

Contra-expertise Geluid Belevingsvlucht

<i>datum</i>	10 oktober 2018	<i>project</i>	Min I&W Contra-expertise Geluid Belevingsvlucht Lelystad van 30 mei 2018
<i>vestiging</i>	Den Haag	<i>betreft</i>	Beoordeling naar aanleiding van rapportages Regiegroep en rapportage TO70
<i>uw kenmerk</i>	-	<i>versie</i>	D
<i>ons kenmerk</i>	M.2018.0895.00.N001	<i>auteur</i>	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
<i>2e lezer/secr.</i>	WI BRA APT SBA	<i>contactpersoon</i>	ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen

Contra-expertise Geluid Belevingsvlucht in het kader van het MER Lelystad Airport

1. Inleiding

Op 30 mei 2018 is in het kader van de communicatie met de omgeving een zogenaamde Belevingsvlucht uitgevoerd. Een en ander om juist de beleving voor de omgeving aan te tonen. De achtergrond is om het geluid van een overvliegend toestel zelf te kunnen horen, ervaren en te kunnen beoordelen. Hoe klinkt dit nu? Luisteren was dus van belang.

Naast het luisteren en beleven is op veel plaatsen ook een geluidsmeting uitgevoerd en naar de decibelwaarden gekeken. De 'regiegroep Belevingsvlucht' heeft de metingen gecoördineerd en verzameld. De resultaten van de metingen zijn aan de minister van Infrastructuur en Waterstaat aangeboden.

Deze notitie betreft een contra-expertise en een beoordeling van de akoestische aspecten van geluidsmetingen aan de Belevingsvlucht. Het betreft dan met name de aspecten die te maken hebben met onzekerheden vanuit de rekenmodellen en onnauwkeurigheden bij het meten. De beoordeling van deze akoestische aspecten is gedaan mede op basis van een totale beoordeling van de Belevingsvlucht zoals deze door adviesbureau TO70 is uitgevoerd.

In het kader van de totale beoordeling van de Belevingsvlucht is een drietal workshops gehouden. Lopende het beoordelingsproces is een aantal technische onderwerpen door DGMR beoordeeld en beschreven. Een aantal van deze onderwerpen, beschreven in onderhavige notitie, is reeds door TO70 overgenomen in de laatste versie van hun rapportage. Over een aantal zaken in deze TO70 rapportage zijn nog een enige opmerkingen gemaakt en deze opmerkingen zijn in bijlage 1 van deze notitie opgenomen.

Over all geeft het rapport van TO70 geen aanleiding tot afwijkende standpunten, wat betekent dat de conclusies en aanbevelingen in deze rapportage kunnen worden onderschreven.

2. Algemene verschillen tussen rekenen en meten

Rekenen of meten aan geluid. Om nu aanwezige, actueel werkelijk jaargemiddelde geluidsniveaus te bepalen is een voortdurende discussie. Maken we een modelberekening of gaan we metingen doen.

Metten geeft direct inzicht van geluid op dat moment, maar heeft beperkingen voor het aantal locaties, kan worden verstoord door andere geluidsbronnen en is een steekproef doordat de bron en de akoestische propagatie onverwacht sterk kunnen variëren.

Hierbij is een aantal parameters wel bekend, maar ook een aantal factoren niet of slechts beperkt bekend. Geluid is een stochastisch verschijnsel.

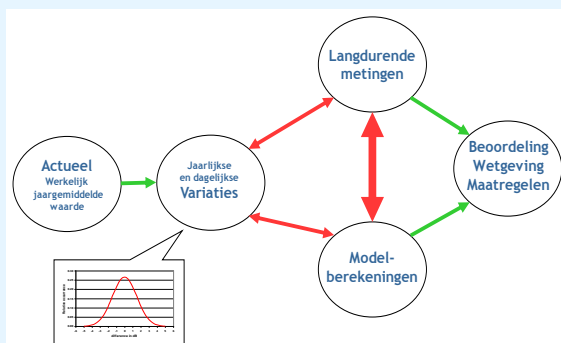
Rekenen werkt met een rekenmethode waarin staat beschreven op welke wijze een rekenmodel wordt opgebouwd. Dit rekenmodel, een betere benaming is een computersimulatiemodel, heeft een aantal aannames en benaderingen en zeker ook beperkingen. Immers, een model blijft een benadering van de werkelijkheid. Rekenen geeft inzicht voor grote gebieden en het is voorspellend. Berekeningen zullen dus altijd gedaan worden, ruim voordat er buiten enige activiteiten plaatsvinden. Het grote voordeel van een rekenmodel is dat dit voor beheer, handhaving en beleid gebruikt kan worden.

Per definitie is het niet noodzakelijk dat een computersimulatiemodel, in het kader van beheer en beleid, exact de waarheid, het werkelijk aanwezige jaargemiddelde geluidsniveau uitrekt, mits de vastgestelde beleving en hinder passen bij deze rekenmethode. Beleving en hinder zijn immers niet afhankelijk van het getal van de ervaring. Het is voor de discussie wel zeer wenselijk dat een rekenmethode zoveel mogelijk leidt tot de werkelijk waarde.

Overigens moet in het algemeen opgemerkt worden dat er veel verwarring is tussen geluidswaarden uitgedrukt in decibellen. De ene decibel is (letterlijk) de andere niet. Dit maakt het vergelijken van decibelwaarden, soms zelfs ook voor ingewijden, altijd zeer moeilijk. Uitleg over, in dit kader, relevante decibelwaarden is beschreven in bijlage 2.

2.1 Nauwkeurigheden en onzekerheden bij rekenmodellen en bij metingen

Bij zowel rekenen als meten moeten de nauwkeurigheden en de onzekerheden van een rekenmodel en de nauwkeurigheden van een enkele, een serie kortdurende, of langdurige metingen beschouwd worden. In ieder geval moet terdege gerealiseerd worden dat de beoordeling van geluid altijd plaatsvindt op basis van een jaargemiddelde waarde. Dit is in figuur 1 aangegeven.



figuur 1: meten en rekenen in het kader van een beoordeling

2.1.1 Rekenmodellen

Een rekenmodel is een zo goed mogelijke benadering van de werkelijkheid. De kwaliteit van het model - dit is de rekenmethode op zich - en de kwaliteit van de invoerdata kunnen een richting geven voor een beperking van de rekenonzekerheid. Wel moet nadrukkelijk in ogenschouw worden genomen dat de fysica nooit alle details - niet in dynamische systemen en zeker niet in aerodynamische facetten - te modelleren zijn en dat een model dus altijd zijn beperkingen heeft.

Overigens is de geluidsemissie van de vliegtuigen een zeer belangrijke invoerparameter. Deze geluidsemissie is beschreven in de zogenaamde geluidstabel, die veelal afgeleid is van de geluidscertificatietesten. Eveneens bij deze testen geldt dat de fysische omstandigheden nooit alle details te beschrijven zijn. De geluidstabel wordt aangeleverd door de vliegtuigbouwer.

Een rekenmethode heeft altijd een beperkt toepassingsgebied. We kunnen stellen dat geen enkel model dusdanig is dat alle mogelijkheden en aspecten berekend kunnen worden. Zo moeten we ons realiseren dat de berekening met geluidsmodellen over het algemeen gericht is op een jaargemiddelde waarde. Dit is dus een gemiddelde voor alle activiteiten, zoals vliegbewegingen, vliegpaden, type toestellen, power settings, en voor alle weersomstandigheden en dergelijke.

Andere aspecten voor het toepassingsgebied zijn bijvoorbeeld afstand, hoogte, vliegpaden en veranderingen in vliegpaden. Helaas wordt over het toepassingsgebied vaak maar weinig beschreven in de verschillende rekenmethoden.



In het algemeen bezitten berekeningen met een simulatiemodel een onzekerheid van 2 tot 3 dB(A). Complexe situaties zijn vaak niet te moduleren binnen een onzekerheid van 3 tot 5 dB(A). Een beperktere rekenonzekerheid is in de praktijk vrijwel niet te bereiken vanwege het stochastische karakter van geluidsofopwekking en propagatie. Ter vergelijking wordt verwezen naar het nieuwe Europese model voor geluidsberekeningen, literatuur [12], waar wordt gerefereerd aan plausibele resultaten en waarbij steeds een waarde voor een onzekerheid van 2 dB(A) wordt gehanteerd. Er zijn er steeds weer complexe situaties waar ook de onzekerheid van 2 dB(A) bij lange na niet gerealiseerd kan worden.

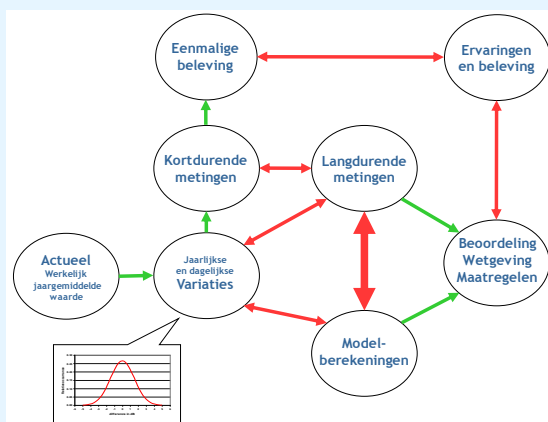
Een aspect dat nog meetelt is dat de onzekerheid van een computersimulatiemodel (een L_{den} -model) minder groot (dus wat kleiner) is dan een model dat gebruikt zou kunnen worden voor een prognose van een $L_{A,max}$ -waarde. Voor een L_{den} berekening worden immers alle inputwaarden over een jaar uitgemiddeld, wat statistisch gezien minder onzekerheid geeft in vergelijking tot meer totale onzekerheden van een model voor een $L_{A,max}$ -waarde. Dit omdat je bij een L_{den} -berekening meer zaken tegen elkaar uitmiddelt.

2.1.2 Geluidsmetingen

Geluidsmetingen kunnen plaatsvinden ter validatie van een rekenmodel, maar een complete validatie vergt in principe uitgebreide meetcampagnes. Immers, alle mogelijkheden en dus alle mogelijk combinaties moeten gevalideerd worden. Deze combinaties moeten gezien worden als alle ‘hoeken’ van het model en dit betreft dus de volledige range van alle invoerparameters zoals deze in de praktijk voorkomen. Realistisch gezien is dit vrijwel onmogelijk waardoor er in de praktijk veelal onderdelen van een rekenmethode worden gevalideerd en beoordeeld.

De onnauwkeurigheid van een meting moet beoordeeld worden aan de hand van het meetinstrument, de positie van het instrument, directe omgevingsfactoren, de meetgrootte, de representativiteit voor de akoestische propagatie en de representativiteit van het meetobject, waarbij ook de operational settings van belang zijn. (De nauwkeurigheid van het meetinstrument op zich, wordt in bijlage 3 beschreven). De combinatie van al deze factoren moet gewogen opgeteld worden, waardoor er in totaal een onnauwkeurigheid van naar schatting 2 tot 3 dB(A) zal ontstaan.

Dit is dus niet alleen de nauwkeurigheid van de geluidsmeter, maar tevens variantie door omgeving, propagatie en de geluidsbron. Het voordeel van meerdere (deels onafhankelijke) metingen, op meerdere meetposities en dus ook bij meerdere operational settings en met meerdere instrumenten, zal statistisch gezien wel weer een meer representatief resultaat, maar ook een zekere spreiding geven.



figuur 3: meten en rekenen in het kader van een beoordeling met een onderscheid naar kortdurende metingen en langdurige metingen en een relatie met de beleving

2.2 Concluderend meten versus rekenen

In figuur 3 is, als uitbreiding van figuur 1 nog een en ander aangegeven in het kader van de Belevingsvlucht. Naast eventuele noodzakelijke langdurige validatiemetingen voor een rekenmethode, staat hierin ook een kortdurende meting beschouwd in relatie tot de eenmalige beleving en de context tot langdurige metingen met de beoordeling van de situatie uit een rekenmodel of uit eventuele langdurige monitoringsmetingen.

Alles overziend leidt dit tot de conclusie dat een geluidsmeting dus minder objectief is. 'Meten is weten' is een onjuist gezegde. 'Door meten tot weten' was de slagzin van Kamerlingh Onnes. Uit metingen kom je dus meer te weten en kom je ook te weten dat je te weinig weet en dat er dus beperkingen zijn aan de conclusies van een meting. Dit geldt des te meer voor een kortdurende meting.

Computersimulatiemodellen zijn een benadering van de werkelijkheid en bezitten veel methodebeperkingen. Door onnauwkeurigheden van de invoerdata ontstaan er veel onzekerheden. De te gebruiken rekenmethode bezit een bepaald toepassingsgebied, wat beperkingen geeft. Dit toepassingsgebied is gekoppeld aan het doel waarvoor de methode ontwikkeld is. Doordat computersimulatiemodellen over het algemeen jaargemiddelde geluidsbelastingen berekenen, moet geconcludeerd worden dat juist deze jaargemiddelden weer leiden tot minder onzekerheden in de eindresultaten.

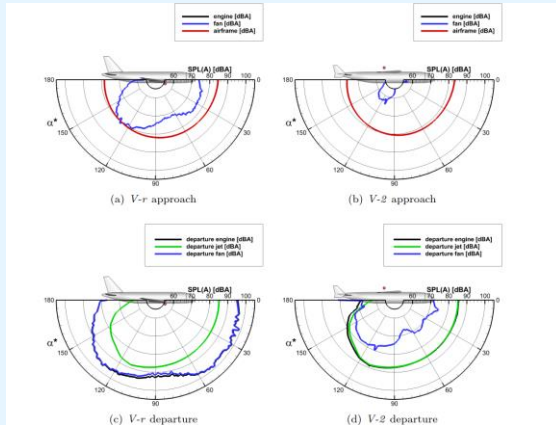
Bij het doen van metingen praat je over onnauwkeurigheden en bij berekeningen praat je over onzekerheden. Een onzekerheid zal namelijk ontstaan door onnauwkeurigheid in invoerdata van het rekenmodel. Het model zal bijvoorbeeld een vliegsnelheid als invoerparameter heel goed en exact gebruiken voor de modelberekening. Maar als je niet exact weet wat deze vliegsnelheid in de praktijk is, leidt dit tot onzekerheden.

Uiteindelijk komt het erop neer dat de resultaten van het meten liggen op circa +/- 2 dB(A) en dat de resultaten van de berekeningen liggen op circa +/- 2 dB(A). Met een veel kleinere kans kunnen voor beide, resultaten opleveren op +/- 4 tot 5 dB(A).

3. Meetgrootte $L_{A,max}$ versus het equivalente geluidsniveau

De meting zoals deze heeft plaatsgevonden was een zogenaamde $L_{A,max}$ -meting. Het hoogste geluidsniveau is bepaald tijdens een passage en waarschijnlijk wordt deze hoogste waarde bepaald als het vliegtuig zich het dichtst bij de microfoon begeeft. Er zijn wel paar zaken die effect hierop hebben. Dit zijn:

- De geluidsvoorplantingssnelheid, aangezien het seconden duurt voordat de geluidsgolven de afstand en de hoogte afgelegd hebben. Bij 1800 m praten we over een tijdsduur van ruim 5 seconden.
- De geluidsuitstralingskarakteristiek in verticale zin en ook de verplaatsingsrichting van het vliegtuig zijn van belang. Deze geluidsuitstralingskarakteristiek is afhankelijk van de dominerende geluidsbronnen van een vliegtuig. Hierbij moeten met name de motoren en het aerodynamische geluid van vele onderdelen van het complete vliegtuig worden onderscheiden. Uiteraard is de geluidsproductie van de motoren afhankelijk van de power settings. De aerodynamische bronnen zijn afhankelijk van luchtsnelheden langs onderdelen van het toestel en zeker ook van de flaps en dus de setting hiervan. Het volledige toestel zorgt voor een bepaalde geluidsuitstraling afhankelijk van operational settings. Zie figuur 4 voor een paar voorbeelden.
- Het derde punt betreft de homogeniteit van de geluidsproductie en een gelijke vlieghoogte. Hierbij geldt dat een andere operational setting en andere vlieghoogte gedurende de fly-over mede het maximale geluidsniveau beïnvloedt. Zo kan bijvoorbeeld, het geven van meer motorvermogen een paar kilometer voorafgaand of voorbij een geluidsmmeetpunt, een dominerend effect geven op de gemeten $L_{A,max}$ -waarde.
- Een $L_{A,max}$ -meting heeft niet een directe relatie met een equivalent geluidsniveau en dus ook niet met het L_{den} .

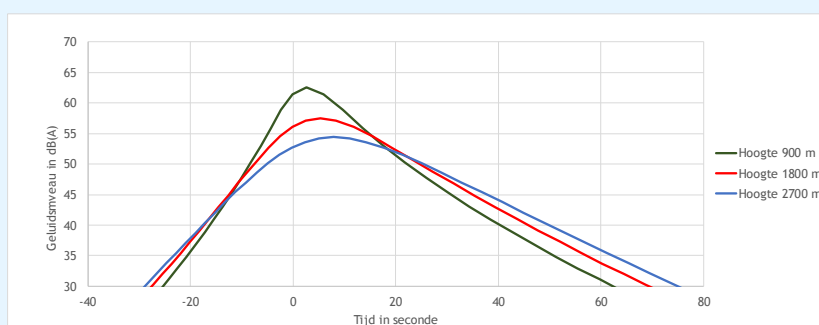


figuur 4: willekeurige voorbeelden van directivity in het verticale vlak (uit lit [16])

Het equivalente geluidsniveau is opgebouwd uit een aantal Single Event Levels (SEL), en deze SEL is opgebouwd uit de sommatie van de akoestische energie van een passage. Deze akoestische energie is geïntegreerd over het oppervlak (de sommatie van het oppervlak) van een van de curves zoals deze in figuur 5 zijn weergegeven. In deze figuur is bij een vliedsnelheid van ongeveer 279 knopen ofwel 143 m/s het verloop van het geluidsniveau bij een monopool uitstraling (dus zonder de effecten van directivity) schematisch weergegeven. In tabel 1 is vervolgens het berekende effect op de relatie tussen het maximale geluidsniveau en het Single Event Level (SEL) gegeven.

tabel 1: analyse van de relatie tussen het maximale geluidsniveau en SEL

Hoogte /afstand	900 m	1.800 m	2.700 m
$L_{A,max}$	62.6 dB(A)	57.5 dB(A)	54.4 dB(A)
$L_{A,eq}$	56.6 dB(A)	52.4 dB(A)	49.5 dB(A)
t totaal	48 s	66 s	84 s
$10\log(t)$	16.8 dB(A)	18.2 dB(A)	19.2 dB(A)
$SEL-L_{A,max}$	10.8 dB(A)	13.1 dB(A)	14.3 dB(A)

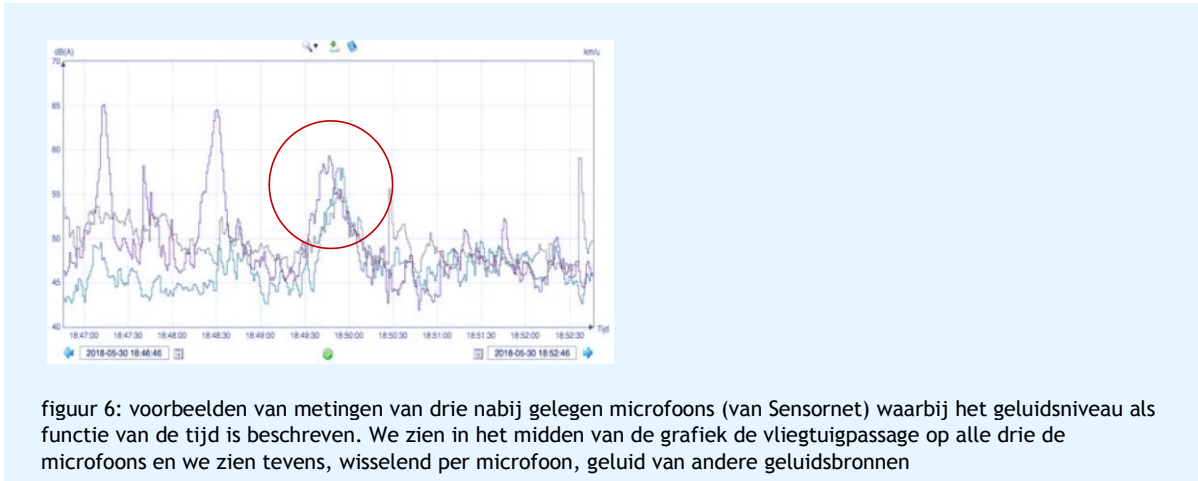


figuur 5: het verloop van het geluidsniveau als functie van de tijd bij drie passeerhoogten, bij homogene omstandigheden en bij een niet veranderende operational setting.

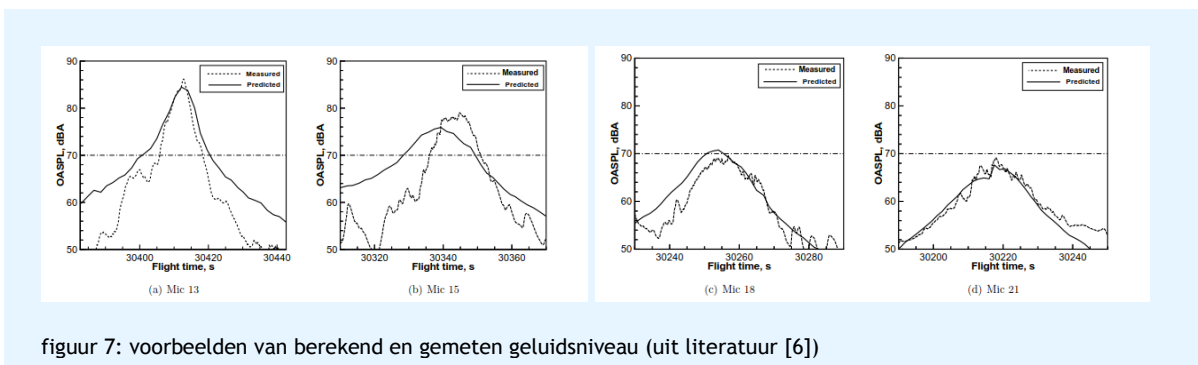
Geconcludeerd moet worden dat een $L_{A,max}$ -meting niet direct gekoppeld is aan een equivalent geluidsniveau. Het effect van de hoogte, de afstand, de uitstralingskarakteristieken, operational settings en de homogeniteit van de emissie over het van belang zijnde deel van het vliegp pad van de bron spelen een elementaire rol.

4. Meting van de maximale waarde en stochastiek

Stochastische verschijnselen door bijvoorbeeld wind, en ook verticale luchtstromen en akoestische frequentiesamenstelling komen meer tot uiting in een $L_{A,max}$ -meting. Ook kunnen de stochastische verschijnselen versterkt worden door reflecties tegen de bodem onder en nabij de microfoon. Om de gevolgen van dit verschijnsel te illustreren is onderstaand figuur 6 gegeven.



Het verloop van het geluidsniveau door de vliegtuigpassage laat een beperkt, wisselend karakter zien. Deze beperkte variaties hebben tot gevolg dat de, uit het maximale geluidsniveau te berekenen Single Event Level (SEL), te hoog zal zijn. Ook in de literatuur komt dit effect vaker naar voren als een optredend verschil tussen metingen en predictie.



5. Microfoonpositie ten opzichte van de bodem en andere reflecterende vlakken - bodemreflectie

Een gemaakte verkenning van de microfoonposities ten opzichte van reflecterende verticale vlakken heeft uitgewezen dat er geen grote vlakken aanwezig zijn. Er moet wel opgemerkt worden dat juist bij de situatie van een meting van het maximale geluidsniveau ook beperkte/kleinere vlakken een invloed kunnen hebben. Dit is enerzijds door beperkte reflecties, maar ook door windeffecten in de geluidspropagatie.

De effecten van reflecties tegen de grond zijn beoordeeld. Dit mede gezien de beschrijving van de regiegroep 'Vlak terrein, niet excessief absorberend bijvoorbeeld door hoog gras, struiken e.d'. Met behulp van de Harmonoise rekenmethode is een analyse gemaakt van de effecten door reflecties van geluidsgolven op de bodem. Er is hiervoor een model gemaakt in software met de Harmonoise rekenmethode. Deze rekenmethode is ontwikkeld in opdracht van en door medefinanciering door de EC en is beschreven in literatuur [11].

Er is een berekening gemaakt voor een microfoon op 1.5 m hoogte boven de verschillende in de rekenmethode aanwezige type bodemvlakken. Tabel 2 geeft de resultaten van de reflectiebijdragen weer voor de verschillende beschreven bodemtypen.

tabel 2: effecten door reflecties van geluidsgolven op de bodem

Description	Representative flow resistivity σ [kNsm ⁻⁴]	Reflectie in dB(A)
Very soft (snow or moss-like)	12.5	0.2
Soft forest floor (short, dense heather-like or thick moss)	31.5	0.4
Uncompacted, loose ground (turf, grass, loose soil)	80	0.8
Normal uncompacted ground (forest floors, pasture field)	200	1.3
Compacted field and gravel (compacted lawns, park area)	500	1.7
Compacted dense ground (gravel road, parking lot, ISO 10844)	2.000	2.1
Hard surface (most normal asphalt, concrete)	20.000	2.3
Very hard and dense surface (dense asphalt, concrete, water)	200.000	2.4

Uit de tabel is af te leiden dat een beperkt verschil in type grond al snel kan leiden tot een halve ofwel een hele dB(A) verschil. Hierbij dienen we ons ook nog eens te realiseren dat afhankelijk van de positie van het vliegtuig op het geluidspad, de reflectie tegen de bodem op een ander deel van de bodem zal plaatsvinden. Een ander reflectievlak kan al snel een andere stromingsdichtheid geven met daardoor een andere reflectiewaarde. De variatie in de positie van het reflectievlak en de variatie in stromingsweerstand geven ook effecten als onderdeel van het gegeven dat het uitvoeren van metingen een bepaalde onnauwkeurigheid geeft. Ook voor andere microfoonhoogten, anders dan 1.5 m hoogte, kan worden vastgesteld dat dit onderdeel vergelijkbaar met het bovenstaande een bepaalde onnauwkeurigheid geeft.

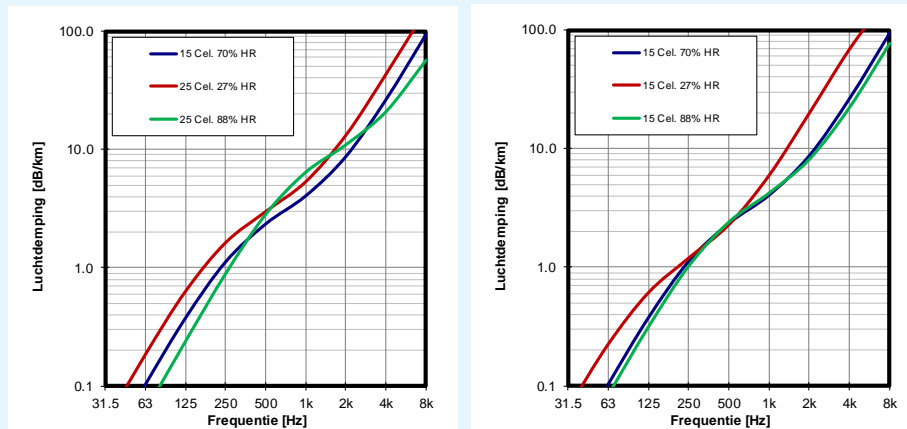
Geconcludeerd moet worden dat dit onderdeel van het meten een variatie geeft in de resultaten van de metingen welke over het algemeen niet eenvoudig terug te leiden zijn. Een bijkomend vraagpunt is wat de bodemsituatie was tijdens certificatiemetingen en wat de bodemsituatie zal zijn nabij de toekomstige (gemiddelde) geluidgehinderde.

6. Luchtdemping

In het kader van de atmosferische demping van geluidsgolven in de lucht zijn temperatuur en luchtvochtigheid van belang. Deze beide parameters bepalen de luchtdemping. ISO 9613-1 literatuur [18] geeft een uitgebreide beschrijving.

Er is gerapporteerd dat tijdens de Belevingsvlucht de temperatuur op de grond is gedaald van 27 graden Celsius naar 22 graden Celsius en dat de luchtvochtigheid is opgelopen van 49% naar 88%. De hierbij behorende luchtdemping kan vergeleken worden met de standaardwaarden die in de rekenmethode worden gehanteerd. In het model worden een gemiddelde temperatuur van 15 graden Celsius en een gemiddelde luchtvochtigheid van 70% gebruikt. Figuur 8 geeft de luchtdemping als functie van de geluidsfrequentie. Voor de volledigheid en ter vergelijking is naast

deze grafiek ook een curve bij 15 graden Celsius (naar schatting op 1000 m hoogte) en een luchtvochtigheid van 49% en 88% gegeven.



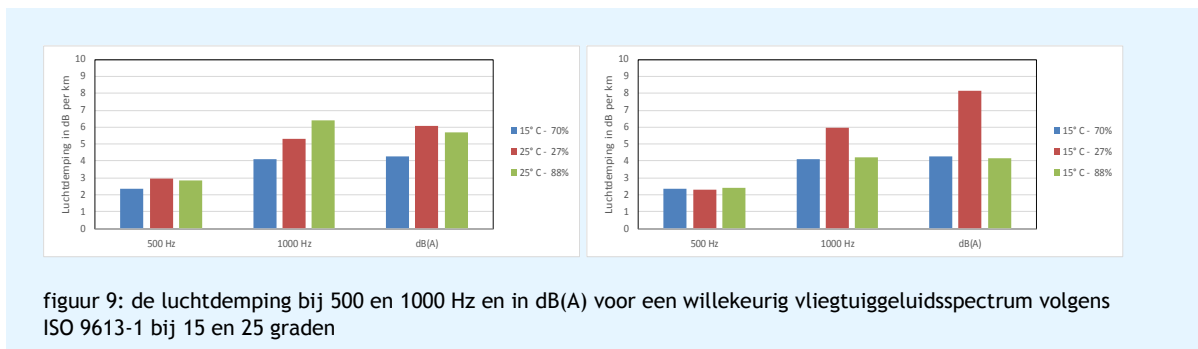
figuur 8: de luchtdemping volgens ISO 9613-1 bij 15 en 25 graden Celsius

Concreet is het effect door luchtdemping voor twee dominerende frequentiebanden en in dB(A) voor een willekeurig vliegtuigeluidsspectrum in figuur 9 aangeven. Dit zijn dempingswaarden per kilometer.

De waarden moeten als indicatie worden gezien, mede door een andere luchtsamenstelling en karakteristiek van de lucht op grotere hoogte en door de propagatierichting van het geluid op hoogte. De belangrijke conclusie die wel gesteld kan worden is dat de waarde van de luchtdemping voor dergelijke afstanden en bij de (op de grond) vastgestelde parameters als temperatuur en relatieve vochtigheid, significant kan variëren.

De luchtdemping is ook nog eens afhankelijk van de luchtdruk. Dus op 1.800 tot 2.700 meter met circa 70 tot 80% van de luchtdruk ten opzichte van de luchtdruk op de grond, geeft dit ook nog eens effecten. Om het nog gecompliceerder te maken, speelt ook nog een effect dat tijdens de Belevingsvlucht, aan het einde van de dag/begin van de avond, de stand van de zon een effect heeft op de luchtdruk, welke mogelijk lager is geworden. Deze gegevens zijn door DGMR niet verder beoordeeld.

Overigens is het door de regiegroep opgemerkte geluidsniveaunderschil tussen de start van de Belevingsvlucht en rond het beëindigen ervan, mogelijk te verklaren door een verandering van temperatuur en relatieve vochtigheid. Een en ander speelde zich af rond het einde van de dag. Een verandering van temperatuur en relatieve vochtigheid (en mogelijk ook de luchtdruk) heeft zonder meer effect op de hoeveelheid atmosferische demping van geluidsgolven in de lucht ofwel luchtdemping.



In figuur 8 en 9 is het wel opvallend dat alleen al voor deze voorbeelden (15 en 25 graden), het duidelijk wordt dat de luchtdemping varieert voor de frequentiebanden. Voor de hogere tonen varieert de demping anders dan voor lagere tonen. Zoals eerder beschreven zullen de te onderscheiden geluidsbronnen variërend dominant zijn voor de complete geluidsemisatie van een vliegtuig afhankelijk van de operational setting. Verschillende geluidsbronnen bezitten andere geluidsspectra (samenstelling van geluidsfrequenties/tonen).

Het onderdeel luchtdemping leidt tot de conclusie dat er door deze factor veel onzekerheden ontstaan over de akoestische propagatie vanuit de bron naar de waarnemer op de grond. Een hierbij oprijzende vraag is of de rekenmethoden voldoende toegeënt zijn voor de Nederlandse meteorologische situatie (en bijvoorbeeld veel wateroppervlakken).

7. Representativiteit toestel en operational settings

Dit onderzoek is een enkele steekproef met één toestel. Statistisch gezien kunnen er snel afwijkingen ontstaan in orde grootte van meerdere decibellen. Onbekend is hoe representatief het gebruikte vliegtuig is.

De operational settings zijn niet van plaats tot plaats exact bekend. In de rapportage van de regiegroep wordt wel de vliegtoestand klimmen, overvliegen of dalen aangegeven, maar dit is een interpretatie op basis van de vliegbewegingen zoals deze met de flight radar (Flight Rader24) zijn weergegeven. Gegevens met betrekking tot de power setting van de motoren zijn niet bekend. Helaas is niet te achterhalen welke power setting van toepassing waren op de vliegtoestand klimmen, overvliegen of dalen. Gezien de variatie in de praktijk moet echter overwogen worden of dit echt relevant is. In de situatie dat er meerdere vliegtuigen per periode passeren, zal het ene toestel met een bepaalde operational setting passeren die minder geluidsemisatie geeft en een andere met een andere operational setting die een hogere geluidsemisatie geeft. Middeling hiervan zal de langdurige geluidssituatie geven.

Gezien de leeftijd van het toestel (11-12 jaar) en bij normaal regulier onderhoud mogen er statistisch gezien geen significante verschillen ten opzichte van de gemiddelde, representatieve situatie worden verwacht.

De belading van het toestel is lager en ligt op circa 70 tot 80% ten opzichte van het maximale (of beter gezegd het *gemiddelde* maximale) gewicht. Benaderingsformules voor geluidsberekeningen geven veelal een relatie met de massa, of met de massa in het kwadraat. Voor 75% zou een verschil kunnen ontstaan van een circa 1 tot 2.5 dB(A) lagere geluidsemisatie.

Overigens is het niet duidelijk of dit lagere gewicht zich heeft geresulteerd in een hogere vliegsnelheid bij dezelfde powerstelling of juist een iets lagere power setting.

Ten aanzien van de representativiteit van het toestel is het lastig om een goede conclusie te trekken. We praten immers over een steekproef met slechts één sample. Ten aanzien van de operational settings is wel duidelijk dat de belading minder hoog was, wat naar redelijke waarschijnlijkheid zou leiden tot een circa 1 tot 2.5 dB(A) lagere geluidsemisatie.

8. Beleving door de mens

De beleving door de mens vindt veelal plaats buiten op straat of nabij harde reflecterende vlakken zoals bij gebouwen en gevels. De geluidsniveaus zijn dus altijd enigszins hoger dan het niveau waar modellen van uitgaan. Ook genormaliseerde metingen dienen uitgevoerd te worden zonder geluidsreflectie tegen de bodem en tegen nabijgelegen gebouwen en gevels. Deze verhoging van het geluidsniveau kan gemiddeld circa 2 tot 3 dB(A) zijn. Ook moet beschouwd worden dat de beleving van overvliegende vliegtuigen binnenin woningen kan plaatsvinden, waarbij de geluidsniveaus 15 tot 25 dB(A) lager zijn. Dit is sterk afhankelijk van de isolatie van de gevel en het dak van de woning en ook van de te openen ramen.

9. Analyse van meetwaarden

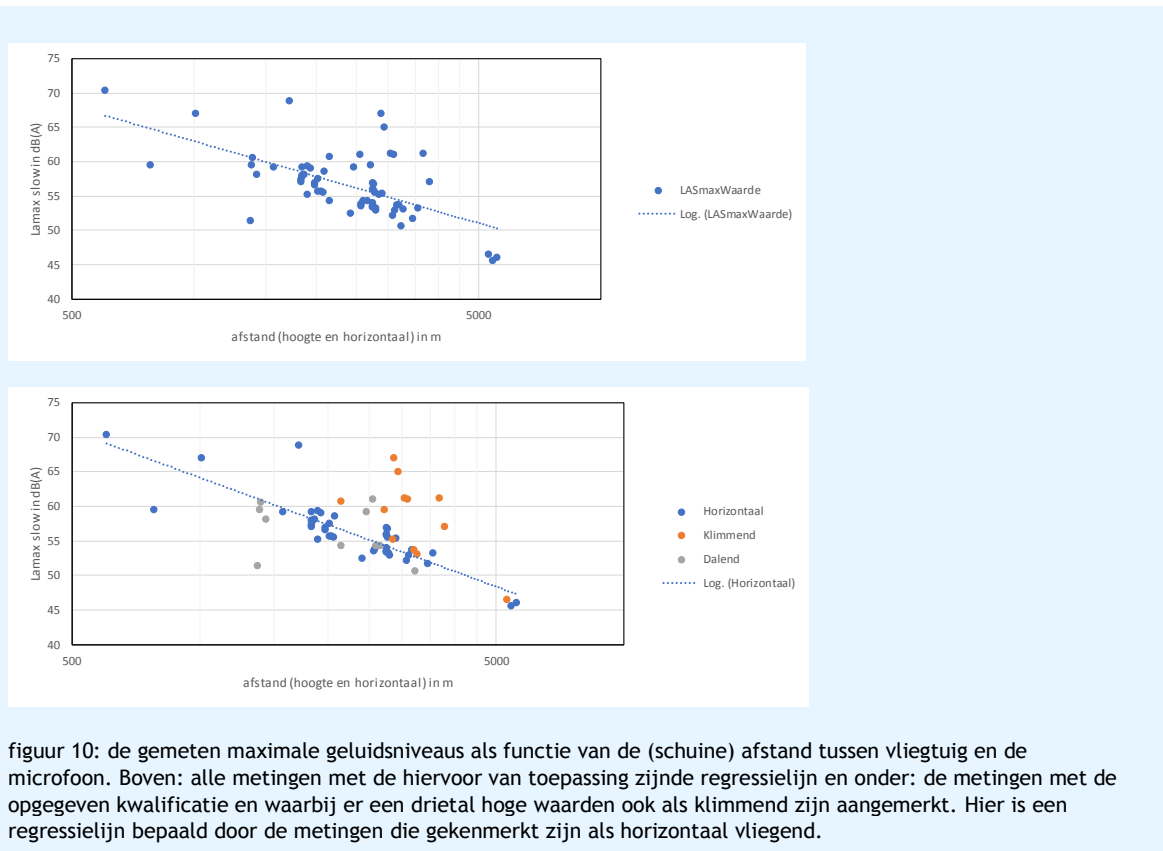
9.1 Alle meetwaarden

Aan de hand van het door de regiegroep gemaakte overzicht van de meetresultaten in combinatie met afstanden en vlieghoogten, is in figuur 10 een beeld gegeven van de meetwaarden. De afstand en hoogte (de schuine afstand) zijn immers en zonder meer de meest van belang zijnde parameters.

Dit is gedaan voor alle metingen, zonder kwalificatie of de vlucht klimmend, horizontaal vliegend of dalend is. Dit is gedaan omdat niet met zekerheid is vast te stellen of genoemde kwalificaties ook van toepassing waren. Een tweede reden is dat er hierdoor statistisch gezien de beste beoordelingen te maken zijn van de meetwaarden los van andere parameters.

9.2 Meetwaarden met een classificatie klimmen, horizontaal vliegen, of dalend

In de tweede figuur is hier wel rekening mee gehouden. Er is een regressielijn getrokken door alle meetwaarden en er is een regressielijn getrokken door de waarden voor horizontaal vliegen. Hieruit volgen gemiddelde meetwaarden voor een afstand/hoogte van 900, 1.800 en 2.700 m.



9.3 Statistiek

In tabel 3 zijn uit de regressielijnen afgeleide gemiddelde maximale geluidsniveaus vermeld. De waarden van alleen de metingen die als horizontaal vliegen staan aangemerkt, zijn gegeven alsmede de waarde van alle metingen betreffende het horizontaal vliegen, het stijgen en het dalen. Dit aangezien het niet zuiver is om na te gaan of een vliegtuig klimt, horizontaal vliegt en/of tevens versnelt, afremt of daalt. Onbekendheid in de operational setting geeft aan de hand van gedane metingen als resultaat dat er gemiddeld een 1 dB(A) hoger maximaal geluidsniveau wordt gevonden.

tabel 3: gemiddelde meetwaarden

	Gemiddelde resultaten van de metingen aan de hand van de regressie met de afstand/hoogte	
	Alle metingen	Alleen horizontaal vliegend
Afstand/hoogte 900 m	64 dB(A)*	65 dB(A)*
Afstand/hoogte 1800 m	59 dB(A)	58 dB(A)
Afstand/hoogte 2700 m	56 dB(A)	54 dB(A)

*bepekerkt aantal samples

Vanuit de statistiek is bekend dat er weleens hogere waarden optreden net zoals er ook weleens lagere waarden kunnen optreden. De gegeven waarden zijn dus gemiddelden passend in een statistische benadering zoals dit in een rekenmodel zal werken.

Voor de verdere analyse is tevens gebruikt gemaakt van alle metingen omdat statistisch gezien de betere beoordelingen te maken zijn van meerdere samples, ofwel van meer statistisch onafhankelijke meetwaarden.

9.4 Geluidsniveauvariatie bij verschillen in vlieghoogten/afstanden

Een opmerkelijk punt bij de gedane metingen is het gemiddelde verschil van de gemeten geluidswaarden op verschillende hoogten. Een en ander aan de hand van de gemiddelde meetwaarden van tabel 3. De geluidsniveauverschillen van de metingen van 1.800 en 2.700 m bedragen circa 3-4 dB(A) en zijn aanzienlijk kleiner dan dat je op basis van modelberekeningen zou mogen verwachten. Ook de verschillen tussen 900 m en 1.800 m hoogte/afstand geven lage waarden van 5-7 dB(A). Er zijn hier wel minder meetsamples.

Op basis van de geometrische afstandsverzwakking tussen 1.800 en 2.700 m wordt een geluidsniveauverschil berekend van 3.5 dB(A) en tussen 900 en 1.800 m een geluidsniveauverschil van 6 dB(A). Voor beide afstandsverschillen bedraagt de luchtdemping van circa 2 tot 3 dB(A). Een en ander is sterk afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid in het propagatiepad. Op basis van modeltheorie zullen, afhankelijk van temperatuur en luchtvochtigheid, de verschillen respectievelijk liggen tussen circa 5 en 8 dB(A). Een en ander wijst op een lagere luchtdemping, bij benadering tot circa 0 dB(A). Dit als gevolg van een mogelijk extreme relatieve vochtigheid, temperatuur en/of luchtdruk of andere parameters die enigszins uitzonderlijk kunnen zijn.

9.5 Vergelijk metingen en berekeningen

In tabel 4 is tevens een aantal waarden opgenomen die met het model zijn bepaald. Deze berekende waarden zijn afkomstig uit bijlage 14 van het MER [5]. Dit is gedaan om toch, met alle beperkingen en nauwkeurigheden, het een en ander te willen vergelijken. Voor een afstand/hoogte van 1800 m vinden we dan een gemiddelde meetwaarde van 59 dB(A) en voor modelberekeningen gemiddeld over alle operational settings 58 dB(A). Dit is een zeer beperkt verschil.

tabel 4: gemiddelde meetwaarden op basis van de regressielijn voor afstand/hoogte in relatie tot modelberekeningen

	Metingen		Modelberekeningen	
	Alle metingen	Alleen horizontaal vliegend	Alle settings	Alleen horizontaal vliegend
Afstand/hoogte 900 m	64 dB(A)	65 dB(A)	-	61-62 dB(A)
Afstand/hoogte 1800 m	59 dB(A)	58 dB(A)	58 dB(A)	56-52 dB(A)
Afstand/hoogte 2700 m	56 dB(A)	54 dB(A)	53 dB(A)	50-47 dB(A)

Voor andere omstandigheden en hoogten wordt verwezen naar de tabel waaruit verschillen van 1 tot circa 5 dB(A) hogere waarden naar voren komen.

Al deze verschillen moeten gezien worden in relatie tot de onzekerheden van rekenmodellen en de onnauwkeurigheden van metingen. Hierbij speelt nog, vanwege het gegeven dat dit een beperkte korte meting is, de representativiteit van een enkel toestel, de representativiteit van de vliegomstandigheden en akoestische propagatieomstandigheden. Het ziet eruit of er een verandering van luchtdemping gedurende de vlucht heeft plaatsgevonden.

10. Samenvatting en conclusie

Computersimulatiemodellen zijn een benadering van de werkelijkheid en bezitten veel methodebeperkingen. Door onnauwkeurigheden van de invoerdata ontstaan er veel onzekerheden. Geluidsmetingen lijken direct, maar zijn minder objectief, vanwege het stochastische karakter. Uit metingen kom je meer te weten en kom je ook te weten dat je te weinig weet en dat er dus beperkingen zijn aan de conclusies van een meting. Bij langdurige metingen kan je wel, doordat je met statistiek de goede analyses kan maken, een beoordeling geven over de lokale geluidssituatie en over de kwaliteit van de berekeningen.

Bij het beschouwen van de meetresultaten van de kortdurende geluidsmetingen tijdens de Belevingsvlucht dienen de onzekerheden van rekenmodellen in relatie tot de onnauwkeurigheden van een meting terdege in beschouwing te worden genomen. In het algemeen dienen voor zowel metingen alsook voor berekeningen een onzekerheid en een onnauwkeurigheid van circa 2 dB(A) te worden beschouwd. Voor bepaalde situaties kan deze onzekerheid en onnauwkeurigheid oplopen tot 4-5 dB(A). Een statistische beoordeling van langlopende metingen is dan zonder meer noodzakelijk.

Bij de uitvoering van geluidsmetingen moet worden gerealiseerd dat er onvoorspelbare effecten ontstaan door het stochastische karakter van geluidsgolven in de propagatie. Deze effecten ontstaan door luchtverplaatsingen zowel horizontaal (wind) of verticale richting, door wisselende luchtdemping, door reflecties en door scattering tegen de bodem en andere objecten. Tevens geldt dat de relatie tussen $L_{A,max}$ en SEL niet eenduidig is.

Een vergelijking tussen de geluidswaarden van metingen en uit het rekenmodel, met alle beperkingen, onzekerheden en nauwkeurigheden is toch nog gemaakt. Voor een afstand/hogte van 1800 m vinden we dan een gemiddelde meetwaarde van 59 dB(A) en voor modelberekeningen gemiddeld over alle settings 58 dB(A). Dit is een zeer beperkt verschil. Voor andere omstandigheden en hoogten/afstanden komen voor de metingen 1 tot circa 5 dB(A) hogere waarden naar voren. In relatie tot de onnauwkeurigheden speelt dat dit een beperkte korte meting is, dat er statistische onzekerheid is over de representativiteit van de vliegomstandigheden, hoogten en afstanden, operational settings, en akoestische propagatieomstandigheden. De belangrijkste factoren, die statistische onzekerheid geven, zijn omstandigheden en operational settings. Dit zijn factoren direct gerelateerd aan meteorologie.

Overigens is, gezien het gegeven dat de geluidsniveaus volgend uit de metingen, hoger zijn dan de rekenwaarden, wel de conclusie te rechtvaardigen dat er meer metingen uitgevoerd moeten worden ter validatie van de methode voor het berekenen van luchtvaartlawaai. Bij deze metingen kan de emissie gevalideerd worden en kan eveneens andere onderdelen van de rekenmethode zoals de akoestische overdracht tijdens momenten van het etmaal, de toe te passen vliegpaden en operational settings gevalideerd worden. Deze conclusie ligt in de lijn van eerdere conclusies zoals ook door De Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid in literatuur [23].

De door DGMR uitgevoerde beoordeling van de rapportage van T070 heeft geleid tot een aantal technische opmerkingen die in bijlage 1 bij deze notitie zijn beschreven. Over all geeft het rapport van T070 geen aanleiding tot afwijkende standpunten, wat betekent dat de conclusies en aanbevelingen in deze rapportage kunnen worden onderschreven.

ing. J.J.A. (Hans) van Leeuwen
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

Bijlage 1

Opmerkingen rapport TO 70 van september 2018.

Algemeen

Bij de workshops en bij een analyse van DGMR is lopende het onderzoek over de Belevingsvlucht reeds een aantal technische onderwerpen door DGMR beoordeeld en beschreven. Een aantal van deze onderwerpen is reeds door TO70 overgenomen in de laatste versie van de rapportage van TO70. In het kader van de contra-expertise door DGMR zullen deze onderwerpen niet verder behandeld worden.

Detailopmerkingen naar aanleiding van tekstfragmenten van het rapport van TO70.

Samenvatting

Het meetproces was er niet op gericht om een vergelijking te maken met de resultaten in het MER. Als dit (vooraf) wel de bedoeling zou zijn geweest, dan zou het meetproces anders zijn ingericht. Er zou bijvoorbeeld met nauwkeurige apparatuur zijn gemeten (meetklasse 1 in plaats van 2), onder meer omstandigheden en recht onder het vliegpad.

Doordat er met meerdere geluidsmeters is gemeten en doordat alle meters voorafgaand en naar afloop van de metingen zijn gekalibreerd, is er voor dit punt geen significante afwijking te verwachten.

Metingen uitvoeren onder vluchtpaden of op punten met een bepaalde evaluatiehoek kunnen wel degelijk gebruikt worden mits de evaluatiehoek niet te groot is. Dit laatste in verband met de optredende laterale diffractie. Uiteraard wel de voorwaarde, dat een correctie wordt doorgevoerd voor de grotere propagatieafstand.

1. Inleiding

- *er verschillen zijn geconstateerd tussen de meetresultaten en de resultaten in het MER;*

De constatering is altijd juist. Het zal namelijk zeer uitzonderlijk zijn als je **wel** exact op de toegepaste uitgangspunten van de rekenmethode toegepast in het MER zou kunnen meten.

2.3 Rapportage van de meetresultaten

Kader L_{Amax} (slow)

Als een vliegtuig overvliegt zwelt het geluid aan, bereikt een maximum en neemt vervolgens weer af. De L_{Amax} waarde geeft het hoogst gemeten geluidniveau tijdens de passage van het vliegtuig.

Er moet hier opgemerkt worden dat dit alleen correct is bij een constante vlieghoogte en bij een constante geluidsmisatie van het toestel. Een andere power setting of een andere operational setting tijdens de passage kan een effect hebben. Overigens is dit effect dominanter op de $L_{A,max}$ -waarde dan op de SEL-waarde (dus de L_{den} -waarde). Voor de directe beleving voor de mens is dit effect dus dominanter en meer waarneembaar vanwege de hoorbaarheid in het maximale geluidsniveau. Vervolgens moet ook nog wel opgemerkt worden dat dergelijke effecten dominanter zijn voor de, niet in de vliegtuigwereld toegepaste, $L_{A,max,fast}$ -waarde, in vergelijking tot de, bij de meting gebruikte, $L_{A,max,slow}$ -waarde. (zie ook bijlage 2)

3.3 Meetresultaten

Verstoren in metingen

Opmerkelijk is dat de gemeten L_{Amax} waarden binnen een kort tijdsbestek op navolgende meetlocaties tot enkele decibel verschillen. Als voorbeeld gelden de gemeten waarden rond 19:00 uur voor horizontaal vliegen op 1.830 meter. Het verschil tussen de hoogste en laagste waarde is 2,6 dB(A) binnen een tijdsbestek van

enkele minuten. Dit verschil is groter dan de meetnauwkeurigheid en kan niet verklaard worden door bijvoorbeeld de meteorologische omstandigheden of door veranderingen in het weer. Ook dit onderschrijft de beperkte betrouwbaarheid in de metingen.

Juist de meteorologische omstandigheden zijn, door het stochastische karakter hiervan, hier de oorzaak van.

Transavia heeft tijdens een workshop vertrouwelijke vluchtgegevens toegankelijk gemaakt om te bezien of verschillende stuwkrachtsettings van invloed waren op de gemeten waardes. Deze stuwkrachtsettings zijn direct van invloed op het geluidniveau wat het vliegtuig produceert (een hogere stuwkrachtsetting zorgt dus voor een hogere geluidbelasting). Op basis van een steekproef van de vluchtgegevens blijkt dat doorgaans eenzelfde stuwkrachtsetting is gehanteerd, waarvan Transavia aangaf dat deze normaal is voor horizontaal vliegen.

We moeten ons realiseren dat ook beperkte verhoging van de stuwkracht al snel kan leiden tot een hogere geluidsproductie. Beperkte wisselingen van stuwkracht zijn bijvoorbeeld van toepassing bij veranderingen van de luchtstromen zowel in snelheid, als in richting en dit voor de drie orthogonale richtingen. De vraag die hierbij opkomt is, in hoeverre de rekenmethode met de hierin opgenomen tabellen van toepassing zijn voor deze praktijksituatie. Gezien de gevoerde discussies en de beschikbaarheid van data, lijkt het erop dat dit helaas niet verifieerbaar is.

De in praktijk op deze locaties gehanteerde stuwkrachtsettings tijdens de belevingsvlucht, en daarmee de gemeten waarden, zijn niet representatief voor het bedoelde horizontaal vliegen. Er zijn geen situaties gevonden waar de gehanteerde stuwkrachtsetting lager was dan gebruikelijk bij horizontaal vliegen.

Zoals eerder aangegeven zal het uitzonderlijk zijn als je wel exact op de toegepaste representatieve uitgangspunten zou kunnen vliegen. In de verwerking van alle meetdata door DGMR zijn tevens situaties gevonden waar wel lagere geluidsniveaus zijn gemeten. (zie paragraaf 9 van de notitie).

3.4 Conclusie

De geluidsniveaus zoals die door de regiegroep zijn gepresenteerd, geven geen betrouwbare indicatie van de te verwachte waarden over een langere periode van tijd.

Deze conclusie is, in het licht van de effecten van akoestische propagatie door meteorologie en de effecten van operational settings te voorbarig. De metingen geven wel een indicatie maar behoren gezien te worden met de spreidingen die gevolgen zijn van stochastisch fysisch verschijnselen.

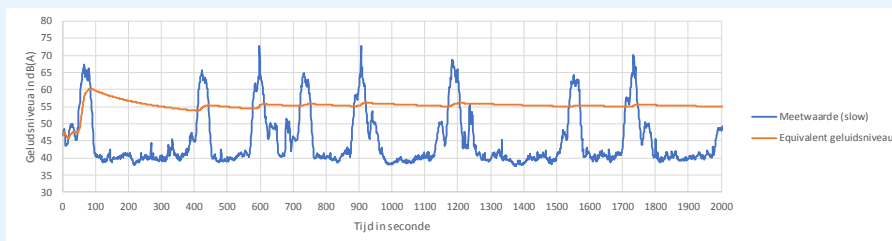
Bijlage 2

Terminologie - Het maximaal geluidsniveau en pieken

Vaak wordt bij metingen, en zeker bij de metingen zoals deze voor de Belevingsvlucht zijn gedaan, het maximale geluidsniveau tijdens een passage bepaald. Door velen en ook in de media wordt het maximale geluidsniveau tijdens een passage vaak beschreven als een piekniveau of een piekbelasting. Wetenschappelijk gezien is een piekbelasting niet geheel correct, aangezien bij een dergelijke meting tevens rekening moet worden gehouden met een integratietijd van de meetwaarde. Een echte piekwaarde bezit geen integratietijd en moet dan ook gezien worden als het echte maximum van de geluidsdruk. Maximale geluidsniveaus worden altijd vastgesteld bij een bepaalde integratietijd. Dit om realistische meetwaarden te verkrijgen en ook omdat ons menselijk oor en ons brein de geluidsdruk eveneens integreert over een bepaalde tijd. Voor de relatie met de mens is een integratietijd van 125 milliseconde genormaliseerd. Voor geluidsmetingen wordt deze integratietijd vaak toegepast. Dit is meterstand 'fast'. Voor andere geluidsmetingen is, omwille van een beter reproduceerbare meetwaarde, een integratietijd van 1 seconde genormaliseerd. Voor deze metingen is dit meterstand 'slow'.

Terminologie - Het maximaal geluidsniveau versus het equivalente geluidsniveau

Verder moet opmerkt worden dat het maximale geluidsniveau tijdens een passage duidelijk iets ander is dan het gemiddelde equivalente geluidsniveau. Dit wordt geïllustreerd in figuur 1. Het equivalente geluidsniveau is de middeling over de momenten van een vliegtuigpassage en de tijd hiertussen. Hierdoor wordt ook het aantal passages meegewogen. Voor de wettelijke toetsing wordt aan de hand van dit equivalente geluidsniveau, per periode van een etmaal, een straffactor van 5 of 10 dB(A), een gemiddelde voor het etmaal bepaald. Als jaargemiddelde geeft dit vervolgens de toets voor de L_{den} -waarde.



figuur 11: voorbeeld van een momentaan gemeten geluidsniveau en een equivalent geluidsniveau

Bijlage 3

Onnauwkeurigheid van het meetinstrument op zich

De nauwkeurigheid van een geluidsniveaumeter kan een aspect zijn van discussie, alhoewel in de praktijk de variatie door akoestische propagatie en variatie van de bron meer relevant zijn. De akoestische propagatie varieert bijvoorbeeld door de wind in richting, in snelheid, in turbulente, mede op verschillende hoogten boven het aardoppervlak. De akoestische propagatie varieert in reflecties en scattering waarbij we ons tevens moeten realiseren dat dit ook frequentieafhankelijk is.

Er is bij de metingen gebruikgemaakt van zogenaamde type 2 meters. Een en ander is gedefinieerd door de relevante internationale normen - Type 1 is nauwkeuriger dan Type 2. De ANSI-norm S1.4 [19] verwijst naar de klasse als 'Type', terwijl de nieuwere standaard IEC 61672 literatuur [20],[21] en [22] het verwijst naar 'Klasse'. Hoewel deze normen overeenkomsten vertonen, stelt de latere norm wel meer eisen aan de meter met betrekking tot nauwkeurigheid, prestaties en kalibratie.

Een geluidsmeter van het type/klasse 1 is gedefinieerd als 'Precision Grade' voor gebruik in laboratoria en in het veld en bezit een nauwkeurigheid van $\pm 0,7$ dB(A). Een meter van type/klasse 2 is meestal voor gebruik in het veld en bezit een nauwkeurigheid van $\pm 1,0$ dB(A). Deze nauwkeurigheid geldt onder referentieomstandigheden zoals beschreven in de IEC 60651-standaard. Opgemerkt moet worden dat deze getallen misleidend kunnen zijn, omdat ze niet omgaan met de vele verschillende aspecten van de geluidsmeting. De nauwkeurigheid is vaak beschreven op een enkel niveau en een enkele frequentie. Van belang is het hele frequentiegebied, in dit geval van het vliegtuiggeluidsspectrum, alsook de response van de meter zoals integratietijden en het enige dat belangrijk is, is dat de meter voldoet aan de normen, niet alleen de tolerantie op een niveau en frequentie. Aangezien ter plaatse is gekalibreerd, kan de verwachting worden uitgesproken dat het effect van een type/klasse 2 meter verwaarloosbaar is.

Literatuur/referenties

- [1] ECAC.CEAC Doc 29 3rd Edition, Report on Standard Method of Computing, Noise Contours around Civil Airports, Vol. 2: Technical Guide, ECAC, Dec. 7th 2005
- [2] INM (Integrated Noise Model) V7.0 - Technical Manual, FAA-AEE-08-01, 2008
- [3] Evaluatie Belevingsvlucht Rapport opgesteld door de regiegroep O6-07-2018
- [4] Excel file: "Passages belvingsvlucht v2", George, 23-7 2018
- [5] Geluidniveaus tijdens een vliegtuigpassage, bijlage 14 van MER Lelystad Airport, Herstel invoergegevens, verwerken actuele inzichten en voorschriften, effecten aansluitroutes, 21 februari 2018
- [6] Antonio Filippone, Aircraft Noise Prediction, University of Manchester, School of MACE
- [7] Gonçalo S. D. Correia, Aircraft noise level prediction in the vicinity of Lisbon Airport, Departamento de Engenharia Aeroespacial, Instituto Superior Técnico, Lisbon, September 2011
- [8] R Jeremy Astley, Can technology deliver acceptable levels of aircraft noise? University of Southampton, Internoise 2014
- [9] Antonio Filippone, Challenges in Aircraft Noise Prediction, The University of Manchester, Green Aviation Conference, Brussels, 12-14 March 2014
- [10] Salomons E., Van Maercke D., Defrance J., De Roo F., The Harmonoise sound propagation model, Acta Acustica united with Acustica, 97(1), 62-74, (2011)
- [11] R. Nota, R. Barelds J.J.A. van Leeuwen, Harmonoise WP3 Propagation paths and reflections Technical Report, HAR31TR-030129-DGMR01 Januari 2003
- [12] CNOSSOS-EU, Commission Directive (EU) 2015/996 of May 19th 2015, OJ of European Union, July 1st 2015
- [13] Luis Alejandro Sánchez-Pérez, Luis Pastor Sánchez-Fernández, Sergio Suárez-Guerra, Miguel Márquez-Molina, Geo-referenced flight path estimation based on spatio-temporal information extracted from aircraft take-off noise, Centro de Investigación en Computación - Instituto Politécnico Nacional, Av. Juan de Dios Bátiz s/n, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, México D.F. CP 07738, Mexico, Digital Signal Processing 30 (2014) 1-14
- [14] Managing the Impacts of Aviation Noise, A Joint Publication of the Civil Air Navigation Services Organisation and Airports Council, International September 2015
- [15] Lothar Bertsch: Noise Prediction within Conceptual Aircraft Design, DLR Forschungsbericht, ISRN DLR-FB-2013-20, 2013
- [16] Lothar Bertsch, Wolfgang Heinzel, Markus Lummer, Application of an Aircraft Design-To-Noise Simulation Process, German Aerospace Center (DLR) and Technical University of Braunschweig (TU-BS)
- [17] Peter Houtave, Jean-Pierre Clairbois, Single aircraft pass-by: modelling relevant noise at ground, A-Tech / Acoustic Technologies NV/SA, Brussels, Belgium. Euronoise Crete 2018
- [18] ISO 9613-1 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 1993
- [19] ANSI S1.4: Specifications for Sound Level Meters by American National Standards Institute Publication date 1983
- [20] International Standard IEC 61672-1:2002. Sound level meters - Part 1: Specifications
- [21] International Standard IEC 61672-2:2003. Sound level meters - Part 2: Pattern evaluation tests
- [22] International Standard IEC 61672-3:2006. Sound level meters - Part 3: Periodic tests
- [23] Luid, maar duidelijk - Handhavingstelsysteem in het buitengebied rond Schiphol - Geluidmetingen voor handhaving - Geluidmetingen voor informatie, Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid, 15 januari 2006