



Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

Rapportage in het kader van gezondheidsonderzoek
Zuid-Limburg

Opdrachtgever

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en
Milieu

NLR-CR-2013-061 - November 2013



Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

Anthony Fokkerweg 2

1059 CM Amsterdam

Nederland

Tel 088 511 31 13

www.nlr.nl



Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

Rapportage in het kader van gezondheidsonderzoek
Zuid-Limburg

R.H. Hogenhuis, M. den Boer en D.H.T. Bergmans




Opdrachtgever
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
November 2013

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

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

Opdrachtgever Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
Contractnummer 3910016396
Eigenaar Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
NLR Divisie Air Transport
Verspreiding Deze rapportage is per 15 september 2014 onbeperkt beschikbaar.
Rubricering titel Ongerubriceerd
Datum November 2013

Goedgekeurd door:

Auteur R.H. Hogenhuis 	Reviewer H.W. Veerbeek 	Beherende afdeling R.W.A. Vercammen 
Datum 20/11/2013	Datum 20/11 2013	Datum 20/11/2013

Samenvatting

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gevraagd om een gezondheidsonderzoek voor de regio Zuid-Limburg uit te voeren. Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen of, en zo ja in welke mate, er effecten zijn op welzijn en gezondheid in samenhang met lange termijn blootstelling aan hoge geluidniveaus rondom de vliegbasis Geilenkirchen. In 2012 is een start gemaakt met dit onderzoek.

Vliegbewegingen van en naar de vliegbasis Geilenkirchen en de luchthaven Maastricht (Beek) zijn een belangrijke bron van vliegtuiggeluid in Zuid-Limburg. Daarom heeft het RIVM het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) verzocht om berekende gegevens aan te leveren over het door vliegtuigen geproduceerde geluid nabij luchthaven Maastricht en Geilenkirchen in 2002, 2006, 2008 en 2012. Tevens zijn berekeningen voor 2002 voor Schiphol uitgevoerd. Het NLR heeft alleen berekende gegevens en dus geen gemeten gegevens aangeleverd.

Het NLR heeft verschillende berekeningen uitgevoerd waarbij informatie is gegenereerd ten behoeve van het bepalen van de volgende geluidmaten:

- Kosteneenheden (Ke)
- L_{den}
- $L_{den, \alpha}$; hiertoe zijn Sound Exposure Level (SEL) berekeningen uitgevoerd
- L_{Amax}
- NA_x ; hiertoe zijn LA_{max} berekeningen uitgevoerd
- TA_x

Er is gekozen voor deze combinatie van geluidmaten omdat ze gezamenlijk een zo compleet mogelijk beeld geven van het geluid dat geproduceerd wordt door vliegverkeer in de regio Zuid-Limburg.

Naast het uitvoeren van de berekeningen is onderzocht in hoeverre het berekenen van C-gewogen geluidmaten (in plaats van de gangbare A-gewogen geluidmaten) van toegevoegde waarde kan zijn bij het in kaart brengen van gezondheidseffecten van vliegtuiggeluid in de omgeving van verschillende vliegvelden. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat er geen

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

aanleiding is om een C-weging toe te passen om eventuele onopgemerkte laagfrequente geluidkarakteristieken van AWACS vliegtuigen in geluidniveaus zichtbaar te maken.

Inhoud

Afkortingen	6
1 Introductie	7
2 Berekende geluidmaten	8
2.1 Geluidmaten voor elke vliegbeweging afzonderlijk	8
2.2 Geluidmaten voor meerdere vliegbewegingen	9
2.2.1 Kosteneenheden	10
2.2.2 L_{den} (Day-Evening-Night)	11
2.2.3 $L_{den, \alpha}$ (Day-Evening-Night, alpha)	11
2.2.4 Number Above en Time Above	13
2.3 Toelichting bij keuze voor geluidmaten	13
3 Toegepaste rekenmethode	16
3.1 Onderzochte vliegvelden	16
3.2 Berekeningsmethodiek	18
3.2.1 Invoergegevens	19
3.2.2 Rekenproces	20
3.3 Nadere toelichting bij de berekeningen	21
3.3.1 Geluidbelasting aan Duitse zijde van vliegbasis Geilenkirchen	21
3.3.2 Opknippen van circuitvluchten Geilenkirchen	22
3.3.3 Verschoven baandrempel Geilenkirchen	23
3.3.4 Realistischere snelheidsmodellering AWACS vliegtuigen	24
3.3.5 Weggelaten verkeer	25
4 Verschillen tussen A- en C-gewogen geluid	26
5 Conclusies	31
6 Referenties	32
Appendix A Beschrijving rekengebieden	33
Appendix B Figuren hoofdstuk 4	37

Afkortingen

Acronym	Omschrijving
A332	Airbus A330-200
B738	Boeing 737-800
B744	Boeing 747-400
dB	Decibel
dBA	A-gewogen decibel
dBC	C-gewogen decibel
IenM	Ministerie van Infrastructuur en Milieu
Ke	Kosteneenheid
L	Geluidniveau
L _A	A-gewogen geluidniveau
L _{Amax}	Maximaal A-gewogen geluidniveau of piekniveau
L _{AE}	Equivalent geluidniveau
L _C	C-gewogen geluidniveau
L _{den}	Day-Evening-Night Geluidbelasting
L _{den,alpha}	Day-Evening-Night Geluidbelasting met weegfactor voor piekniveaus
MD-11	McDonnell Douglas 11
NA	Number Above
NAVO	Noord-Atlantische Verdragsorganisatie
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium
NMT	Noise Monitoring Terminal
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
SEL	Sound Exposure Level
SPL	Sound Pressure Level
TA	Time Above

1 Introductie

Het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) gevraagd om een gezondheidsonderzoek voor de regio Zuid-Limburg uit te voeren. Het RIVM heeft hiertoe een projectvoorstel ingediend en het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen of, en zo ja in welke mate, er effecten zijn op welzijn en gezondheid in samenhang met lange termijn blootstelling aan hoge geluidniveaus rondom de vliegbasis Geilenkirchen. In 2012 is een start gemaakt met dit onderzoek.

Vliegbewegingen van en naar de luchthaven Maastricht (Beek) en de vliegbasis Geilenkirchen zijn een belangrijke bron van vliegtuiggeluid in deze omgeving. Daarom heeft het RIVM het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) verzocht om gegevens aan te leveren over het door vliegtuigen geproduceerde geluid nabij Geilenkirchen en luchthaven Maastricht. Tevens zijn berekeningen voor Schiphol uitgevoerd. Alle geluidgegevens die door het NLR zijn aangeleverd betreffen berekende gegevens en dus geen gemeten geluidgegevens.

Het RIVM heeft in overleg met het NLR een keuze gemaakt voor geluidmaten waarmee mogelijke effecten van vliegtuiggeluid op de volksgezondheid in kaart kunnen worden gebracht. Er zijn meerdere berekeningen uitgevoerd waarbij, voor verschillende jaren, meerdere geluidmaten zijn berekend.

Deze rapportage gaat over de berekeningen die het NLR voor het RIVM heeft uitgevoerd. Hierbij wordt ingegaan op de volgende onderwerpen:

- Overzicht van de berekende geluidmaten en een toelichting bij de betekenis van deze geluidmaten.
- Beschrijving van de invoergegevens en de methode waarmee deze geluidmaten berekend zijn.
- Informatie over het vliegverkeer van en naar vliegbasis Geilenkirchen in de periode voor 2000. Hierbij wordt gekeken naar de vergelijkbaarheid van de vlootsamenstelling, van aantallen vliegbewegingen en van vliegtuigprestaties.
- Een beschrijving van de invloed van het gebruik van C-gewogen geluidmaten in plaats van A-gewogen geluidmaten. Dit heeft tot doel om inzicht te krijgen in het mogelijke nut van C-gewogen geluidmaten voor toekomstige gezondheidsonderzoeken.

2 Berekende geluidmaten

Geluid ontstaat door drukveranderingen. Het geluidniveau (L) wordt daarbij uitgedrukt in ‘decibel’ (dB). Het geluidniveau wordt ook wel ‘sound pressure level’ (SPL) genoemd. Vliegtuiggeluid is samengesteld uit een mix van frequenties, met elk een eigen intensiteit. Omdat het menselijk gehoor niet voor elke frequentie even gevoelig is, worden de frequenties vaak gewogen voordat het geluidniveau bepaald wordt.

De A-weging wordt hierbij in de praktijk het meest gebruikt voor vliegtuiggeluid. Het A-gewogen geluidniveau (L_A) wordt uitgedrukt in ‘A-gewogen decibel’ (dBA). Hierbij worden de frequenties waarvoor het menselijk gehoor minder gevoelig is minder zwaar meegewogen dan de frequenties waarvoor het menselijk gehoor wel gevoelig is. Vliegtuiggeluid kan in verschillende geluidmaten uitgedrukt worden. De geluidmaten voor luchtvaart zijn op hoofdlijnen in twee groepen in te delen:

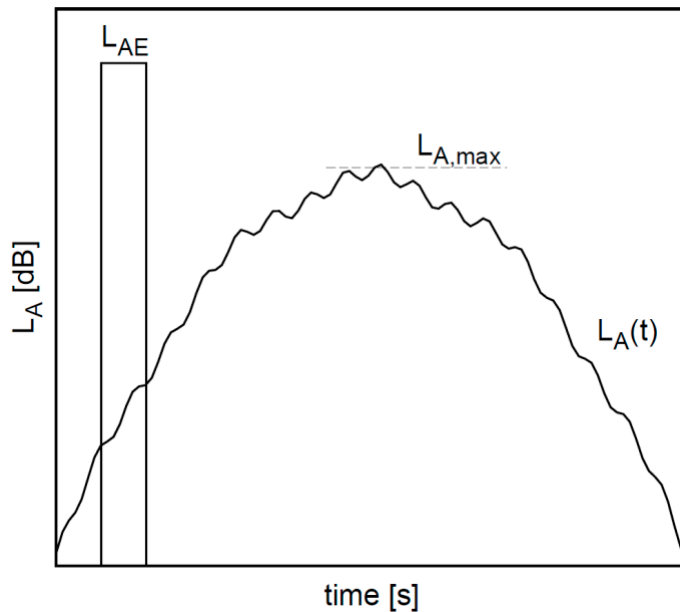
1. Geluidmaten voor elke vliegbeweging afzonderlijk. Het geluid van individuele vliegbewegingen wordt geluidniveau genoemd.
2. Geluidmaten voor alle vliegbewegingen samen. Het geluid van meerdere vliegbewegingen samen wordt geluidbelasting genoemd.

Een vliegbeweging betreft één start, of één landing. Beide bovengenoemde groepen geluidmaten zullen in de volgende twee paragrafen besproken worden.

2.1 Geluidmaten voor elke vliegbeweging afzonderlijk

Tijdens een vliegtuigpassage zal het (A-gewogen) geluidniveau eerst toenemen, een maximaal oftewel piekniveau bereiken (L_{Amax}) en vervolgens uitdoven. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 1, waarin het geluidniveau (L_A) is uitgezet tegen de tijd. De som van de verschillende geluidniveaus die gedurende de gehele duur van de passage wordt geproduceerd, kan worden opgeteld. Vervolgens kan deze over een bepaalde periode gelijk worden verdeeld. Deze maat voor geluid wordt het equivalente geluidniveau (L_{AE}) genoemd.

Het equivalente geluidniveau van een vliegtuigpassage genormaliseerd naar een periode van één seconde wordt het ‘Sound Exposure Level’ (SEL) genoemd. Dit wil zeggen dat de SEL het geluidniveau is dat, indien de vliegtuigpassage één seconde zou duren, dezelfde hoeveelheid geluidenergie zou produceren als de gehele beschouwde vliegtuigpassage. De SEL is dus een optelling van alle geluidenergie die gedurende een vliegtuigpassage wordt geproduceerd en is gelijk aan de L_{AE} indien de L_{AE} voor een periode van één seconde wordt bepaald (zie Figuur 1).



Figuur 1: Verschillende geluidmaten tijdens vliegtuigpassage

2.2 Geluidmaten voor meerdere vliegbewegingen

Geluidmaten voor meerdere vliegbewegingen samen geven de geluidbelasting weer. Er zijn verschillende maten die de geluidbelasting omschrijven. De geluidniveaus van alle individuele vliegbewegingen worden hiervoor op een voorgeschreven manier bij elkaar opgeteld. Hierbij kan voor de verschillende geluidmaten rekening gehouden worden met:

- De hoeveelheid geluid dat elk vliegtuig maakt
- Het aantal vliegbewegingen gedurende een periode
- Het tijdstip van de vliegbewegingen.

De volgende geluidmaten voor de geluidbelasting zijn in deze rapportage opgenomen:

1. Kosteneenheden
2. L_{den}
3. $L_{den,alpha}$
4. NA_x
5. TA_x

Al deze geluidmaten zullen worden berekend op een aantal punten of op een grid met gelijkmatig verdeelde punten. Daarbij zal voor ieder punt een losse berekening worden uitgevoerd om de waarde van de geluidmaat in het betreffende punt te vinden (zie paragraaf 3.2.2 voor meer uitleg over het rekenproces).

2.2.1 Kosteneenheden

De geluidmaat Kosteneenheden (Ke) is gebaseerd op het vliegverkeer gedurende een jaar en wordt bepaald voor de situatie buitenshuis. De Ke wordt bepaald door piekniveaus van afzonderlijke vliegbewegingen op te tellen, waarbij een nachtstraffactor wordt toegekend aan bewegingen gedurende de avond en de nacht, waardoor deze bewegingen zwaarder meewegen. De Ke geluidmaat wordt toepast voor handhavingsberekeningen voor vliegbasis Geilenkirchen, zoals voorgeschreven in het *Besluit zonering buitenlandse luchtvaartterrein Zuid-Limburg* (Ref. 1).

De formule voor de geluidbelasting uitgedrukt in Kosteneenheden is als volgt:

$$B = 20 \log (\sum N \times 10^{L_{Amax}/15}) - 157, \text{ uitgedrukt in Ke}$$

Waarin:

L_{Amax} = het piekniveau ten gevolge van één vliegtuigpassage, uitgedrukt in dBA en buitenshuis bepaald.

N = nachtstraffactor afhankelijk van de periode van het etmaal waarin de vliegtuigpassage plaatsvindt. Door deze nachtstraffactor zal een vliegbeweging tijdens de avond of nacht zwaarder meewegen in een Ke-berekeningen dan een vliegbeweging tijdens de dag (zie Ref. 2 voor een nadere toelichting).

Σ = somming van de bijdragen van alle relevante vliegbewegingen die gedurende één jaar starten van of landen op het vliegveld.

Ke berekeningen kunnen worden uitgevoerd met een afkap van 65 dBA¹. Dit wil zeggen dat vliegtuigpassages met een L_{Amax} lager dan 65 dBA buiten beschouwing worden gelaten. Dit is bijvoorbeeld gebeurd bij de zone-berekening voor de vliegbasis Geilenkirchen. Om die reden wordt de afkap ook in de jaarberekeningen voor Geilenkirchen toegepast. Bij de berekeningen in het kader van het gezondheidsonderzoek zijn de Ke-berekeningen echter zonder afkap uitgevoerd, waardoor alle vliegtuigpassages zijn meegenomen in de berekeningen.

¹ In het rekenvoorschrift voor Ke zonder afkap, staat te lezen dat het hanteren van een drempelwaarde van 65 dBA voort komt uit het feit dat ten tijde van de ontwikkeling van de Kosteneenheid als eenheid voor de geluidsbelasting van de grote luchtvaart, de geluidsgegevens van vliegtuigen in het algemeen niet werden gegeven beneden de 65 dBA. Bij het toch in rekening brengen van dergelijke lage geluidsniveaus zouden extrapolatiefouten kunnen ontstaan. Voorts speelde een rol dat er destijds uit oogpunt van hinderbeleving geen dringende redenen waren om bij de berekening van de geluidsbelasting in Kosteneenheden rekening te houden met geluidsniveaus lager dan 65 dBA.

2.2.2 L_{den} (Day-Evening-Night)

De L_{den} is een geluidmaat waarin, voor een willekeurige te onderzoeken periode, de totale bijdragen van vliegbewegingen wordt meegenomen. De L_{den} kent drie tijdsblokken:

- de dagperiode van 7 tot 19 uur
- de avondperiode van 19 tot 23 uur
- de nachtperiode van 23 tot 7 uur.

De L_{den} kan met de volgende formule bepaald worden:

$$L_{den} = 10 \log \left(\sum N 10^{\frac{SEL}{10}} \right) - 10 \log(T), \text{ uitgedrukt in dBA,}$$

Waarin:

SEL = sound exposure level (zie paragraaf 2.1), uitgedrukt in dBA en buitenshuis bepaald.

N = nachtstraffactor afhankelijk van de periode van het etmaal waarin de vliegtuigpassage plaatsvindt. Deze nachtstraffactor is gelijk aan 1, 3.16 of 10 voor respectievelijk de dag, avond of nacht.

Σ = somming van de bijdragen van alle vliegtuigen die in de onderzochte periode starten van of landen.

T = het aantal seconden in de onderzochte periode, in het geval van de berekeningen voor het gezondheidsonderzoek, is dit een heel jaar.

De L_{den} wordt rondom vele vliegvelden gebruikt om de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer te bepalen en is dus een standaardmaat voor vliegtuiggeluid. Voor Schiphol wordt de L_{den} gebruikt voor handhaving.

2.2.3 $L_{den, \alpha}$ (Day-Evening-Night, alpha)

Als de L_{den} geluidmaat wordt toegepast voor twee verschillende situaties, dan kan het zo zijn dat een vergelijkbare geluidbelasting berekend wordt terwijl de vliegtuigtypes en de aantallen vliegbewegingen in beide situaties helemaal niet overeenkomen. Zo resulteert 1 beweging gedurende de dag met een SEL waarde van 100 dBA in dezelfde L_{den} geluidbelasting als 1000 bewegingen gedurende de dag met een SEL waarde van 70 dBA.

Ondanks het feit dat beide situaties resulteren in dezelfde geluidbelasting, kan het zo zijn dat de effecten van het geluid en de beleving van omwonenden van een vliegveld in beide gevallen anders zijn. Zo blijkt bijvoorbeeld uit Ref. 3 dat in de omgeving van vliegbasis Geilenkirchen een hoger percentage inwoners ernstige hinder ervaart ten opzichte van de situatie rondom Schiphol

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

bij een gelijke L_{den} waarde. Een mogelijke verklaring hiervoor kan liggen in het feit dat in de omgeving van beide vliegvelden met andere vliegtuigtypes gevlogen wordt en dat ook de aantallen vliegbewegingen sterk verschillen.

De $L_{den, \alpha}$ is een maat die vergelijkbaar is met de reguliere L_{den} , waarbij extra gewicht wordt toegekend aan de hoogte van de SEL waarde en daarmee indirect ook aan de hoogte van het piekniveau (zie Ref. 4). De hoogte van het piekniveau bepaalt namelijk voor een belangrijk gedeelte ook de hoogte van de SEL waarde.

De $L_{den, \alpha}$ kan met de volgende formule bepaald worden:

$$L_{den, \alpha} = 10 \log \left(\sum N (10^{SEL/10})^\alpha \right) - 10 \log(T), \text{ uitgedrukt in dBA}$$

Waarin:

α = de weefactor die wordt toegekend om meer of juist minder waarde toe te kennen aan de hoogte van de SEL waarden. Indien α groter is dan 1, wil dit zeggen dat de waarde van $L_{den, \alpha}$ sneller zal stijgen wanneer er veel relatief hoge SEL waarden voorkomen.

In het voorbeeld uit het begin van deze paragraaf werd een vergelijking gemaakt tussen 1 event gedurende de dag met een SEL waarde van 100 dBA en 1000 events gedurende de dag van 70 dBA. Dit resulteerde in dezelfde L_{den} waarde. Indien voor hetzelfde voorbeeld een weefactor van 1.5 wordt toegepast, ligt de $L_{den, \alpha}$ in het geval met de hoge SEL waarden 1.5 dBA hoger, dan in het geval met de lage SEL waarden. Hieruit blijkt dat de events met een hogere SEL waarde (en dus een hogere piekwaarde) zwaarder meetellen door het toepassen van de weefactor.

Omdat de hoogte van de weefactor niet vooraf bepaald is, heeft het NLR de SEL waarden berekend die gedurende de verschillende perioden van de dag gegenereerd zijn. Met deze invoergegevens kan het RIVM zoeken naar een optimale weefactor die goed aansluit bij de gezondheidseffecten zoals die rondom een vliegveld worden vastgesteld.

Om de hoeveelheid berekende gegevens te beperken, zijn alleen SEL waarden van meer dan 60 dBA meegenomen. Zoals hiervoor besproken leveren lage SEL waarden een zeer kleine bijdrage aan de totale geluidbelasting ten opzichte van hoge SEL waarden. Uit een controle van de resultaten door het NLR blijkt dan ook dat de afwijkingen ten gevolge van het niet meenemen van SEL waarden lager dan 60 dBA niet relevant zijn voor dit onderzoek.

2.2.4 Number Above en Time Above

De Number Above geluidmaat wordt aangeduid met NA_x en geeft een indicatie hoe vaak een L_{Amax} waarde van X dBA gedurende een bepaalde periode wordt overschreden. Zo geeft de NA_{60} aan hoe vaak op een bepaald punt een geluidniveau groter dan 60 dBA voorkomt.

De Time Above, oftewel TA_x , is een vergelijkbare maat met NA_x , waarbij deze maat niet aangeeft hoe vaak, maar hoe lang een geluidniveau van X dBA wordt overschreden gedurende een bepaalde periode. Zo geeft de TA_{60} bijvoorbeeld aan hoeveel seconden een geluidniveau groter dan 60 dBA voorkomt.

Bij het bepalen van de totale TA_x waarde in een rekenpunt, wordt iedere individuele vliegbeweging geanalyseerd. De complete beweging wordt verdeeld in segmenten, waarbij ieder segment een deel van de totale 3D vliegbaan beschrijft. Vervolgens wordt het piekniveau per segment bepaald. De duur van ieder segment wordt afgerond op gehele seconden, waardoor kleine afrondfouten gemaakt worden. Uit een controle van de resultaten blijkt dat dit tot zodanig kleine afwijkingen leidt, dat deze niet relevant zijn voor het gezondheidsonderzoek.

2.3 Toelichting bij keuze voor geluidmaten

In de voorgaande paragrafen is toegelicht welke geluidmaten ten behoeve van het gezondheidsonderzoek worden gebruikt. In deze paragraaf wordt de keuze voor deze geluidmaten toegelicht en wordt uitgelegd waarom de combinatie van deze geluidmaten een logische combinatie van geluidmaten is voor een gezondheidsonderzoek.

Voor de handhaving rondom vliegbasis Geilenkirchen is de Ke de wettelijk voorgeschreven maat. Aangezien het geluid rondom de vliegbasis gelimiteerd is op basis van deze geluidmaat, is ervoor gekozen om de Ke te bepalen.

Doordat bij een Ke-berekening gebruik wordt gemaakt van piekniveaus van de beschouwde vliegbewegingen, heeft de duur van een event geen invloed op de uitkomst van de berekening. Kortom, indien twee passages plaatsvinden met een piekniveau van 80 dBA, waarbij de ene passage tweemaal zo lang hoorbaar is, dan zullen beide passages toch een gelijke bijdrage hebben aan de totale geluidbelasting.

Zowel nationaal als internationaal is de L_{den} een veelgebruikte geluidmaat om de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer rondom vliegvelden in uit te drukken. Daardoor is er ook relatief veel literatuur te vinden die relaties beschrijft tussen deze geluidmaat en gezondheidseffecten.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

De L_{den} is een geluidmaat waarbij, in tegenstelling tot bij de K_e , ook de duur van een vliegbeweging wordt meegenomen bij het bepalen van de geluidbelasting. Op basis van deze feiten is besloten om deze geluidmaat te bepalen in het kader van het gezondheidsonderzoek.

Zoals eerder besproken zijn ook berekeningen uitgevoerd voor Schiphol. Schiphol is een relevante luchthaven voor het gezondheidsonderzoek omdat voor deze luchthaven in het verleden ook gezondheidsonderzoeken zijn uitgevoerd. Twee verschillen tussen de situatie in de omgeving van vliegbasis Geilenkirchen en de omgeving van Schiphol zijn dat:

1. Op vliegbasis Geilenkirchen worden relatief meer vliegbewegingen uitgevoerd met toestellen met een hoge geluidproductie.
2. Het aantal vliegbewegingen van naar Schiphol veel hoger is dan het aantal vliegbewegingen van en naar Geilenkirchen.

Het lagere aantal vliegbewegingen in combinatie met de hogere gemiddelde geluidniveaus, kan er toe leiden dat de beleving en de effecten van een vergelijkbare L_{den} geluidbelasting bij beide velden toch anders kan zijn. Om dit mogelijke verschil tussen beide luchthavens te onderzoeken is de $L_{den,alpha}$ meegenomen in het gezondheidsonderzoek.

De K_e , L_{den} en $L_{den,alpha}$ geven inzicht in de totale geluidbelasting veroorzaakt door alle vliegbewegingen gedurende een jaar. In de literatuur worden echter ook gezondheidseffecten beschreven afhankelijk van de blootstelling aan bepaalde piekniveaus. Om te zorgen dat de veroorzaakte piekniveaus ook kunnen worden meegenomen gedurende het gezondheidsonderzoek, zijn de geproduceerde piekniveaus bepaald. Op basis van deze gegevens kunnen NA_x waarden bepaald worden voor alle relevant geachte geluidniveaus.

Een nadeel van deze maat is dat geen inzicht verkregen wordt in hoe ver het geluidniveau wordt overschreden. De waarde van NA_{60} voor 5 vliegtuigpassages met een piekniveau van 61 dBA is gelijk aan 5 passages waarbij 100 dBA wordt geproduceerd. Dit kan worden ondervangen door NA_x waarden te bepalen voor een groot aantal verschillende niveaus. Daarom levert het NLR zodanige invoergegevens dat het RIVM de NA_x waarden kan bepalen van NA_{60} tot NA_{110} met tussenstappen van 1dBA (dus NA_{60} , NA_{61} , NA_{62}, \dots , NA_{110}).

Een tweede nadeel is dat niet inzichtelijk wordt hoe lang bepaalde niveaus hoorbaar zijn. Om dit inzichtelijk te maken, zijn gegevens aangeleverd waarmee de TA_x kan worden bepaald voor geluidniveaus vanaf 60 dBA tot 110 dBA (vergelijkbaar met de NA_x gegevens). De keuze voor een

bovengrens van 110 dBA is gebaseerd op het feit dat deze waarde slechts sporadisch overschreden wordt in bewoond gebied.

Samen geven de onderzochte geluidmaten een compleet beeld van het geluid dat door vliegverkeer geproduceerd wordt. Hierbij worden zowel geluidmaten berekend die inzicht geven in de totale geluidbelasting ten gevolge van alle vliegverkeer gedurende een jaar, als in de geluidniveaus zoals die door afzonderlijke vliegbewegingen worden veroorzaakt.

3 Toegepaste rekenmethode

Dit hoofdstuk geeft inzicht in de methodiek die is gebruikt om de verschillende geluidmaten, zoals genoemd in het voorgaande hoofdstuk, te berekenen. Eerst worden de vliegvelden waarvoor berekeningen zijn uitgevoerd kort beschreven, en vervolgens wordt algemene informatie gegeven over de gehanteerde berekeningsmethodiek. Tot slot wordt ingegaan op de berekeningen zoals die specifiek in het kader van het gezondheidsonderzoek zijn uitgevoerd.

3.1 Onderzochte vliegvelden

In totaal zijn drie vliegvelden onderzocht:

1. Vliegbasis Geilenkirchen; een NAVO basis net over de Nederlands-Duitse grens ter hoogte van de Nederlandse gemeenten Onderbanken en Brunssum.
2. Luchthaven Maastricht; een regionale Nederlandse luchthaven in Zuid-Limburg.
3. Schiphol; de grootste luchthaven van Nederland.

De resultaten van Geilenkirchen en luchthaven Maastricht zijn zowel per individuele luchthaven als samen bepaald. Het opgetelde resultaat geeft een completer overzicht van het totale door vliegverkeer geproduceerde geluid boven Zuid-Limburg.

Voor de verschillende vliegvelden zijn op verzoek van het RIVM voor een aantal jaren berekeningen uitgevoerd. Voor zowel Geilenkirchen als luchthaven Maastricht zijn berekeningen uitgevoerd voor 2002, 2006, 2008 en 2012. Voor Schiphol zijn alleen berekeningen voor 2002 uitgevoerd.

Er zijn zogeheten puntberekeningen en gridberekeningen uitgevoerd. De puntberekeningen geven inzicht in het geluid op vooraf gedefinieerde punten, corresponderend met de woonlocaties van respondenten uit verschillende, eerdere enquêtes die voor RIVM onderzoek zijn uitgevoerd. Bij gridberekeningen wordt het geluid berekend op een set gelijkmatig verdeelde gridpunten (zie Appendix A voor aanvullende informatie). Voor 2002 en 2012 zijn gridberekeningen uitgevoerd en voor 2006 en 2008 zijn puntberekeningen gedaan, waarbij voor 2006 een andere set punten is doorgerekend dan voor 2008. Voor Schiphol zijn geen puntberekeningen uitgevoerd. Tabel 1 geeft een overzicht van de berekeningen die zijn uitgevoerd.

Tabel 1: Overzicht uitgevoerde berekeningen

Jaar	2002	2006	2008	2012
Geilenkirchen	gridberekening	puntberekening	puntberekening	gridberekening
Luchthaven Maastricht	gridberekening	puntberekening	puntberekening	gridberekening
Schiphol	gridberekening	-	-	-

Om ook inzicht te krijgen in de geluidbelasting in de omgeving van vliegbasis Geilenkirchen gedurende de jaren voor 2002, geeft Tabel 2 een overzicht van de aantallen vliegbewegingen van 1994 tot en met 2001. Voor de volledigheid zijn ook de aantallen vliegbewegingen in de jaren daarna opgenomen. Om meer inzicht te geven in de samenstelling van het verkeer gedurende deze jaren, is een uitsplitsing gemaakt naar het aantal starts en aantal landingen over Nederlands grondgebied. De tabel bevat geen informatie over aantallen vliegbewegingen over Duits grondgebied.

Tabel 2: Aantallen vliegbewegingen over Nederland van 1994 tot en met 2012²

Jaar	Starts	Landingen	Totaal
1994	2.310	790	3.103
1995	2.386	764	3.251
1996	1.915	1.074	3.135
1997	2.146	823	3.108
1998	2.821	603	3.424
1999	2.695	827	3.522
2000	3.342	563	3.905
2001	2.935	798	3.733
2002	2.517	1.012	3.529
2003	2.639	1.256	3.895
2004	2.445	876	3.321
2005	2.470	707	3.177
2006	1.994	851	2.845
2007	2.081	697	2.778
2008	2.266	617	2.883
2009	2.203	740	2.943
2010	1.986	802	2.788
2011	1.554	573	2.127
2012	1.531	442	1.973

² Tot en met 1997 is het totale aantal bewegingen niet gelijk aan de som van het aantal starts en landingen. Dit komt doordat tot dat moment niet voor alle vliegbewegingen bekend is of het een start of een landing betrof.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

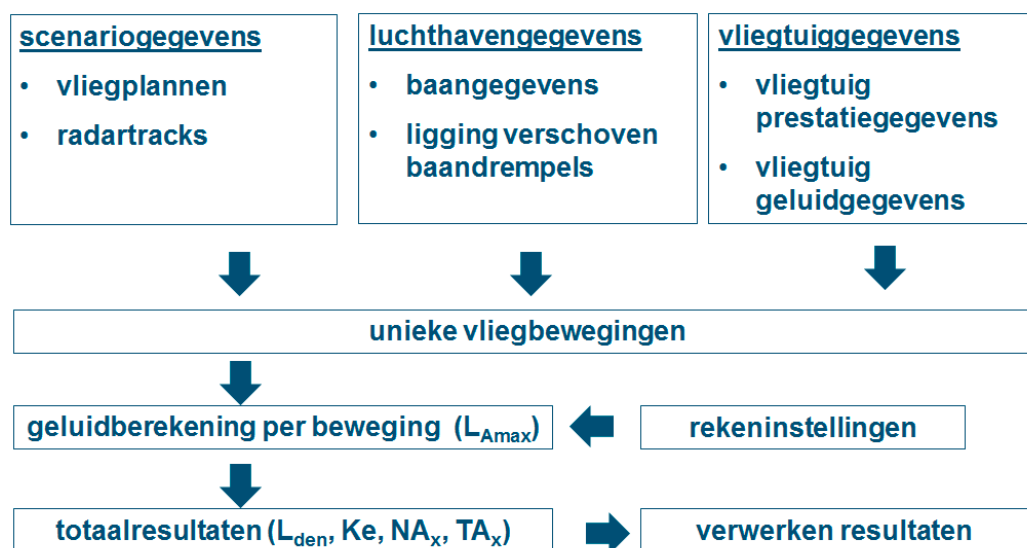
Tabel 2 geeft inzicht in het verloop het aantal vliegbewegingen gedurende de afgelopen 20 jaar. Te zien is dat de hoeveelheid vliegbewegingen in 2012 veel lager was dan in de andere jaren. Tussen 1994 en 2000 varieerde het aantal bewegingen tussen de 3103 en 3905 bewegingen. Doordat het aantal jaarlijkse bewegingen tot en met 2002 fors hoger was dan in 2006, 2008 en vooral 2012, kan aangenomen worden dat de geluidbelasting in 2006, 2008 en 2012 ook lager zal zijn dan in de andere jaren.

Wel kunnen verschillen in vliegroutes, in de verhouding tussen starts en landingen en in gebruikte vliegtuigtypes ertoe leiden dat lokaal verschillen optreden, terwijl het aantal vliegbewegingen vergelijkbaar is. Uit de tabel blijkt dat het aantal starts altijd groter is dan het aantal landingen. Het percentage landingen varieert van 14% tot 36%.

3.2 Berekeningsmethodiek

Alle uitgevoerde berekeningen zijn uitgevoerd volgens de wettelijk voorgeschreven rekenmethoden voor het bepalen van de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer in Ke (Ref. 5) en L_{den} (Ref. 6). De berekeningen van de overige geluidmaten zijn gebaseerd op een van beide methoden.

Figuur 2 geeft een globaal overzicht van geluidberekeningen met het Nederlandse rekenmodel. Voordat een berekening gestart kan worden dienen alle relevante invoergegevens verzameld te worden en zodanig verwerkt te worden dat ze in het rekenmodel gebruikt kunnen worden. De invoergegevens en het rekenproces zullen in het vervolg van deze paragraaf nader worden toegelicht.



Figuur 2: Overzicht geluidberekeningen

3.2.1 Invoergegevens

Om vliegtuiggeluid nabij een luchthaven te berekenen zijn drie types invoergegevens benodigd (zie de bovenste drie blokken in Figuur 2):

- Scenariogegevens
- Luchthavengegevens
- Vliegtuiggegevens

De scenariogegevens bevatten de volgende informatie voor iedere vliegbeweging:

- Vliegtuigtype; dit is van belang omdat vliegtuigprestaties en geluidproductie verschilt voor verschillende types.
- Starttijd of landingstijd, om te bepalen welke nachtstrafactor toegepast dient te worden in de K_e en L_{den} berekeningen.
- Vluchttype: start of landing.
- Gebruikt baanuiteinde; hiermee wordt bepaald in welke richting een vliegtuig vliegt.
- Radargegevens; hiermee wordt de gevlogene route bepaald.
- Gevolgde procedure; de procedure bepaalt de vliegtuigprestaties tijdens een vliegbeweging. De procedure wordt bepaald met behulp van radargegevens (door het hoogteverloop van een radartrack te analyseren, kan bepaald worden welke procedure is gevolgd).

Luchthavengegevens bevatten informatie over zaken die gerelateerd zijn aan de luchthaven en omvatten de volgende gegevens:

- Coördinaten van de uiteindes van de startbaan of startbanen.
- Indien relevant, de ligging van de verschoven baandrempeel of verschoven baandrempeels (zie paragraaf 3.3.3 voor nadere uitleg).
- Locaties van losse rekenpunten of gridpunten.

Vliegtuiggegevens beschrijven wat de vliegtuigprestaties zijn gedurende een vliegbeweging.

Vliegtuigprestaties betreffen het verloop van de hoogte, vliegsnelheid en stuwkracht van een vliegtuig als functie van de afgelegde weg. De vliegtuigprestaties zijn beschreven in zogeheten vliegprofielen of prestatieprofielen.

Tevens dienen gegevens beschikbaar te zijn over de geluidproductie van een vliegtuig, zodat voor de gehele vliegbaan kan worden bepaald hoeveel geluid een vliegtuig produceert. De geluidgegevens betreffen zogeheten geluidtabellen. Deze tabellen specificeren geluidniveaus als functie van de afstand van de waarnemer tot het vliegtuig en van de stuwkracht van het vliegtuig.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

Het kan voorkomen dat vliegtuiggegevens in de loop van de tijd op basis van nieuwe inzichten aangepast worden, bijvoorbeeld om de gemodelleerde vliegtuigprestaties beter aan te laten sluiten bij de werkelijkheid. Dit kan verschillende aanpassingen betreffen, bijvoorbeeld een aanpassing van het snelheidsverloop of hoogteverloop gedurende een startprocedure. Indien de gemodelleerde vliegtuigprestaties veranderen, kan dit vervolgens een effect hebben op de uitkomsten van een geluidberekening.

Voor de uitgevoerde berekeningen ten behoeve van het gezondheidsonderzoek is ervoor gekozen om voor ieder vliegveld voor alle berekeningen/jaren dezelfde gegevens te gebruiken. De gegevens die zijn gebruikt leiden volgens de huidige inzichten tot de meest nauwkeurige resultaten. Dit wil zeggen dat het mogelijk is dat andere invoergegevens zijn gebruikt dan tijdens berekeningen in het verleden. Een belangrijk voordeel hiervan is dat alle berekeningen ten behoeve van het gezondheidsonderzoek met dezelfde gegevens zijn uitgevoerd, waardoor geen verschillen in de resultaten ontstaan doordat andere vliegtuiggegevens gebruikt zijn.

3.2.2 Rekenproces

Om met behulp van de invoergegevens tot een geluidberekening te komen, dienen een aantal rekeninstellingen gedefinieerd te worden. Dit betreft de volgende zaken:

- Omvang van het rekengebied; hiermee wordt gedefinieerd met welk rekengrid (zowel de grootte van het rekengrid als de afstand tussen gridpunten) of voor welke punten geluidberekeningen dienen te worden uitgevoerd. In Appendix A staat meer informatie over de onderzochte rekengebieden.
- Definitie van de gewenste geluidmaat (dient er bijvoorbeeld een L_{den} of K_e berekend te worden).

Als de rekeninstellingen gedefinieerd zijn, en de invoergegevens beschikbaar zijn, kan een geluidberekening worden uitgevoerd voor iedere individuele vliegbeweging. Met behulp van het grondpad (deze volgt uit de radartrack) en het hoogteprofiel (deze is gedefinieerd in een prestatieprofiel) wordt een 3D vliegbaan gemaakt, waarbij op ieder moment de 3D positie, de snelheid en de stuwkracht van het vliegtuig bekend zijn. De snelheid en stuwkracht worden bepaald aan de hand van het prestatieprofiel.

De 3D vliegbaan wordt in segmenten opgedeeld en vervolgens wordt voor ieder segment de afstand tussen het vliegtuig en een rekenpunt bepaald. Met behulp van de geluidtabel kan met deze afstand en de stuwkracht bepaald worden hoe hoog het geluidniveau op de grond is. In het geval van een L_{Amax} berekening wordt slechts de hoogste L_{Amax} waarde meegenomen (dat wil

zeggen het piekniveau van de gehele vliegtuigpassage), terwijl voor een L_{den} berekening de bijdrage van ieder segment wordt meegenomen. Op deze wijze wordt voor ieder rekenpunt de gewenste geluidwaarde voor een individuele passage bepaald.

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. Bij deze optelling worden nachtstraffactoren toegepast, waardoor vliegbewegingen die gedurende de avond of nacht plaatsvinden zwaarder meetellen dan vliegbewegingen die tijdens de dag plaatsvinden.

Bovenstaande methodiek wordt toegepast om de geluidbelastingmaten K_e en L_{den} te bepalen en om de invoergegevens te genereren voor de $L_{den, \alpha}$, NA_x en TA_x berekeningen. De invoergegevens voor de $L_{den, \alpha}$, NA_x en TA_x berekeningen zijn tussenproducten van de K_e en L_{den} berekeningen. Dit wil zeggen dat deze invoergegevens ook bepaald zijn met de wettelijk voorgeschreven rekenmethoden voor het bepalen van de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer in K_e en L_{den} .

Zowel voor het uitvoeren van gridberekeningen als voor puntberekeningen wordt de hierboven beschreven berekeningsmethodiek toegepast. Doordat de puntberekeningen met iets andere instellingen worden uitgevoerd dan de gridberekeningen, zullen de resultaten van een puntberekening iets nauwkeuriger zijn dan de resultaten van een gridberekening³. Dit verschil in rekeninstellingen is wettelijk voorgeschreven.

3.3 Nadere toelichting bij de berekeningen

In de voorgaande paragraaf is toegelicht hoe de geluidmaten worden bepaald. In een aantal gevallen treden verschillen op tussen berekeningen voor verschillende vliegvelden. Zo worden bij de geluidberekening voor vliegbasis Geilenkirchen bijvoorbeeld circuitvluchten wel meegenomen, terwijl dit bij luchthaven Maastricht niet het geval is. Deze zaken zullen in deze paragraaf worden toegelicht. Tevens zijn in een aantal gevallen aanpassingen doorgevoerd aan berekeningen ten opzichte van handavingsberekeningen, met als doel de nauwkeurigheid van de berekeningen te verhogen. Deze paragraaf gaat in op de verschillen tussen de berekeningen en op aanpassingen ten opzichte van handavingsberekeningen.

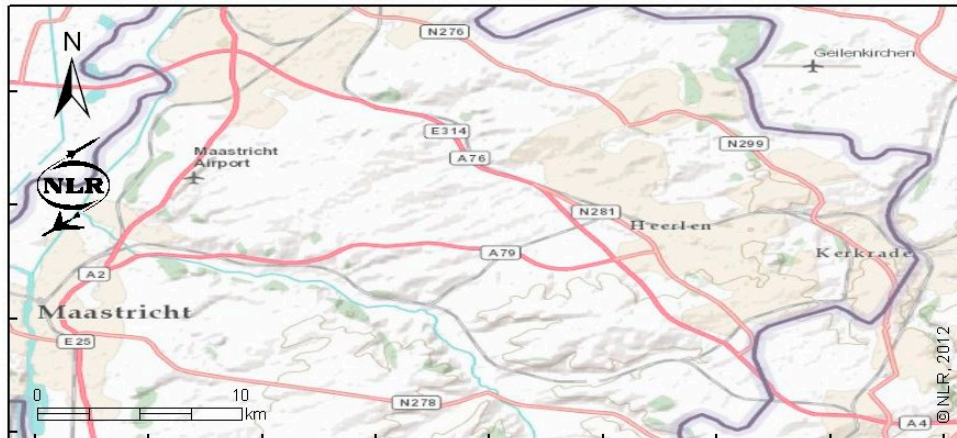
3.3.1 Geluidbelasting aan Duitse zijde van vliegbasis Geilenkirchen

Voor vliegvelden zoals Schiphol en luchthaven Maastricht, wordt altijd een bijdrage geleverd aan de geluidbelasting boven Nederlands grondgebied, ongeacht de gekozen landingsbaan of

³ Voor gridberekeningen is een integratiestap van 10 seconden voorgeschreven in het rekenvoorschrift voor L_{den} berekeningen, terwijl deze integratiestap voor puntberekeningen 2 seconden bedraagt.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

vliegrichting. Figuur 3 toont de ligging van luchthaven Maastricht (in de figuur aangeduid met Maastricht Airport) en Geilenkirchen (rechtsboven in de figuur). In de figuur is te zien dat de vliegbasis Geilenkirchen net over de grens in Duitsland ligt. Omdat verkeer van en naar het oosten over Duitsland vliegt, wordt dit verkeer niet meegenomen in de geluidberekeningen.

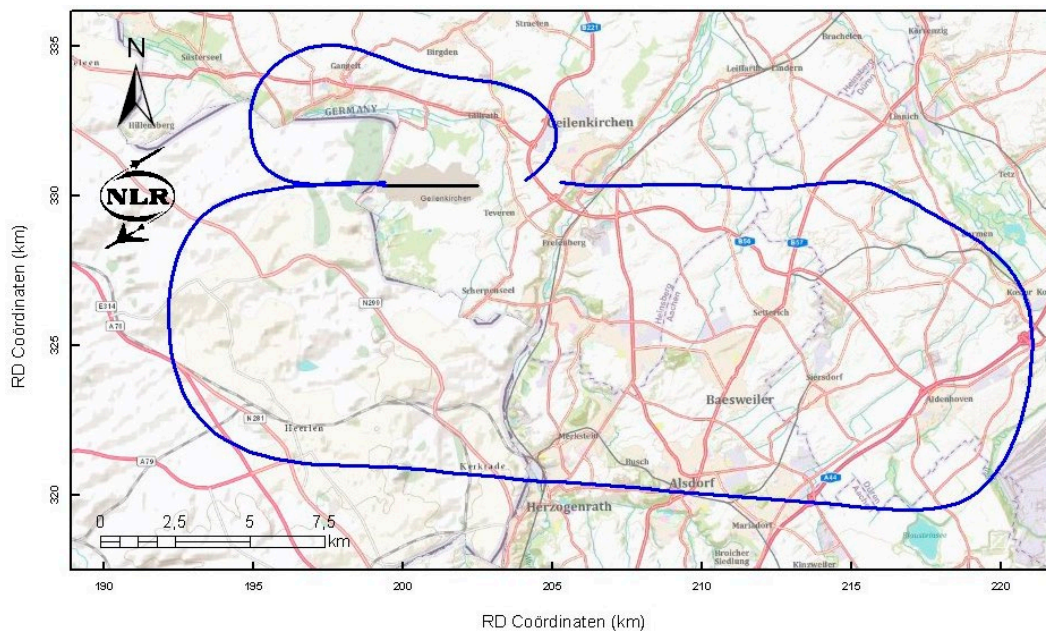


Figuur 3: Ligging van luchthaven Maastricht en vliegbasis Geilenkirchen

Omdat de geluidproductie boven Duits grondgebied niet van belang is voor Nederlandse handhavingsberekeningen, worden de invoergegevens, die nodig zijn om deze geluidproductie te bepalen, niet verzameld. Daarom zal het geluid geproduceerd door starts in oostelijke richting en landingen uit oostelijke richting ook niet worden bepaald bij de berekeningen ten behoeve van het gezondheidsonderzoek.

3.3.2 Opknippen van circuitvluchten Geilenkirchen

Een aanzienlijk deel van de totale geluidbelasting rondom de vliegbasis Geilenkirchen wordt veroorzaakt door circuitvluchten. Dit betreft trainingsvluchten die na de start niet doorvliegen naar een andere luchthaven, maar die een rondje vliegen om vervolgens weer te landen op vliegbasis Geilenkirchen. Figuur 4 toont twee circuitvluchten, waarvan er één in noordelijke richting vliegt, en één in zuidelijke richting.



Figuur 4: Voorbeeld van circuitvluchten Geilenkirchen

Om de geluidproductie van circuitvluchten goed in kaart te kunnen brengen wordt de radartrack van dit soort bewegingen opgeknipt, waardoor er een separate radartrack voor het eerste deel (de start) en voor het tweede deel van de vliegbeweging (de landing) beschikbaar is. Deze radartracks kunnen vervolgens worden gebruikt voor het berekenen van de geluidbelasting.

Zoals reeds beschreven in paragraaf 3.3.1, wordt geen geluid berekend voor landingen aan de Duitse zijde van de basis. Indien een circuit ten zuiden van de basis wordt gevlogen, kan het voorkomen dat de radartrack van deze circuitvlucht boven zuidoost Limburg wordt opgeknipt, ter hoogte van Landgraaf en Kerkrade. Omdat het tweede deel van de circuitvlucht een landing aan de Duitse zijde van de basis betreft, zal het deel van deze route over Nederland in deze gevallen niet meer worden meegenomen in de geluidberekeningen, waardoor de geluidbelasting dicht bij de grens in zuidoost Limburg onderschat wordt.

Meer details over de handavingsberekeningen rondom de vliegbasis Geilenkirchen staan in Ref. 2.

3.3.3 Vershoven baandrempel Geilenkirchen

Vliegtuigen landen niet volledig op het begin van een landingsbaan (de baandrempel), maar op ongeveer 300 meter na het begin van de baan. In sommige gevallen is er echter sprake van een zogeheten verschoven baandrempel, waardoor vliegtuigen nog verder op de baan landen. Dit

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

heeft gevolgen voor de vlieghoogte verder van het vliegveld waardoor de ligging van de baandrempel tevens gevolgen heeft voor de geluidniveaus op de grond.

Op de vliegbasis Geilenkirchen zijn beide baandrempels met 150 meter verschoven. Dit wordt echter niet bij alle geluidberekeningen meegenomen, bijvoorbeeld bij het bepalen van de wettelijk vastgestelde geluidzone. Door het niet meenemen van de verschoven baandrempel, zullen de door landende vliegbewegingen veroorzaakte geluidniveaus iets overschat worden.

De berekeningen voor het gezondheidsonderzoek hebben niet tot doel om vergeleken te worden met de zoneberekening, maar moeten een zo realistisch mogelijke benadering van de werkelijkheid geven. Daarom is er voor de berekeningen in het kader van het gezondheidsonderzoek voor gekozen om de verschoven baandrempel mee te nemen in de modellering. Dit geeft een zo goed mogelijke weergave van de werkelijke geluidniveaus.

Ook bij berekeningen voor Schiphol en luchthaven Maastricht is sprake van verschoven baandrempels (afhankelijk van de landingsbaan). Hiermee wordt rekening gehouden bij de berekeningen, conform de standaardberekeningen voor deze vliegvelden. Hier is dus geen sprake van verschillen ten opzichte van handhavingsberekeningen.

3.3.4 Realistischere snelheidsmodellering AWACS vliegtuigen

De geluidzone voor vliegbasis Geilenkirchen is een 35 Ke contour. Daarom wordt de geluidbelasting voor de handhaving ook uitgevoerd in Ke. De Ke geluidmaat wordt bepaald op basis van piekniveaus van alle jaarlijkse vliegbewegingen (zie ook paragraaf 2.2.1), waardoor de vliegsnelheid geen effect heeft op de uitkomst van de berekeningen.

In het verleden is geconstateerd dat de vliegsnelheden van AWACS verkeer zoals beschreven in de prestatieprofielen die worden gebruikt voor handhavingsberekeningen niet optimaal aansluiten bij de werkelijke vliegsnelheden rond de vliegbasis Geilenkirchen. Dit heeft geen gevolgen voor de Ke berekeningen, omdat deze berekeningen gebaseerd zijn op piekniveaus, waardoor de duur van een vliegtuigpassage bij deze indicator niet meegenomen wordt (zie paragraaf 2.2.1). Voor de bepaling van geluidmaten waarbij de duur van een vliegtuigpassage van belang is, zoals de L_{den} en de TA_x is dit wel van belang. Daarom zijn ten behoeve van een eerder RIVM onderzoek (Ref. 3), onder andere met behulp van radargegevens, prestatieprofielen gegenereerd met een realistischer snelheidsverloop.

Ook voor het gezondheidsonderzoek zijn deze realistischer vliegtuigprestatiegegevens gebruikt. Concreet wil dit zeggen dat andere snelheidsgegevens zijn gebruikt dan in de

handhavingsprofielen, met als doel om beter aan te sluiten bij de actuele situatie in Zuid-Limburg.

3.3.5 Weggelaten verkeer

Bij de berekeningen van de geluidbelasting voor luchthaven Maastricht zijn niet alle vliegbewegingen meegenomen. De volgende types vliegbewegingen zijn niet meegenomen:

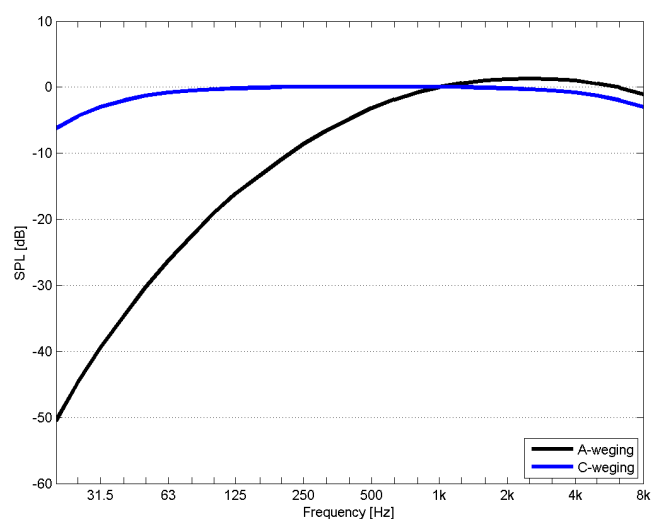
- Verkeer met een maximaal startgewicht van minder dan 6000 kg. De keuze om 6000 kg als grens te nemen is gebaseerd op het Ke rekenvoorschrift. Verkeer onder de 6000 kg betreft veelal circuitvluchten of verkeer waarvoor in de meeste gevallen onvoldoende informatie beschikbaar is om een berekening uit te voeren. Omdat de geluidproductie van dit verkeer laag is, zal dit weinig effect hebben op de totale geluidbelasting.
- De rekensoftware voor vliegveld luchthaven Maastricht is niet ingericht op het doorrekenen van circuitvluchten. Daarom zijn deze bewegingen niet meegenomen in de berekeningen. In veel gevallen worden circuitvluchten uitgevoerd met toestellen met een maximaal startgewicht van minder dan 6000 kg, waardoor ze sowieso al niet doorgerekend zouden worden. Daarbuiten betreft het een beperkt aantal vliegbewegingen met zwaardere toestellen waardoor het effect op het eindresultaat klein is. Voor Geilenkirchen, waar circuitvluchten met zwaar verkeer juist een grote bijdrage leveren aan de totale geluidbelasting, worden circuitvluchten wel meegenomen (zie paragraaf 3.3.2).

4 Verschillen tussen A- en C-gewogen geluid

Dit hoofdstuk gaat in op de invloed van het gebruik van C-gewogen geluid bij de bepaling van geluidmaten. Het is een beschrijving van de resultaten van een kort onderzoek naar verschillen tussen geluidniveaus in dBA en dBC met behulp van metingen aan AWACS toestellen en aan enkele andere toestellen. Op basis hiervan kan een indicatie gegeven worden of het zinvol is om piekniveaus in dBC te gebruiken indien de piekniveaus rondom Geilenkirchen vergeleken worden met piekniveaus rondom andere luchthavens. Het RIVM kan hiermee inschatten in hoeverre het in het gezondheidsonderzoek en in eventueel toekomstig onderzoek zinvol is om C-gewogen geluidniveaus te analyseren.

In het gezondheidsonderzoek worden gezondheidseffecten gerelateerd aan verschillende geluidmaten. In hoofdstuk 2 staat reeds uitgelegd dat vliegtuiggeluid is samengesteld uit een mix van frequenties die samen kunnen worden uitgedrukt in één geluidniveau waarin de geluidenergie van een of meerdere vliegbewegingen voor een tijdsperiode bij elkaar wordt opgeteld (bijvoorbeeld L_{den} , SEL of NA_{70}). Door het geluid in één getal uit te drukken gaat de karakteristieke frequentie-informatie verloren, terwijl deze informatie wel van invloed kan zijn op de ervaring of de effecten van het geluid.

Normaliter worden geluidmaten rondom luchthavens uitgedrukt in dBA, waarbij de zogeheten A-weging wordt toegepast. De A-weging is een manier om het geluid te bepalen, zoals dit door het menselijk oor ervaren wordt. Figuur 5 toont de correcties die bij de A-weging en C-weging per frequentie worden toegepast op het ongewogen geluidniveau, oftewel sound pressure level (SPL).



Figuur 5: Correcties door A en C-weging

Figuur 5 laat zien dat lage frequenties minder bijdragen aan het totale geluidniveau bij de A-weging. Het toepassen van de A-weging leidt ertoe dat laagfrequent geluid grotendeels wordt gedempt, waardoor het minder bijdraagt aan het totale geluidniveau. Om de bijdrage van lage frequenties toch inzichtelijk te maken kan men ervoor kiezen om de zogeheten C-weging te gebruiken. In hoeverre deze C-weging relevant is voor een vergelijking tussen AWACS vliegtuigen en andere toestellen wordt in dit hoofdstuk bestudeerd.

Voor gemeten piekniveaus rondom Schiphol en rondom Geilenkirchen zijn geluidspectra van verschillende vliegtuigen met elkaar vergeleken. Deze meetgegevens zijn weergegeven in Figuur B 1 tot en met Figuur B 4. Deze figuren staan in Appendix B. Het betreffen naast de AWACS meetgegevens ook meetgegevens van Boeing 737-800 (B738), Boeing 747-400 (B744), Airbus A330-200 (A332) en de McDonnell Douglas MD-11 toestellen. De keuze voor deze types hangt samen met het feit dat dit verschillende types zijn met verschillende gewichten en geluidproductie, waardoor dit een goede dwarsdoorsnede is van de totale vloot op Schiphol.

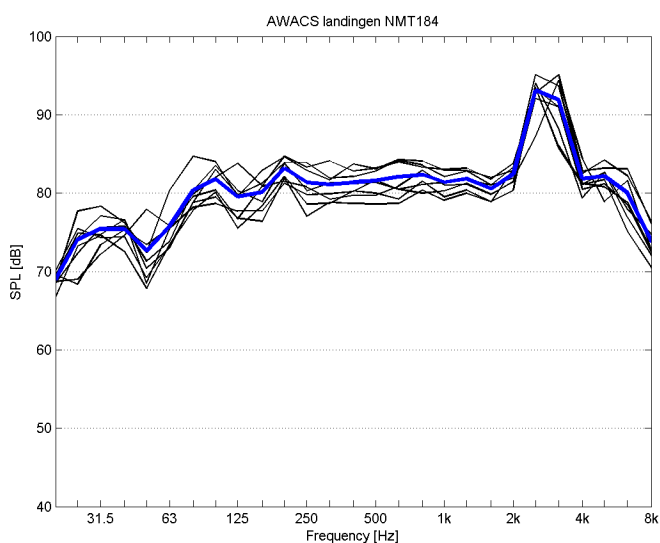
De AWACS gegevens in de figuren zijn geregistreerd met het meetnet van Geluidsnet⁴ en de gegevens voor de andere vliegtuigen zijn onttrokken aan NOMOS⁵, het meetnet van Schiphol. De locaties van de NMTs (noise monitoring terminals oftewel geluidmeetposten) zijn voor de AWACS metingen te vinden op <http://www.sensornet.nl/project/awacs/> en voor NOMOS op <http://nomos.schiphol.nl>. Informatie over de exacte meetposities is geen noodzakelijke kennis voor het begrijpen van onderstaande tekst.

In Figuur B 1 tot en met Figuur B 4 is telkens voor een aantal passages, per NMT, per frequentieband, voor zowel starts als landingen het ongewogen geluidniveau, oftewel SPL, weergegeven. Ter illustratie is hier één figuur uit Appendix B opgenomen.

⁴ Het betreffen dezelfde meetgegevens die zijn gebruikt tijdens de onderzoeken naar Stillere AWACS vliegprocedures zoals beschreven in rapporten NLR-CR-2009-002 en NLR-CR-2010-122. Deze gegevens bevatten geen instelfout, zoals die wel is opgetreden voor andere metingen die geluidsnet in het verleden in Zuid-Limburg heeft uitgevoerd.

⁵ Het betreffen meetgegevens gemeten uit het vierde kwartaal van 2012.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen



Figuur 6: Voorbeeldfiguur met gemeten geluidspectra

De geluidspectra geven het geluidniveau weer over de frequenties op het moment dat het maximale A-gewogen geluid van de passage werd gemeten (de L_{Amax}). De **zwarte lijnen** zijn individuele passages. De **blauwe lijn** is het (logaritmisch) gemiddelde van alle individuele vluchten. De figuren in Appendix B zijn per vliegtuigtype gerangschikt. Per vliegtuigtype zijn de figuren gerangschikt naar toenemende afstand tot de start- of landingsbaan. De absolute SPL-waarden per frequentieband nemen af naarmate deze afstand toeneemt.

Een vergelijking van de gemeten geluidspectra van AWACS landingen (Figuur B 1 en Figuur B 2) met de spectra van andere vliegtuigtypes, laat zien dat bij AWACS landingen in het hoge gedeelte van het spectrum (2kHz – 4kHz) de hoogste geluidniveaus gemeten worden. Deze pieken in het hoge gedeelte van het spectrum leveren een grote bijdrage aan zowel het A- als C-gewogen geluidniveau. Beide wegingen corrigeren nauwelijks in dit hoge deel van het spectrum (zie Figuur 5), waardoor de A- en C-gewogen geluidniveaus van AWACS metingen nagenoeg gelijk zijn. Dit wordt bevestigd door de getallen in Tabel 3, die laten zien dat de verschillen tussen de A- en C-gewogen geluidniveaus (L_A en L_C) voor de AWACS zeer klein zijn. De getallen in deze tabel zijn afgeleid van de blauwe lijnen in Figuur B 1 en Figuur B 2 door, na het toepassen van de weging, de geluidniveaus in alle frequentiebanden bij elkaar op te tellen.

Tabel 3: Verschil tussen A-gewogen en C-gewogen geluidniveaus voor landingen [dB]

	Geilenkirchen		Schiphol				
	AWACS	A332	B744	B738	MD-11		
L_A-L_C : NMT184	0	-5	-5	-4	-5	L_A-L_C : NMT10	
L_A-L_C : NMT185	0	-5	-5	-4	-5	L_A-L_C : NMT01	
L_A-L_C : NMT171	-1	-9	-9	-7	-9	L_A-L_C : NMT19	

Aangezien voor de AWACS metingen nauwelijks verschillen optreden tussen de A- en C- gewogen geluidniveaus en omdat de dominante frequenties niet gedempt worden door de A-weging, wordt geconcludeerd dat de C-weging voor landingen geen nieuwe inzichten geeft en dat de A-weging voldoet om de piekniveaus van de AWACS in kaart te brengen.

Tabel 4: Verschil tussen A-gewogen en C-gewogen geluidniveaus voor starts [dB]

	Geilenkirchen		Schiphol				
	AWACS	A332	B744	B738	MD-11		
LAS-LCS: NMT184	-4	-6	-7	-4	-6	LAS-LCS: NMT10	
LAS-LCS: NMT185	-5	-5	-5	-5	-5	LAS-LCS: NMT01	
LAS-LCS: NMT171	-2	-9	-9	-8	-9	LAS-LCS: NMT19	

Tabel 4 toont de resultaten voor metingen van startend verkeer. Voor andere vliegtuigen dan de AWACS liggen de verschillen tussen de A- en C-gewogen geluidniveaus tussen de 4 en 9 dB. Voor de AWACS metingen in NMT184 en 185 zijn de verschillen vergelijkbaar met de verschillen voor de andere vliegtuigtypes, terwijl de waarden in NMT171 wel duidelijk verschillen (2 dB versus 8 en 9 dB). De afwijkende resultaten in NMT171 hangen mogelijk samen met de wisselende spectra van AWACS metingen in dit meetpunt die duidelijk verschillen per meting (zie Figuur B 4). Deze variatie in meetresultaten wordt mogelijk verklaard doordat NMT171 relatief ver van de startbaan ligt waardoor de vliegroutes nabij dit meetpunt sterk kunnen variëren. Dit is niet nader bestudeerd voor dit onderzoek.

Het feit dat voor AWACS starts wel verschillen optreden tussen A- en C-gewogen geluidniveaus hangt samen met het feit dat bij AWACS starts geen duidelijke pieken voorkomen in het hoge gedeelte van het spectrum (2kHz – 4kHz) zoals bij de landingen wel het geval was (zie Figuur B 3 en Figuur B 4). De AWACS metingen geven een vergelijkbaar beeld met de metingen van de andere vliegtuigtypes en daardoor zijn de verschillen tussen de A- en C-gewogen geluidniveaus ook vergelijkbaar.

Doordat de verschillen tussen de A- en C-gewogen geluidniveaus van de AWACS en de andere vliegtuigtypes in Tabel 4 vergelijkbaar zijn en omdat bij starts de lage frequenties niet dominant zijn, ziet het NLR geen aanleiding een C-weging toe te passen voor startend verkeer om eventuele onopgemerkte laagfrequente geluidkarakteristieken in geluidniveaus zichtbaar te maken.

Samenvattend wil dit zeggen dat het gebruik van de C-weging voor starts geen verschillen geeft ten opzichte van andere toestellen en dat voor landingen alle dominante frequenties worden meegenomen bij zowel de A- als bij de C-weging. Om goed inzicht te krijgen in de geluidproductie

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

van AWACS toestellen is de A-weging derhalve voldoende. Wel zullen voor landingen de absolute verschillen tussen de piekniveaus van AWACS vliegtuigen en andere vliegtuigtypes veranderen indien C-weging wordt toegepast in plaats van A-weging. Dit komt doordat de C-weging voor andere toestellen tot hogere geluidniveaus leidt, terwijl dit voor landende AWACS toestellen niet of nauwelijks het geval is.

5 Conclusies

Ten behoeve van een gezondheidsonderzoek voor de regio Zuid-Limburg door het RIVM heeft het NLR een aantal geluidberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn berekeningen uitgevoerd om vliegtuiggeluid in de omgeving van vliegbasis Geilenkirchen, luchthaven Maastricht (Beek) en Schiphol te bepalen. Voor Geilenkirchen en luchthaven Maastricht zijn berekeningen uitgevoerd voor de jaren 2002, 2006, 2008 en 2012. Voor Schiphol is de geluidbelasting in 2002 in kaart gebracht.

De volgende geluidmaten voor de geluidbelasting zijn berekend:

1. Kosteenheden
2. L_{den}
3. $L_{den,alpha}$
4. Number above (NA_x)
5. Time above (TA_x)

Er is gekozen voor het bepalen van deze geluidmaten omdat ze gezamenlijk een compleet beeld geven van het door vliegtuigen geproduceerde geluid rondom vliegbasis Geilenkirchen, luchthaven Maastricht en Schiphol. Het betreft een combinatie van geluidmaten die zowel inzicht geven in de totale geluidbelasting ten gevolge van alle vliegverkeer gedurende een jaar, als in de geluidniveaus zoals die door afzonderlijke vliegbewegingen worden veroorzaakt.

De vergelijking tussen A-gewogen en C-gewogen geluidniveaus toont aan dat er geen aanleiding is om een C-weging toe te passen om eventuele onopgemerkte laagfrequente geluidkarakteristieken van AWACS vliegtuigen in geluidniveaus zichtbaar te maken.

6 Referenties

-
1. *Besluit zonering buitenlands luchtvaartterrein Zuid-Limburg*, 's-Gravenhage, 29 december 1994.

 2. M. den Boer en R.H. Hogenhuis, *Berekening van de geluidbelasting op Nederlands grondgebied nabij de vliegbasis Geilenkirchen als gevolg van vliegverkeer in 2012*, NLR-CR-2013-055, februari 2013.

 3. R. van Poll, O. Breugelmans, L. Dreijerink, *Belevingsonderzoek vliegbasis Geilenkirchen*, RIVM rapport 6303100001/2008.

 4. H. M. E. Miedema, H. Vos en R. G. de Jong, *Community reaction to aircraft noise: Time-of-day penalty and tradeoff between levels of overflights*, Acoustical Society of America, Volume 107, Issue 6, pp. 3245-3253 (2000).

 5. *Voorschrift voor de berekening van de geluidbelasting in kosteneenheden (Ke) - zonder drempelwaarde - ten gevolge van het vliegverkeer*, RLD uitgave RLD/BV-01.2, september 2004.

 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, juli 2001.

Appendix A Beschrijving rekengebieden

Deze appendix geeft een overzicht van de gebieden waarvoor geluidberekeningen zijn uitgevoerd. Om de gewenste gegevens voor het gezondheidsonderzoek aan te kunnen leveren zijn twee rekengrids gebruikt. Eén grid voor Zuid-Limburg en één grid voor Schiphol. Het rekengrid voor Zuid-Limburg is zowel gebruikt voor berekeningen voor vliegbasis Geilenkirchen als luchthaven Maastricht.

Tabel A 1 geeft informatie over de rekengrids voor Zuid-Limburg en Schiphol. De tabel toont de Rijksdriehoekscoördinaten van de hoekpunten van de grids en geeft aan wat de stapgrootte is (de afstand tussen de rekenpunten).

Tabel A 1: Beschrijving van gebruikte rekengrids

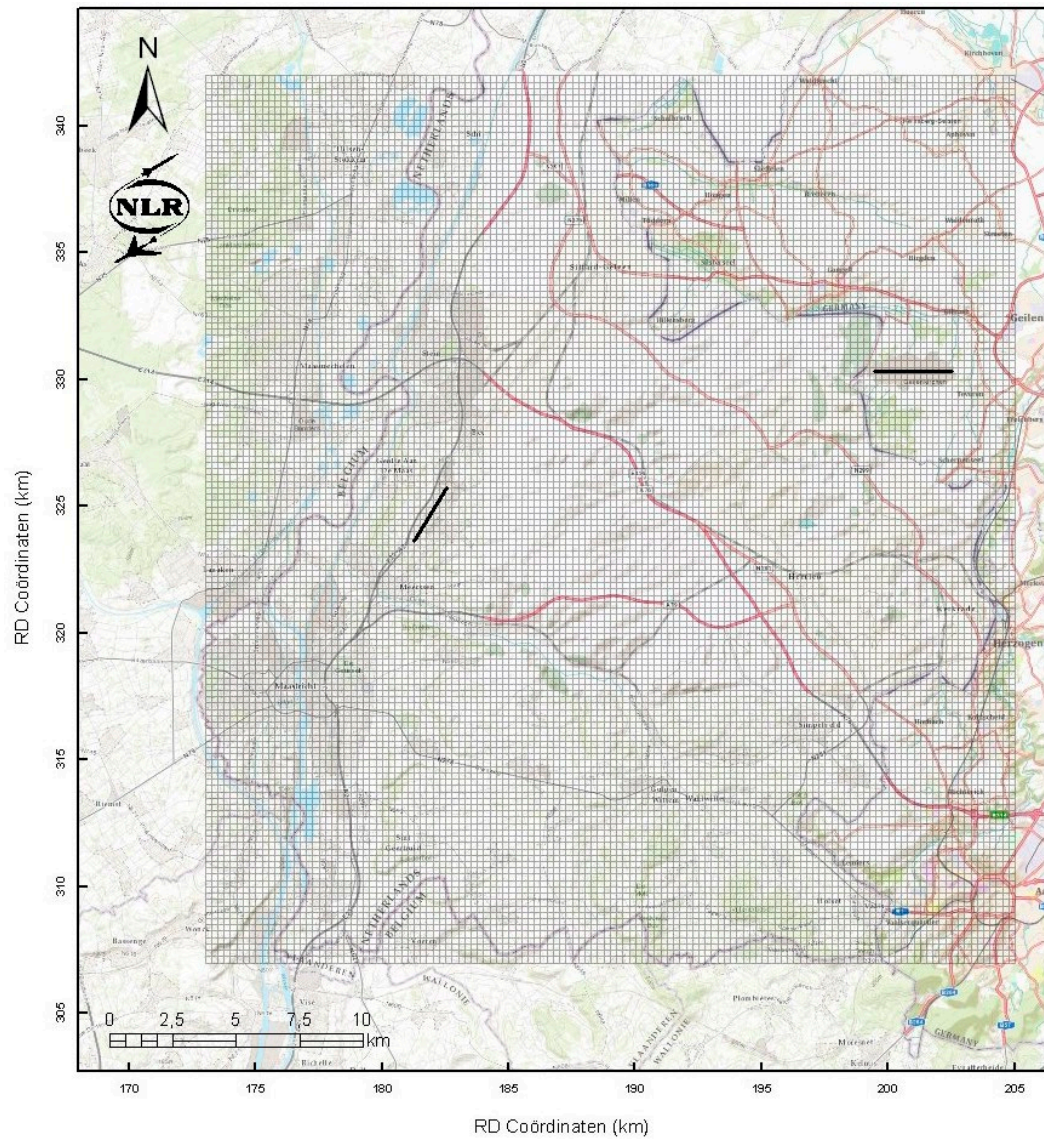
Grid	x-links	x-rechts	y-onder	y-boven	stapgrootte
Zuid-Limburg	173.000m	205.000m	307.000m	342.000m	250m
Schiphol	84.000m	139.000m	455.000m	526.000m	500m, verfijnd naar 250m ⁶

Voor Schiphol zijn berekeningen uitgevoerd op een grid waarbij de rekenpunten 500m uit elkaar liggen. Om tot een resultaat te komen dat vergelijkbaar is met het resultaat voor Zuid-Limburg, is dit resultaat verfijnd tot een grid waarbij de rekenpunten 250m uit elkaar liggen. De stapgrootte van 250m is gelijk aan de stapgrootte die wordt gebruikt voor handhavingsberekeningen voor Geilenkirchen. Een fijner grid zou tot veel hogere reketijden leiden, terwijl de nauwkeurigheid niet noodzakelijk zou toenemen vanwege onnauwkeurigheden in het rekenmodel.

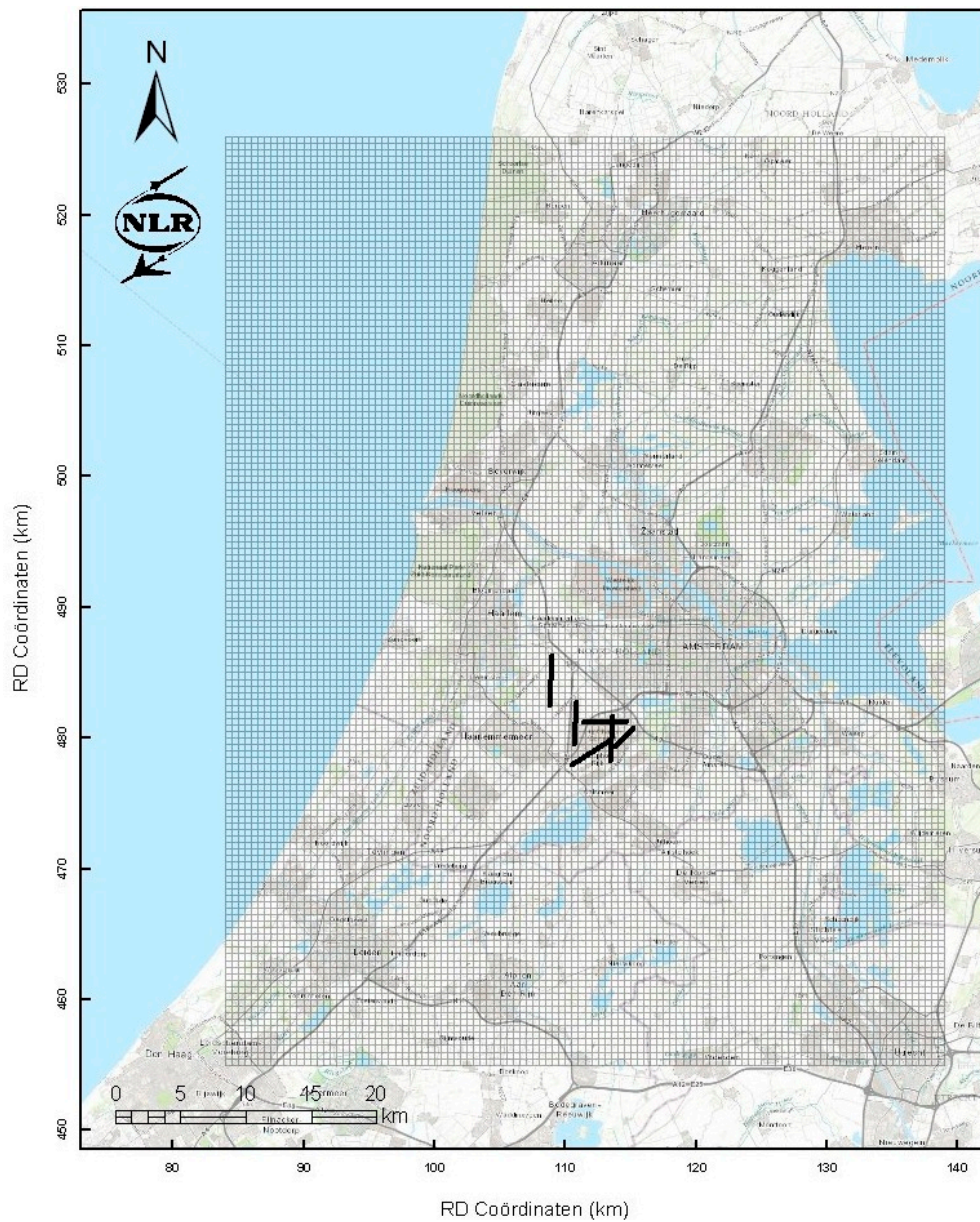
Figuur A 1 en Figuur A 2 tonen de ligging van de rekengrids voor de berekeningen voor Zuid-Limburg en voor Schiphol.

⁶ De gridverfijning is alleen uitgevoerd voor de K_e en L_{den} berekeningen. Bij de overige berekeningen is interpolatie tussen gridpunten niet wenselijk omdat het verloop van NA_x , TA_x en aantallen SEL waarden niet gelijkmatig hoeft te zijn.

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen



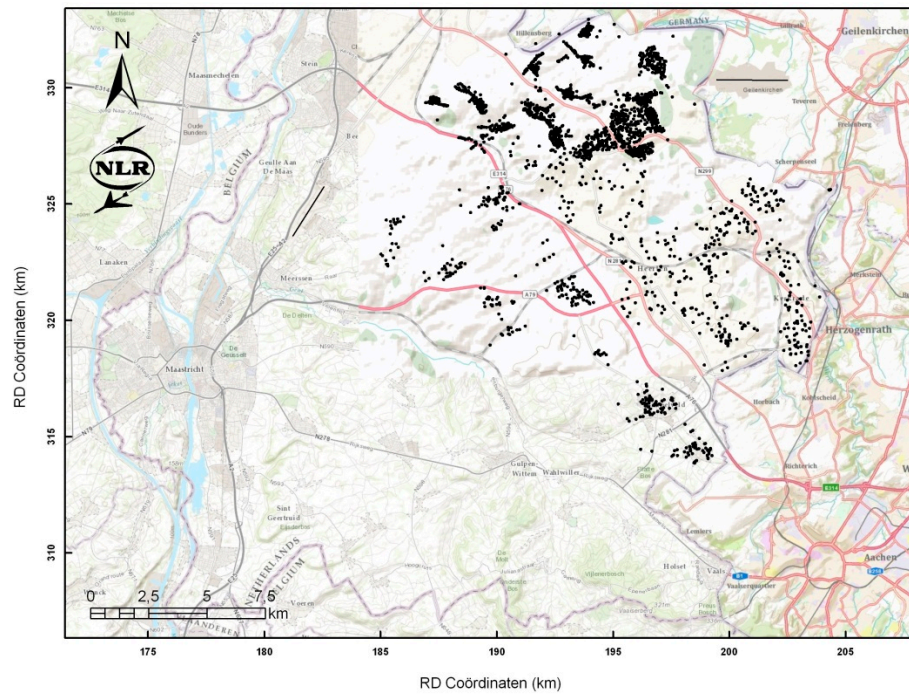
Figuur A 1: Rekeningrid voor Zuid-Limburg



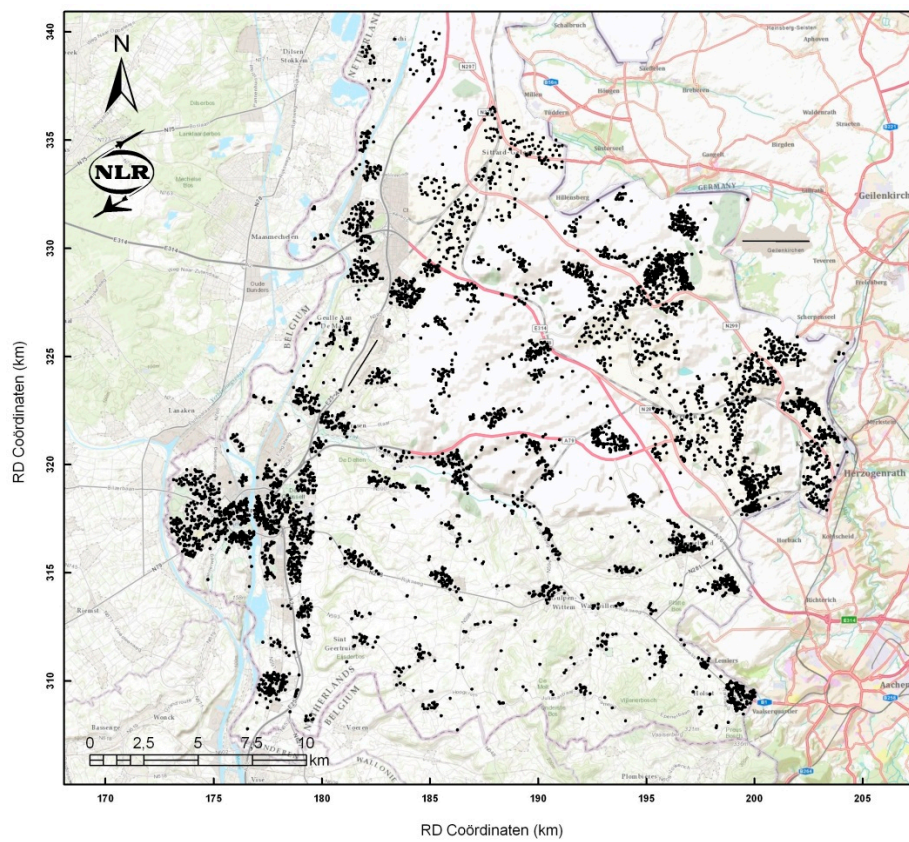
Figuur A 2: Rekengrid voor Schiphol

Behalve gridberekeningen, zijn ook berekeningen uitgevoerd voor losse punten. Figuur A 3 en Figuur A 4 laten zien voor welke locaties puntberekeningen zijn uitgevoerd voor respectievelijk 2006 (Figuur A 3) en 2008 (Figuur A 4).

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen



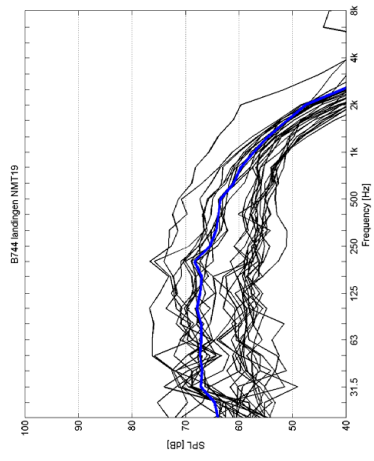
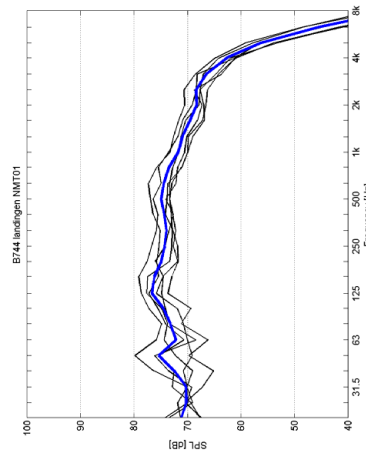
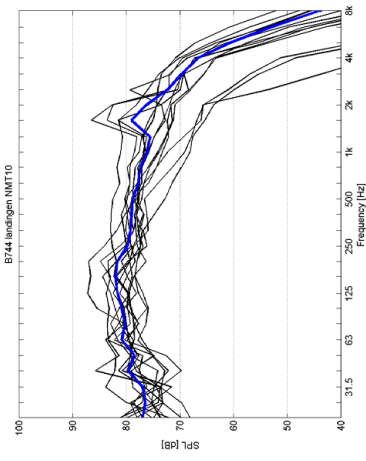
Figuur A 3: Onderzochte puntlocaties voor 2006



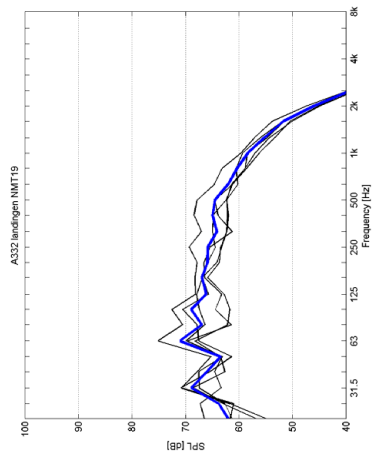
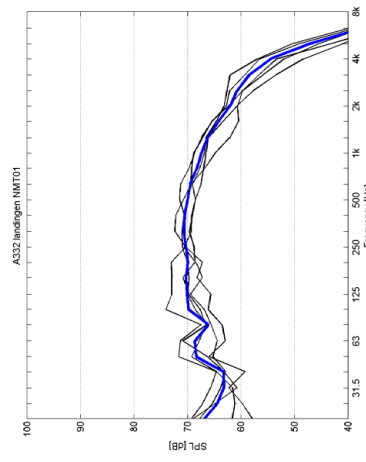
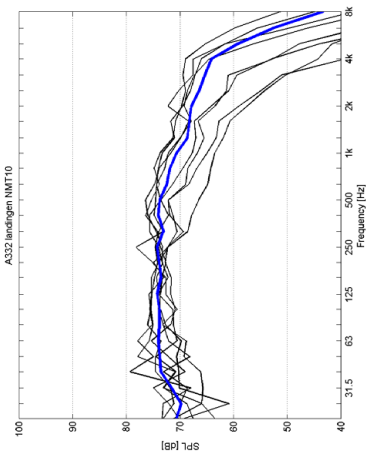
Figuur A 4: Onderzochte puntlocaties voor 2008

Appendix B Figuren hoofdstuk 4

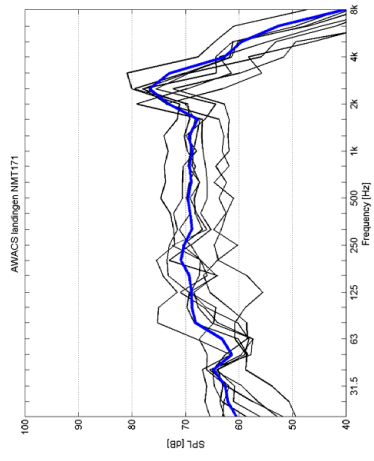
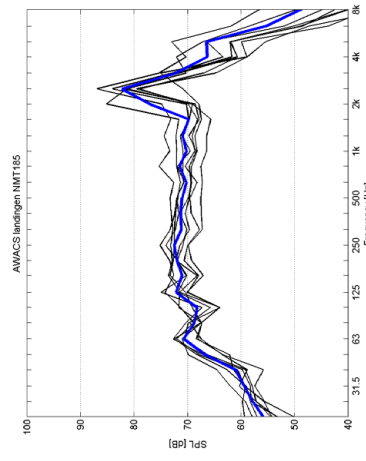
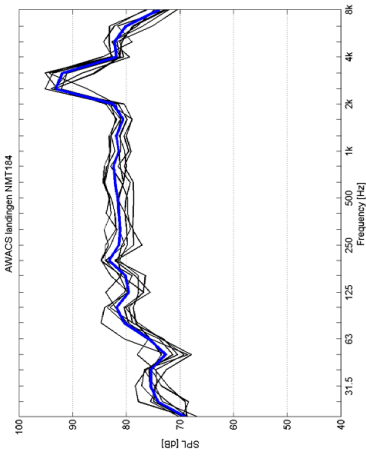
B744



A332



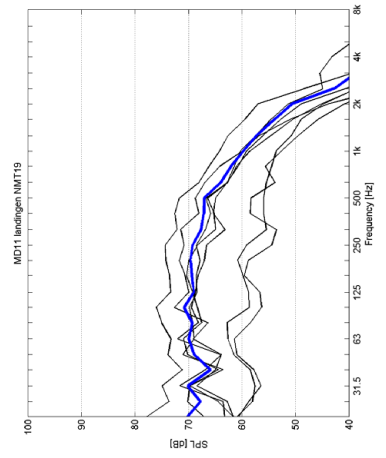
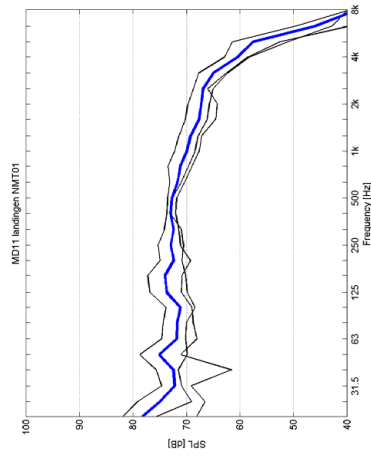
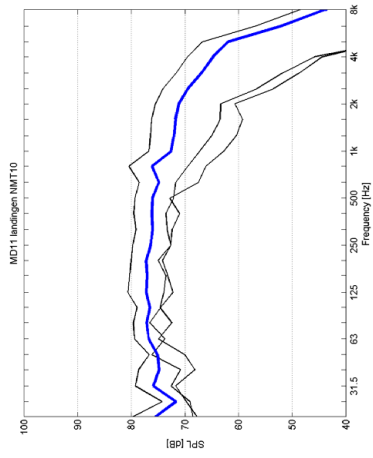
AWACS



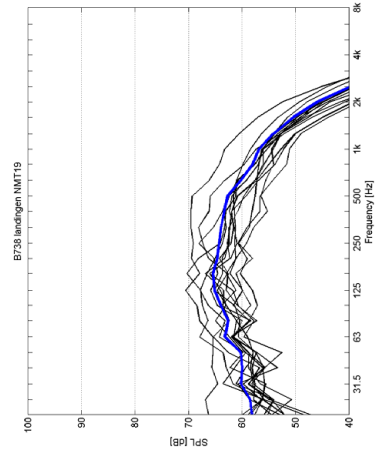
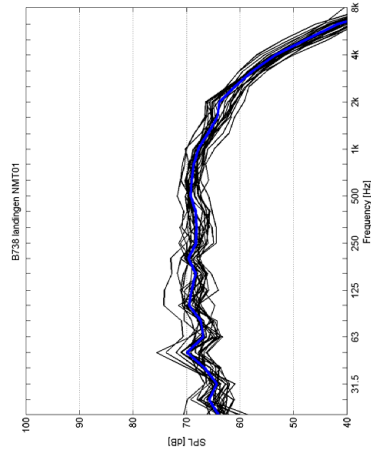
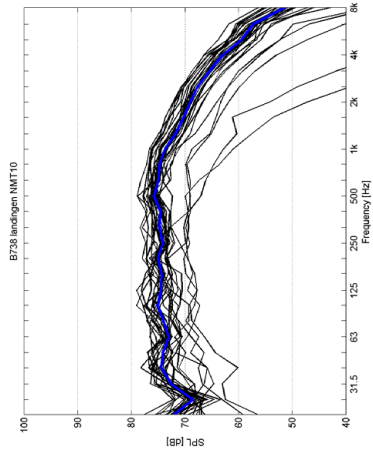
Figuur B 1: Landingen AWACS versus A332 & B744

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

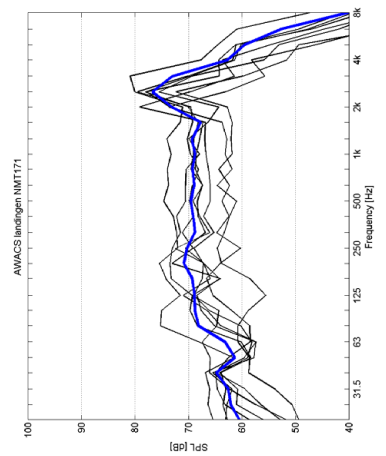
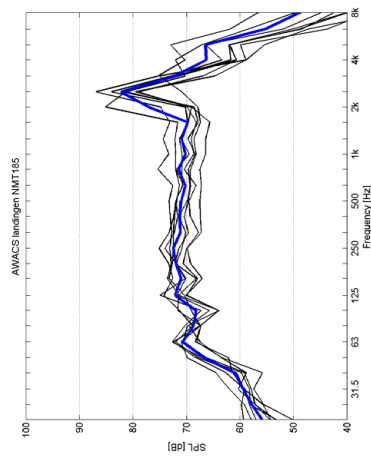
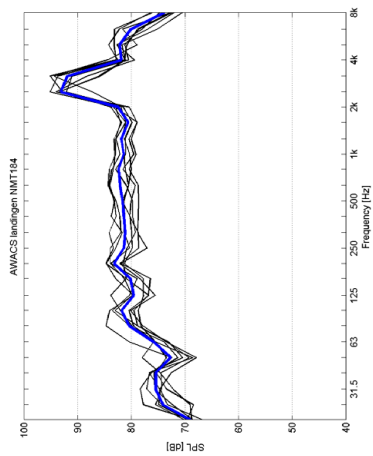
MD-11



B738

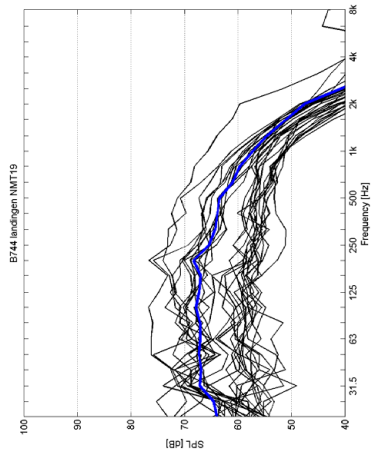
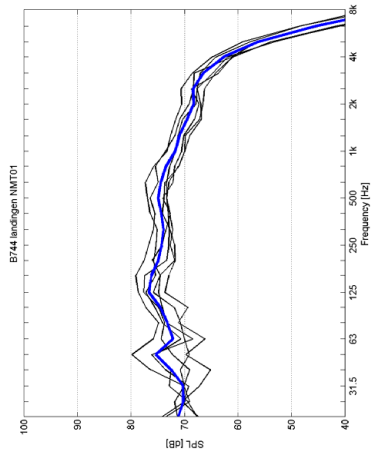
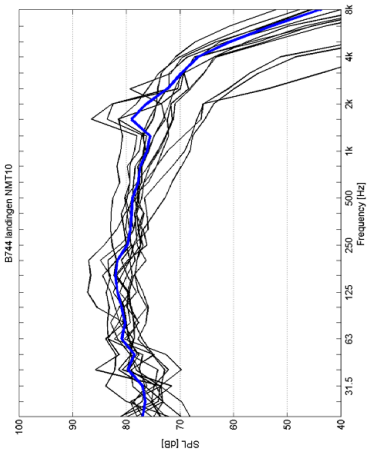


AWACS

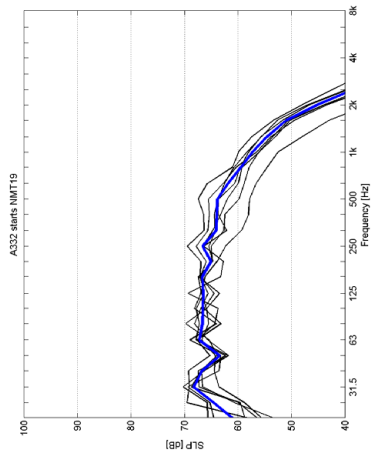
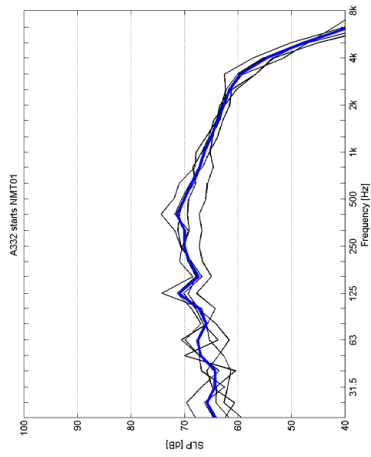
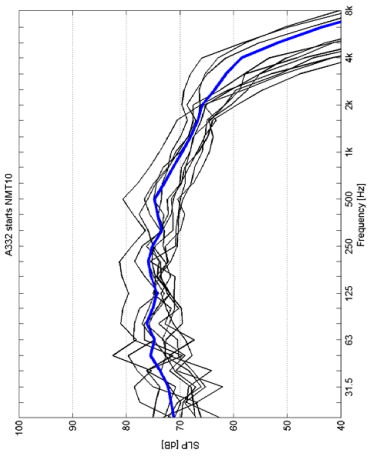


Figuur B 2: Landingen AWACS versus B738 & MD11

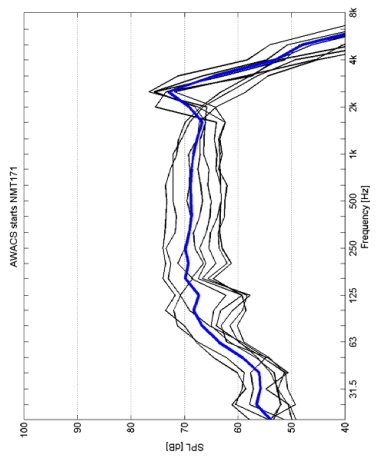
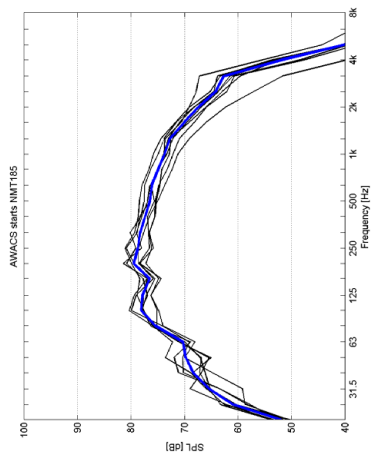
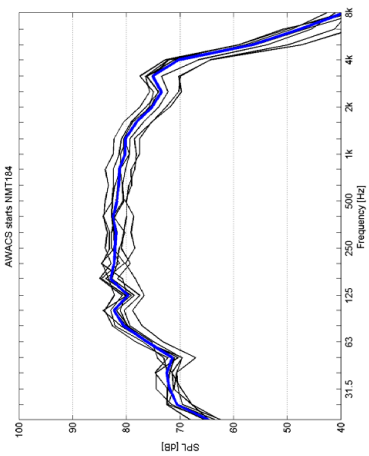
B744



A332



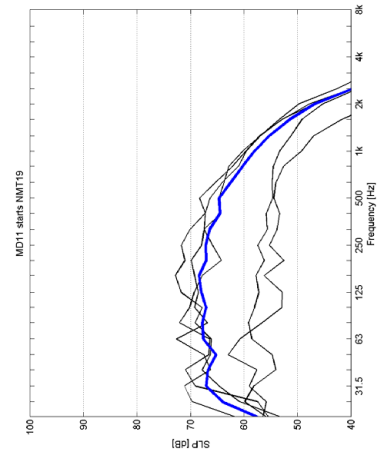
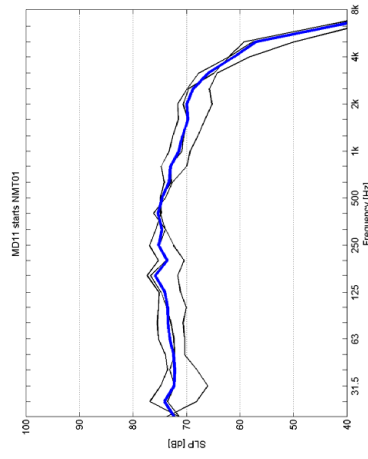
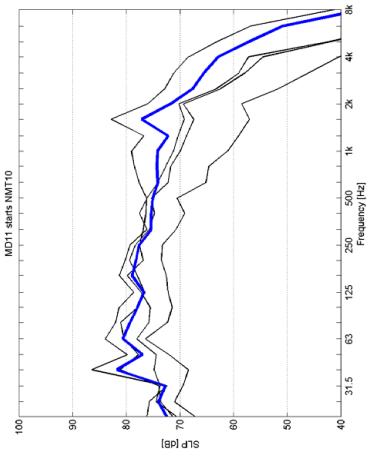
AWACS



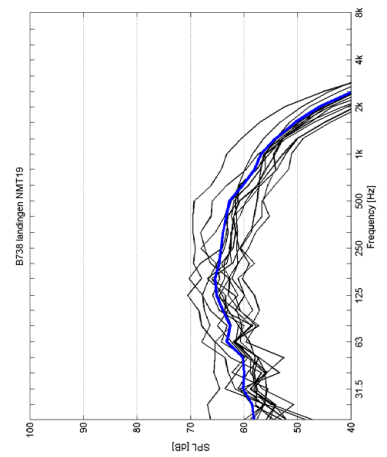
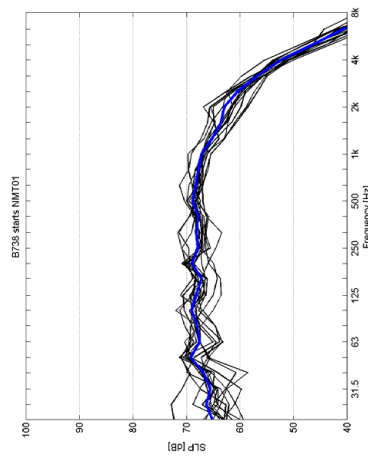
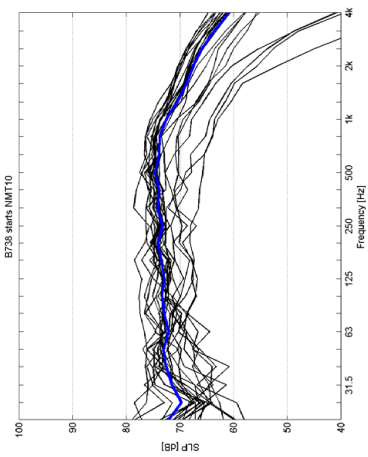
Figur B 3: Starts AWACS versus A332 & B744

Overzicht geluidmaten en geluidberekeningen

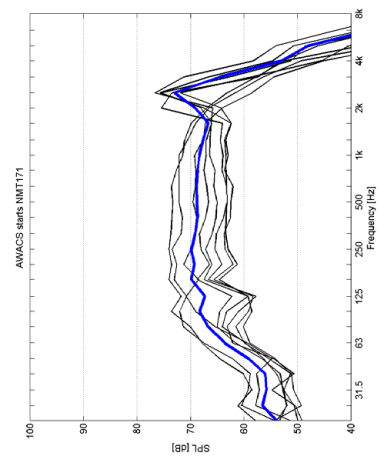
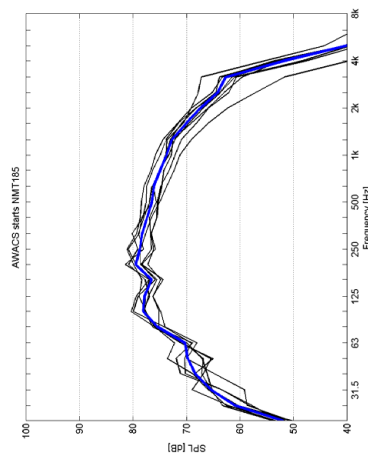
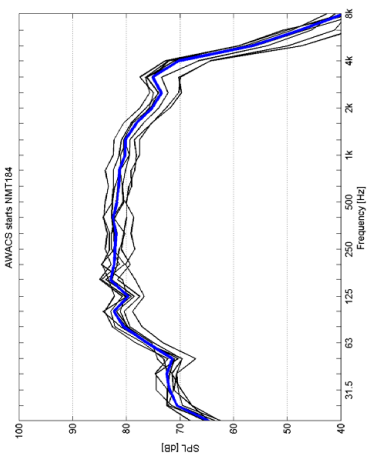
MD11



B738



AWACS



Figuur B 4: Starts AWACS versus B738 & MD11

WAT IS HET NLR?

Het NLR is de Nederlandse organisatie voor het identificeren, ontwikkelen en toepasbaar maken van hoogwaardige technologische kennis op het gebied van lucht- en ruimtevaart. De activiteiten van het NLR zijn maatschappelijk relevant, marktgericht en worden zonder winst oogmerk uitgevoerd. Hiermee versterkt het NLR het innovatieve en slagvaardig karakter van de overheid en bevordert het NLR het innoverende en concurrerend vermogen van het bedrijfsleven.

Het NLR kenmerkt zich door toonaangevende deskundigheid, professioneel optreden en onafhankelijke advisering. Medewerkers zijn goed opgeleid, werken klantgericht en werken voortdurend aan de ontwikkeling van hun competenties. Om zijn taken te verrichten houdt het NLR hoogwaardige faciliteiten beschikbaar



NLR – Dedicated to innovation in aerospace

www.nlr.nl