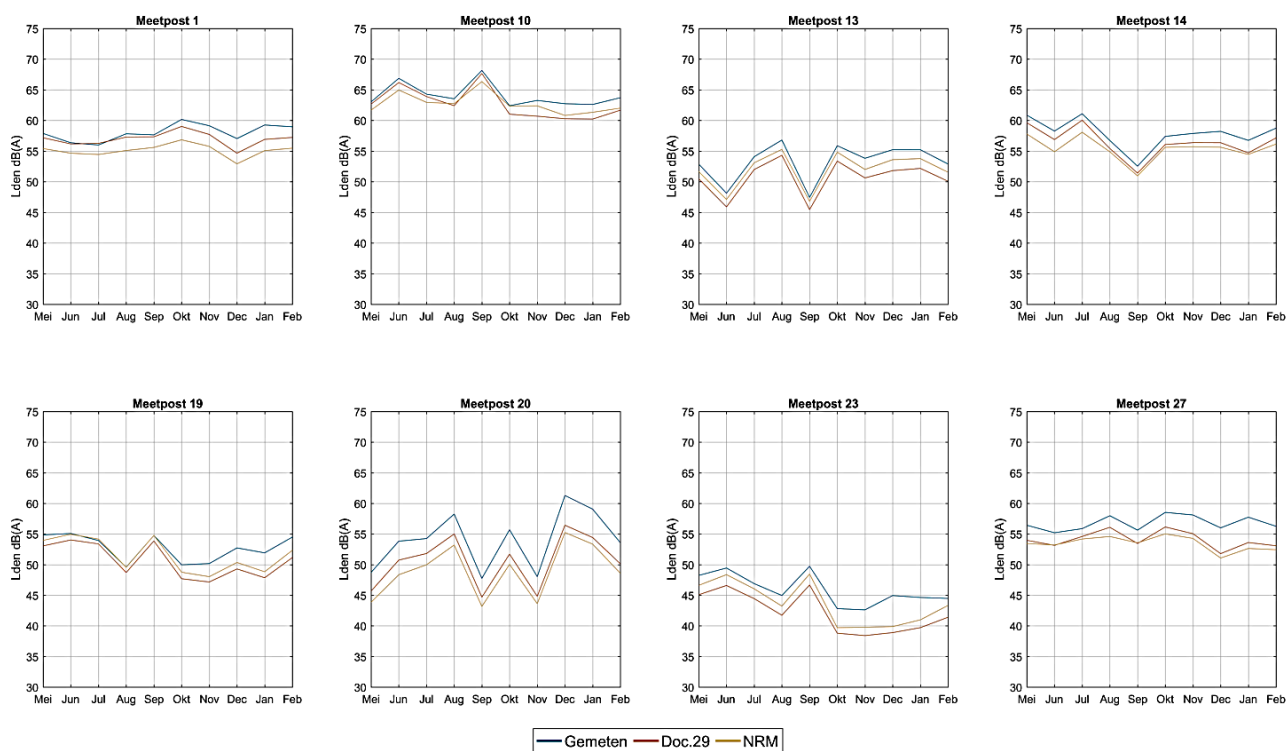
Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de trendanalyse die is uitgevoerd. Hierbij komen de volgende onderwerpen aan bod:

- Een vergelijking van de trends in de gemeten en berekende geluidbelasting (zie paragraaf 3.1).
- De correlatie tussen de gemeten en berekende geluidniveaus (zie paragraaf 3.2).

Paragraaf 3.3 geeft een samenvatting van de in dit hoofdstuk beschreven resultaten.

### 3.1 Trends in de geluidbelasting

Deze paragraaf toont figuren met de uitkomsten van de trendvalidatie, waarbij de geluidbelasting per maand in de  $L_{den}$  geluidsmaat is uitgedrukt. De geluidbelasting voor het gehele verkeer (starts en landingen samen) is weergegeven in Figuur 2.



*Figuur 2: Trends in berekende geluidbelasting (rood en geel) en geluidbelasting op basis van metingen (blauw), starts en landingen samen. De berekende niveaus zijn op basis van alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is*

De berekende geluidbelasting in Figuur 2 van zowel NRM als Doc.29 is enkel op basis van de vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is. De totale berekende geluidbelasting is dus hoger dan in de figuren is weergegeven. Naast onderhoud of storing voor een meetpost is één van de oorzaken dat vluchten niet kunnen

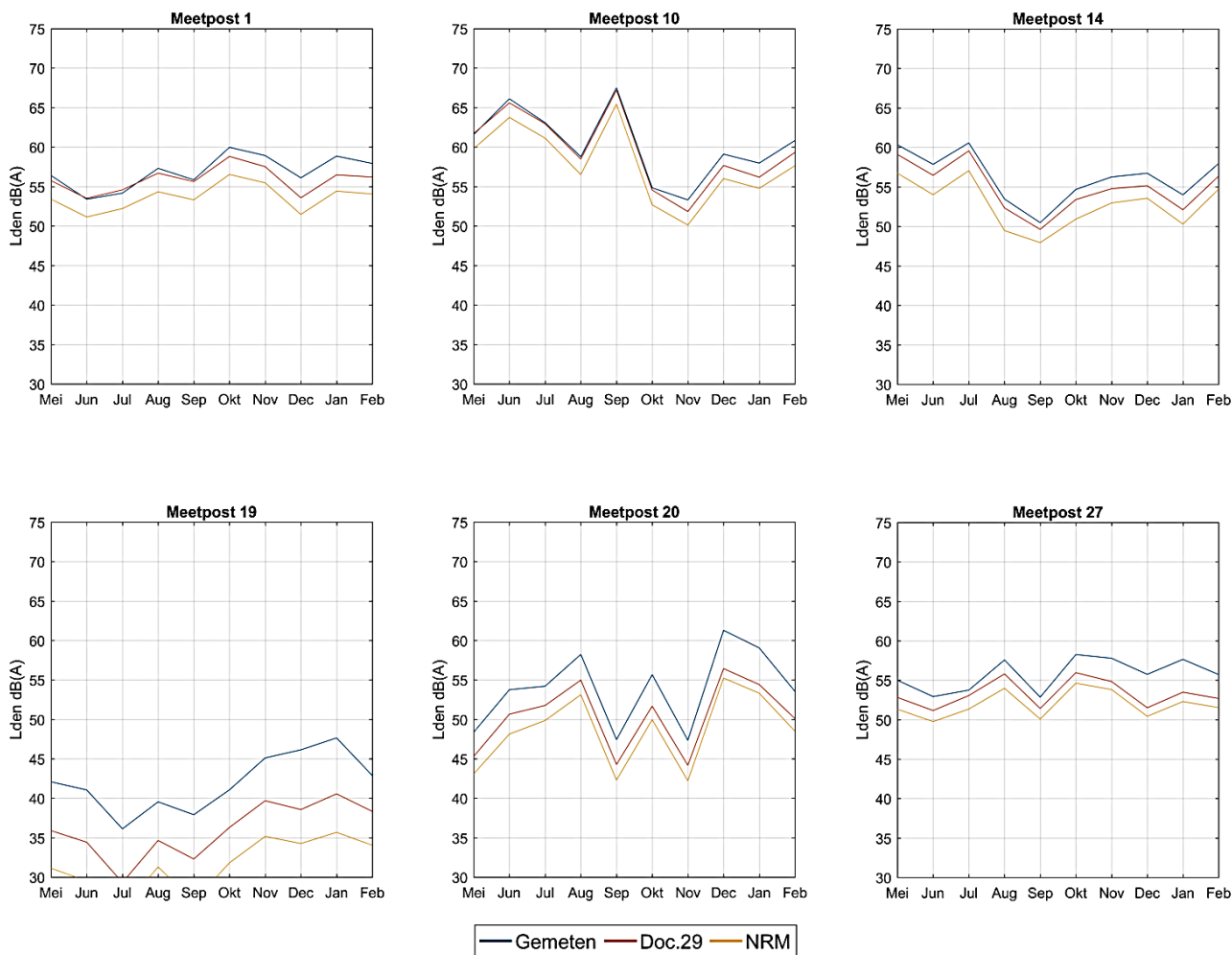
worden gemeten het feit dat de meetposten een meetdrempel hebben. Vliegbewegingen met een geluidniveau onder deze meetdrempel worden niet gemeten. Voor meer informatie, zie Tabel 7 in Appendix A.3.

In Figuur 2 is te zien dat:

- Beide berekeningen de gemeten trends in de geluidbelasting redelijk goed volgen. Hoe goed beide modellen de metingen precies volgen is echter niet goed te bepalen op basis van deze figuren, maar zal in paragraaf 3.2 in meer detail worden onderzocht.
- De absolute niveaus van de metingen over het algemeen hoger liggen dan die van de berekeningen. Hier zijn diverse mogelijke oorzaken voor. Zo kan het feit dat metingen een hogere geluidbelasting geven onder andere verklaard worden door wind en het feit dat andere geluidsbronnen metingen kunnen verstoren. Ook de berekening kan afwijken, bijvoorbeeld als het gemodelleerde vlieggedrag afwijkt van de praktijk. Appendix A.3 gaat nader in op de verschillen tussen meten en rekenen en hoofdstuk 5 geeft opties over hoe om te gaan met deze verschillen.
- De verschillen tussen meten en rekenen in de wintermaanden groter lijken dan in de zomermaanden. Dit effect blijkt deels te verklaren is door effecten van harde wind op de metingen. Dit wordt in paragraaf 4.2 verder uitgewerkt.
- De Doc.29 berekening zowel hoger als lager kan uitkomen dan de NRM-berekening, afhankelijk van de locatie. Dit blijkt vooral afhankelijk te zijn van de vraag of juist startend of landend verkeer dominant is op de meetpost.

Deze laatste waarneming is beter zichtbaar wanneer de resultaten uit Figuur 2 afzonderlijk worden weergegeven voor starts en landingen. Figuur 3 presenteert de resultaten voor alleen de landingen. Hierbij zijn de resultaten van de meetposten 13 en 23 niet opgenomen, omdat de bijdrage van de landingen aan de totale geluidbelasting voor deze meetposten niet geschikt is voor een goede vergelijking tussen meten en rekenen.



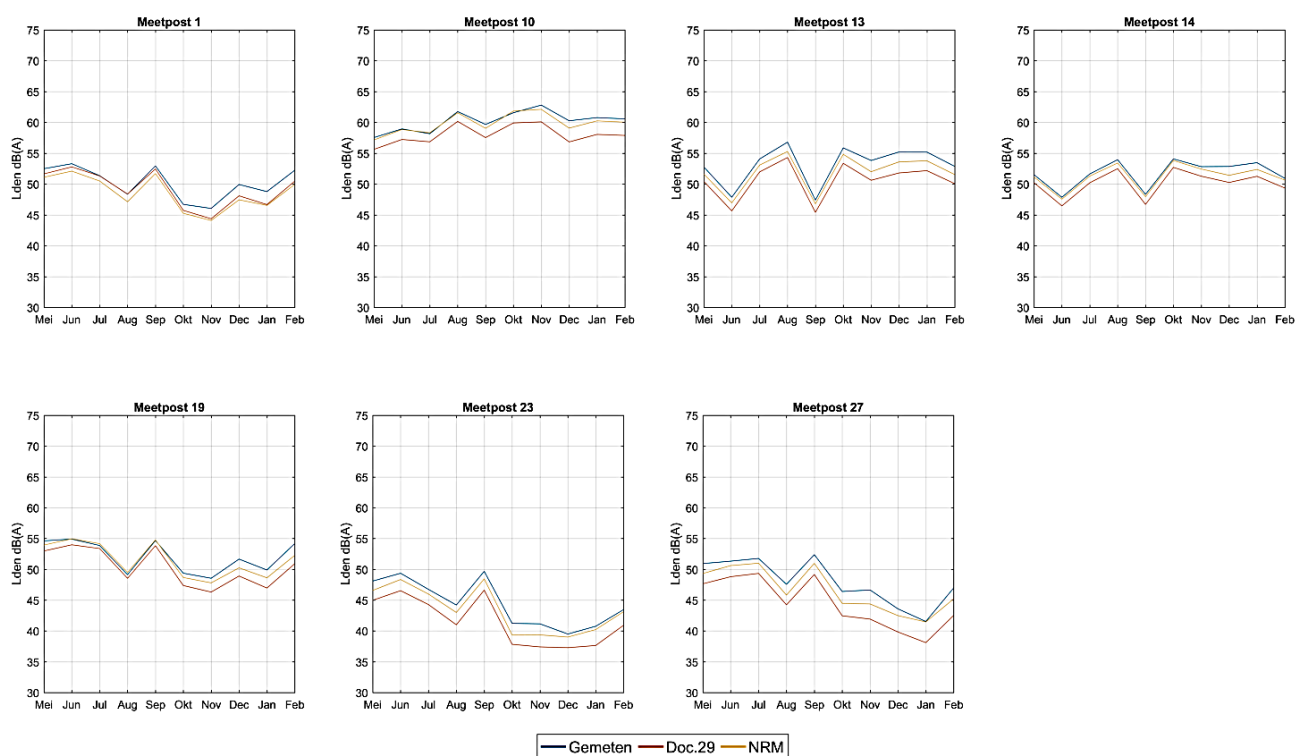


Figuur 3: Trends in berekende geluidbelasting (rood en geel) en geluidbelasting op basis van metingen (blauw), alleen landingen. De berekende niveaus zijn op basis van alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is

In Figuur 3 is te zien dat:

- Ook nu beide berekeningen de gemeten trends in de geluidbelasting redelijk goed volgen. Hoe goed beide modellen de metingen precies volgen is echter niet precies te bepalen op basis van deze figuren, maar zal in paragraaf 3.2 in meer detail worden onderzocht.
- De berekende niveaus op basis van Doc.29 in alle gevallen hoger zijn dan de berekende niveaus op basis van het NRM. Hierdoor is het verschil tussen Doc.29 en de metingen kleiner dan het verschil tussen NRM en de metingen.
- De verschillen tussen meten en rekenen relatief groot kunnen worden op locaties met een relatief lage geluidbelasting (voor landingen), zoals bij meetpost 19. De oorzaak voor dit verschil kan in dit geval zowel bij het meten, het rekenen of bij beide zitten. Voor berekeningen geldt dat de onzekerheden groter worden bij lagere geluidniveaus en voor metingen geldt dat het niet mogelijk is om de geluidbelasting van een bepaalde bron (in dit geval vliegtuigen) te meten als deze bron onvoldoende boven het achtergrondniveau uitkomt.

Figuur 4 presenteert de resultaten voor alleen de starts. Hierbij zijn de resultaten van de meetpost 20 niet opgenomen, omdat de bijdrage van de starts aan de totale geluidbelasting voor deze meetpost niet geschikt is voor een goede vergelijking tussen meten en rekenen.



Figuur 4: Trends in berekende geluidbelasting (rood en geel) en geluidbelasting op basis van metingen (blauw), alleen starts. De berekende niveaus zijn op basis van alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is

In Figuur 4 is te zien dat:

- Wederom beide berekeningen de gemeten trends in de geluidbelasting redelijk goed volgen. Hoe goed beide modellen de metingen precies volgen is echter niet goed te bepalen op basis van deze figuren, maar zal in paragraaf 3.2 in meer detail worden onderzocht.
- De berekende niveaus op basis van Doc.29 meestal lager zijn dan de berekende niveaus op basis van het NRM. Hierdoor is het verschil tussen Doc.29 en de metingen groter dan het verschil tussen NRM en de metingen.

Over het algemeen geldt dus dat Doc.29 voor landingen hogere niveaus berekent dan het NRM, terwijl dit voor starts andersom is. Dit verklaart vervolgens de onderlinge verhoudingen van beide modellen in Figuur 2: Op de locaties waar de bijdrage van de landingen klein is (bv. meetpost 13, 19 en 23) zijn de NRM niveaus hoger, terwijl op locaties waar de bijdrage van de starts klein is (met name meetpost 20) zijn de Doc.29 niveaus hoger. Ook op de meetposten waar de dominantie van starts en landingen per maand verschilt, zoals in meetpost 10, is dit effect zichtbaar.

De achterliggende oorzaak tussen het verschil in de niveaus van beide modellen bij starts en landingen is hiermee nog niet achterhaald. Om te controleren of het een effect is van bepaalde keuzes die zijn gemaakt bij de implementatie van Doc.29, is een extra analyse gedaan. Deze analyse wordt in paragraaf 4.1 besproken.

## 3.2 Correlatie tussen gemeten en berekende geluidniveaus

De correlatiecoëfficiënten geven inzicht in de mate waarin de berekende geluidniveaus zijn gecorreleerd met de geluidniveaus op basis van metingen, oftewel de mate waarin beide variabelen samenhangen (zie ref. 7). Hoe dichter de waarde van de correlatiecoëfficiënt bij 1 ligt, hoe sterker de positieve correlatie is. In het (hypothetische) geval dat het verschil tussen de berekende geluidniveaus en de geluidniveaus op basis van metingen in alle gevallen precies constant is, volgen beide variabelen precies dezelfde trend en is de correlatiecoëfficiënt gelijk aan 1. Dit is echter in praktijk niet mogelijk: door een combinatie van beperkingen aan metingen en aannames in de berekeningen zal de correlatie altijd lager dan 1 zijn. De mate van correlatie geeft geen inzicht in hoe dicht beide geluidniveaus bij elkaar liggen. Het is mogelijk dat de correlatie verbetert terwijl het absolute verschil tussen meten en rekenen toeneemt.

De correlatiecoëfficiënten worden bepaald op de gemeten en berekende SEL waarden per vliegbeweging. Dit is de bijdrage van een vliegbeweging aan de  $L_{den}$  of  $L_{night}$  geluidbelasting. De berekende correlatiecoëfficiënten zijn opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2: Correlatie tussen meten en rekenen voor beide modellen

Model	Totaal	Landingen	Starts
NRM	0,723	0,721	0,851
Doc.29	0,802	0,777	0,861

Uit de cijfers blijkt dat de correlatie tussen meten en rekenen voor het Doc.29 model hoger ligt. De verbeterde correlatie komt vooral naar voren bij de landingen. Voor starts scoorde het NRM al relatief hoog en scoort Doc.29 nog iets beter.

De correlatie is ook per meetpost bepaald. De resultaten van deze analyse zijn opgenomen in Tabel 3.

Tabel 3: Correlatie tussen meten en rekenen voor beide modellen per meetpost

Model	NMT1	NMT10	NMT13	NMT14	NMT19	NMT20	NMT23	NMT27
NRM	0,532	0,837	0,788	0,647	0,581	0,685	0,657	0,507
Doc.29	0,654	0,867	0,793	0,739	0,673	0,680	0,696	0,656

Opvallend is de grote spreiding in correlatie tussen de verschillende meetposten. Dit was voor het NRM al het geval en is voor Doc.29 niet anders. Locaties die slecht scoren voor het NRM (zoals meetpost 1 en 27) hebben ook voor Doc.29 nog steeds de laagste correlatie. Het is mogelijk dat beide geluidmodellen hier vergelijkbare aannames doen die de relatief lage correlatie kunnen verklaren, maar het zou ook een aanwijzing kunnen zijn voor onbetrouwbare metingen.

Uit de tabel blijkt verder dat Doc.29 beter correleert met de metingen dan het NRM. Op 6 van de 8 meetposten heeft Doc.29 duidelijk hogere correlatiecoëfficiënten dan het NRM en op de resterende 2 posten is de correlatie nagenoeg gelijk. Zoals reeds beschreven in het begin van deze paragraaf geeft de mate van correlatie geen inzicht in hoe dicht beide geluidniveaus bij elkaar liggen. Het is mogelijk dat de correlatie beter is terwijl het absolute verschil tussen meten en rekenen groter is.

### 3.3 Samenvatting resultaten trendanalyse

Deze paragraaf geeft een samenvatting van de in dit hoofdstuk beschreven analyses en de conclusies die daaruit getrokken kunnen worden:

- Deze resultaten laten zien dat zowel voor het oude rekenmodel (NRM) als het nieuwe rekenmodel (Doc.29) de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van geluidmetingen dezelfde trends volgen (zie paragraaf 3.1).
- Uit het onderzoek naar de correlatie tussen de gemeten en berekende geluidniveaus (zie paragraaf 3.2) blijkt dat de correlatie tussen meten en rekenen voor het Doc.29 model hoger ligt. De verbeterde correlatie komt vooral naar voren bij de landingen. Voor starts scoorde het NRM al relatief hoog en scoort Doc.29 nog iets beter.

Uit de resultaten is ook af te leiden dat de verschillen tussen meten en rekenen ook bij het gebruik van Doc.29 nog steeds goed zichtbaar zijn. Hoofdstuk 5 gaat in op een aantal opties over hoe hier in de toekomst mee om te gaan. Allereerst zullen echter in hoofdstuk 4 nog een aantal aanvullende analyses worden besproken.

## 4 Aanvullende analyses

In aanvulling op de trendanalyse, zijn een aantal aanvullende analyses uitgevoerd. Uit resultaten in paragraaf 3.1 bleek dat over het algemeen Doc.29 voor landingen hogere niveaus berekent dan het NRM, terwijl dit voor starts andersom is. De achterliggende oorzaak voor het verschil in de niveaus van beide modellen bij starts en landingen is niet achterhaald. Om te controleren of dit mogelijk een effect is van een bepaalde keuze die is gemaakt bij de implementatie van Doc.29, is een extra analyse gedaan. Deze analyse wordt in de paragraaf 4.1 besproken.

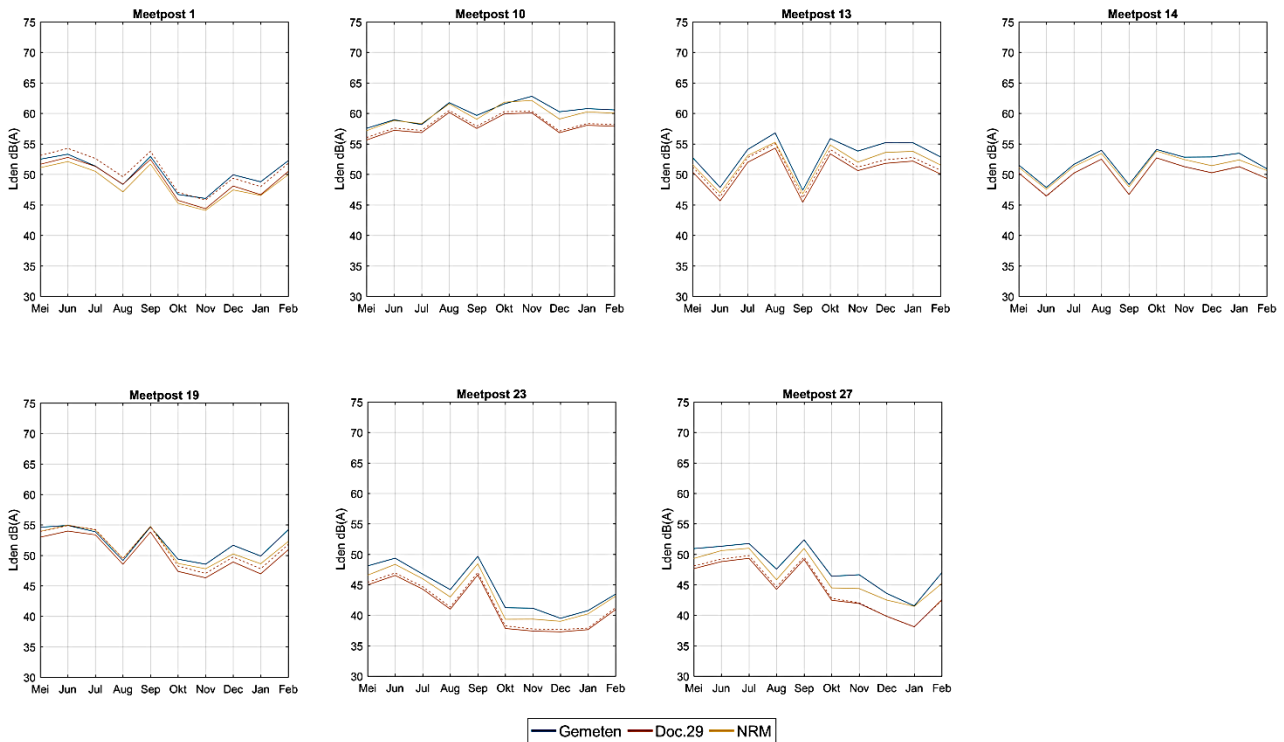
Tijdens het onderzoek bleek verder dat op bepaalde meetposten de meetwaarden, vooral in de wintermaanden, worden verstoord door harde wind. De effecten van deze verstoring zijn onderzocht in paragraaf 4.2.

Tenslotte worden in paragraaf 4.3 aanvullend op de trendanalyse, de berekende geluidniveaus van 5 vliegtuigtypes onderzocht. Dit geeft inzicht in de verschillen tussen meten en rekenen voor enkele veel voorkomende vliegtuigtypes en laat zien in hoeverre deze verschillen vergelijkbaar zijn voor deze types.

### 4.1 Effecten van het toepassen van *derating* voor starts

Bij het afleiden van de nieuwe prestatieprofielen voor Doc.29 is rekening gehouden met *derating*. Dit is het fenomeen dat veel vliegtuigen in de praktijk, zeker bij een relatief laag startgewicht en een lange startbaan, starten met gereduceerd motorvermogen. Dit geeft minder slijtage van de motoren en leidt daardoor tot lagere onderhoudskosten voor de luchtvaartmaatschappijen. De profielen die gebruikt worden voor het NRM hielden nog geen rekening met *derating*, maar zijn gebaseerd op de aanname van het gebruik van het maximaal beschikbare motorvermogen.

Om te bepalen wat het effect is van de keuze van het toepassen van *derating* zijn de Doc.29 berekening nogmaals uitgevoerd, maar nu zonder rekening te houden met *derating*. In Figuur 5 zijn deze resultaten (voor alleen de starts) toegevoegd aan de resultaten die eerder in Figuur 4 zijn gepresenteerd.



Figuur 5: Trends in berekende geluidbelasting (rood en geel) en geluidbelasting op basis van metingen (blauw), alleen starts. Voor Doc.29 is ook gerekend zonder 'derating' (stippellijn). De berekende niveaus zijn op basis van alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is

In Figuur 5 is te zien dat:

- Het niet toepassen van *derating* bij het afleiden van de profielen voor Doc29 over het algemeen leidt tot hogere geluidniveaus voor startend verkeer, maar dat nog steeds geldt dat de berekende niveaus op basis van Doc.29 meestal lager zijn dan de berekende niveaus op basis van het NRM. Dit verschil is dus niet (voornamelijk) het gevolg van het toepassen van *derating*.
- Het effect sterk afhankelijk is van de locatie van de meetpost. Voor meetpost 1 is het effect het grootste, voor meetpost 14 is het effect zo klein dat het zelfs niet zichtbaar is in het figuur.
- Het toepassen van *derating* weinig effect lijkt te hebben op mate waarin het model de metingen volgt, al is dat uit de figuur niet goed af te leiden. Aanvullend is daarom ook een correlatieanalyse uitgevoerd.

De correlatiecoëfficiënten zijn ook vergeleken voor de berekening met en zonder het toepassen van *derating* voor de starts. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 4.

Tabel 4: Correlatie tussen meten en rekenen, met en zonder modellering van *derating* voor de starts

Model	Totaal	Starts
Doc.29	0,802	0,861
Doc.29 zonder <i>derating</i>	0,786	0,840

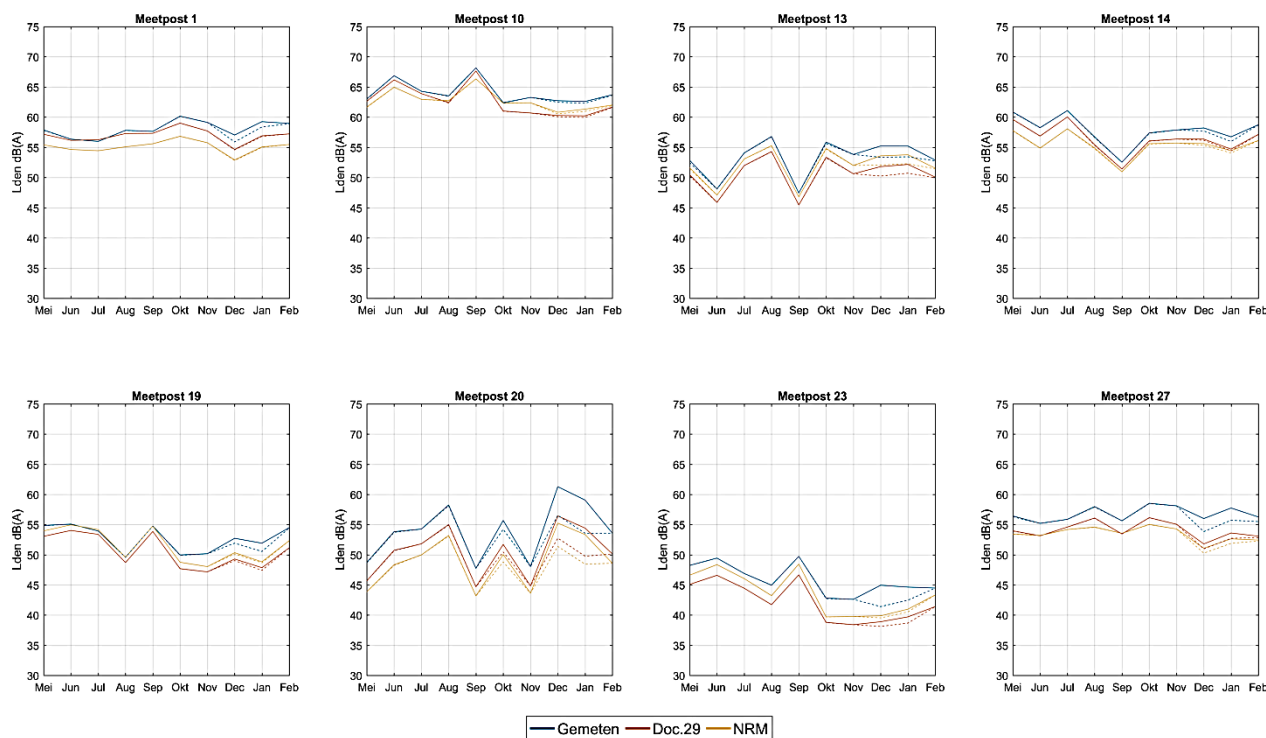
Uit de cijfers blijkt dat de keuze die gemaakt is om *derating* wel mee te nemen in de modellering uiteindelijk leidt tot een iets hogere correlatie.

## 4.2 Effecten van het toepassen van een windfilter

Tijdens het onderzoek zijn voor enkele vliegbewegingen opvallende verschillen tussen meten en rekenen geconstateerd. Dit effect speelde vooral bij meetpost 1 voor landingen op de Polderbaan (zie Figuur 1 voor de ligging van deze meetpost). Uit een nadere analyse blijkt dat hier zeer waarschijnlijk sprake was van stoorgeluid door de harde wind in de winter. Naar verwachting zal stoorgeluid ook op andere meetposten voorkomen. Bij het bestuderen van de meetgegevens bleek dat landingen op de Polderbaan in Zwanenburg (meetpost 1) tot hoge gemeten geluidniveaus leidden, wat gezien de ligging van deze meetpost ten opzichte van het vliegpad onverwacht is. Om deze verschillen te kunnen verklaren, zijn geluidsopnames van metingen met hoge waarden teruggeluisterd.

Dit is echter slechts een beperkte periode mogelijk omdat geluidsopnames na enige tijd worden verwijderd. Afhankelijk van de hoeveelheid metingen, kunnen metingen van ongeveer de 3 afgelopen weken teruggeluisterd worden. Aangezien ook in januari 2018 hoge meetwaarden voorkwamen in meetpost 1 ten gevolge van landend verkeer op de polderbaan, zijn een aantal van deze passages teruggeluisterd. Hieruit bleek dat in de meeste gevallen de harde wind ervoor zorgde dat het gemeten geluidniveau veel hoger werd. In sommige gevallen was het vliegtuig helemaal niet hoorbaar, terwijl de wind in andere gevallen duidelijk een veel hoger geluidniveau produceerde.

Naar aanleiding hiervan is besloten om de trendanalyse ook uit te voeren, maar nu alleen de metingen mee te nemen die zijn uitgevoerd bij een uurgemiddelde windsnelheid van 10 meter per seconde of lager. Hierdoor zijn metingen gedurende ruim 340 uur verwijderd, wat neerkomt op ongeveer 5% van het totaal aantal beschikbare metingen. De resultaten na het toepassen van dit windfilter zijn opgenomen in Figuur 6 (stippellijnen). De originele geluidbelasting uit Figuur 2 is ter vergelijking ook opgenomen.



*Figuur 6: Trends in berekende geluidbelasting (rood en geel) en geluidbelasting op basis van metingen (blauw), starts en landingen samen, inclusief de resultaten na het toepassen van een windfilter (stippellijnen). De berekende niveaus zijn op basis van alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is*

In Figuur 6 is te zien dat:

- Niet alleen de gemeten niveaus afnemen als gevolg van het filter, maar ook de berekende niveaus. Dit komt omdat de berekende niveaus zijn gebaseerd op alleen die vliegbewegingen waarvoor ook een meting beschikbaar is.
- Het windfilter vooral effect heeft in de wintermaanden, maanden waarin het vaak harder waait. Wind lijkt daarmee, in elk geval gedeeltelijk te verklaren waarom de verschillen tussen meten en rekenen in de winter groter zijn dan in de zomer.
- Het filter een relatief groot effect heeft op de resultaten voor meetpost 20. Dit komt waarschijnlijk doordat deze meetpost voornamelijk naderingen op de Buitenveldertbaan meet en omdat deze baan vaak wordt gebruikt als er te veel (zij)wind is op de overige banen van Schiphol, kortom, bij relatief hoge windsnelheden.
- Het lijkt dat als gevolg van het windfilter beide modellen de trends in de metingen wat beter volgen. Of dit ook statistisch gezien het geval is, zal in het vervolg van deze paragraaf worden onderzocht.

Er is ook gekeken naar het effect van het windfilter op de correlatie. De verwachting is dat de correlatie hierdoor zal stijgen, omdat de intentie van het filter is om verstoorde en/of onterechte metingen eruit te filteren. De resultaten staan in Tabel 5.

Tabel 5: Correlatie tussen meten en rekenen voor Doc.29, met en zonder toepassing van een windfilter

Model	Totaal	Landingen	Starts
Doc.29	0,802	0,777	0,861
Doc.29 met windfilter	0,837	0,821	0,872

De resultaten laten inderdaad zien dat de correlatie als gevolg van het filteren toeneemt. Vooral bij de landingen is de toename relatief groot, ook gezien het feit dat op basis van het filter slechts 5% van het totaal aantal metingen is verwijderd. Van het aantal verwijderde metingen was ongeveer twee derde een landing.

De correlatie is ook per meetpost onderzocht. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 6.

Tabel 6: Correlatie tussen meten en rekenen per meetpost, met en zonder toepassing van een windfilter

Model	NMT1	NMT10	NMT13	NMT14	NMT19	NMT20	NMT23	NMT27
Doc.29	0,654	0,867	0,793	0,739	0,673	0,680	0,696	0,656
Doc.29 met windfilter	0,732	0,870	0,836	0,781	0,721	0,702	0,748	0,709

Over het algemeen leidt het filter, zoals was verwacht, tot een verbetering van de correlatie. Vooral op meetpost 1 is het effect groot. Dit is ook de meetpost waar het probleem van de verdachte metingen naar voren kwam.

Samenvattend lijkt wind inderdaad een deel van de metingen te verstoren en een gedeeltelijke verklaring te zijn voor de grotere verschillen tussen meten en rekenen in de winterperiode. Wind blijkt echter niet volledig verantwoordelijk te zijn voor de verschillen die ontstaan tussen de zomerperiode en de winterperiode. Andere mogelijke oorzaken worden besproken in paragraaf 5.2 en in Appendix A.3.



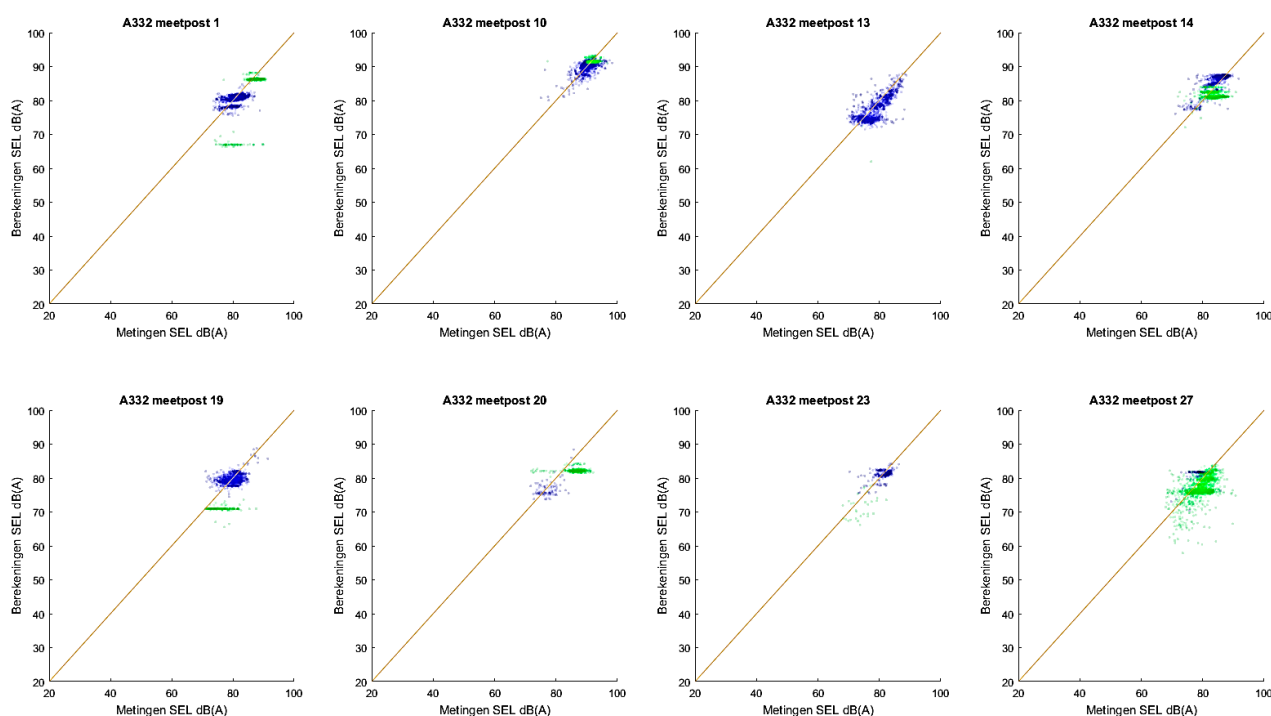
## 4.3 Analyse individuele vliegtuigtypes

Aanvullend op de bovenstaande trendanalyse, zijn gemeten en met Doc.29 berekende geluidniveaus van 5 vliegtuigtypes onderzocht. Hierbij is gekozen voor types die relatief veel van elkaar verschillen en die behoren tot de 10 types die de grootste bijdrage leveren aan de totale berekende  $L_{den}$  geluidbelasting op de meetlocaties gedurende de meetperiode. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen gemeten en berekende SEL waarden. Dit is de maat voor de hoeveelheid geluid van een individuele vliegbeweging en dit vormt de basis voor  $L_{den}$  en de  $L_{night}$  berekening.

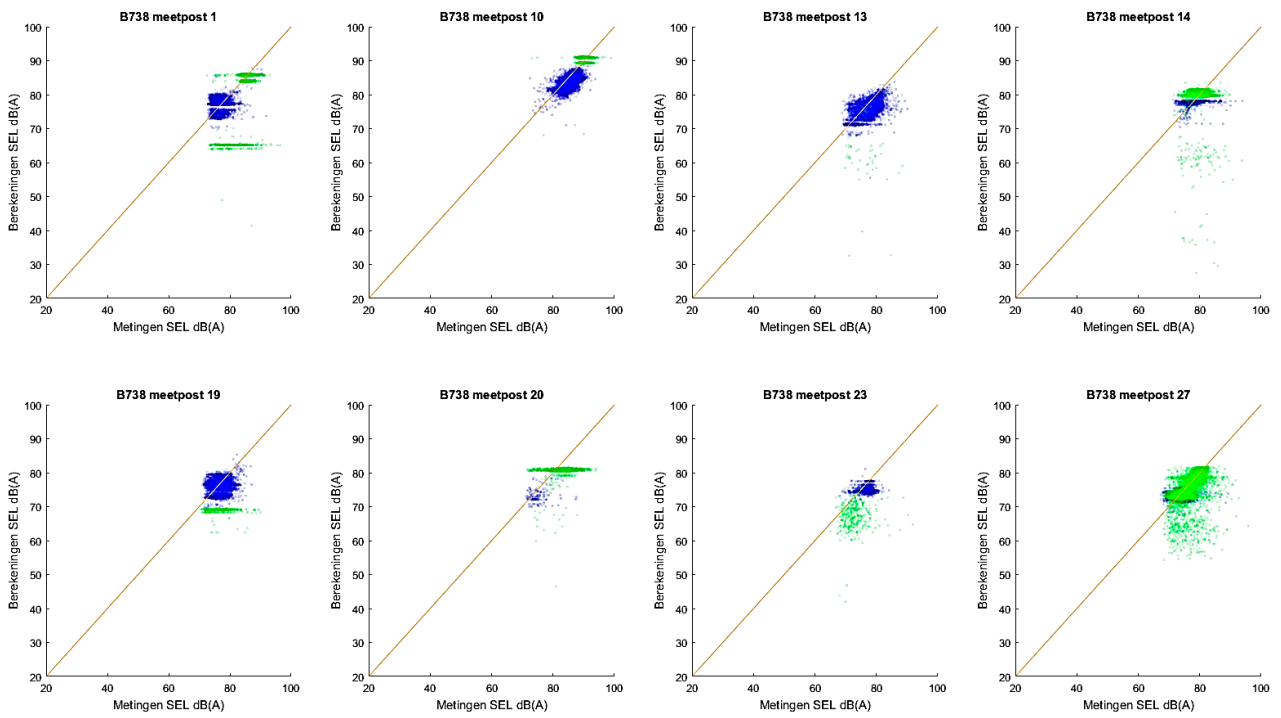
De volgende vliegtuigtypes zijn onderzocht:

- Airbus A330-200
- Boeing 737-800
- Boeing 747-400
- Boeing 777-300ER
- Embraer 190

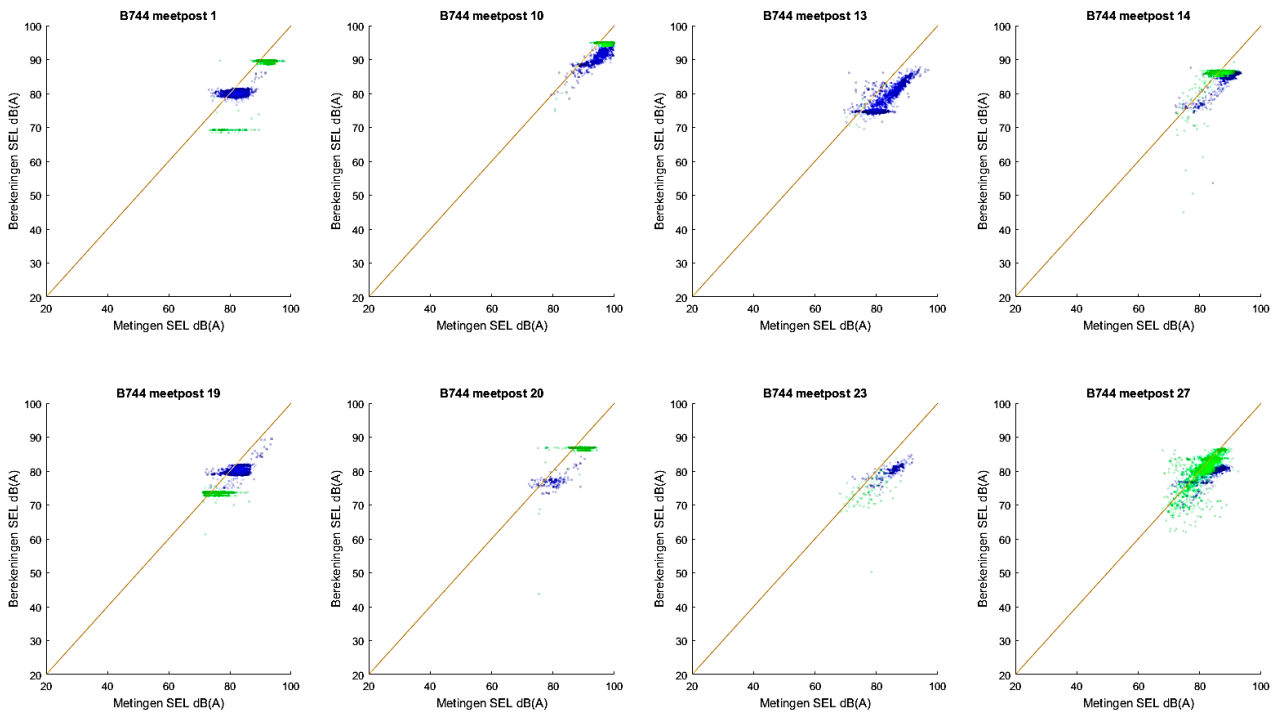
Voor deze types zijn figuren gemaakt waarin voor iedere vliegbeweging de berekende en gemeten SEL worden vergeleken. Daarnaast is een lijn toegevoegd waarop de gemeten en berekende waarde gelijk zijn. Indien de punten onder deze lijn liggen is de gemeten waarde hoger. De blauwe punten tonen de resultaten voor startend verkeer, de groene punten betreffen landend verkeer. Op de resultaten is geen filter toegepast.



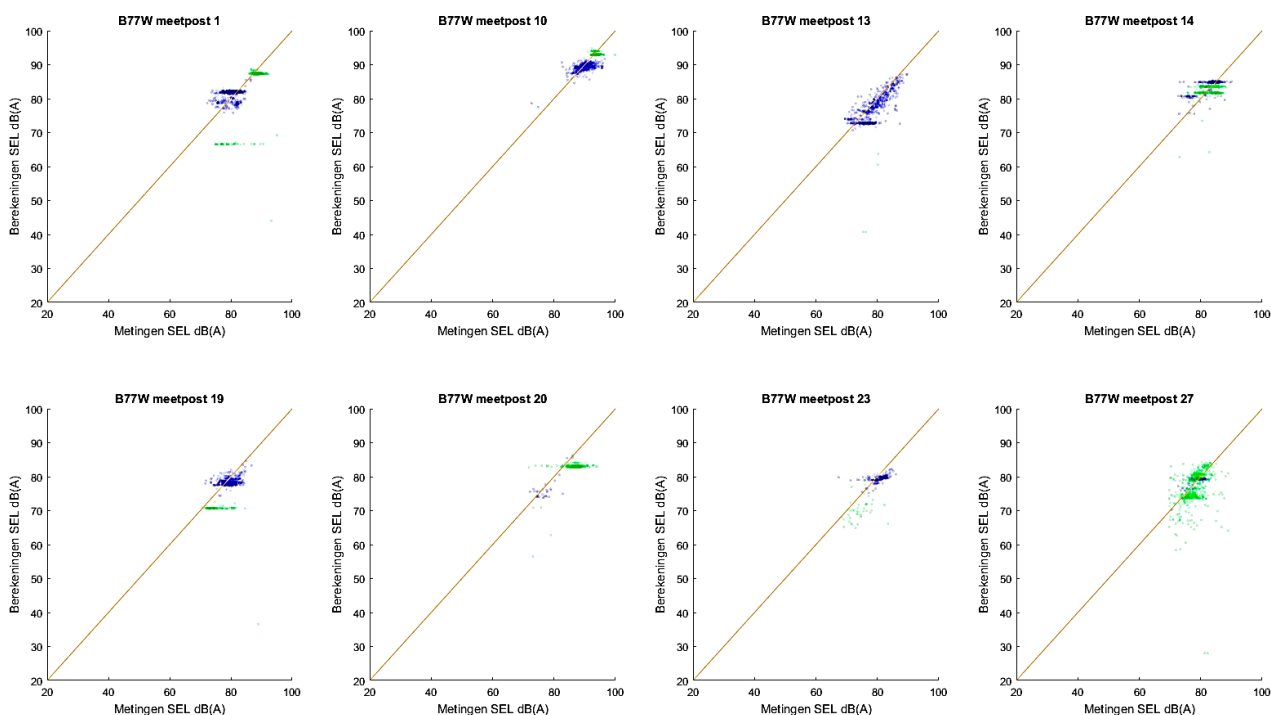
Figuur 7: Berekende en gemeten SEL waarden Airbus A330-200 voor startend (blauw) en landend verkeer (groen)



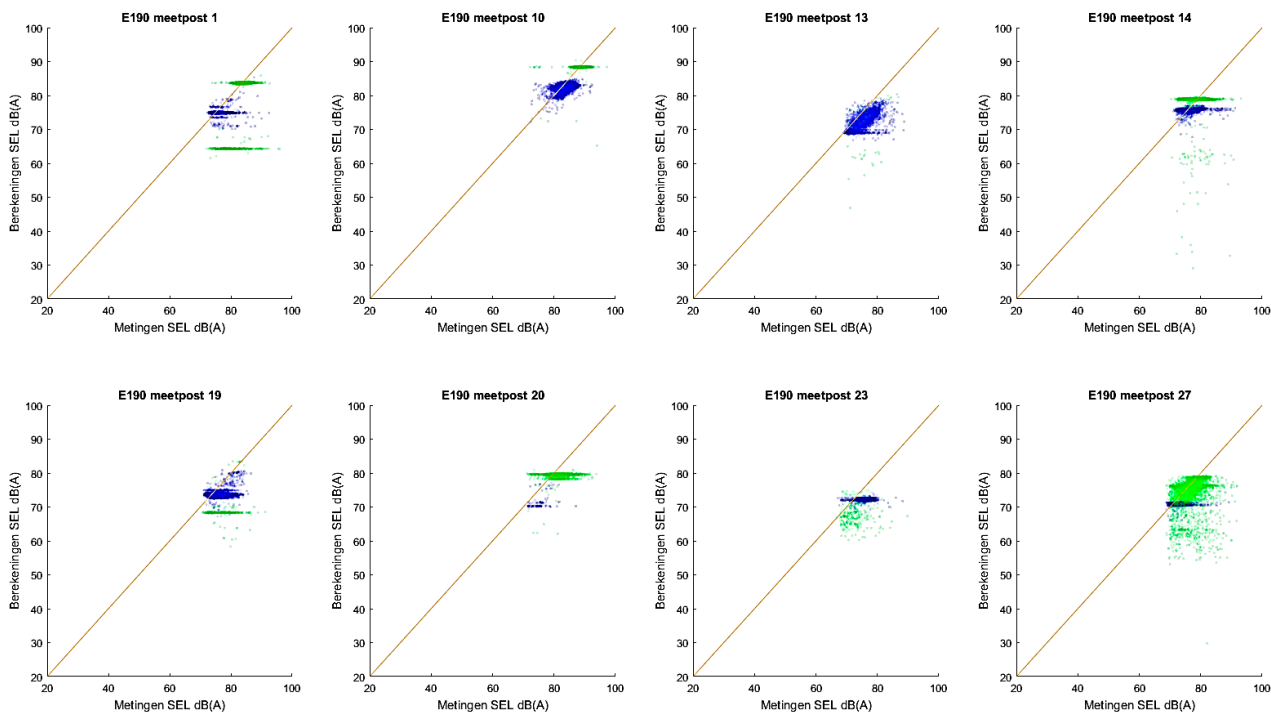
Figuur 8: Berekende en gemeten SEL waarden Boeing 737-800 voor startend (blauw) en landend verkeer (groen)



Figuur 9: Berekende en gemeten SEL waarden Boeing 747-400 voor startend (blauw) en landend verkeer (groen)



Figuur 10: Berekende en gemeten SEL waarden Boeing 777-300ER voor startend (blauw) en landend verkeer (groen)



Figuur 11: Berekende en gemeten SEL waarden Embraer 190 voor startend (blauw) en landend verkeer (groen)

Op hoofdlijnen laten de onderzochte vliegtuigtypes hetzelfde beeld zien als de vergelijking van de geluidbelasting voor alle vliegtuigtypes gezamenlijk. Wel komen de verschillen tussen meten en rekenen voor de Boeing 747-400 het

duidelijkst naar voren in de figuren. Voor de Airbus A330-200 is dit minder zichtbaar. De gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekende SEL waarden zullen doorwerken in het verschil tussen gemeten en berekende  $L_{den}$  waarden. Als gemeten SEL waarden gemiddeld een hogere waarde hebben dan berekende SEL waarden, zal doorgaans de  $L_{den}$  waarde op basis van metingen ook boven de berekende  $L_{den}$  waarde liggen.

Uit de voorgaande figuren blijkt onder andere het volgende:

- Gemiddeld liggen de gemeten waarden hoger dan de berekende waarden. Dit sluit aan bij de figuren in paragraaf 3.1 die aangeven dat de geluidbelasting op basis van metingen hoger is dan de berekende geluidbelasting.
- Uit de figuren blijkt dat alleen meetwaarden beschikbaar zijn boven een minimumwaarde van ongeveer 65 dBA. Dit wordt veroorzaakt doordat sprake is van een drempelwaarde, waarbij lagere meetwaarden niet worden meegenomen. Zoals beschreven in paragraaf Appendix A.1 kan geen vaste drempelwaarde worden aangegeven per meetpost. Dit leidt ertoe dat bij berekende waarden rond of onder de drempelwaarde alleen metingen gevonden worden die hoger zijn dan de berekende waarde.
- De berekende waarden voor landend verkeer relatief dicht bij Schiphol laten relatief weinig spreiding zien, bijvoorbeeld in meetpost 10. Dit komt mede doordat de meeste toestellen daar dezelfde route volgen. Eventuele verschillen worden daar nog veroorzaakt door verschillen in de vliegprofielen. Bij meetposten verder van de luchthaven, zoals meetpost 27, is een grotere spreiding in de berekende SEL waarden te zien. Bij meetpost 27 is sprake van startend en landend verkeer waarvan de routes, en dus de afstand tot de meetlocatie, een grote spreiding laten zien.
- Voor startend verkeer is een grotere spreiding te zien in de SEL waarden dan voor landend verkeer.
- De mate waarin de gemeten waarden hoger liggen dan de berekende waarden verschilt per vliegtuigtype. Voor de Boeing 747-400 (Figuur 9) komt dit het duidelijkst naar voren, voor de Airbus A330-200 (Figuur 7) minder.
- In meetpost 14 is vooral voor de B738 en de E190 te zien dat de berekende SEL waarde in een beperkt aantal gevallen ver onder de gemeten waarde ligt. Een aantal van deze gevallen is nader onderzocht, waaruit bleek dat er telkens sprake was van een vlucht die relatief lang op een hoogte van ongeveer 7000ft vloog en daarbij dicht bij de betreffende meetpost kwam. De lagere berekende waarde wordt in deze gevallen veroorzaakt doordat de gemodelleerde hoogte nabij de meetpost hoger ligt dan de werkelijke hoogte.
- In Figuur 11 is duidelijk zichtbaar dat bij meetpost 1 voor een aantal landingen van de Embraer 190 waarden van ongeveer 85 dBA berekend zijn en voor een andere groep landingen waarden van rond de 65 dBA worden gevonden. De eerste groep betreffen landingen op de Zwanenburgbaan en de tweede groep landingen op de Polderbaan. Voor de landingen op de Polderbaan valt op dat de meetwaarden duidelijk hoger liggen dan de berekende waarden. Dit fenomeen speelt ook voor de andere onderzochte vliegtuigtypes (Figuur 7 tot en met Figuur 10). Dit is met behulp van een steekproef onderzocht voor landingen op de Polderbaan met de Embraer 190. Hieruit blijkt dat vooral in december 2014 en januari 2015 onverwacht hoge meetwaarden gemeten worden voor Embraer 190 landingen op de Polderbaan. Uit een analyse van de radartracks blijkt dat de betreffende metingen niet veroorzaakt lijken te worden door andere vliegtuigen. Aansluitend is daarom verder gezocht naar een verklaring.

Om te kunnen bepalen wat de oorzaak is voor de hoge meetwaarden in meetpost 1 zijn geluidmetingen van het NOMOS meetnet teruggeluisterd voor metingen met hoge meetwaarden in meetpost 1 ten gevolge van landend verkeer op de Polderbaan. Hieruit bleek dat in de betreffende gevallen de harde wind ervoor zorgde dat het gemeten geluidniveau veel hoger werd. In sommige gevallen was het vliegtuig helemaal niet hoorbaar, terwijl de wind in andere gevallen duidelijk een veel hoger geluidniveau produceerde.

Vervolgens is onderzocht wat de windsnelheid was voor de tien metingen van op de Polderbaan landende E190 toestellen, waarbij een verschil van meer dan 30 dBA optrad tussen de berekende en gemeten SEL waarde. In 9 van de 10 gevallen bleek sprake van harde wind waarbij de gemiddelde windsnelheid gedurende een uur eenmaal windkracht 6 en in de overige gevallen windkracht 7 bedroeg en waarbij windstoten voorkwamen met nog hogere snelheden. Op basis hiervan is uiteindelijk een windfilter toegepast, zoals besproken in paragraaf 4.2.

## 4.4 Samenvatting resultaten aanvullende analyses

Deze paragraaf geeft een samenvatting van de in dit hoofdstuk beschreven analyses en de conclusies die daaruit getrokken kunnen worden:

- Het effect van het toepassen van *derating* voor starts (zie paragraaf 4.1) leidt in het algemeen tot lagere geluidniveaus voor startend verkeer, waarbij ook zonder het toepassen van *derating* nog steeds geldt dat de berekende niveaus op basis van Doc.29 meestal lager zijn dan de berekende niveaus op basis van het NRM. Dit verschil is dus niet (voornamelijk) het gevolg van het toepassen van *derating*. Daarnaast lijkt het toepassen van *derating* weinig effect te hebben de mate waarin het model de metingen volgt.
- Het toepassen van een windfilter, waarmee metingen die gedaan zijn bij harde wind niet zijn meegenomen, (zie paragraaf 4.2) laat zien dat het windfilter vooral effect heeft in maanden waarin het vaak ook harder waait. Wind lijkt daarmee, in elk geval gedeeltelijk te verklaren waarom de verschillen tussen meten en rekenen in de winter groter zijn dan in de zomer. Het lijkt dat als gevolg van het windfilter het Doc.29 model de trends in de metingen wat beter volgt. Het effect van wind lijkt echter niet volledig de verklaring te zijn voor de verschillen die ontstaan tussen de zomerperiode en de winterperiode.
- Bij het onderzoeken van specifieke vliegtuigtypes (zie paragraaf 4.3) is niet naar trends gekeken, maar naar verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus van individuele passages. Op hoofdlijnen laten de onderzochte vliegtuigtypes hetzelfde beeld zien als de vergelijking van de geluidbelasting voor alle vliegtuigtypes gezamenlijk. Wel komen de verschillen tussen meten en rekenen voor de Boeing 747-400 het duidelijkst naar voren in de figuren. Voor de Airbus A330-200 is dit aan de andere kant minder te zien.

De analyses in dit hoofdstuk laten zien dat zowel Doc.29 als het NRM de trends in gemeten geluid volgen en dat Doc.29 een betere correlatie laat zien. Daarnaast blijkt dat er wel verschillen optreden tussen de absolute gemeten en berekende  $L_{den}$  waarden.

Het is niet mogelijk om deze verschillen volledig te verklaren, doordat deze veroorzaakt kunnen worden door een groot aantal zaken (zie paragraaf Appendix A.3). Zo laten de analyses bijvoorbeeld zien dat wind de metingen beïnvloedt en daarmee een deel van de verschillen veroorzaakt en is het bekend dat bij berekeningen aannames worden gedaan met betrekking tot de atmosferische condities en de prestaties van vliegtuigen. Omdat per individuele vliegtuigpassage andere oorzaken zullen zorgen voor het verschil tussen gemeten en berekend geluidniveau kan geen algemene uitspraak gedaan worden over de reden voor het verschil tussen een gemeten en berekende  $L_{den}$  waarde.

## 5 Omgaan met verschillen tussen meten en rekenen

Uit hoofdstukken 3 en 4 blijkt dat er verschillen bestaan tussen gemeten en berekend geluid. Deze verschillen kunnen verschillende redenen hebben (dit wordt nader uitgelegd in Appendix A.3) en er kan op verschillende manieren worden omgegaan met de verschillen tussen meten en rekenen:

1. Accepteren dat er verschillen bestaan tussen meten en rekenen (zie paragraaf 5.1).
2. Met behulp van metingen nader onderzoek doen naar mogelijke verbeteringen van het rekenmodel (zie paragraaf 5.2).
3. Verschillen tussen meten en rekenen trachten te verkleinen door het toepassen van gekalibreerd rekenen (zie paragraaf 5.3).

Om tegemoet te komen aan de maatschappelijke wens voor het gebruik maken van metingen, beveelt het NLR aan om metingen een grotere rol te geven naast de berekeningen door het verschil tussen metingen en berekeningen terug te brengen met behulp van metingen. Hierbij valt het aan te bevelen om als eerste stap te zorgen dat de gehanteerde meetgegevens representatief en betrouwbaar zijn. Hiervoor zijn locaties nodig waarbij achtergrondniveaus laag zijn en de kans op verstoringen door andere geluidsbronnen minimaal is. In het algemeen zullen dit soort locaties niet eenvoudig in een stedelijke omgeving te vinden zijn. Daarnaast kan onderzocht worden of betrouwbaardere meetgegevens verkregen kunnen worden door de algoritmes te verbeteren waarmee meetposten vliegtuiggeluid herkennen. Dit wil zeggen dat de kans kleiner wordt dat een geluidmeting van een andere geluidsbron ten onrechte als vliegtuiggeluid wordt aangemerkt.

De precieze criteria die gesteld worden aan de meetgegevens kunnen worden vastgesteld zodra duidelijk is welke analyses uitgevoerd dienen te worden met de meetgegevens. Zodra voldoende representatieve en betrouwbare metingen beschikbaar zijn, kan op basis van deze gegevens onderzocht worden in hoeverre eventuele aanpassingen op het rekenmodel kunnen resulteren in kleinere verschillen tussen meten en rekenen.

Als besloten wordt om op basis van metingen modelverbeteringen uit te voeren of om gekalibreerd rekenen toe te passen, is het een punt van aandacht dat de mate van bescherming gelijk blijft door bij wijzigingen in het model ook de normen aan te passen. Dit om te garanderen dat niet alleen het verschil tussen meten en berekenen wordt verkleind, maar ook de normstelling gelijkwaardig blijft in de situatie na de kalibratie. Daarnaast moet nagedacht worden over de manier waarop de normstelling aangepast wordt, zodat er sprake blijft van een werkbare situatie (bijvoorbeeld niet ieder jaar het model aanpassen).

Het toepassen van metingen ten behoeve van handhaving wordt in dit rapport niet nader besproken omdat metingen niet zondermeer bruikbaar zijn voor handhaving. Dit komt onder andere doordat:

- Het niet onder alle omstandigheden mogelijk is om voldoende nauwkeurig te meten (bijvoorbeeld geen handhaving bij harde wind).
- Niet overal gemeten kan worden (bijvoorbeeld geen handhaving op locaties waar vliegtuiggeluid niet voldoende boven het achtergrondgeluidniveau uitkomt).
- Het aantal meetlocaties beperkt is (uit praktisch oogpunt is het niet haalbaar om honderden of duizenden kwalitatief hoogwaardige meetposten in te richten).

De drie hiervoor genoemde opties over hoe om te gaan met verschillen tussen meten en rekenen worden in de volgende paragrafen verder besproken.

## 5.1 Optie 1: Accepteren

In de huidige situatie spelen metingen geen rol bij de handhaving van vliegtuiggeluid, ook al is het al jaren bekend dat er verschillen bestaan tussen meten en rekenen, zoals onder andere blijkt uit referentie 9 uit 2009. Dit wil zeggen dat het geaccepteerd wordt dat deze verschillen bestaan zonder dat daar iets mee wordt gedaan.

Dit betekent overigens niet dat er geen metingen gedaan worden, maar de metingen die worden uitgevoerd (zoals met het NOMOS meetnetwerk) dienen alleen voor informatievoorziening voor mensen in de omgeving van luchthavens.

## 5.2 Optie 2: Nader onderzoek naar modelverbeteringen

Een analyse van verschillen tussen metingen en berekeningen kan zowel leiden tot een betere verklaring voor verschillen tussen meten en rekenen als een indicatie geven van verbetermogelijkheden van het rekenmodel. Dit laatste is aan de orde als bijvoorbeeld blijkt dat voor een bepaald type vliegtuig de metingen stelselmatig afwijken van de berekeningen. In dat geval is dat een aanleiding om de invoergegevens voor dat type nader te onderzoeken en mogelijk aan te passen. Dit kan bijvoorbeeld een correctie zijn op de prestatiegegevens van het toestel, maar het zou ook om andere gegevens kunnen gaan, zoals het gemodelleerde startgewicht.

Eén oorzaak voor verschillen tussen meten en rekenen is dat het geluidmodel rekent met een constante luchtdemping, terwijl deze in werkelijkheid varieert met de temperatuur en de luchtvochtigheid. Het effect hiervan is in deze studie niet onderzocht, maar kan wel in toekomstig onderzoek meegenomen worden. Hiermee kunnen verschillen tussen meten en rekenen wellicht beter verklaard worden. Dit onderwerp heeft ook de aandacht van AIRMOD, de werkgroep van de European Civil Aviation Conference (ECAC), die verantwoordelijk is voor het onderhoud en de ontwikkeling van het Doc.29 model. Naar verwachting zal AIRMOD de toekomst een advies geven over hoe om te gaan met het modelleren van de luchtdemping.

## 5.3 Optie 3: Gekalibreerd rekenen

In het verleden is op verzoek van de Commissie voor de m.e.r. gekeken naar gekalibreerd rekenen voor Schiphol (ref. 9). Het doel van de kalibratie is om het verschil tussen berekende en gemeten geluidniveaus te verkleinen door op basis van een grote hoeveelheid aanvullende metingen correctiefactoren voor de geluidtabellen te bepalen. Hierbij worden in referentie 9 wel enkele kanttekeningen geplaatst:

- Deze methode kan mogelijk leiden tot kleinere gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekend geluid. Omdat de methodiek niet wordt aangepast, leidt dit echter niet tot een kwaliteitsverbetering van het model (hiermee wordt in referentie 9 bedoeld dat het model de werkelijkheid niet anders/beter zal gaan beschrijven).
- Het is niet mogelijk om met behulp van geluidmetingen een zinvolle uitspraak te doen over het geluidniveau op locaties waar niet gemeten wordt. Dit komt onder andere doordat de stuwkracht van het vliegtuig niet geregistreerd wordt. Omdat op een groot aantal punten wordt gerekend en op een beperkt aantal punten gemeten, is het onbekend of gekalibreerd rekenen tot een verkleining van verschillen tussen meten en rekenen leidt op de punten waar niet gemeten wordt.

- Om de gemiddelde verschillen te kunnen verkleinen dient de kwaliteit van de toegepaste metingen van hoog niveau te zijn.

Samenvattend kan dus gesteld worden dat het toepassen van gekalibreerd rekenen een aantal beperkingen kent. Zo wordt het gemeten geluidniveau niet altijd veroorzaakt door de betreffende vliegpassage. Zo kan een andere geluidsbron hoorbaar zijn tijdens een meting waardoor de geluidniveaus van een vliegtuigpassage overschat worden. Meer informatie over beperkingen van het meten van vliegtuiggeluid is te vinden in referentie 6.

Eén beperking van metingen die tijdens dit onderzoek duidelijk naar voren is gekomen betreft de relatief hoge geluidniveaus die vooral in de wintermaanden worden gemeten als gevolg van harde wind. Het geluid van het vliegtuig is op die momenten slecht of zelfs helemaal niet hoorbaar. Om de betrouwbaarheid van de metingen te verhogen is op basis van de weersomstandigheden een deel van de beschikbare metingen niet gebruikt (zie paragraaf 4.2).

Ook is uit de resultaten af te leiden dat de verschillen tussen meten en berekenen afhankelijk zijn van de locatie. Hiermee wordt nogmaals bevestigd dat resultaten van metingen op een bepaalde locatie niet representatief hoeven te zijn voor locaties waar niet gemeten wordt.



## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Deze studie beoogt de volgende vragen te beantwoorden:

- Volgen de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van metingen dezelfde trends?
- Wat is de correlatie tussen berekende en gemeten geluidniveaus?
- Zijn de verschillen tussen meten en rekenen voor een aantal individuele vliegtuigtypes vergelijkbaar?

Voor de eerste twee vragen is daarbij ook een vergelijking gemaakt tussen de oude rekenmethodiek (NRM) en de nieuwe methode (Doc.29).

**Op deze vragen zijn de volgende antwoorden gevonden:**

- Deze resultaten laten zien dat zowel voor het oude rekenmodel (NRM) als het nieuwe rekenmodel (Doc.29) de berekende geluidbelasting en de geluidbelasting op basis van geluidmetingen dezelfde trends volgen. Wel geldt in de meerderheid van de gevallen dat de gemeten waarden hoger zijn dan de berekende waarden. De oorzaken hiervoor zullen zowel bij de metingen als bij de berekeningen liggen. Het feit dat metingen een hogere geluidbelasting geven kan onder andere verklaard worden door wind en het feit dat andere geluidsbronnen metingen kunnen verstoren.
- De bepaling van de correlatiecoëfficiënten laat zien dat de correlatie tussen meten en rekenen hoger ligt bij Doc.29 dan bij het NRM. Dit is vooral het geval bij het landend verkeer en in mindere mate bij startend verkeer. Het toepassen van een filter op de meetgegevens om situaties met harde wind buiten beschouwing te laten resulteert in een hogere correlatie en kleinere verschillen tussen meten en rekenen.
- Bij het onderzoeken van specifieke vliegtuigtypes is niet naar trends gekeken, maar naar verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus van individuele passages. Op hoofdlijnen laten de onderzochte vliegtuigtypes hetzelfde beeld zien als de vergelijking van de geluidbelasting voor alle vliegtuigtypes gezamenlijk. Wel komen de verschillen voor de Boeing 747-400 het duidelijkst naar voren in de figuren. Voor de Airbus A330-200 is dit minder te zien.

Samenvattend kan dus geconcludeerd worden dat Doc.29 goed in staat is om trends in de gemeten geluidbelasting te volgen, waarbij blijkt dat de uitkomsten van Doc.29 beter correleren met de meetresultaten dan de uitkomsten van het NRM.

### 6.2 Aanbevelingen

Uit conclusies blijkt dat Doc.29 in staat is om de trends in de gemeten geluidbelasting te volgen, maar dat er wel verschillen zijn tussen de absolute waarde van de gemeten en berekende geluidbelasting. Dit is ook het geval met het NRM, waarbij tot nu toe geaccepteerd is dat er verschillen bestaan en waarbij metingen geen rol spelen bij het uitvoeren van de berekeningen.

Om tegemoet te komen aan de maatschappelijke wens voor het gebruik maken van metingen, beveelt het NLR aan om metingen wel een rol te geven naast de berekeningen. Indien hiervoor wordt gekozen beveelt het NLR aan om als

eerste stap te zorgen dat de gehanteerde meetgegevens representatief en betrouwbaar zijn. De precieze criteria hiervoor kunnen worden vastgesteld zodra duidelijk is welke analyses uitgevoerd dienen te worden met de meetgegevens. Om dergelijke gegevens beschikbaar te maken kan eerst onderzocht worden welke reeds beschikbare meetposten dergelijke gegevens kunnen verschaffen en indien nodig kunnen aanvullende meetlocaties beschikbaar gemaakt worden.

Daarna adviseert NLR de volgende stappen te zetten:

1. Voer nader onderzoek uit naar de verschillen tussen meten en rekenen en eventuele modelverbeteringen. Dit kan bijvoorbeeld op de volgende wijze:
  - a. Probeer de gevonden verschillen tussen meten en rekenen beter te verklaren, bijvoorbeeld door het effect van variaties in temperatuur en luchtvochtigheid mee te nemen.
  - b. Voer een gedetailleerde analyse uit van de resultaten van dit onderzoek om mogelijke verbeteringen van het geluidmodel te identificeren en onderzoek of deze verbeteringen inderdaad leiden tot kleinere verschillen tussen meten en rekenen.
2. Verschillen tussen meten en rekenen trachten te verkleinen door het toepassen van gekalibreerd rekenen.

Gezien de beperkingen van gekalibreerd rekenen ligt het voor de hand om eerst voor de eerste optie te kiezen (zie paragraaf 5.3).

## 7 Referenties

1. H.M.M. van der Wal, P. Vogel en F.J.M. Wubben, *Voorschrift voor de berekening van de Lden en Lnight geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol, Part 1: Berekeningsvoorschrift*, NLR-CR-2001-372-PT-1.
2. Brief van de Commissie voor de m.e.r. (Th. Smit) van 23 februari 2017 aan het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (L.W.J.M. Bergman) met als onderwerp "Implementatie Doc29".
3. European Civil Aviation Conference, *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, ECAC.CEAC Doc.29, 4th edition, Volume II: Technical Guide, December 2016.
4. Motie van de leden Neppérus en Jansen, Kamerstuk 32 123 XI, vergaderjaar 2009-2010, nr. 70, 19 mei 2010
5. R.H. Hogenhuis, *Validatie van geluidreductie Geilenkirchen, Beschrijving en uitkomsten van validatie met behulp van metingen*, NLR-CR-2013-198, mei 2013.
6. D.H.T. Bergmans, H.W. Veerbeek en R.H. Hogenhuis, *Het meten van vliegtuiggeluid, wat is mogelijk en wat doen we ermee?*, NLR-CR-2014-037, januari 2014.
7. D.J. Sheskin, Chapman & Hall/CRC, *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, 4th Edition, 2007.
8. D.H.T. Bergmans, H.W. Veerbeek, *Analyses of measurements to enforce and to reduce aircraft noise*, NLR-TP-2010-366, December 2010.
9. D.H.T. Bergmans, F. van Deventer en A. de Jong, *Voortgangsnotitie Verbetering kwaliteit modelberekeningen vliegtuiggeluid*, 30 januari 2009.

## Appendix A Achtergrondinformatie meten versus rekenen van vliegtuiggeluid

Dit hoofdstuk geeft algemene informatie met betrekking tot het uitvoeren van metingen en berekeningen en de verschillen tussen meten en rekenen.

### Appendix A.1 Uitvoering van geluidmetingen

Geluid wordt gemeten met behulp van een geluidmeter. Deze bestaat in ieder geval uit een microfoon en elektronica waarmee het signaal dat de microfoon registreert tot een geluidniveau wordt verwerkt en opgeslagen. Bij het meten van vliegtuiggeluid wordt vaak gebruik gemaakt van geluidmeetposten, waarbij de microfoon op een mast geplaatst wordt. De opstelling van een mast met microfoon en elektronica, kan desgewenst worden uitgebreid, bijvoorbeeld met apparatuur om de meetgegevens te verzenden of met een hekwerk om de meetpost te beschermen.

Bij het meten van geluid kan zowel gebruik gemaakt worden van een mobiele meetpost die eenvoudig op verschillende locaties kan worden gebruikt, als van een geluidmeetpost die op één vaste locatie wordt geplaatst. Mobiele meetposten worden in het algemeen gebruikt bij relatief kortdurende metingen (maximaal enkele maanden), terwijl vaste meetposten zich juist lenen voor metingen die langer duren, zoals bij het NOMOS meetnet. Als slechts gedurende één of enkele dagen gemeten wordt, is het haalbaar om de meetpost continu te bemensen. Op die manier kunnen waarnemingen gedaan worden met betrekking tot geluidbronnen en stoorgeluiden.

Bij het uitvoeren van metingen wordt geluid geregistreerd van alle geluidsbronnen in de omgeving, zoals vliegtuigen, verkeer en industrie. Indien men alleen geïnteresseerd is in vliegtuiggeluid, kunnen vliegtuigpassages geautomatiseerd herkend worden, bijvoorbeeld door te bepalen wanneer het geluidniveau hoger wordt dan het achtergrondgeluidniveau of door de gegevens van meerdere meetposten te combineren. Immers, als een vliegtuig wordt gemeten door een meetpost onder de vliegroute, is de kans groot dat hetzelfde vliegtuig even later gemeten wordt door een tweede meetpost verderop onder de vliegroute.

Metingen kunnen worden uitgevoerd met verschillende doelen. Het doel van de meting heeft invloed op de specificaties van de meetpost en op de gegevens die bij de meting (naast geluidgegevens) verzameld en geanalyseerd moeten worden:

- Bij metingen voor het verzamelen van geluidgegevens voor rekenmodellen wordt niet alleen vliegtuiggeluid gemeten, maar worden ook weersgegevens en vliegtuig prestatiegegevens verzameld. De invloed van bijvoorbeeld achtergrondgeluid, weerseffecten, afscherming en reflecties worden bij dergelijke metingen zoveel mogelijk vermeden of de meetresultaten worden achteraf voor deze invloeden gecorrigeerd op basis van de aanvullende meetgegevens.
- Bij metingen ten behoeve van informatievoorziening is het in principe voldoende om alleen geluid te meten. Eventueel kunnen aanvullende gegevens verzameld worden, zoals radargegevens om te controleren of er een vliegtuig in de buurt was ten tijde van een meting.

Het NOMOS meetnetwerk dat gebruikt is voor deze studie is bestemd voor informatievoorziening aan omwonenden van Schiphol. Daarom zijn de meetlocaties over het algemeen gelegen binnen woonkernen en zijn de meetlocaties niet gekozen om een optimale vergelijking tussen meten en rekenen te kunnen maken. Desalniettemin zijn de

geselecteerde meetposten geschikt voor een trendvalidatiestudie, maar de verschillen tussen meten en rekenen anders zijn indien de meetposten op andere locaties geplaatst zouden worden (bijvoorbeeld locaties met een lager achtergrondgeluidniveau of locaties die beter onder de vliegroutes liggen).

Om de invloed van andere bronnen te beperken wordt doorgaans een meetdrempel toegepast. Indien het gemeten geluidniveau niet boven deze meetdrempel uitkomt wordt de meting niet meegenomen. De hoogte van de meetdrempel kan gevarieerd worden op basis van het achtergrondgeluidniveau per meetlocatie.

Ook op de NOMOS meetposten die in dit onderzoek gebruikt zijn is sprake van een meetdrempel. De gehanteerde drempelwaarde varieert per meetpost. Daarnaast is de drempelwaarde een piekniveau ( $L_{Amax}$ ) waarde, terwijl in dit onderzoek gebruik gemaakt wordt van SEL waarden<sup>1</sup>. Doordat de drempelwaarde een  $L_{Amax}$  is, is er geen exacte ondergrens aan te geven voor de minimum SEL waarde die gemeten kan worden.

## Appendix A.2 Uitvoering van geluidberekeningen

Bij het uitvoeren van een berekening worden eerst alle relevante invoergegevens verzameld en bewerkt zodat ze in het rekenmodel gebruikt kunnen worden. De invoergegevens bestaan onder andere uit prestatieprofielen en geluidgegevens. De prestatieprofielen beschrijven het verloop van de hoogte, vliegsnelheid en stuwkracht van een vliegtuig als functie van de afgelegde weg en de geluidtabellen beschrijven de geluidproductie van het vliegtuig als functie van de motorregeling en de afstand tot het vliegtuig. Deze geluidtabellen worden vastgesteld met behulp van geluidmetingen.

Als de invoergegevens beschikbaar zijn, worden de rekeninstellingen gedefinieerd, zoals de ligging van het rekengebied (op welke punten dient geluid berekend te worden) en welke geluidsmaat berekend dient te worden. Daarna kan een geluidberekening worden uitgevoerd voor iedere individuele vliegbeweging. Met behulp van het grondpad en het prestatieprofiel wordt een 3D vliegbaan gemaakt, waarbij op ieder moment de 3D positie, de snelheid en de stuwkracht van het vliegtuig bekend zijn.

De volgende stap is om de bijdragen van iedere individuele vliegbeweging per rekenpunt op te tellen om zo tot een totale geluidbelasting per rekenpunt te komen, waarbij met behulp van het rekenmodel een benadering wordt gemaakt van de werkelijke condities. Bij deze optelling worden nachtstraffactoren toegepast, waardoor vliegbewegingen die gedurende de avond of nacht plaatsvinden zwaarder meetellen dan vliegbewegingen die tijdens de dag plaatsvinden. Na afronding van de berekening, kunnen de resultaten desgewenst verder verwerkt worden, bijvoorbeeld om contouren te bepalen.

<sup>1</sup> Het geluidsblootstellingsniveau ( $L_{AE}$ ) wordt vaak aangeduid met de Engelse term Sound Exposure Level (SEL). Daarom wordt ook in dit rapport gebruik gemaakt van deze term.

## Appendix A.3 Oorzaken van verschillen tussen meten en berekenen

Dat er verschillen zijn tussen meten en rekenen is al lange tijd bekend (ref. 6). De volgende tabel geeft een overzicht van een aantal oorzaken voor verschillen tussen meten en rekenen, inclusief een indicatie van het effect op dit verschil. Doordat berekende en gemeten geluidniveaus van individuele vliegbewegingen verschillen, zullen ook de absolute waarden van een berekende  $L_{den}$  geluidbelasting en een  $L_{den}$  geluidbelasting op basis van metingen verschillen. Dit zal ook blijken uit de resultaten van dit onderzoek (zie hoofdstuk 3).

Tabel 7: Oorzaken voor verschillen tussen meten en rekenen

Oorzaak voor verschil	Effect
Bij metingen wordt een meetdrempel gehanteerd, waardoor niet alle passages gemeten worden.	<p>Door verschillende oorzaken laten geluidmetingen van vergelijkbare passages in de regel een aanzienlijke spreiding zien (zie ref. 8) terwijl de berekende geluidniveaus van deze passages gelijk of vergelijkbaar zijn. Zolang de modellen worden gebruikt om jaargemiddelde waarden te bepalen, maakt dit in principe niet uit.</p> <p>Echter, indien het werkelijke geluidniveau relatief laag is, vergelijkbaar met of lager dan de drempelwaarde, dan zal de <math>L_{den}</math> op basis van metingen hoger liggen dan de berekende <math>L_{den}</math> geluidbelasting op basis van de gemeten bewegingen. Dit komt doordat het gemiddelde gemeten geluidniveau hoger uitvalt omdat de passages met een lager dan gemiddeld niveau niet worden gemeten als gevolg van de meetdrempel.</p>
De hoogte en omgeving van de microfoon verschillen van de condities die worden gehanteerd in het geluidmodel.	<p>Beide geluidmodellen berekenen de geluidniveaus op 1.2 meter boven een akoestisch zachte ondergrond (grasland). De in dit onderzoek gebruikte NOMOS metingen worden vaak niet bij deze condities uitgevoerd.</p> <p>De grootte van de verschillen die hierdoor kunnen ontstaan zullen variëren per meetpost. Op het moment dat de omgeving akoestisch hard is en/of als de microfoon dicht bij het vliegp pad staat (bij een daklocatie), dan zullen de metingen gemiddeld hoger uitvallen.</p>
Tijdens de meting van vliegtuiggeluid kunnen ook andere bronnen geluid produceren.	Indien gedurende een vliegtuigpassage ook een andere bron geluid produceert met een niveau dat vergelijkbaar of hoger is dan het geluidniveau van het vliegtuig, zal de $L_{den}$ waarde op basis van geluidmetingen een hogere waarde hebben dan de berekening.
De $L_{den}$ geluidbelasting wordt bepaald door het optellen van de SEL waarden per vliegbeweging. Bij het meten van een SEL waarde, wordt niet alleen het hoogste geluidniveau van een vliegbeweging, maar ook lagere geluidniveaus gedurende de passage meegenomen.	Hierdoor is bij de meting van een SEL waarde de kans dat stoorgeluiden het meetresultaat beïnvloeden groter dan wanneer alleen het hoogste geluidniveau ten gevolge van een vliegbeweging wordt gemeten. Dit komt doordat bij het meten van de SEL waarde ook lagere geluidniveaus gedurende een passage worden meegenomen. Bij het meten van deze lagere geluidniveaus is de kans op verstoringen groter. Dit kan

Oorzaak voor verschil	Effect
	<p>vervolgens leiden tot een hogere <math>L_{den}</math> waarde op basis van metingen.</p> <p>Met name de metingen van de laagste SEL waarden kunnen gevoelig zijn voor stoorgeluiden, omdat hierbij de kans het grootste is dat stoorgeluiden van invloed zijn op het meetresultaat.</p> <p>Dit is getoetst met de beschikbare meetgegevens. Hieruit blijkt inderdaad dat de verschillen tussen gemeten en berekende SEL waarden groter zijn voor berekende SEL waarden van minder dan 75 dBA dan voor berekende SEL waarden van meer dan 75 dBA. In beide gevallen liggen de gemeten SEL waarden hoger dan de berekende SEL waarden.</p>
<p>Bij berekeningen worden aannames gedaan met betrekking tot het gedrag en de prestaties van het vliegtuig. Dit kan verschillen geven ten opzichte van de werkelijkheid.</p>	<p>Hierdoor kunnen metingen zowel hoger als lager uitvallen dan de berekening, afhankelijk van de verschillen tussen het gemodelleerde en werkelijke vlieggedrag.</p> <p>Wel geldt dat de Doc.29 modellering beter rekening houdt met het werkelijke vlieggedrag dan het NRM, onder meer doordat er veel meer naderingsprofielen beschikbaar zijn.</p>
<p>Bij berekeningen worden aannames gedaan met betrekking tot de atmosferische condities. Daardoor kunnen verschillen optreden ten opzichte van de werkelijke atmosferische condities.</p>	<p>Hierdoor kunnen metingen zowel hoger als lager uitvallen dan de berekening, afhankelijk van de verschillen tussen de gemodelleerde en werkelijke atmosferische condities.</p> <p>Daarnaast wordt in het rekenmodel het effect van wind op de propagatie van geluid door de atmosfeer niet meegenomen. Ook hierdoor kunnen metingen zowel hoger als lager uitvallen dan de berekening. Het effect van de wind zal per meetpost verschillen, mede afhankelijk van de ligging van de meetpost ten opzichte van de vliegbanen nabij de meetpost, relatief ten opzichte van de dominante windrichtingen.</p>
<p>Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat metingen gekoppeld kunnen worden aan de verkeerde vliegbeweging.</p>	<p>In dit soort gevallen kunnen voor die specifieke passage grote verschillen optreden tussen het gemeten en het berekende geluid. Het is niet onderzocht hoe vaak dit voorkomt. Dit zal per meetlocatie verschillen en dit kan zowel leiden tot situaties waarbij de berekening hoger als lager is dan de meting.</p>

*Deze pagina is opzettelijk blanco.*





**NLR**

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam, The Netherlands

p) +31 88 511 3113 f) +31 88 511 3210

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