



NLR-CR-2009-002

Stillere AWACS vliegprocedures?

Een analyse van 20 vluchten

R.H. Hogenhuis en D.H.T. Bergmans





NLR-CR-2009-002

Stillere AWACS vliegprocedures?

Een analyse van 20 vluchten

R.H. Hogenhuis en D.H.T. Bergmans

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

Opdrachtgever Ministerie van VROM
Contractnummer 4090081077
Eigenaar Ministerie van VROM
NLR Divisie Air Transport
Verspreiding Beperkt
Rubricering titel Ongerubriceerd
 januari 2009

Goedgekeurd door:

Auteur	13/01	Reviewer	13/01	Beherende afdeling

Samenvatting

Op 4 november 2008 zijn door de NATO vanaf de Vliegbasis Geilenkirchen 20 verschillende AWACS testvluchten uitgevoerd om het effect van nieuwe start- en landingsprocedures op de geluidsniveaus op de grond te bepalen. Tijdens deze vluchten zijn zowel aan Duitse als aan Nederlandse zijde geluidsmetingen gedaan. Het doel van dit rapport is om gebaseerd op een analyse van de geluidsmetingen een advies uit te brengen en antwoord te geven op de vraag *welke gevlogen procedures leidden tot een lagere geluidsbelasting*.

Het beantwoorden van de onderzoeksvraag is echter niet mogelijk door een aantal beperkingen. Allereerst werd gebruik gemaakt van doorstarts in plaats van starts uit stilstand. Tevens waren geen gegevens beschikbaar over de gebruikte stuwkracht tijdens de gevlogen procedures. Door de geldende beperkingen kunnen slechts conclusies getrokken worden uit de bandbreedtes van de geluidsniveaus van de verschillende vliegprocedures.

Bij de analyse is gekeken naar de geluidsbelasting van de gevlogen procedures, niet naar de operationele inpasbaarheid. Zo kan het zijn, dat een bepaalde procedure tot een lage geluidsbelasting op de grond leidt, maar dat deze procedure slechts in een zeer beperkt aantal omstandigheden gevlogen kan worden. Deze procedure zal hierdoor geen grote impact hebben op de totale geluidsbelasting van alle vluchten samen.

Middels een analyse van geluidsniveaus is vastgesteld dat de bandbreedte van de piekgeluidsniveaus van de verschillende startprocedures in noord Brunssum en zuid Schinveld 6 dB(A) bedroeg. In het gebied rond Merkelbeek neemt de bandbreedte verder toe. Deze bandbreedte is gebaseerd op de geluidsniveaus van vluchten die dezelfde richting op vlogen (richting Nederland, en afdraaien naar het Zuiden). Het betrof 1 start uit stilstand en 10 doorstarts met hetzelfde vliegtuig, waarbij het startgewicht door brandstofverbruik afnam gedurende de verschillende vluchten. De meetgegevens zijn gecorrigeerd voor verschillen in de ligging van de grondpaden (horizontale routespreiding).

De 6 dB(A) bandbreedte geeft aan dat het verschil tussen de procedure met het hoogste en de procedure met het laagste geluidsniveau 6 dB(A) bedraagt als een AWACS ter hoogte van Schinveld en Brunssum vliegt. Dit is echter geen indicatie voor de geluidsreductie die kan worden bereikt met het toepassen van één bepaalde procedure. Ten eerste is het niet aannemelijk dat de AWACS vliegtuigen momenteel alleen vluchten uitvoeren die leiden tot de maximale geluidsbelasting zoals die tijdens de testvluchten gemeten is. Dit wordt ook bevestigd door de gemeten geluidsniveaus behorende bij een standaard startprocedure. Deze procedure

betrof de standaard startprocedure zoals deze gevlogen wordt door AWACS toestellen die vanaf Geilenkirchen opstijgen. Deze standaard procedure leidde niet tot de hoogste gemeten geluidsniveaus op de grond. Ten tweede speelt een groot aantal variabelen een rol die niet met de gevlogen procedure samenhangen, zoals het vliegtuiggewicht en de locatie waarop de startprocedure begint. Deze variabelen zullen bij de testvluchten niet constant geweest zijn, en zullen derhalve ook hebben bijgedragen aan de grootte van de bandbreedte.

Ook als de testvluchten op een optimale manier worden uitgevoerd, dient nog steeds rekening gehouden te worden met variabelen die niet gecontroleerd kunnen worden zoals actuele windsterkte en windrichting. Deze variabelen hebben tot gevolg dat er altijd sprake zal zijn van een bandbreedte in de resultaten (onzekerheidsmarges). Kortom, de verschillen in gemeten geluidsniveaus van twee gelijke procedures zullen nooit alleen veroorzaakt worden door het verschil in de profielen.

Het is niet mogelijk exact aan te geven hoeveel de geluidsniveaus gereduceerd kunnen worden door stillere procedures te introduceren, maar op basis van de meetgegevens kan verondersteld worden dat de reducties minder zijn dan 6 dB(A). Aan de hand van de resultaten van de testvluchten is de verwachting dat de werkelijke reducties (bijvoorbeeld ten opzichte van een standaardprocedure) een aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn.

Om een indicatie te geven voor het aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn de verschillen tussen de hoogste gemeten geluidsniveaus van de standaardprocedure en de stilste vlucht met elkaar vergeleken. Het verschil in geluidsniveau voor het gebied ter hoogte van Brunssum en Schinveld tussen de standaard vlucht en de stilste vlucht bedraagt circa 3 dB(A).

Omdat deze 3 dB(A) enkel gebaseerd is op twee afzonderlijke vluchten, is de statistische betrouwbaarheid onvoldoende om aan dit getal een harde conclusie te verbinden. Het blijft enkel een indicatie.

Het is niet mogelijk om met de meetgegevens die op 4 november 2008 verzameld zijn een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijke geluidsreducties die behaald kunnen worden met behulp van stillere procedures. Om een beter beeld te krijgen, wordt aanbevolen om nieuwe testvluchten uit te voeren.

Uit de metingen is tevens naar voren gekomen dat een toename in startgewicht van een AWACS vliegtuig leidde tot een hogere geluidsbelasting. Uit de vergelijking van de procedures die werden uitgevoerd door AWACS vliegtuigen die uit stilstand startten met verschillende startgewichten blijkt dat de gemeten geluidsniveaus van het zwaarste toestel voor alle

meetposten hoger waren in vergelijking met de gemeten geluidsniveaus van de lichtere toestellen. Met het oog op de geluidsbelasting op de grond is het dus wenselijk dat startende vliegtuigen zo licht mogelijk zijn.

Voor de landingen zijn minder gedetailleerde gegevens beschikbaar van de geluidsmetingen. Dit heeft tot gevolg dat het niet mogelijk is gebleken om verschillende landingsprocedures te vergelijken.

Inhoud

Afkortingen	7
1 Inleiding	9
1.1 Leeswijzer	10
2 Het onderzoek	11
2.1 De aanpak	11
2.2 Beperkingen	13
3 Resultaten	18
3.1 Starts	18
3.1.1 Analyse van verschillende startprocedures	20
3.1.2 Verschillende procedures	26
3.1.3 Verschillend startgewicht	28
3.1.4 Samenvatting starts	32
3.2 Landingen	32
4 Conclusie en aanbevelingen	37
Referenties	40
Appendix A Overzicht vluchten	41
Appendix B Methode voor het corrigeren van de meetdata	43
Appendix C Resultaten ondersteunend aan het hoofdrapport	51

Afkortingen

AWACS	Airborne Warning And Control System
dB(A)	A-gewogen geluidsniveau in deciBel
mp	meetpost
ILS	Instrument Landing System
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NLR	Nationaal Lucht- en ruimtevaartlaboratorium
RD-X	RijksDriehoek x-coördinaat
SPL	Sound Pressure Level
TACAN	TACTical Air Navigation
VROM	Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu



Deze pagina is opzettelijk blanco.

1 Inleiding

In 2008 is, in overeenstemming met het ministerie van Defensie, door het ministerie van VROM een traject gestart om na te gaan of de geluidshinder rondom de NATO basis in Geilenkirchen verminderd zou kunnen worden. Er is gekeken of andere vliegprocedures tot een lagere geluidsbelasting in de gemeenten Onderbanken en Brunssum zouden kunnen leiden. Het NLR heeft hiervoor een theoretische studie gedaan genaamd '*Onderzoek naar stillere AWACS vliegprocedures; Een theoretische verkenning op basis van geluidvoetprints*' (zie ref[1]). Hierin is een verkenning gedaan naar het effect op de geluidsbelasting als er gevarieerd wordt met:

- De stuwkracht; zowel in de start- als daalprocedure
- De klimhoek en de daalhoek
- Het moment van overgang van start- naar klimvermogen (moment van verlagen van de stuwkracht)

Deze effecten werden los van elkaar in beeld gebracht, waarmee een eerste beeld werd gegeven van het afzonderlijke effect van variaties in de stuwkracht, klimhoek en het moment van verlagen van de stuwkracht op de geluidsbelasting. Uit het onderzoek kwam naar voren dat deze drie variabelen allemaal invloed hebben op de geluidsniveaus op de grond. In de praktijk hangen deze drie parameters samen en gezamenlijk vormen ze een unieke vliegprocedure. De samenhang tussen de parameters is complex, en daarom is besloten om met behulp van vliegproeven onderzoek te doen naar het effect van verschillende vliegprocedures op de geluidsbelasting.

Op 4 november 2008 zijn tussen 08:00 en 10:45 uur in totaal 20 vluchten met AWACS toestellen uitgevoerd vanaf de basis te Geilenkirchen (Duitsland). Tijdens de vluchten zijn zowel aan Duitse als aan Nederlandse zijde geluidmetingen gedaan. De resultaten van de metingen aan de Nederlandse kant van de grens werden verstrekt door Geluidsneta en de basis heeft de meetgegevens van de metingen aan Duitse zijde verstrekt.

In Tabel 3 van Appendix A staat een overzicht van alle testvluchten. De tabel laat zien dat er in totaal 21 testvluchten zijn uitgevoerd, waarvan er één niet met een AWACS werd uitgevoerd (vlucht 11). Omdat deze vlucht met een ander toestel werd uitgevoerd, is deze vlucht buiten beschouwing gelaten in het vervolg van dit rapport. In de verschillende analyses die in dit rapport worden beschreven zal telkens een subset van deze 20 vluchten gebruikt worden. Dit gebeurt omdat niet alle vluchten bruikbaar zijn voor iedere analyse.

Het doel van dit rapport is om een advies uit te brengen en antwoord te geven op de vraag *welke gevlogen procedures leidden tot een lagere geluidsbelasting*. Bij deze analyse is gekeken naar de geluidsbelasting van de gevlogen procedures, niet naar de operationele inpasbaarheid. Zo kan het zijn, dat een bepaalde procedure tot een lage geluidsbelasting op de grond leidt, maar dat deze procedure slechts in een zeer beperkt aantal omstandigheden gevlogen kan worden. Deze procedure zal hierdoor geen grote impact hebben op de totale geluidsbelasting van alle vluchten tezamen.

Middels een analyse van de geluidsniveaus is vastgesteld dat de bandbreedte van de piekgeluidsniveaus van de testvluchten ter hoogte van Schinveld en Brunssum gemiddeld 6 dB(A) bedroeg. Verder weg van de baan neemt deze bandbreedte toe. Tevens is naar voren gekomen dat een toename in startgewicht van een AWACS vliegtuig leidde tot een hogere geluidsbelasting op de grond.

Doordat operationele factoren die geen deel uitmaken van de gevlogen procedures van invloed zijn op de vliegproeven kan niet geconcludeerd worden dat het mogelijk is om door het vliegen van andere procedures een reductie van 6 dB(A) te bereiken. Zo werd bijvoorbeeld voor bijna alle vluchten gebruik gemaakt van doorstarts, waardoor verschillen ontstonden in starthoogte, startsnelheid en de locatie waarop het vliegtuig de startprocedure inzette. Mede hierdoor kunnen de afzonderlijke effecten van klimhoek, stuwkracht en moment van vermindering van de stuwkracht niet zichtbaar gemaakt worden zoals in de eerder genoemde studie. Door deze en andere aspecten kan niet verondersteld worden dat het mogelijk is om door het vliegen van andere procedures een reductie van 6 dB(A) te bereiken. Aan de hand van de resultaten van de testvluchten is de verwachting dat de werkelijke reducties (bijvoorbeeld ten opzichte van een standaardprocedure) een aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn.

1.1 Leeswijzer

In het vervolg van dit rapport zal allereerst worden beschreven hoe het onderzoek is uitgevoerd (hoofdstuk 2). Daarbij worden zowel de toegepaste methode als de bijbehorende beperkingen beschreven. Hierna worden in hoofdstuk 3 de resultaten van de analyse gegeven. Dit gebeurt zowel voor de startprocedures als voor landingsprocedures. Tot slot worden in hoofdstuk 4 conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Het onderzoek

2.1 De aanpak

De geluidshinder die een vlucht veroorzaakt hangt samen met de geluidsproductie van het vliegtuig (afhankelijk van de stuwkracht) en van de positie van het vliegtuig (de afstand tussen het vliegtuig en de ontvanger van het geluid). Om geluidsoverlast in woonkernen te beperken zou het grondpad waar mogelijk bewoond gebied moeten mijden. Om de geluidsbelasting in de gemeenten Onderbanken en Brunssum terug te dringen zijn daarom in het verleden afspraken gemaakt over het gebied waarbinnen alle AWACS grondpaden moeten liggen.

Een andere methode om geluidsoverlast te verminderen is het hanteren van vliegprocedures die tot een lagere geluidsbelasting op de grond leiden. De vliegprocedure voor de start en landing bepalen voor een specifiek vliegtuig het verloop van de hoogte, snelheid en de bijbehorende stuwkracht. Als een vliegtuig bijvoorbeeld steiler moet klimmen, zal hiervoor of een hogere stuwkracht nodig zijn, of zal de snelheid lager worden doordat meer energie gebruikt wordt om steiler te klimmen. Door een betere combinatie van stuwkracht, hoogte en snelheid te gebruiken kan de geluidsbelasting op de grond verminderd worden.

Het vinden van een stillere procedure is echter niet eenvoudig omdat hierbij meerdere facetten een rol spelen. Een vliegtuig dat niet in de buurt van bebouwing vliegt kan bijvoorbeeld zo veel mogelijk hoogte of snelheid winnen door met een hoge stuwkracht te vliegen. Zodra het vliegtuig dichterbij de buurt van een woonkern komt zou de stuwkracht verlaagd kunnen worden om de geluidsproductie te verminderen. Deze lagere stuwkracht betekent wel dat het toestel op dat moment minder snel hoogte wint waardoor het op een lagere hoogte over de bebouwing vliegt dan wanneer de stuwkracht niet verlaagd wordt. Doordat het toestel lager vliegt, zal het geluidsniveau op de grond weer toenemen. Dit voorbeeld geeft aan dat de samenhang tussen de parameters complex is, en daarom is besloten om met behulp van vliegproeven onderzoek te doen naar het effect van verschillende vliegprocedures op de geluidsbelasting.

Zoals reeds in de inleiding werd vermeld, is in 2008 een traject gestart om te onderzoeken of de geluidshinder ten gevolge van vliegbewegingen vanaf de NATO basis in Geilenkirchen verminderd zou kunnen worden. In het kader van dit onderzoek zijn op 4 november 2008 door de basis een aantal proefvluchten uitgevoerd. Hierbij moet worden opgemerkt dat de procedures zoals deze gevlogen werden tijdens de testvluchten niet een op een aansluiten bij de procedures zoals deze in de theoretische studie werden beschreven. Dit komt bijvoorbeeld doordat de geteste procedures met name met name doorstarts betroffen. De verschillende vluchten zijn

samengevat in Tabel 3 in appendix A. De begeleidende tekst geeft in het kort weer wat de verschillende procedures inhouden.

Tijdens de vluchten zijn door Geluidsnet op 11 plaatsen geluidsmetingen verricht. In dit rapport beschrijft het NLR een analyse van de door Geluidsnet geleverde gegevens om een antwoord te kunnen geven op de vraag *welke van de gevlogen procedures leiden tot een lagere geluidsbelasting*.

Om de geluidsniveaus van de verschillende procedures zo goed mogelijk te kunnen vergelijken, zijn de meetgegevens gecorrigeerd. De uitgevoerde correctie heeft tot doel om de gemeten geluidsniveaus te corrigeren voor verschillen in de grondpaden van de testvluchten. Indien twee gelijke vluchten plaatsvinden waarbij het grondpad van de ene vlucht verder van een meetpunt ligt dan het grondpad van de andere vlucht dan zal dit ertoe leiden dat het gemeten geluidsniveau lager wordt. Om de procedures van beide vluchten objectief te vergelijken worden de gemeten geluidsniveaus gecorrigeerd voor de volgende drie effecten:

- Verschil in de afgelegde weg van het geluid stand tot het meetpunt van de referentievlucht en de gecorrigeerde vlucht.
- Het verschil in invalshoek van het geluid.
- Verschil in absorptie van geluid.

Appendix B beschrijft de methode waarmee voor deze effecten wordt gecorrigeerd. De correctie van gemeten geluidsniveaus maakt het mogelijk dat ze vergeleken kunnen worden met een referentievlucht. De eerste testvlucht is hierbij gekozen als referentievlucht, omdat dit een standaard startprocedure betrof. Paragraaf 3.1.1 beschrijft het effect van de correctie op de meetresultaten van 11 vluchten.

De effecten waarvoor gecorrigeerd wordt hebben een verschillende invloed op het gemeten geluidsniveau:

- Het gemeten geluidsniveau zal toenemen wanneer een vliegtuig zich dichterbij een meetpunt bevindt.
- Als het geluid onder een grotere hoek aankomt bij een meetpost zal het gemeten geluidsniveau toenemen ten gevolge van de grotere hoek.
- Als het geluid langer door de atmosfeer reist, zal de absorptie toenemen en zal het geluid meer verzwakt worden.

In het onderzoek zijn op verschillende manieren de procedures vergeleken. Als eerste zijn een vlucht uit stilstand en 10 doorstarts (alle met hetzelfde vliegtuig en met een vergelijkbaar

grondpad) met elkaar vergeleken. Vervolgens is getracht om de effecten van een verschil in de stuwkracht en het verschil in het aantal operationele motoren in kaart te brengen.

Naast het verschil in procedures zijn drie vluchten vergeleken, die een verschillend startgewicht hadden. Uit de resultaten van deze drie vluchten blijkt dat het zwaarste vliegtuig in alle meetposten de hoogste geluidsniveaus veroorzaakte en het lichtste vliegtuig de laagste geluidsniveaus.

Er is aangetoond dat het beantwoorden van de vraag *welke van de gevlogen procedures leiden tot een lagere geluidsbelasting* niet mogelijk was door een aantal beperkingen. Door de geldende beperkingen konden voor de starts slechts conclusies getrokken uit de bandbreedtes van de piekgeluidsniveaus van de verschillende vliegprocedures en zijn voor de landingen geen conclusies getrokken uit de beschikbare meetgegevens.

2.2 Beperkingen

Om de verschillende vliegprocedures te kunnen vergelijken zijn, zoals in de vorige paragraaf aangegeven, de gemeten geluidsniveaus voor de ligging van de grondpaden gecorrigeerd. Buiten de ligging van de grondpaden zijn er nog een aantal variabelen. Deze variabelen zorgen ervoor dat er beperkingen zijn aan de vergelijkbaarheid van de verschillende vliegprocedures. In deze paragraaf zullen de volgende variabelen nader besproken worden:

- a. Aantal testvluchten
- b. Startgewicht
- c. Weersomstandigheden
- d. Locatie, snelheid en hoogte van doorstarts
- e. Vliegtuigconfiguratiewisselingen
- f. Moment van stuwkrachtvermindering
- g. Bochten

Voor de uitgevoerde testvluchten zijn de eerste drie genoemde variabelen bekend. De andere variabelen zijn onbekend. In het vervolg van deze paragraaf wordt per variabele aangegeven wat deze inhoud en wat het effect is op de vergelijkbaarheid van de procedures onderling.

a. Aantal vluchten

Er is een klein aantal testvluchten uitgevoerd. Omdat er bovendien een groot aantal verschillende profielen zijn gevlogen is het aantal keren dat de individuele profielen gevlogen zijn laag. Dit betekent dat de statistische betrouwbaarheid van de gemeten gegevens beperkt is.

De gegevens kunnen wel gebruikt worden om indicatief trends in de gemeten geluidsniveaus weer te geven.

b. Startgewicht

Omdat dit onderzoek tot doel heeft te onderzoeken hoe de geluidsbelasting van verschillende procedures zich onderling verhoudt, is het wenselijk dat alle onderzochte procedures worden uitgevoerd met een vliegtuig dat exact hetzelfde gewicht heeft. In totaal werden echter vijf AWACS vliegtuigen gebruikt voor de testvluchten en het startgewicht van deze toestellen varieerde van ruim 110.000 tot ruim 145.000 kilogram. De meeste testvluchten werden met één toestel uitgevoerd. Dit ene vliegtuig heeft meerdere doorstarts gemaakt en werd tijdens de vlucht niet bijgetankt. Dit betekent dat ook dit vliegtuig gedurende de tijd lichter werd doordat het brandstof verbruikte. Bij het vergelijken van de gemeten geluidsniveaus van alle testvluchten moet dus rekening worden gehouden met het effect dat deze verschillende gewichten hebben op de gevlogen procedures.

Doordat van het vliegtuig dat de meeste testvluchten uitvoerde het initiële startgewicht en het uiteindelijke landingsgewicht is gegeven, is het startgewicht van iedere vlucht bij benadering bekend. Van de overige vliegtuigen is alleen het initiële startgewicht bekend.

De verschillen in gewicht hebben een directe invloed op de vliegprestaties. Indien een toestel lichter is, zal het sneller klimmen dan een zwaarder toestel dat dezelfde procedure uitvoert. Dit heeft tot gevolg dat het gemeten geluidsniveau afneemt naarmate een vliegtuig lichter wordt doordat de afstand tussen het vliegtuig en de meetpost toeneemt vanwege de grotere vlieghoogte.

Appendix B beschrijft een methode om te corrigeren voor de verschillen in gewicht. De correctie is niet toegepast vanwege het feit dat de correctiemethode onzekerheden bevat en omdat het effect beperkt is. Appendix B gaat in meer detail op deze problematiek in.

c. Weersomstandigheden

De vliegprestaties worden niet alleen beïnvloed door het gewicht maar ook door de weersomstandigheden, zoals wind en temperatuur. Met name de windsnelheid en windrichting hebben een sterke invloed op de prestaties van het vliegtuig. Hoe meer tegenwind een vliegtuig heeft, hoe sneller het toestel zal klimmen (bij gelijke stuwkracht). Dit wil zeggen dat het geluidsniveau op de grond zal afnemen naarmate de tegenwind sterker wordt doordat het vliegtuig sneller hoogte wint.

Omdat alle testvluchten gevlogen zijn in een tijdsbestek van ruim 2.5 uur en omdat de weersomstandigheden vrij constant waren in deze periode kan worden aangenomen dat de weersomstandigheden niet tot grote verschillen tussen de verschillende profielen hebben geleid.

d. Locatie, snelheid en hoogte van doorstarts

Het grootste deel van de proefvluchten betrof doorstarts. Er bestaan twee soorten doorstarts. De zogeheten “touch and go” is een procedure waarbij het vliegtuig de baan raakt en weer uitklimt volgens een startprocedure. Bij een “go-around” nadert het vliegtuig de grond tot op beperkte hoogte, waarna de landing wordt afgebroken en het vliegtuig weer uitklimt volgens een startprocedure. Zowel de touch and go als de go-around introduceren extra variabelen, die niet gelden wanneer een vliegtuig uit stilstand start:

- Locatie waarop de startprocedure begint (moment van roteren)
- Snelheid op het moment van roteren
- Hoogte van een go-around

Bij het maken van een doorstart is de locatie waar het vliegtuig roteert variabel. Omdat het vliegtuig al snelheid heeft hoeft het niet eerst snelheid te maken zoals bij een reguliere start. Dit betekent dat het toestel eerder kan beginnen met klimmen en dat de startprocedure eerder begint. Tevens zal de snelheid op het moment van roteren meer variëren bij een doorstart dan bij een reguliere start. Tot slot is, wanneer het vliegtuig een go-around uitvoert, de exacte hoogte waarop het vliegtuig de start inzet variabel.

Het is bekend welke instructie de piloot kreeg met betrekking tot de hoogte waarop de startprocedure moest worden ingezet. Hierdoor is globaal bekend wat de starthoogte was. De exacte locatie van rotatie, snelheid op het moment van roteren en de hoogte van een go-around kunnen niet worden afgeleid uit de radardata omdat de positie van het vliegtuig slechts één maal per 4 seconden bepaald wordt. Ook is de bepaling van de ligging van het grondpad minder nauwkeurig wanneer een vliegtuig zich dicht bij de grond bevindt, op grote afstand van de radar. Omdat het rotatiepunt, de snelheid op het moment van roteren en de hoogte op het moment van roteren niet bekend zijn is het niet mogelijk om de gemeten geluidsniveaus te corrigeren voor deze variabelen.

De variatie in rotatiepunt, snelheid op het moment van roteren en hoogte op het moment van roteren leiden ertoe dat het lastiger wordt om procedures te vergelijken:

- Wanneer de startprocedure eerder wordt ingezet zal dit tot een reductie van de geluidsbelasting op de grond leiden door de grotere hoogte waarop het geluid wordt geproduceerd.

- Indien de snelheid op het moment van roteren hoger is, heeft het vliegtuig meer energie en kan het dus makkelijker uitklimmen of met een hogere snelheid een procedure uitvoeren. Dit zal leiden tot respectievelijk een lager gemeten geluidsniveau of een kortere duur van het geluidsevent.
- Indien een vliegtuig op grotere hoogte begint aan de startprocedure zal dit leiden tot lagere gemeten geluidsniveaus.

e. Vliegtuigconfiguratiewisselingen

Wanneer een vliegtuig een start of een landingsprocedure vliegt, zal het tijdens deze procedure een of meerdere keren van configuratie wisselen. Dit wil zeggen dat het landingsgestel wordt ingetrokken/uitgetrokken en dat de stand van de kleppen gewijzigd wordt. Het wijzigen van de configuratie beïnvloedt de vliegtuigprestaties. Zo leidt het intrekken van het landingsgestel tot een lagere weerstand waardoor het vliegtuig steiler kan klimmen. Het intrekken van kleppen geeft weliswaar een lagere weerstand, maar zal er ook voor zorgen dat het vliegtuig minder snel klimt.

Het moment waarop een configuratiewijziging plaatsvindt, beïnvloedt het verloop van de procedure. Om procedures goed met elkaar te kunnen vergelijken zou het moment van een configuratiewisseling bekend moeten zijn. Deze gegevens zijn echter niet beschikbaar.

f. Moment van stuwkrachtvermindering

Tijdens een normale startprocedure zal een vliegtuig in de eerste fase van de procedure vliegen met het maximale startvermogen. Op een gegeven moment wordt gas teruggenomen, waardoor minder steil geklommen wordt. Doordat het motorvermogen afneemt, zal de geluidsproductie ook afnemen. Omdat gemeten stuwkrachtsgegevens ontbreken, is niet bekend op welk moment tijdens de gevlogen procedures de stuwkracht is gereduceerd.

De nauwkeurigheid en resolutie (één positiebepalingen per 4 seconden) van de radardata zijn onvoldoende om hiermee het moment van stuwkrachtreductie te bepalen. Doordat het moment van stuwkrachtreductie onbekend is, kan het effect op de gemeten geluidsniveaus van de stuwkrachtreductie ook niet in kaart worden gebracht.

g. Bochten

Zoals te zien is in Figuur 3-2, maken alle vluchten een bocht nadat de toestellen Schinveld en Brunssum gepasseerd zijn. Het maken van een bocht hangt niet samen met de gevlogen procedure maar zal wel een zeer sterk effect hebben op de gemeten geluidsniveaus.

Het door een vliegtuig geproduceerde geluid is niet in alle richtingen gelijk; voornamelijk achter de motoren zal het geproduceerde geluidsniveau hoog zijn. Indien een vliegtuig een bocht maakt verandert de geluidsuitstoot in de verschillende richtingen.

Omdat een vliegtuig overhelt in een bocht zal een deel van het geluid worden afgeschermd door de vleugels. Het gemeten geluidsniveau op de grond zal hierdoor veranderen. Aan de binnenkant van de bocht zal het geluidsniveau afnemen en aan de buitenkant van de bocht zal het geluidsniveau hierdoor toenemen. Dit effect is groter dan het effect van het veranderen van de procedure. Dit betekent dat uit de gemeten geluidsniveaus geen conclusies over het effect van de verschillende procedures kunnen worden getrokken vanaf het punt waarop het vliegtuig een bocht inzet.

De impact op het resultaat van al deze variabelen samen is niet goed in te schatten. Hoofdstuk 3 toont verder aan dat, ten gevolge van deze variabelen, het niet mogelijk is om met de meetgegevens conclusies te trekken uit een onderlinge vergelijking van individuele procedures. Daarom is ervoor gekozen om conclusies te baseren op de spreiding in piekniveaus.

3 Resultaten

Op 4 november 2008 zijn door de NATO vanaf de Vliegbasis Geilenkirchen verschillende AWACS testvluchten richting Nederland uitgevoerd om het effect van nieuwe startprocedures op het geluidsniveau op de grond te bepalen. Op de grond heeft Geluidsnet de geluidsniveaus van de AWACS testvluchten gemeten. Deze geluidsmetingen, aangevuld met vluchtregistratie gegevens, zijn door het NLR geanalyseerd om het effect van de gevlogen AWACS startprocedures zichtbaar te maken.

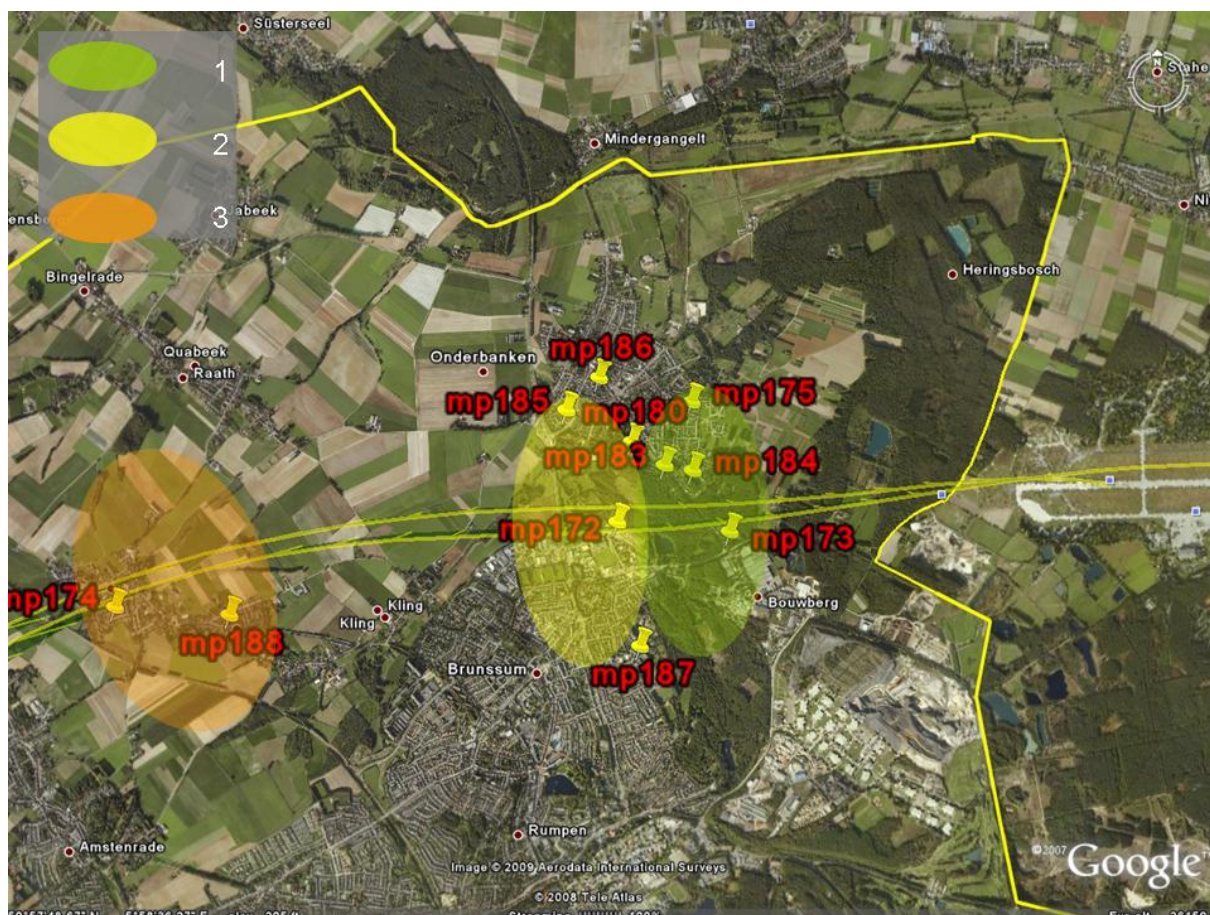
In dit hoofdstuk zal een overzicht worden gegeven van de verschillende analyses die zijn uitgevoerd met de meetdata van de testvluchten van 4 november 2008. Eerst worden de resultaten van de starts besproken, daarna volgen de resultaten van de landingen.

3.1 Starts

De geluidsniveaus van de starts zijn gemeten in verschillende meetpunten in onder meer Schinveld en Brunssum (zie Figuur 3-1). Voor een drietal *clusters* van meetpunten zijn de afzonderlijke spreidingen in meetresultaten gemiddeld. Deze drie clusters van meetpunten liggen in drie deelgebieden langs de gevlogen grondpaden. De drie deelgebieden langs de grondpaden zijn, ten opzichte van de vliegbasis, “dichtbij”, “halfweg” en “ver weg”. De in dit onderzoek gebruikte meetposten staan in deze deelgebieden:

1. Dichtbij: mp173, mp175 en mp184 (oost Schinveld, noordoost Brunssum)
2. Halfweg: mp172, mp180 en mp185 (west Schinveld, noordwest Brunssum)
3. Ver weg: mp174 en mp188 (Merkelbeek en Douvergenhout)

Figuur 3-1 toont zowel de meetposten als de deelgebieden op een kaart. Het benoemen van deze deelgebieden heeft het voordeel dat de geluidsniveaus per deelgebied beschouwd kunnen worden. Op deze manier is het voor de lezer duidelijker over welk gebied gesproken wordt.



Figuur 3-1: De locaties van de meetpunten en deelgebieden

Om niet alleen de trends in de piekniveaus, maar ook het aanzwellen/uitdoven van het geluid vast te stellen zijn de geluidsniveaus tegen een tijdsas uitgezet (zie paragraaf 3.1.1). De piekniveaus zijn daarbij op tijdstip nul gezet (zie Figuur 3-6 als voorbeeld). Op deze manier kunnen geluidsevents met elkaar vergeleken worden. Zoals in paragraaf 2.1 aangegeven is, zijn de meetgegevens gecorrigeerd voor de ligging van de grondpaden. Om te corrigeren voor de spreiding in de horizontale grondpaden van de vluchten zijn de geluidsniveaus gecorrigeerd voor afstand, invalshoek en luchtabsorptie. Het corrigeren van de meetgegevens voor de ligging van de grondpaden geeft de mogelijkheid om beter de verschillen in geluidsniveaus ten gevolge van de startprocedures vast te stellen. Ook deze gecorrigeerde geluidsniveaus zijn uitgezet tegen een tijdsas, waarbij de piekniveaus op nul seconden staan.

De figuren met geluidsevents geven een beeld van de spreiding in de gemeten geluidsniveaus gedurende het gehele geluidsevent. De conclusies van dit onderzoek zijn met name op de spreiding van de piekniveaus gebaseerd.

Ondanks de beperkingen die in paragraaf 2.2 zijn besproken, is toch getracht de invloed van een aantal variabelen te analyseren. Uit de vlieg instructies (zoals weergegeven in Tabel 3 van Appendix A) volgen twee variabelen:

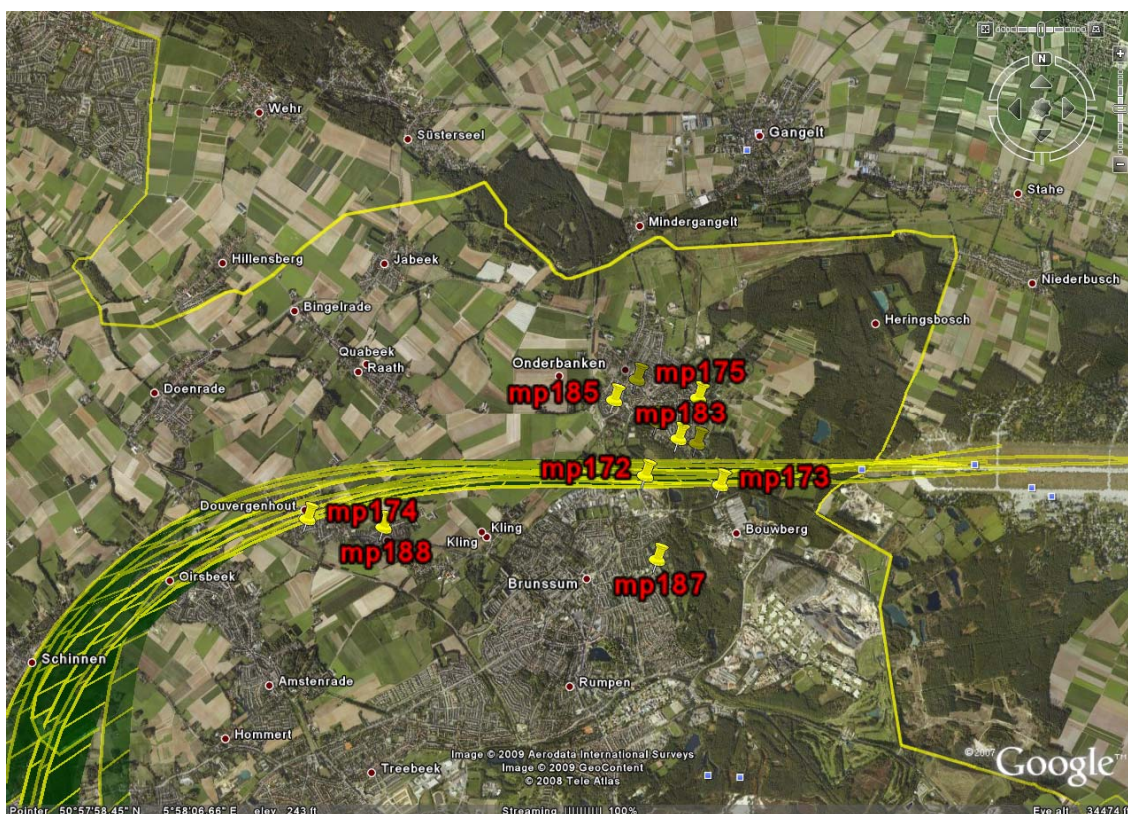
- De stuwkracht aan het begin van de start (90% of 100%)
- Het aantal operationele motoren (3 of 4 motoren operationeel)

Paragraaf 3.1.2 analyseert de effecten van het variëren van de bovenstaande variabelen. Tevens worden de effecten van het moment van stuwkrachtvermindering na de start onderzocht. Uit deze analyses blijkt dat de beperkingen ertoe leiden dat het niet mogelijk is om procedures onderling te vergelijken. Omwille hiervan is ervoor gekozen om de hoofdconclusies te baseren op de spreiding in de piekniveaus van alle beschouwde vluchten.

Zoals in paragraaf 2.2 al is beschreven, zijn meerdere AWACS vliegtuigen gestart met verschillende startgewichten. In paragraaf 3.1.3. worden drie vluchten met een verschillend gewicht geanalyseerd en aan de hand hiervan wordt het effect van startgewicht op de gecorrigeerde geluidsniveaus getoond.

3.1.1 Analyse van verschillende startprocedures

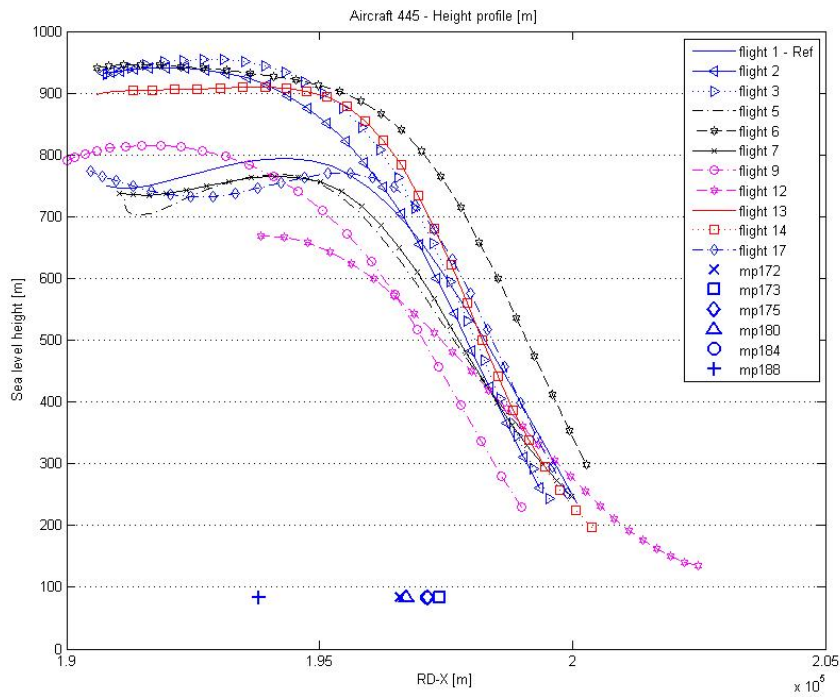
De verschillen in de geluidsproductie van startprocedures zijn geanalyseerd op basis van de meetgegevens van het AWACS vliegtuig dat 11 maal een startprocedure in dezelfde richting vloog (richting Nederland, en afdraaien naar het Zuiden). Het betreft 1 start uit stilstand en 10 doorstarts, waarbij het vliegtuiggewicht waarmee de procedures werden uitgevoerd door brandstofverbruik afnam. Figuur 3-2 geeft de grondpaden van deze starts weer. Tabel 3 in Appendix A beschrijft alle testvluchten.



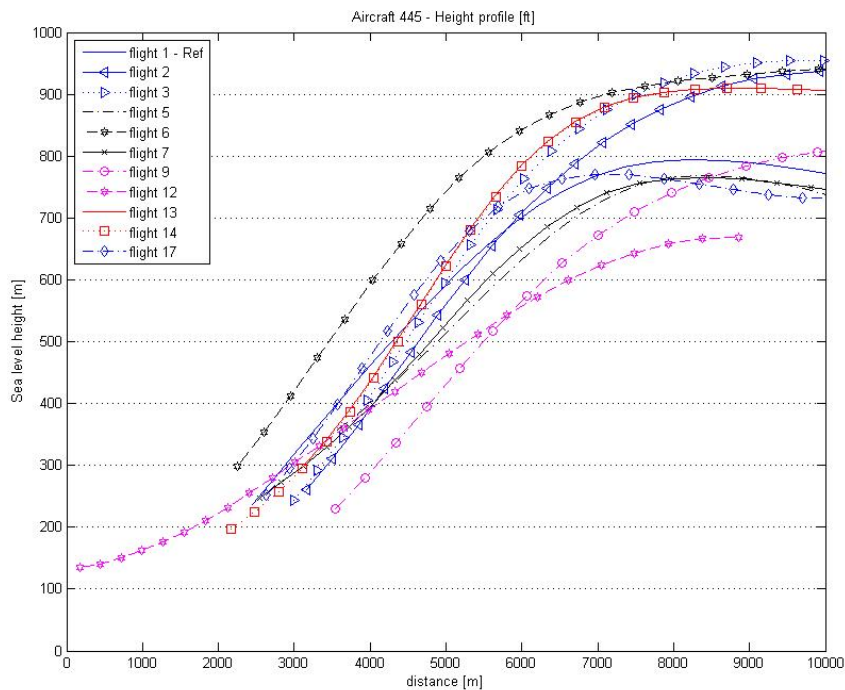
Figuur 3-2: De grondpaden van de starts 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 12, 13, 14 en 17

De startprocedures die zijn gevlogen met andere vliegtuigen en de vluchten die afbogen naar het noorden zijn in deze analyse niet meegenomen. De andere vliegtuigen hadden een afwijkend startgewicht van het toestel waarmee de 11 startprocedures werden gevlogen. Doordat de verschillen in gewicht de gevlogen procedures beïnvloeden is ervoor gekozen deze vluchten niet mee te nemen in deze analyse. De gemeten geluidsniveaus van de vluchten die naar het noorden afdraaien zullen sterk afwijken van de vluchten die naar het zuiden draaien, mede ten gevolge van bochteffecten. Daarnaast kunnen deze geluidsniveaus ook niet gecorrigeerd worden, doordat de verschillen tussen de noordelijke en de zuidelijke grondpaden te groot zijn.

In Figuur 3-3 zijn hoogteprofielen weergegeven van de 11 startprocedures. De verticale as geeft hierbij de hoogte boven zeeniveau weer. Op de horizontale as staan de Rijksdriehoek X-coördinaten (RD-X). Door de hoogte uit te zetten tegen de RD-X coördinaten ontstaat een vlak met een kijkrichting van zuid naar noord, waarbij links het westen is en rechts het oosten. Starts worden uitgevoerd van oost naar west. Door de gekozen weergave kunnen de meetposten in de figuur worden weergegeven. Hierdoor ontstaat een beeld waarin de posities van de meetposten worden weergegeven ten opzichte van het hoogteverloop.



Figuur 3-3: Hoogteprofielen – de vlieghoogte in een vlak van west naar oost



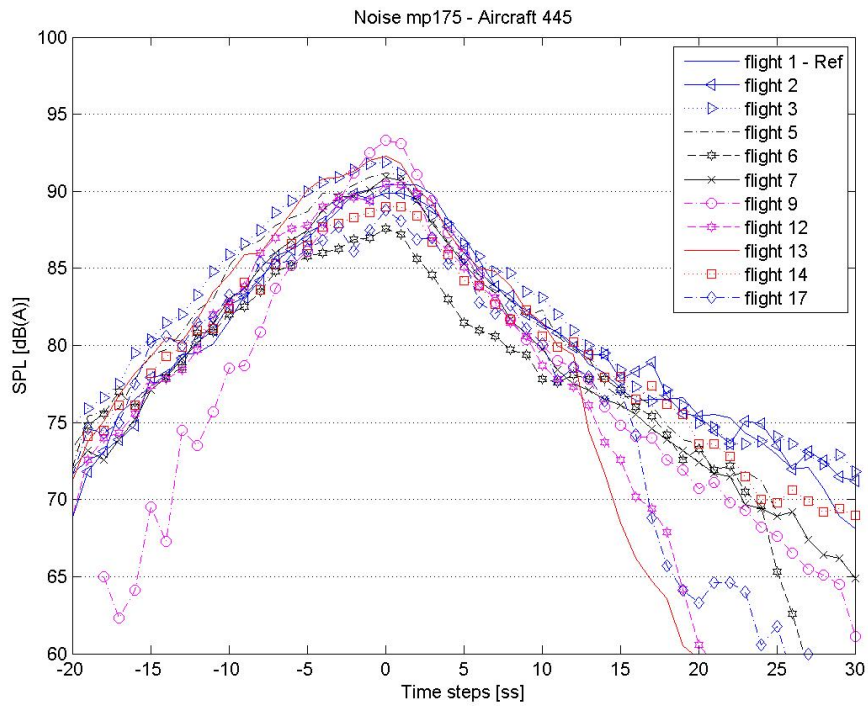
Figuur 3-4: Hoogteprofielen – de afgelegde weg in meters tegen de hoogte in meters

In Figuur 3-4 zijn hoogteprofielen uitgezet tegen de afgelegde afstand. Als bijvoorbeeld het vliegtuig naar het zuiden afbuigt, neemt de afgelegde weg van het vliegtuig toe in Figuur 3-4, terwijl dit in Figuur 3-3 niet waarneembaar is.

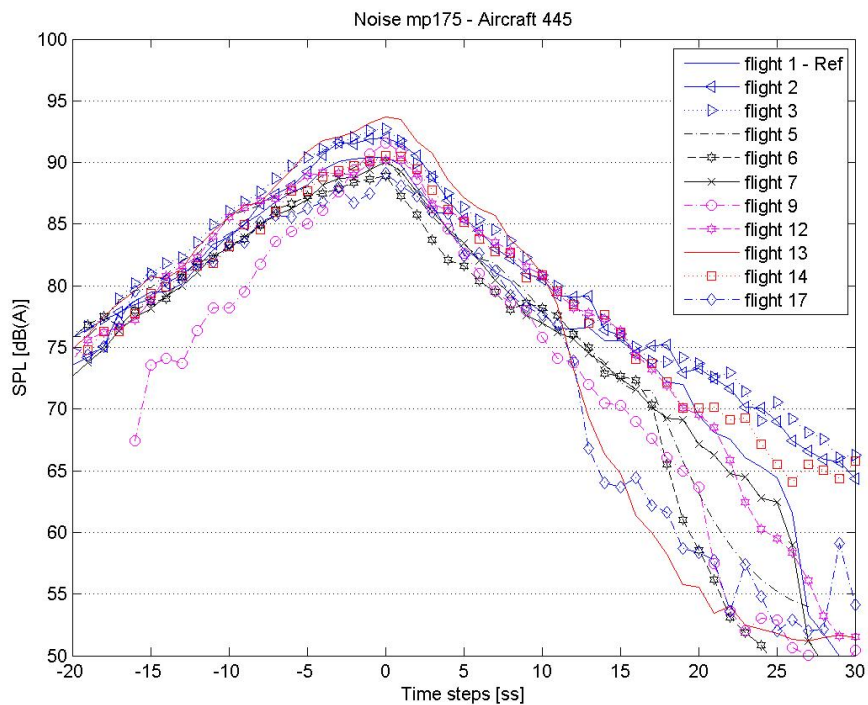
Een aantal vluchten vallen op in Figuur 3-3 en Figuur 3-4. Zo ligt het hoogteprofiel van vlucht 6 bijvoorbeeld ongeveer 100 meter hoger dan het hoogteprofiel van de andere vluchten. Vlucht 8 vliegt ongeveer 100 meter lager en vlucht 9 heeft een afwijkende klimhoek.

Figuur 3-5 en Figuur 3-6 geven een voorbeeld van de werkelijk gemeten geluidswaarden en de gecorrigeerde geluidswaarden (correctie voor de ligging van de grondpaden). Het geluidsniveau is uitgezet op de y-as van de figuren en wordt aangeduid met SPL (Sound Pressure Level). Tussen deze twee grafieken zijn een aantal verschillen waar te nemen. Zo zijn de werkelijke gemeten geluidsniveaus ten gevolge van vlucht 9 hoger dan de bijbehorende gecorrigeerde geluidsniveaus. Dit in tegenstelling tot vlucht 13, waar de gecorrigeerde geluidsniveaus hoger zijn. Na de correctie voor de ligging van de grondpaden (horizontale routespreiding) blijkt vlucht 9 qua piekniveau stiller te zijn dan vlucht 13 terwijl dit bij de gemeten gegevens niet het geval was.

In deze paragraaf zijn niet voor elke meetpost de resultaten van de geluidsmetingen gegeven. Alleen voor meetpost 175 (deelgebied dichtbij) zijn resultaten opgenomen in het hoofdrapport. De resultaten van de verschillende deelgebieden en de daarbij horende meetposten zijn terug te vinden in Appendix C1.



Figuur 3-5: mp175 (dichtbij) - werkelijke meetwaarden



Figuur 3-6: mp175 (dichtbij) - gecorrigeerde meetwaarden

Een tweede verschil is dat spreiding van de gecorrigeerde geluidsniveaus kleiner is in vergelijking tot de gemeten geluidsniveaus. De gecorrigeerde geluidsniveaus zijn tijdens het aanzwellen en het uitdoven van het geluid meer gebundeld.

In Figuur 3-5 en Figuur 3-6 valt verder vlucht 9 op, het geluid zwelt sneller aan dan bij de andere vluchten. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken te benoemen. Ten eerste is het mogelijk dat het vliegtuig sneller vloog. Ten tweede blijkt (zie Figuur 3-4) dat het toestel zich dichter bij de grond bevond, waardoor de invalshoek van het geluid sneller verandert. Deze lagere invalshoek resulteert in het sneller aanzwellen van het geluidssignaal dat door de meetposten wordt waargenomen.

Met de meetgegevens van de verschillende meetposten is de bandbreedte tussen de geluidsniveaus van de verschillende procedures bepaald. De laagste en hoogste waarde van het piekniveau (L_{Amax}) is bepaald per meetpost en per deelgebied (zie Tabel 1 en Tabel 2). Vervolgens is het gemiddelde van deze verschillen berekend om de bandbreedte per deelgebied te bepalen (zie Tabel 1 en Tabel 2).

Tabel 1: Bandbreedte voor de gecorrigeerde waarden

	meetpost	hoogste waarde L_{Amax} dB(A)	laagste waarde L_{Amax} dB(A)	bandbreedte L_{Amax} dB(A)
dichtbij	173	96.6	89.1	7.5
	175	93.7	88.9	4.8
	184	96.5	91.3	5.1
			gemiddeld	5.8
halfweg	172	92.7	87.4	5.3
	185	89.8	85	4.8
	186	87.5	83.6	3.9
			gemiddeld	4.7
ver weg	174	88	72.4	15.6
	188	87.7	81	6.6
			gemiddeld	11.1

Tabel 2: Bandbreedte voor de gemeten waarden

	meetpost	hoogste waarde L_{Amax} dB(A)	laagste waarde L_{Amax} dB(A)	bandbreedte L_{Amax} dB(A)
dichtbij	173	96.3	90.1	6.2
	175	93.3	87.6	5.7
	184	96.7	90.8	5.9
			gemiddeld	5.9
halfweg	172	93	88	5
	185	89.9	84.2	5.7
	186	87.6	82.6	5
			gemiddeld	5.2
ver weg	174	87.5	63.5	24
	188	88.3	77.1	11.2
			gemiddeld	17.6

Voor de deelgebieden dichtbij en halfweg is de bandbreedte voor de piekniveaus tussen de werkelijke en de gecorrigeerde waarde nagenoeg gelijk; ongeveer 6 dB(A). De bandbreedte in het deelgebied ver weg is groter in verhouding tot de deelgebieden dichtbij en halfweg. Na correctie wordt de bandbreedte in dit deelgebied wel kleiner. De spreiding in grondpaden nabij de meetposten in het deelgebied ver weg had dus meer invloed dan dichtbij de startbaan.

De trend dat de bandbreedte kleiner wordt komt, zoals eerder beschreven, ook naar voren bij de analyse van de ander meetposten (Appendix C1). Als het geluid aanzwelt of bijna uitgedoofd is nemen de afstandsverschillen tussen de meetposten en het vliegtuig toe. Door te corrigeren worden de lijnen die het geluidsniveau weergeven meer gebundeld.

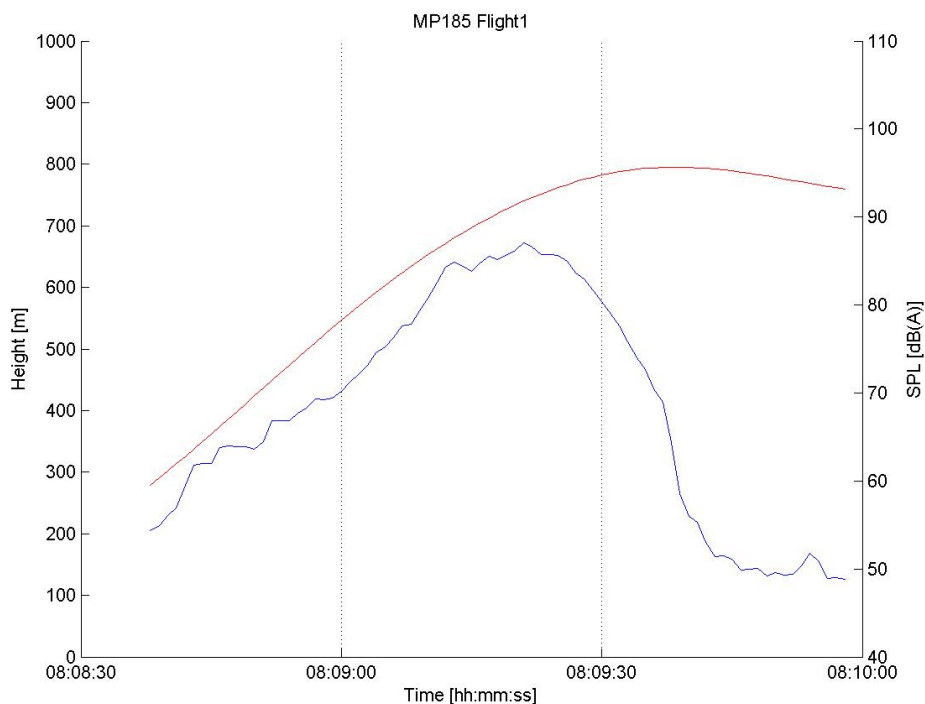
In Figuur 3-6 is te zien dat vlucht 6 leidde tot het laagste piekniveau in vergelijking met andere procedures van vluchten die in dezelfde richting vlogen. Deze vlucht maakte een doorstart op 50 ft (15 meter) boven de baan. Het AWACS vliegtuig vloog ongeveer 100 meter hoger tussen Schinveld en Brunssum dan de andere vluchten (zie Figuur 3-3). Er kan worden aangenomen dat de hogere beginsnelheid en hoogte hebben bijgedragen hebben aan de relatief lage gemeten geluidsniveaus.

Het verschil in geluidsniveau voor het gebied ter hoogte van Brunssum en Schinveld tussen vlucht 6 en vlucht 1 (dit betrof een standaard startprocedure) bedraagt circa 3 dB(A). Omdat deze 3 dB(A) enkel gebaseerd is op twee afzonderlijke vluchten, is de statistische betrouwbaarheid onvoldoende om aan dit getal een harde conclusie te verbinden. Het blijft enkel een indicatie.

3.1.2 Verschillende procedures

Vermindering stuwkracht na de start

Door de beperkingen, zoals eerder genoemd in paragraaf 2.2, is het niet mogelijk om de vluchten gedetailleerd te analyseren. Het is bijvoorbeeld niet mogelijk om het effect van een stuwkrachtvermindering op het gemeten geluidsniveau te bepalen. Het ontbreken van gemeten informatie over het verloop van de stuwkracht met de tijd maakt het lastig het exacte moment van een stuwkrachtvermindering aan te wijzen in de geluidresultaten. Telkens wanneer het geluidsniveau daalt op een tijdstip dat er mogelijk een stuwkrachtvermindering plaats vindt dient ook rekening gehouden te worden met andere onbekende factoren zoals richtinggevoeligheid (van de geluidbron). Aan de hand van Figuur 3-7 wordt dit voorbeeld verder toegelicht.



Figuur 3-7: Hoogteprofiel tegen de tijd en geluid tegen een gecorrigeerde tijd

In Figuur 3-7 is de linker verticale as de hoogte indicator voor de rode lijn en de rechter verticale as de geluidindicator voor de blauwe lijn. Beide lijnen zijn tegen de tijd uitgezet zoals weergegeven op de x-as. Geluid heeft tijd nodig zich van de bron naar de ontvanger te verplaatsen. In bovenstaande geluidscurve is hiervoor gecorrigeerd. Wanneer er een aanwijsbare geluidsafname plaatsvindt, door bijvoorbeeld een stuwkrachtvermindering, zou dit op hetzelfde moment (dus op hetzelfde tijdstip op de x-as) zichtbaar moeten zijn als een geluidsvermindering.

Nadat het vliegtuig horizontaal is gaan vliegen daalt het geluidsniveau (zie Figuur 3-7), en is er mogelijk sprake van een stuwkrachtvermindering. Het exacte moment van deze stuwkrachtvermindering is echter niet bekend. Het wegdraaien van het vliegtuig kan eveneens invloed hebben en leiden tot verandering in het geluidsniveau. Door gebrek aan voldoende informatie (zoals het moment van stuwkrachtvermindering en richtingsgevoeligheid eigenschappen van de AWACS vliegtuigen) zijn verbanden daarom lastig te leggen.

Stuwkracht verschillen aan het begin van de start

In de figuren van Appendix C2 zijn gelijksoortige grafieken opgenomen als Figuur 3-6. Naast het bestuderen van de bandbreedte, als beschreven in de vorige paragraaf, is ook gekeken naar

de onderlinge geluidsniveaus van de verschillende vluchten als ze met verschillende stuwkracht hebben gevlogen.

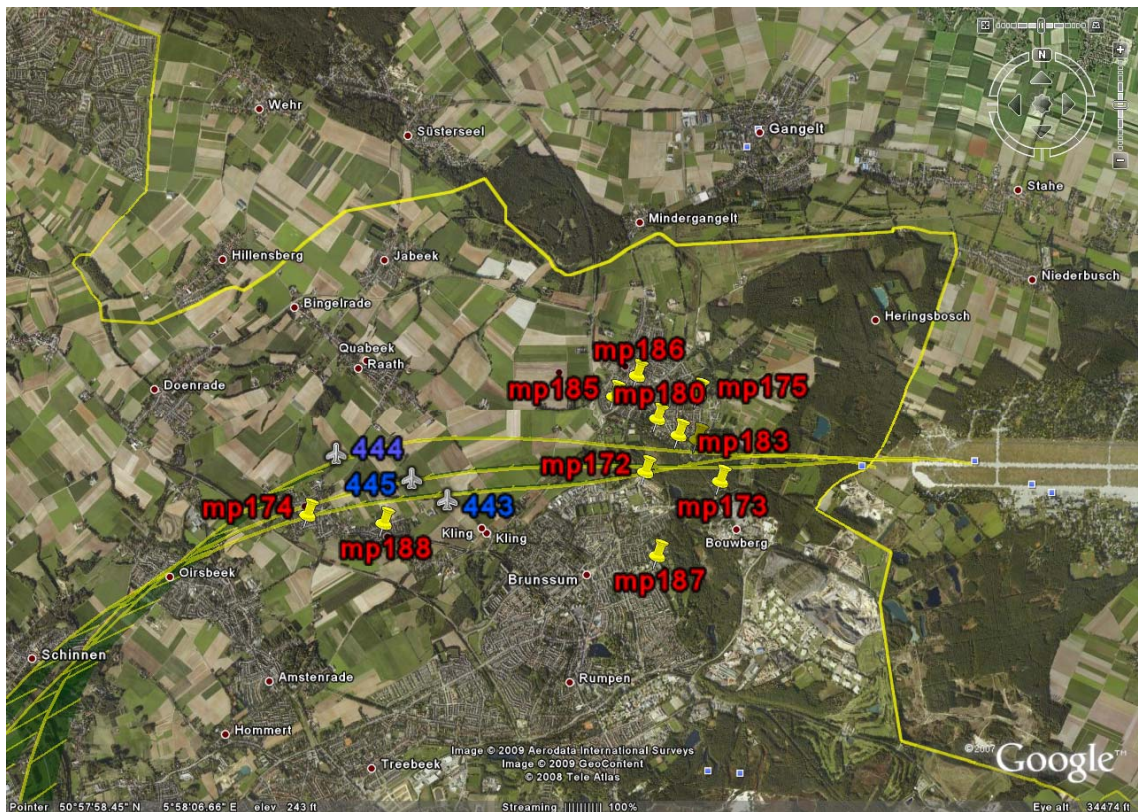
In de grafieken in Appendix C2 zijn drie vluchten weergegeven die een stuwkracht instructie hadden van 90% en drie vluchten van 100%. Voor vlucht 12 moet de kanttekening gemaakt worden dat hoogteprofiel dat werd gevlogen afwijkt van de andere vluchten. Figuur 3-4, waarin de hoogteprofielen zijn weergegeven, geeft aan dat vlucht 12 een andere klimhoek had dan de andere vluchten in de grafieken van Appendix C2. De grafieken van Appendix C2 laten geen consistent beeld zien. De vluchtrangorde van hoge naar laagste piekniveaus is telkens anders. Het trekken van conclusies wordt hierdoor onmogelijk.

Verschillende operationele motoren

In de grafieken van Appendix C3 zijn de piekniveaus van vluchten waarbij drie motoren operationeel zijn hoger dan wanneer het vliegtuig vier operationele motoren heeft. In Figuur 3-4 is te zien dat de onderlinge hoogteverschillen tussen beide vluchten ongeveer 200 meter is. De vlucht met vier operationele motoren is sneller uitgeklimmen waardoor deze hoger vliegt tussen Schinveld en Brunssum. Door de statistische onzekerheid, namelijk maar twee vluchten, en de beperkingen van onbekende variabelen van een doorstart zijn conclusies niet te trekken.

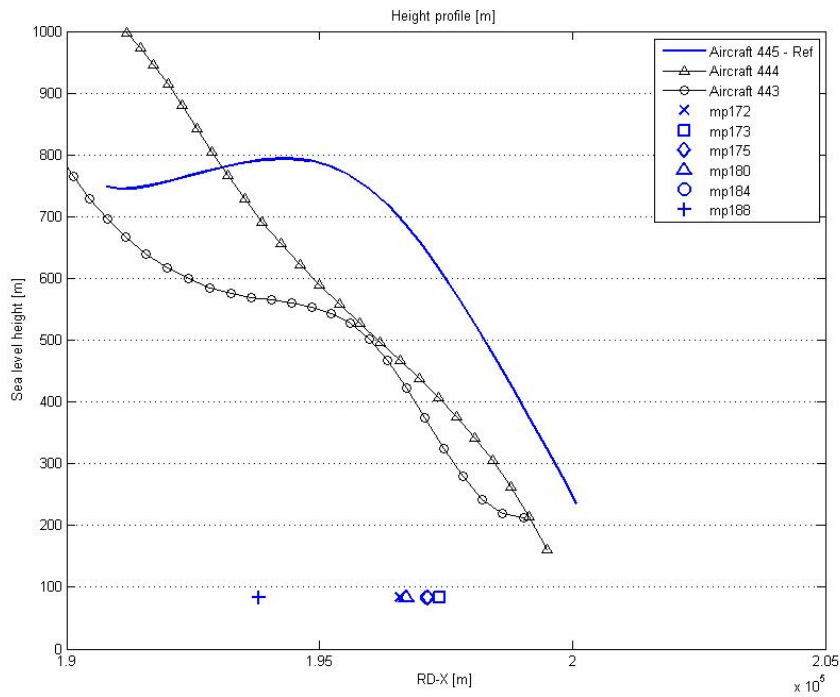
3.1.3 Verschillend startgewicht

In deze paragraaf worden drie vluchten met een verschillend startgewicht geanalyseerd en aan de hand hiervan wordt het effect van startgewicht op het gemeten geluidsniveau op de grond getoond. De grondpaden van de vluchten zijn weergegeven op de kaart in Figuur 3-8.

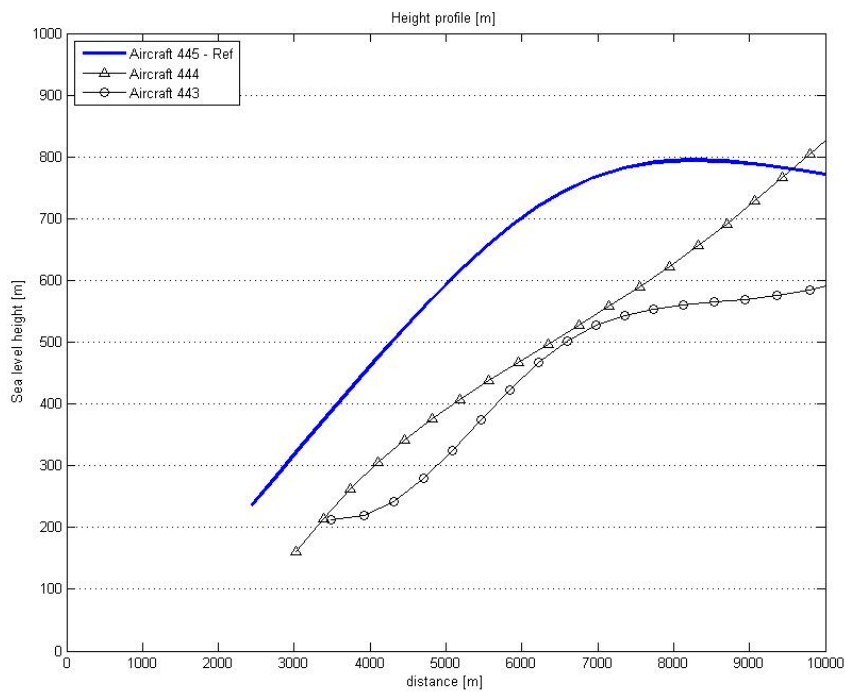


Figuur 3-8: De grondpaden van drie vluchten met verschillende startgewichten

Figuur 3-9 en Figuur 3-10 tonen het hoogteverloop van de drie vluchten met een verschillend startgewicht. In Figuur 3-9 staan RD-X coördinaten op de horizontale as, zodat inzichtelijk gemaakt kan worden hoe de hoogte verloopt ten opzichte van de meetlocaties. In Figuur 3-10 staat de afgelegde weg van het vliegtuig op de horizontale as.



Figuur 3-9: Hoogteprofielen – de vlieghoogte in een vlak van west naar oost

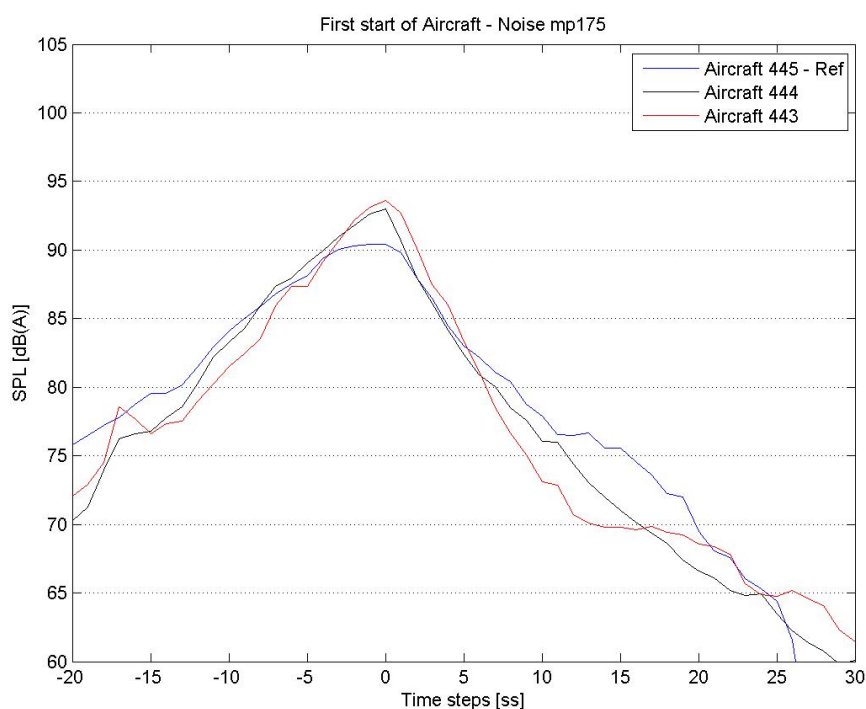


Figuur 3-10 Hoogteprofielen – afgelegde weg in meters tegen de hoogte in meters

Het startgewicht van de afzonderlijke AWACS vliegtuigen is gegeven in Tabel 3 van Appendix A. In de figuren in deze paragraaf worden de vliegtuigen genummerd met 443, 444 en 445. Vliegtuig 445 had het laagste startgewicht, vliegtuig 444 het middelste startgewicht en vliegtuig 443 steeg op met het hoogste startgewicht.

De drie verschillende AWACS vliegtuigen met een verschillend startgewicht vlogen allen een andere procedure. Deze procedure verschillen zijn duidelijk zichtbaar in de figuren voor de hoogteprofielen. Vliegtuig 445 gaat op den duur horizontaal vliegen terwijl vliegtuig 444 blijft klimmen. In de vlucht van vliegtuig 443 verandert de klimhoek.

In het hoofdrapport zijn wederom de resultaten opgenomen voor één meetpost in het deelgebied dichtbij (mp175). De resultaten van de andere meetposten staan in Appendix C4.



Figuur 3-11: Meetgegevens van meetpost 175 (dichtbij) voor starts met verschillend gewicht

In alle figuren met meetresultaten van de drie vluchten met verschillend startgewicht (Figuur 3-11 en de figuren van Appendix C4) genereert de zwaarste AWACS het hoogste geluidsniveau en de lichtste AWACS het laagste geluidsniveau. Het vergelijken van de absolute verschillen in de geluidsniveaus van de vluchten met een verschillend startgewicht is niet mogelijk doordat ze allen andere procedures vliegen. Wel volgt uit de figuren de trend dat een lichte AWACS stiller is dan een zwaardere AWACS. Dit komt overeen met de verwachting dat het geluidsniveau van

een lichter toestel lager is, omdat deze met dezelfde stuwkracht sneller uitklimt dan een zwaarder vliegtuig.

3.1.4 Samenvatting starts

Het is niet mogelijk exact aan te geven hoeveel de geluidsniveaus gereduceerd kunnen worden door stillere startprocedures te introduceren, maar op basis van de meetgegevens kan verondersteld worden dat de reducties minder zijn dan 6 dB(A). Aan de hand van de resultaten van de testvluchten is de verwachting dat de werkelijke reducties (bijvoorbeeld ten opzichte van een standaardprocedure) een aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn. Om een beter beeld te krijgen van de mogelijke geluidsreductie die bereikt kan worden met stillere procedures, wordt aanbevolen om nieuwe testvluchten uit te voeren.

Om toch een indicatie te geven voor het aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn de verschillen tussen de hoogste gemeten geluidsniveaus van de standaardprocedure (vlucht 1) en de stilste vlucht met elkaar vergeleken. Het verschil in geluidniveau voor het gebied ter hoogte van Brunssum en Schinveld tussen de standaard vlucht en de stilste vlucht bedraagt circa 3 dB(A). Omdat deze 3 dB(A) enkel gebaseerd is op twee afzonderlijke vluchten, is de statistische betrouwbaarheid onvoldoende om aan dit getal een harde conclusie te verbinden. Het blijft enkel een indicatie.

Uit de metingen is tevens naar voren gekomen dat een toename in startgewicht van een AWACS vliegtuig leidde tot een hogere geluidsbelasting. Uit de vergelijking van de procedures die werden uitgevoerd door AWACS vliegtuigen die uit stilstand startten met verschillende startgewichten blijkt dat de gemeten geluidsniveaus van het zwaarste toestel voor alle meetposten hoger waren in vergelijking met de gemeten geluidsniveaus van de lichtere toestellen. Met het oog op de geluidsbelasting op de grond is het dus wenselijk dat startende vliegtuigen zo licht mogelijk zijn.

3.2 Landingen

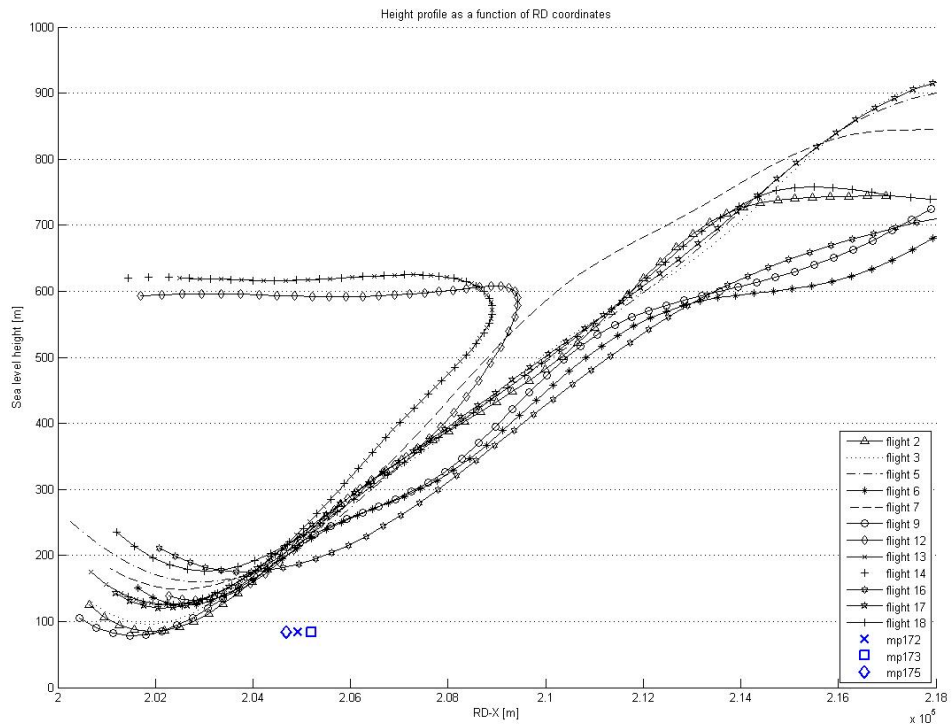
Aangezien de starts in de richting van Nederland werden uitgevoerd, vlogen alle testvluchten tijdens de landing over Duits grondgebied. Om de geluidsbelasting ten gevolge van verschillende landingsprocedures te analyseren, zijn door de basis meetgegevens van geluidsmetingen aan Duitse zijde verstrekt. Figuur 3-12 toont de meetlocaties aan Duitse zijde, tevens zijn een aantal grondpaden van ladingen geprojecteerd op een kaart. De verschillende landingsprocedures die werden gevlogen zijn kort toegelicht in Tabel 4 van Appendix A.

Hierbij moet worden opgemerkt dat de vluchtnummers refereren naar de startvolgorde van de verschillende testvluchten en dat niet alle vluchten geland zijn. De twee laatste vluchten (vluchtnummers 19 en 20) worden niet meegenomen vanwege het feit dat deze vluchten vanuit het noorden kwamen. Hierdoor passeerden deze vluchten de meetposten op een geheel andere locatie als de andere vluchten en zijn de geluidsgegevens van deze vluchten niet te vergelijken. Ook zijn vluchten die bij het passeren van de meetposten in een bochtprocedure zitten buiten de analyse gehouden. Deze vluchten zijn ook niet opgenomen in Tabel 4 van Appendix A.



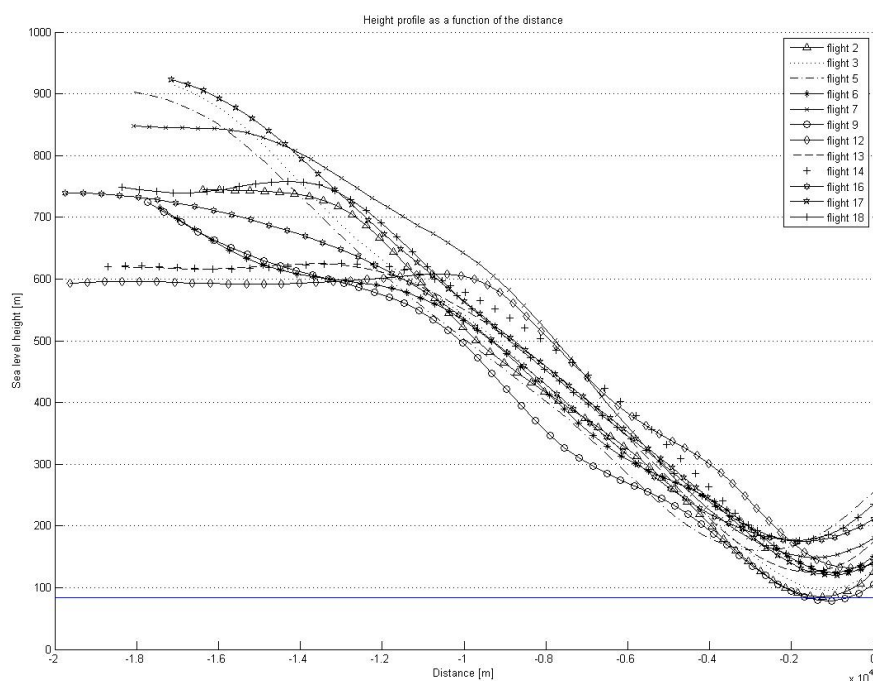
Figuur 3-12: Meetlocaties en enkele grondpaden van landingen en aan Duitse zijde

De hoogteprofielen van de landingen worden weergegeven in Figuur 3-13 en Figuur 3-14. In beide figuren staat de hoogte op de verticale as en geeft de horizontale as respectievelijk de RD-X coördinaten en de afgelegde weg van het vliegtuig weer.



Figuur 3-13: Hoogteprofielen – de vlieghoogte in een vlak van west naar oost

In Figuur 3-13 is te zien dat vluchten 12, 13 en 14 kort voor de landing een bocht maken. De andere vluchten komen verder weg van het oosten aanvliegen.



Figuur 3-14: Hoogteprofielen – afgelegde weg in meters tegen de hoogte in meters

In Appendix C5 staan de resultaten voor de landingen. De meetresultaten konden niet gecorrigeerd worden voor afstandverschillen, omdat de exacte tijden waarop de geluidsmetingen uit zijn gevoerd niet bekend zijn. Dit heeft tot gevolg dat niet bekend is welk geluidsniveau tijdens welk deel van de procedure geproduceerd is. Het vergelijken van verschillen van de gemeten geluidsniveaus van afzonderlijke procedures is hierdoor niet mogelijk. Ook uit de bandbreedtes tussen de gemeten geluidsniveaus kunnen geen conclusies getrokken worden.

Indien in de toekomst nieuwe testvluchten worden uitgevoerd om de geluidsbelasting van landingsprocedures te analyseren, dient met een aantal zaken rekening gehouden te worden. De omstandigheden op de meetdag dienen goed te zijn (bijvoorbeeld goed zicht en weinig wind). Om de procedures op een zo goed mogelijke manier te vergelijken zouden alle procedures met hetzelfde vliegtuig gevlogen moeten worden en moet het vliegtuig tijdens iedere landingsprocedure hetzelfde gewicht hebben. Ook is het wenselijk dat de landingsprocedures over Nederland vliegen, omdat zo het effect in de gemeenten Onderbanken en Brunssum het beste in kaart wordt gebracht. Een bijkomend voordeel is dat in Nederland al meetposten beschikbaar zijn.

Om te zorgen dat geen bochteffecten gemeten worden, is het wenselijk dat de landende vliegtuigen over een lang recht grondpad naar de baan vliegen, zodat ze nog voor de meest ver weg gelegen meetposten (mp174 en mp188) al in een rechte lijn vliegen. Aangezien het wenselijk is om na de testvluchten een zo goed mogelijke analyse te doen, moeten zoveel mogelijk gegevens over de testvluchten beschikbaar komen. Hierbij gaat het om stuwkrachtgegevens, positiegegevens en informatie over de configuratie van het vliegtuig gedurende de hele procedure.

4 Conclusie en aanbevelingen

Op 4 november 2008 zijn door de NATO vanaf de Vliegbasis Geilenkirchen 20 verschillende AWACS testvluchten uitgevoerd om het effect van nieuwe start- en landingsprocedures op de geluidsniveaus op de grond te bepalen. Tijdens deze vluchten zijn zowel aan Duitse als aan Nederlandse zijde geluidsmetingen gedaan. De resultaten van de geluidsmetingen aan de Nederlandse kant van de grens werden verstrekt door Geluidsnet en de basis heeft de meetgegevens van de metingen aan Duitse zijde verstrekt. Het doel van dit rapport is om gebaseerd op een analyse van de geluidsmetingen een advies uit te brengen en antwoord te geven op de vraag *welke gevlogen procedures leiden tot een lagere geluidsbelasting*.

Het beantwoorden van deze vraag is echter niet mogelijk door een aantal beperkingen. Allereerst werd gebruik gemaakt van doorstarts in plaats van starts uit stilstand. Tevens waren geen gegevens beschikbaar over de gebruikte stuwkracht tijdens de gevlogen procedures. Door de geldende beperkingen kunnen slechts conclusies getrokken worden uit de bandbreedtes van de geluidsniveaus van de verschillende vliegprocedures.

Middels een analyse van de geluidsniveaus is vastgesteld dat de bandbreedte van de piekgeluidsniveaus van de verschillende startprocedures in noord Brunssum en zuid Schinveld 6 dB(A) bedroeg. In het gebied rond Merkelbeek neemt de bandbreedte verder toe. Deze bandbreedte is gebaseerd op de geluidsniveaus van vluchten die dezelfde richting op vlogen (richting Nederland, en afdraaien naar het Zuiden). Het betrof 1 start uit stilstand en 10 doorstarts met hetzelfde vliegtuig, waarbij het startgewicht door brandstofverbruik afnam gedurende de verschillende vluchten. De meetgegevens zijn gecorrigeerd voor verschillen in de ligging van de grondpaden (horizontale routespreiding).

Aan deze correctie ligt de volgende redenering ten grondslag: indien twee gelijke profielen worden gevlogen waarbij het grondpad van de ene vlucht verder van een meetpunt ligt dan het grondpad van de andere vlucht, dan zal dit ertoe leiden dat het gemeten geluidsniveau van de vlucht die zich verder van het meetpunt bevindt lager wordt. Dit hangt onder andere samen met het feit dat het geluidssignaal meer gedempt wordt doordat het een langere weg door de lucht moet afleggen voordat het signaal de meetpost bereikt. Om de geluidsniveaus van verschillende procedures beter te kunnen vergelijken, zijn de gemeten geluidsniveaus gecorrigeerd voor de horizontale spreiding.

De 6 dB(A) bandbreedte geeft aan dat het verschil tussen de procedure met het hoogste en de procedure met het laagste geluidsniveau 6 dB(A) bedraagt als een AWACS ter hoogte van

Schinveld en Brunssum vliegt. Dit is echter geen indicatie voor de geluidsreductie die kan worden bereikt met het toepassen van één bepaalde procedure. Ten eerste is het niet aannemelijk dat de AWACS vliegtuigen momenteel alleen vluchten uitvoeren die leiden tot de maximale geluidsbelasting zoals die tijdens de testvluchten gemeten is. Dit wordt ook bevestigd door de gemeten geluidsniveaus behorende bij de startprocedure van vlucht 1. Deze procedure betrof de standaard startprocedure zoals deze gevlogen wordt door AWACS toestellen die vanaf Geilenkirchen opstijgen. Deze standaard procedure leidde niet tot de hoogste gemeten geluidsniveaus op de grond. Ten tweede speelt een groot aantal variabelen een rol die niet met de gevlogen procedure samenhangen, zoals het vliegtuiggewicht en de locatie waarop de startprocedure begint. Deze variabelen zullen bij de testvluchten niet constant geweest zijn, en zullen derhalve ook hebben bijgedragen aan de grootte van de bandbreedte.

Om de afzonderlijke effecten van vliegprocedures op de geluidsniveaus op de grond te bepalen, zijn nieuwe testvluchten nodig, waarbij alle vliegtuigen uit stilstand starten en hetzelfde gewicht hebben. De procedures dienen alleen op de afzonderlijke aspecten gevarieerd te worden. Daarnaast zal meer data beschikbaar moeten komen, waaronder de stuwkrachtgegevens en frequentere positiegegevens van het vliegtuig (één positiebepaling per seconde).

Ook als de testvluchten op een optimale manier worden uitgevoerd, dient nog steeds rekening gehouden te worden met variabelen die niet gecontroleerd kunnen worden zoals actuele windsterkte en windrichting. Deze variabelen hebben tot gevolg dat er altijd sprake zal zijn van een bandbreedte in de resultaten (onzekerheidsmarges). Kortom, de verschillen in gemeten geluidsniveaus van twee gelijke procedures zullen nooit alleen veroorzaakt worden door het verschil in de profielen.

Het is niet mogelijk exact aan te geven hoeveel de geluidsniveaus gereduceerd kunnen worden door stillere procedures te introduceren, maar op basis van de meetgegevens kan verondersteld worden dat de reducties minder zijn dan 6 dB(A). Aan de hand van de resultaten van de testvluchten is de verwachting dat de werkelijke reducties (bijvoorbeeld ten opzichte van een standaardprocedure) een aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn.

Om een indicatie te geven voor het aantal dB(A)'s lager dan 6 dB(A) zijn de verschillen tussen de hoogste gemeten geluidsniveaus van de standaardprocedure (vlucht 1) en de stilste vlucht met elkaar vergeleken. Het verschil in geluidsniveau voor het gebied ter hoogte van Brunssum en Schinveld tussen de standaard vlucht en de stilste vlucht bedraagt circa 3 dB(A). Omdat deze 3 dB(A) enkel gebaseerd is op twee afzonderlijke vluchten, is de statistische

betrouwbaarheid onvoldoende om aan dit getal een harde conclusie te verbinden. Het blijft enkel een indicatie.

Om een beeld te geven van de waarneembaarheid van de hierboven genoemde verschillen in geluidsniveaus kan opgemerkt worden dat een verschil in geluidsniveau van minder dan 1 dB(A) onder laboratoriumomstandigheden niet meer hoorbaar is en dat 3 dB(A) verschil onder laboratoriumomstandigheden voor de meeste mensen hoorbaar is.

Het niet mogelijk is om met de meetgegevens die op 4 november 2008 verzameld zijn een duidelijk beeld te krijgen van de mogelijke geluidsreducties die behaald kunnen worden met behulp van stillere procedures. Om een beter beeld te krijgen, wordt aanbevolen om nieuwe testvluchten uit te voeren.

Uit de metingen is tevens naar voren gekomen dat een toename in startgewicht van een AWACS vliegtuig leidde tot een hogere geluidsbelasting. Uit de vergelijking van de procedures die werden uitgevoerd door AWACS vliegtuigen die uit stilstand startten met verschillende startgewichten blijkt dat de gemeten geluidsniveaus van het zwaarste toestel voor alle meetposten hoger waren in vergelijking met de gemeten geluidsniveaus van de lichtere toestellen. Met het oog op de geluidsbelasting op de grond is het dus wenselijk dat startende vliegtuigen zo licht mogelijk zijn.

Voor de landingen zijn minder gedetailleerde gegevens beschikbaar van de geluidsmetingen. Zo zijn onder andere de precieze tijden van de metingen onbekend en ook zijn de gemeten geluidsevents korter dan de gemeten geluidsevents van de starts. Dit heeft tot gevolg dat het niet mogelijk is gebleken om verschillende landingsprocedures te vergelijken. Een spreiding tussen gemeten geluidsniveaus is voor de landingen moeilijker te bepalen omdat het bij de landingen niet mogelijk is om de gegevens te corrigeren voor de horizontale spreiding. Dit wordt veroorzaakt doordat de exacte tijden waarop de geluidsmetingen uit zijn gevoerd niet bekend zijn. Hierdoor is niet exact bekend welk signaal tijdens welk deel van de procedure geproduceerd is.

Referenties

- [1] Lania, H.A., *Onderzoek naar stillere AWACS vliegprocedures*, NLR-CR-2007-840

Appendix A Overzicht vluchten

Tabel 3: Overzicht vluchten

#	A/C nr	TOW(lbs)	W _{estimated}	RWY	DEPARTURE	APPROACH
	90-XXX					
1	445	250000	250000	27	Normal	
2	445	250000	247714	27	G/A EPR T&G	4 eng ILS normal
3	445	250000	245429	27	G/A EPR T&G	4 eng ILS GS int 3000 ICAO std
4	444	302000	302000	27	Normal	
5	445	250000	243143	27	G/A EPR T&G	4 eng ILS GS int 3000 Flaps 40
6	445	250000	240857	27	4 eng G/A 50 ft	4 eng TAC 2500 MDA 0.5 prior VDP
7	445	250000	238571	27	90% N1 T&G	4 eng TAC 3000 constant descent
8	443	320000	320000	27	D5	
9	445	250000	236286	27	3 eng G/A 200 ft	3 eng TAC 3000 MDA 0.5 prior VDP
10	458	305000	305000	9	Red thrust T/O	
11	19997	?	?	27	Normal	
12	445	250000	234000	27	90% N1 T&G	3 eng ILS normal
13	445	250000	231714	27	LAD 4eng G/A	4 eng Lake
14	445	250000	229429	27	90% N1 T&G	3 eng Lake
15	452	300000	300000	9	D3	
16	452	300000	297714	27	4 eng G/A 50 ft	4 eng TAC 2500 MDA 0.5 prior VDP
17	445	250000	227143	27	G/A EPR T&G	4 eng ILS GS int 3000 ICAO std
18	452	300000	295429	27	4 eng G/A 50 ft	4 eng TAC 2500 MDA 0.5 prior VDP
19	445	250000	224857	27	3 eng G/A 200 ft	3 eng TAC 2500 MDA 0.5 prior VDP
20	445	250000	222571	27	3 eng G/A 200 ft	3 eng Visual North
21	445	250000	220286	27	Full stop landing	4 eng Visual North

Aan de hand van Tabel 3 kunnen zowel de starts als de landingen in groepen worden onderverdeeld.

Starts:

- Normal: vluchten 1, 4* en 11*
- Touch & Go using max power: vluchten 2, 3, 5 en 17
- Go-around op 50 ft met 4 motoren: vluchten 6, 16* en 18*
- Touch & Go using 90% power setting for climb-out: vluchten 7, 12 en 14
- Normal with thrust reduction @ 1000 ft and level off @ 1700 ft: vlucht 8*
- Go-around op 200 ft, 3 motoren: vlucht 9, 19 en 20
- Reduced take-off thrust: vlucht 10*
- Normal with thrust reduction @ 1000 ft: vlucht 15*

*wil zeggen dat deze vlucht een sterk afwijkend of geschat startgewicht heeft

Landingen:

Tabel 4: Beschrijving landingsprocedures

Flight	Procedure
2	ILS (4 motoren, intercept ILS 2000ft)
3	ILS (4 motoren, intercept ILS 3000ft)
5	ILS (4 motoren, intercept ILS 3000ft, flaps 40)
12	ILS (3 motoren, intercept ILS 2000ft)
13	Visual (4 motoren)
14	Visual (3 motoren)
16	TACAN (4 motoren)
17	ILS (4 motoren, intercept ILS 3000ft)
18	TACAN (4 motoren)

In deze tabel staat ILS voor Instrument Landing System en staat TACAN voor TACTical Air Navigation. Zowel ILS als TACAN zijn navigatiesystemen die gebruikt worden als navigatiehulpmiddel voor de piloot tijdens de landing. Indien in de tabel staat dat een ‘visual’ landing wordt uitgevoerd, betekent dit dat op zicht wordt geland en dat er dus geen gebruik van navigatiehulpmiddelen wordt gemaakt.

De TACAN naderingsprocedures beginnen op 2500ft (762 m) en indien de ILS gebruikt wordt voor de landing, wordt de ILS onderschept op 2000ft (610 m) of 3000ft (914 m). Tevens staat in de tabel hoeveel motoren gebruikt werden tijdens de verschillende landingen en tot slot staat bij vlucht 5 vermeld dat deze vlucht de ILS onderschepte met een klepuitslag van 40°. De andere ILS vluchten vlogen de landingsprocedure met een klepuitslag van 50°.

Appendix B Methode voor het corrigeren van de meetdata

Om de gemeten geluidsniveaus van verschillende procedures beter onderling te kunnen vergelijken zijn een aantal correcties van gemeten geluidsniveaus denkbaar. In deze appendix worden de volgende correcties besproken:

- Corrigeren voor afname van gewicht gedurende de vlucht.
- Corrigeren voor horizontale afwijkingen (afwijkingen in grondpad) waardoor de volgende zaken veranderen:
 - De afgelegde weg van het geluid verandert, waardoor het geluidsniveau wordt beïnvloed. Naarmate het geluid over een grotere afstand reist neemt het af door de ruimtelijke spreiding van het geluid.
 - De invalshoek verandert, dit heeft invloed op het gemeten geluidsniveau omdat de gemeten geluidsenergie afneemt als hoek kleiner wordt
 - Doordat de afgelegde weg van het geluid verandert, wordt de absorptie beïnvloed.

B.1 Correctie voor de afname van het vliegtuiggewicht

Van alle vliegtuigen waarmee gevlogen is, heeft de basis gemeld wat het startgewicht was. Het grootste deel van de vluchten is echter met één vliegtuig uitgevoerd. Aangezien dit toestel meer dan twee uur in de lucht is geweest, zal de gewichtsafname van het toestel een effect hebben op de prestaties. Wanneer het toestel lichter wordt zal het namelijk sneller klimmen. Om te corrigeren voor het effect van de gewichtsafname is aan de basis gevraagd wat het verschil tussen het startgewicht en het landingsgewicht na de laatste vlucht was; dit verschil bedroeg 14515 kg.

Om het effect op de gevlogen hoogte in kaart te brengen werd gebruik gemaakt van de volgende bewegingsvergelijking in de vliegrichting van het toestel:

$$T = D + W \sin \gamma + \frac{W}{g} \frac{dV}{dt}$$

Waarbij: T = stuwkracht van alle motoren samen [N]

D = weerstand [N]

W = het gewicht [N]

γ = de baanhoek

g = de gravitatieconstante; 9.80665 m/s²

dV/dt = de versnelling

De verticale snelheid van het vliegtuig kan als volgt geschreven worden:

$$\dot{h} = V \sin \gamma ; \text{ waarbij } V \text{ de vliegsnelheid is.}$$

Door de twee voorgaande formules te combineren wordt het volgende resultaat gevonden:

$$\dot{h} = \frac{1}{g} \cdot \left[\frac{(T - D)V}{m} - V \frac{dV}{dt} \right]$$

Het probleem bij het gebruik van deze formule is dat de snelheid en de versnelling van het vliegtuig niet exact bekend is. Om de waarde van de snelheid als functie van de afgelegde weg van het vliegtuig te benaderen worden de radartracks gebruikt. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat de snelheid die hieruit volgt de snelheid van het vliegtuig ten opzichte van de grond is en dat deze niet gelijk is aan de snelheid ten opzichte van de lucht. Indien het vliegtuig met tegenwind vliegt is de luchtsnelheid hoger dan de grondsnelheid.

Op de dag waarop de metingen werden uitgevoerd was de windsnelheid beperkt (de gemiddelde windsnelheid lag onder de 5 m/s). Dit wil zeggen dat de fout die wordt gemaakt met het gebruik van radardata beperkt is.

De radardata worden gebruikt om de snelheid, de versnelling en de verticale snelheid van de gevlogene procedure te bepalen met behulp van de volgende formules:

$$V = \frac{ds}{dt}$$

$$a = \frac{dV}{dt} ; \text{ waarbij } a \text{ de versnelling is.}$$

$$\dot{h} = \frac{dh}{dt}$$

Vervolgens wordt aangenomen dat de gevlogene procedure (de snelheid en de stuwkracht) niet worden beïnvloed doordat het gewicht lager is geworden; zodat het effect van het lagere gewicht op de procedure inzichtelijk kan worden gemaakt. Dit wordt gedaan door het hoogteprofiel aan te passen zodat het hoogteprofiel passend bij een referentie startgewicht kan worden berekend. Dit wordt gedaan door voor de radartrack ($T-D$) te berekenen met:

$$(T - D) = W \left[\frac{\dot{h}}{V} + \frac{1}{g} \frac{dV}{dt} \right]$$

Door aan te nemen dat de waarde van $(T-D)$ niet door het gewicht wordt beïnvloed, kan de waarde van de verticale snelheid voor een vlucht met het referentiegewicht als volgt bepaald worden:

$$\dot{h}_{cor} = \frac{1}{V} \cdot \left[\frac{(T-D)}{W_{cor}} - \frac{a}{g} \right]$$

Omdat de waarden van V , $(T-D)$, W_{cor} , a en g bekend zijn als functie van de afgelegde weg van het vliegtuig, kan als volgt de gecorrigeerde hoogte op afstand s worden bepaald:

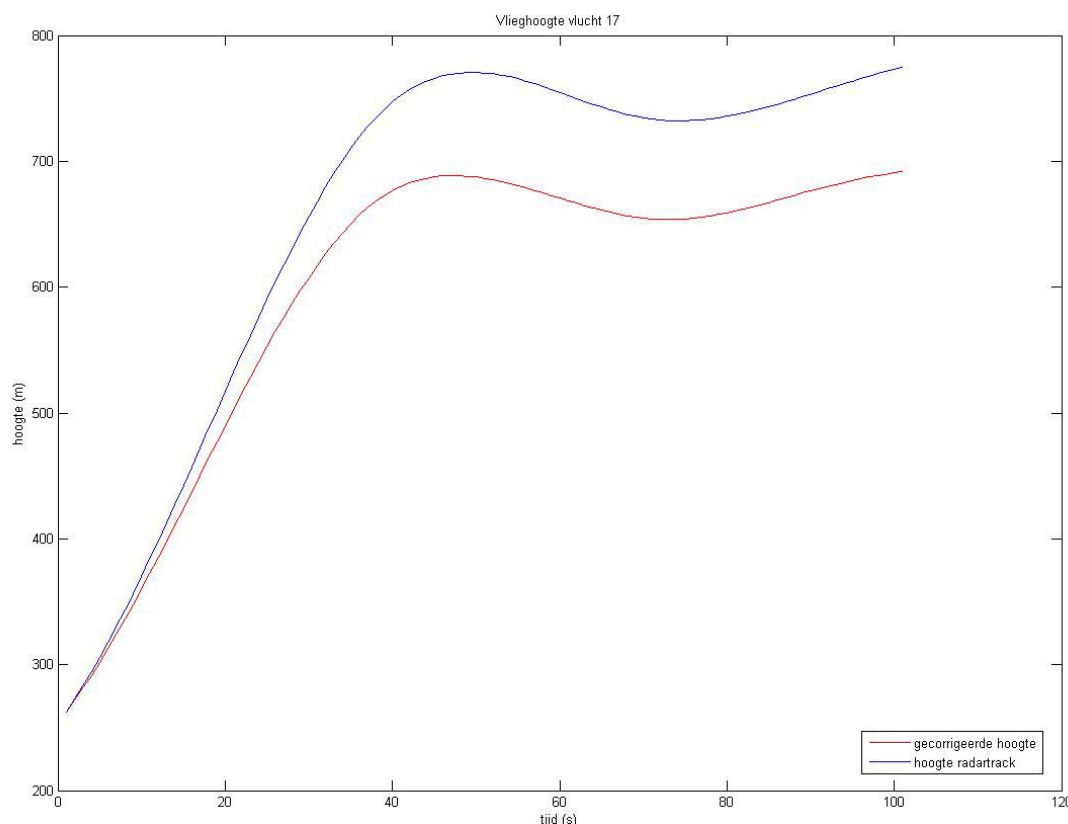
$$h_{cor}(t) = h_0 + \int_0^t \dot{h}_{cor} dt ; \text{ waarbij } h_0 \text{ de beginhoogte van de radartrack is.}$$

Omdat de waarden van alle variabelen waarmee de verticale snelheid wordt berekend per seconde bekend zijn, kan deze integraal als volgt worden benaderd:

$$h_{cor}(t) = h_0 + \sum_{i=1}^n \left[\dot{h}_{cor} \cdot \Delta t \right]_i$$

Waarbij Δt gelijk is aan 1 seconde en waarbij n het tijdstip is waarop de hoogte berekend wordt.

Met behulp van deze methode werd voor de 17^e vlucht geanalyseerd hoe het hoogteverloop van deze vlucht eruit zou hebben gezien wanneer deze met het startgewicht van de eerste vlucht was opgestegen. Het resultaat is in de Figuur B.1.1 te zien. De blauwe lijn laat zien hoe de hoogte van de daadwerkelijke radartrack verliep en de rode lijn geeft het verloop van de hoogte voor een hoger startgewicht. Doordat het vliegtuig zwaarder is, zal het minder snel stijgen; dit is duidelijk te zien in de figuur.



Figuur B.1.1: Effect van correctie voor gewicht op hoogteprofiel als functie van de tijd

Aan de gebruikte methode zitten wel enkele nadelen. Ten eerste wordt het eerste deel van het klimsegment niet meegenomen en begint de berekening pas zodra de track begint. In werkelijkheid zal het vliegtuig vanaf het moment dat het loskomt van de grond sneller stijgen. Een tweede probleem is dat een lichter vliegtuig minder baanlengte gebruikt om los te komen, dus zal het toestel eerder aan het klimsegment beginnen. Ten derde is het exacte gewicht bij iedere gevlogen startprocedure niet bekend, maar kan dit gewicht slechts geschat worden aan de hand van het initiële gewicht van het vliegtuig (het startgewicht van de 1^e procedure) en het uiteindelijke landingsgewicht.

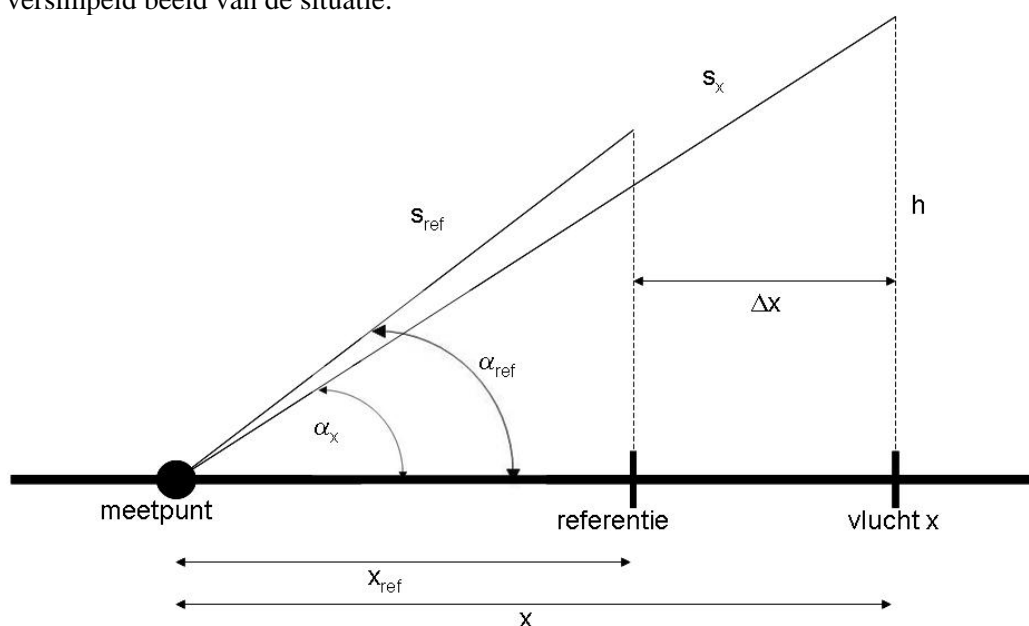
Tot slot zou de piloot wanneer het vliegtuig zwaarder is langer doorklimmen zodat het toestel alsnog op de gewenste hoogte uit zou komen. Zoals in Figuur B.1.1 te zien is, wordt dit effect niet meegenomen met deze rekenmethode. Dit zou kunnen worden opgelost door het gecorrigeerde hoogteprofiel door te laten lopen, maar dan zou nog steeds geen rekening worden gehouden met de hogere stuwkracht die nodig is tijdens het klimmen. Dit zou betekenen dat de gemeten geluidswaarden niet meer goed aansluiten bij het gebruikte hoogteprofiel.

De correctie op het hoogteprofiel zal niet worden toegepast vanwege de verschillende onnauwkeurigheden en omdat het effect beperkt is. Zoals in de figuur te zien is blijft het verschil in hoogte tijdens het klimsegment beperkt en zoals eerder aangegeven zijn de verschillen na het klimsegment niet realistisch vanwege het feit dat het toestel in werkelijkheid doorgeklommen zou zijn tot de hoogte van de daadwerkelijke radartrack.

B.2 Correctie voor afwijkingen in het grondpad

Zoals aan het begin van deze appendix werd vermeld heeft een afwijking in het grondpad effect op de afgelegde weg van het geluid, op de invalshoek van het geluid en op de absorptie. Deze drie zaken zullen hieronder behandeld worden.

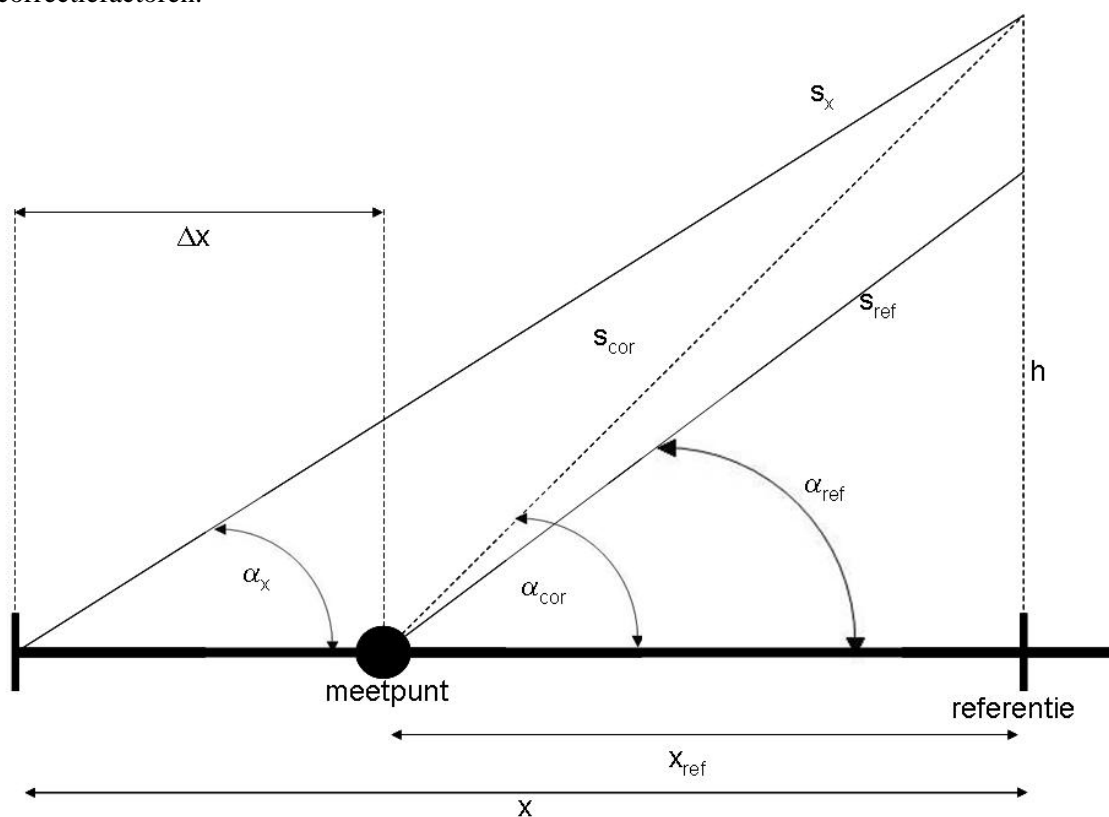
De verschillen in het horizontale vlak hebben effect op de hoek waaronder geluid bij een meetpost aankomt en op de afstand die het geluid door de lucht aflegt. Figuur B.2.1 geeft een versimpeld beeld van de situatie:



Figuur B.2.1: Benodigde afstanden en hoeken voor correctie van geluidsniveaus

In de figuur worden twee vluchten vergeleken. Voor de hoogte wordt niet gecorrigeerd, want de hoogte hangt samen met de gevlogene procedure en verschillen tussen de procedures moeten juist wel in kaart worden gebracht. Omdat het horizontale verschil tussen twee vluchten verandert over de vliegbaan, moet de correctie voor ieder punt van het traject bepaald worden. Ook moet rekening worden gehouden met het feit dat de hoogte mede bepalend is voor de hoek en de afstand.

Om de benodigde correctiefactoren te bepalen wordt de beschouwde vlucht verschoven zodat het grondpad van deze vlucht op het grondpad van de referentievlucht komt te liggen. Dit is te zien in de Figuur B.2.2. Aan de hand van deze figuur volgt nu de afleiding van de correctiefactoren.



Figuur B.2.2: Benodigde afstanden en hoeken na verschuiven van te corrigeren vlucht

Uit de figuur volgt:

$$\alpha_x = \arctan \left[\frac{h}{x} \right]$$

$$\alpha_{cor} = \arctan \left[\frac{h}{x_{ref}} \right]$$

$$s_x = \sqrt{(h)^2 + (x)^2}$$

$$s_{cor} = \sqrt{(h)^2 + (x_{ref})^2}$$

B.2.1 Correctie geluidsniveau ten gevolge van andere invalshoek

In het meetpunt wordt een geluidsniveau gemeten; deze waarde wordt aangegeven met L_{oorsp} . Als de hoek tijdens de meting lager was doordat het vliegtuig op een grotere afstand zat dan de referentievlucht (zoals in Figuur B.2.1) dan moet de invalshoek voor gecorrigeerde vlucht worden vergroot omdat $\alpha_x < \alpha_{\text{cor}}$. Het geluidsniveau wordt gecorrigeerd aan de hand van de verhouding tussen de sinus van deze twee hoeken:

$$c_{\text{hoek}} = \frac{\sin(\alpha_{\text{cor}})}{\sin(\alpha_x)}$$

Dit betekent dat het gecorrigeerde geluidsniveau hoger is wanneer $\alpha_x < \alpha_{\text{cor}}$.

B.2.2 Correctie voor afgelegde weg van het geluid

Ook een verandering van de afgelegde weg van het geluid heeft invloed op het geluidsniveau. Hoe langer het geluid zich door de lucht verplaatst, hoe meer het gedempt zal worden. Het geluidsniveau zal kwadratisch afnemen met de afstand, dus kan op de volgende manier worden gecorrigeerd:

$$c_{\text{afst}} = \left(\frac{s_x}{s_{\text{cor}}} \right)^2$$

Dit betekent dat het gecorrigeerde geluidsniveau toeneemt wanneer de gecorrigeerde afstand kleiner is dan de werkelijke afstand.

B.2.3 Correctie geluidsniveau voor verschillen in absorptie

Tot slot zal gecorrigeerd worden voor de toe of afname in absorptie. Hiervoor wordt een correctiefactor c_{abs} bepaald. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de absorptie als functie van de door het geluid afgelegde weg¹.

B.2.4 Correctie van de gemeten geluidsniveaus

Met de drie correctiefactoren voor de verschillen in afgelegde weg van het geluid, invalshoek en absorptie wordt het gemeten geluidsniveau als volgt gecorrigeerd:

$$L_{\text{cor}} = 10 \cdot 10 \log \left[c_{\text{hoek}} \cdot c_{\text{afst}} \cdot c_{\text{abs}} \cdot 10^{\left(\frac{L_{\text{gemeten}}}{10} \right)} \right]$$

¹ Referentie: Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume 1 Aircraft Noise (2005)

Met deze correcties kan het geluidsniveau dus gecorrigeerd worden voor het verschil in grondpaden. Met de voorgestelde methode kunnen correctiefactoren worden berekend die een functie zijn van de afgelegde weg. Kortom, voor ieder punt zijn buiten locatie en tijd ook de factoren bekend. Het is dan wel zaak de factoren te koppelen aan het juiste geluidsniveau. Omdat geluid tijd nodig heeft om zich van de bron naar de meetpost te verplaatsen, is het geluid dat op tijdstip x wordt gemeten niet op tijdstip x geproduceerd.

De geluidssnelheid wordt berekend met:

$$V_{sound} = \sqrt{\gamma RT}$$

Waarbij: γ = specifieke warmteverhouding van lucht; $\gamma = 1.4$

R = gasconstante voor lucht; $R = 287.05 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$

T = temperatuur; $T = 283.45 \text{ K} (= 10.3^\circ\text{C})$

Gekozen is voor 10.3°C omdat dit volgens de weerdata van de basis de gemiddelde temperatuur was tussen 08:00 en 10:40 uur op 04-11-2008. De tijd die het geluid nodig had om van de bron naar de meetpost te komen wordt berekend met:

$$t = \frac{s}{V_{sound}}, \text{ waarbij } s \text{ de afgelegde weg is.}$$

Het geluid dat dus op tijdstip x werd gemeten, werd geproduceerd op tijdstip $(x-t)$. De correctiefactoren voor de afgelegde weg en voor de invalshoek moeten worden toegepast op het geluidsniveau dat gecorrigeerd is voor deze vertraging. De correctie voor de tijd houdt in dat het eerste deel van het gemeten geluidssignaal niet meer zal worden meegenomen omdat dit deel van het signaal niet bij het getoonde hoogteprofiel hoort.

Tot slot moet worden opgemerkt dat de doorgevoerde correcties minder nauwkeurig worden naarmate de afstand tussen het vliegtuig en de meetpost groter wordt. Hierdoor zullen de gecorrigeerde waarden van het geluidsniveau onnauwkeuriger worden wanneer een vliegtuig zich ver voor of voorbij een meetpunt bevindt. Meestal worden de hoogste geluidsniveaus gemeten wanneer het toestel zich in de buurt van een meetpost bevindt, waardoor de correctie van de waarden van de piekniveaus nauwkeuriger is dan de correctie van de lagere niveaus aan het begin en aan het einde van een geluidsniveau.

Appendix C Resultaten ondersteunend aan het hoofdrapport

Indien er in de hoofdrapportage grafieken zijn opgenomen betreft dit telkens de resultaten uit het deelgebied dichtbij; namelijk meetpost 175. De resultaten van appendix C zijn ondersteunend aan het hoofdrapport. In het hoofdrapport wordt onderscheid gemaakt tussen een aantal deelgebieden, namelijk dichtbij, halfweg en ver weg (zie Figuur 3-1). Voor de geselecteerde meetposten in deze deelgebieden zijn de resultaten opgenomen in appendix C.

Met de grafieken in appendix C worden de trends in de piekniveaus, maar ook het aanzwellen/uitdoven van het geluid weergegeven. Hiervoor zijn geluidsniveaus tegen een tijdsas uitgezet, waarbij de piekniveaus op tijdstip nul gezet. Op deze manier kunnen geluidsevents met elkaar vergeleken worden. Zoals in paragraaf 2.1 van het hoofdrapport aangegeven is, zijn de meetgegevens gecorrigeerd voor de ligging van de routes. Om te corrigeren voor de spreiding in de horizontale grondpaden van de vluchten zijn de geluidsniveaus gecorrigeerd voor afstand, invalshoek en luchtabsorptie. Het corrigeren van de meetgegevens voor de ligging van de routes geeft de mogelijkheid om beter de verschillen in geluidsniveaus ten gevolge van de startprocedures vast te stellen. Ook deze gecorrigeerde geluidsniveaus zijn uitgezet tegen een tijdsas, waarbij de piekniveaus op nul seconden staan.

C.1 Starts: meetresultaten geluid – alle procedures gevlogen met vliegtuig 445

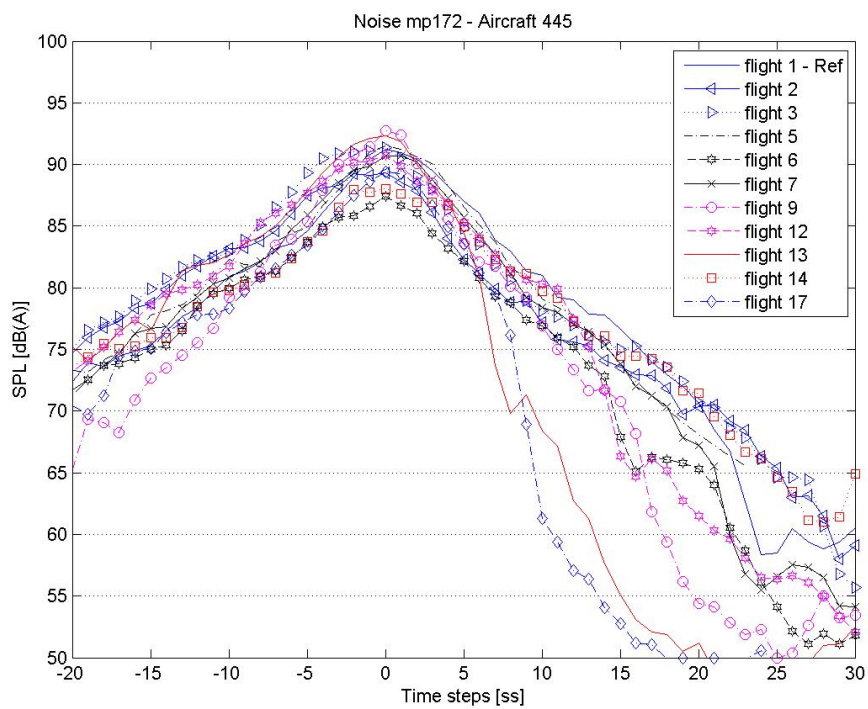
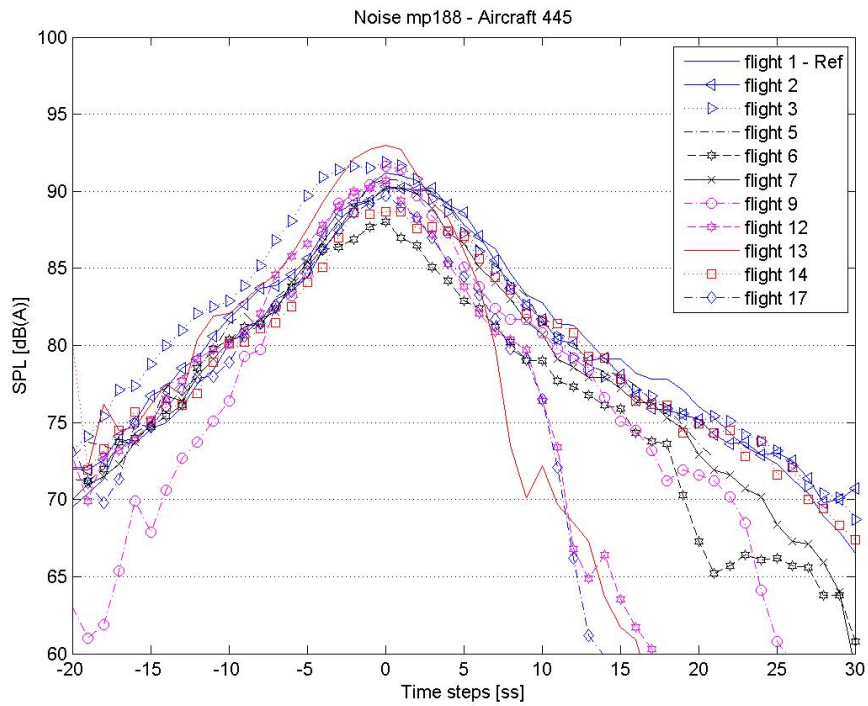
In de figuren van C1 zijn telkens de gecorrigeerde geluidsniveaus als de werkelijke geluidsniveaus weergegeven. De verschillen tussen beide curven is dan ook de correctie voor de spreiding in horizontale grondpaden.

In de figuren van C1.1, C1.2 en C1.5 valt vlucht 9 op, het geluid zwelt sneller aan dan bij de andere vluchten. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken te benoemen. Ten eerste is het mogelijk dat het vliegtuig sneller vloog. Ten tweede blijkt dat het toestel zich dicht bij de grond bevond, waardoor de invalshoek van het geluid sneller verandert. Deze lagere invalshoek resulteert in het sneller aanzwellen van het geluidssignaal dat door de meetposten wordt waargenomen.

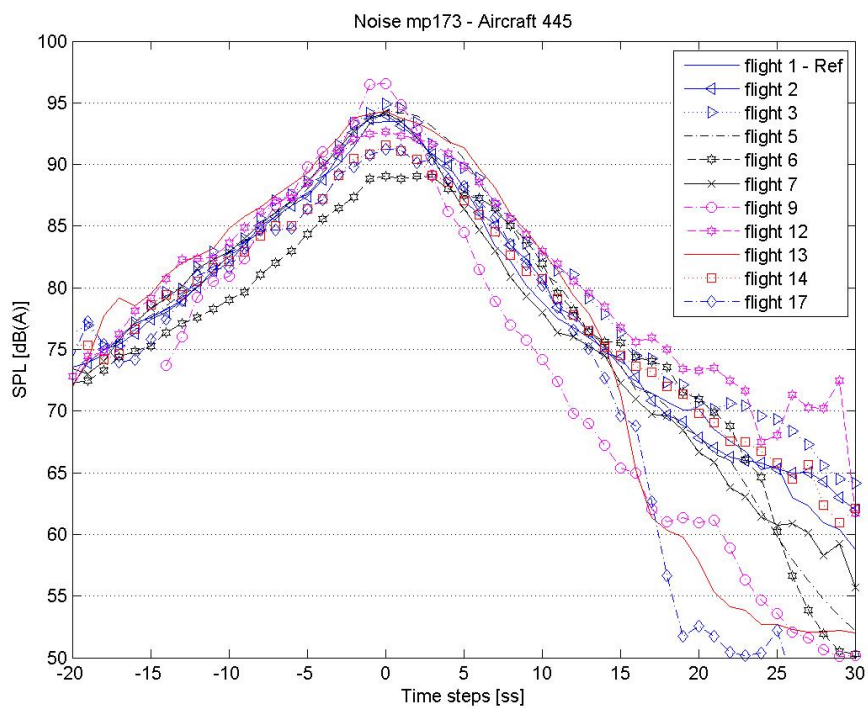
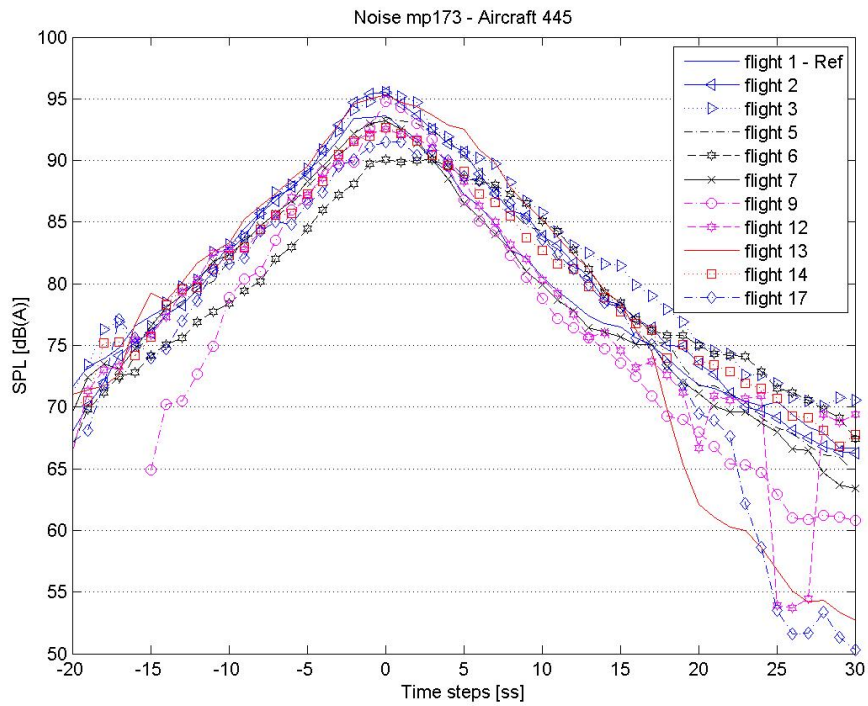
In de figuren C1.1 en C1.4 ontstaan grote verschillen in de snelheid van uitdoven van het geluid. Nadat het vliegtuig op de meetpost voorbij vloog en het piekgeluidsniveau veroorzaakte boog het vliegtuig richting het zuiden af. De grondpaden laten ons zien (zie Figuur 3-2 van het hoofdrapport) dat het vliegtuig niet telkens op hetzelfde moment afboog. Dit verklaart mogelijk dat het moment van afbuigen samen met de richtingsgevoeligheid van het vliegtuig als geluidsbron er verschillen ontstaan in de snelheid van het uitdoven van het geluid.

De gecorrigeerde resultaten van vlucht 12 in Figuur C3.1 laten een raar verloop zien. Deze resultaten zijn gegenereerd uit een meetpost ver weg. Het vliegtuig wijkt hier dusdanig af (buigt snel af en vliegt boven Brunssum terug naar Duitsland) van de referentie route dat het de correctie niet meer werkt.

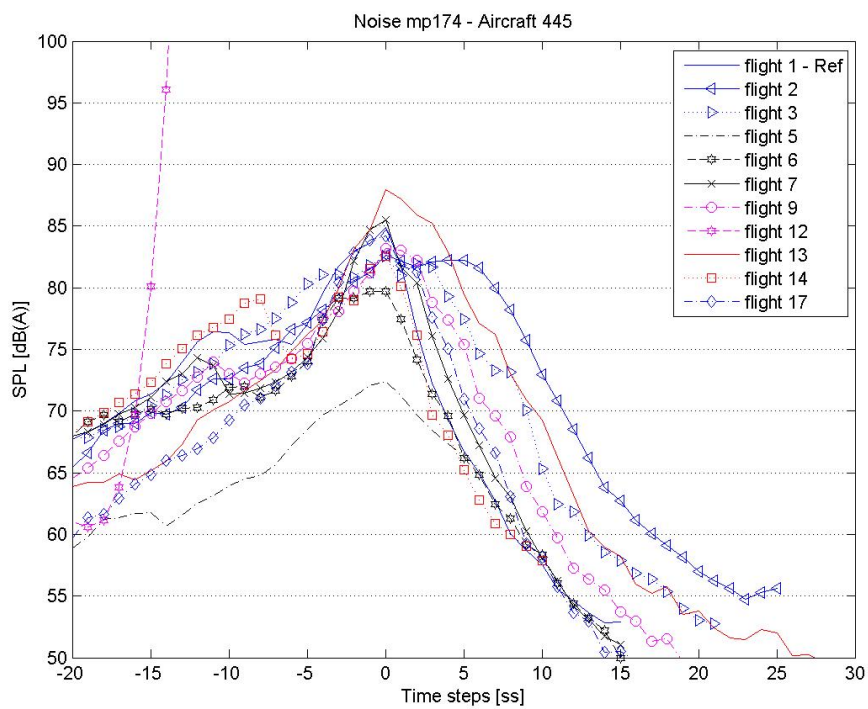
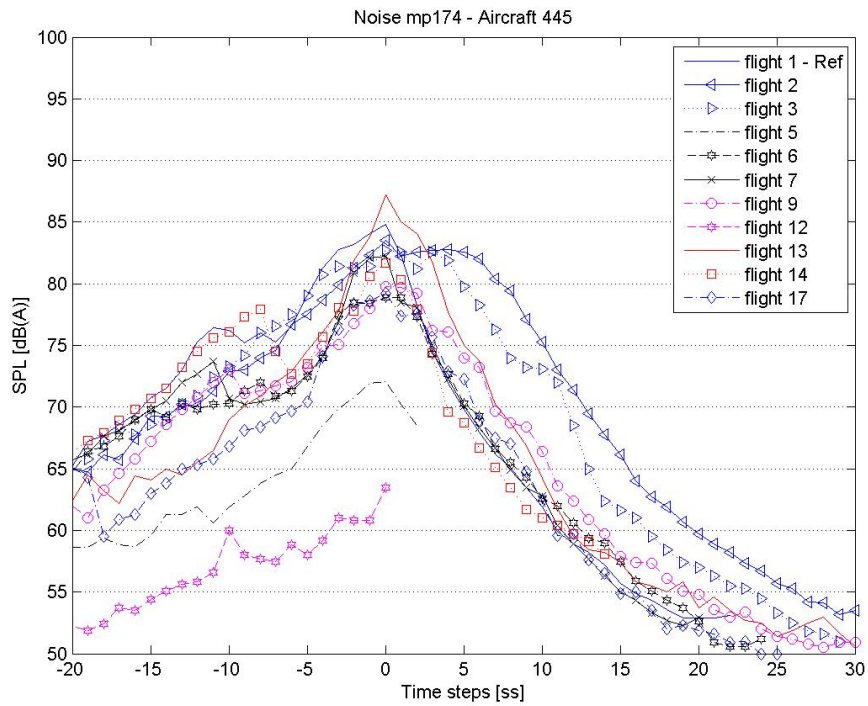
In de figuren C1.3 en C1.7 zijn de curven niet meer zo gebundeld als in de ander figuren. Het betreft hier de resultaten van het deelgebied ver weg. De resultaten worden hierdoor moeilijk interpreteerbaar, omdat er veel variabelen een rol spelen. Het vliegtuig bevindt zich hier meetstal in een bochtprocedure, bovendien stijgen een aantal vliegtuigen niet meer in dit gedeelte van de vlucht waardoor er grote hoogteverschillen zijn ontstaan. Ook kan de geluidafscherming van de vleugels een rol spelen, dit laat vlucht 7 in figuur C1.7 zien doordat er een dip is voor het bereiken van het piekgeluidsniveau.



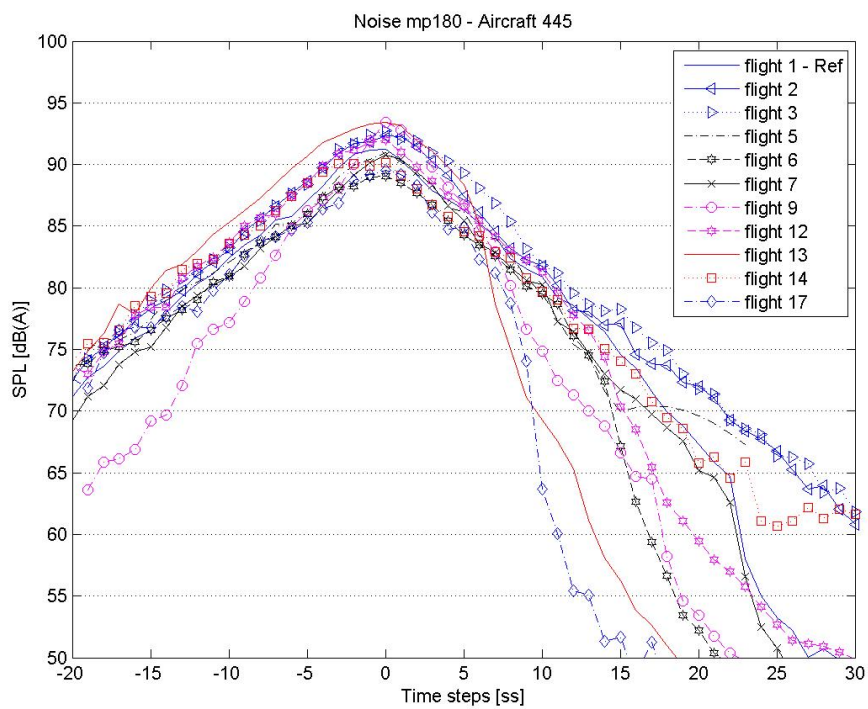
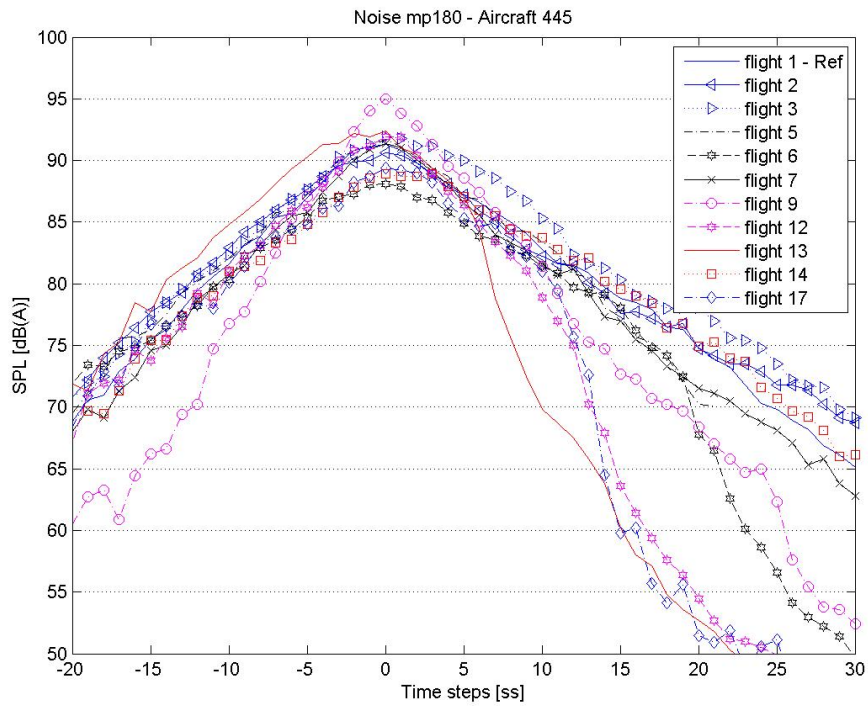
Figuur C.1.1: Mp172 (halfweg) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



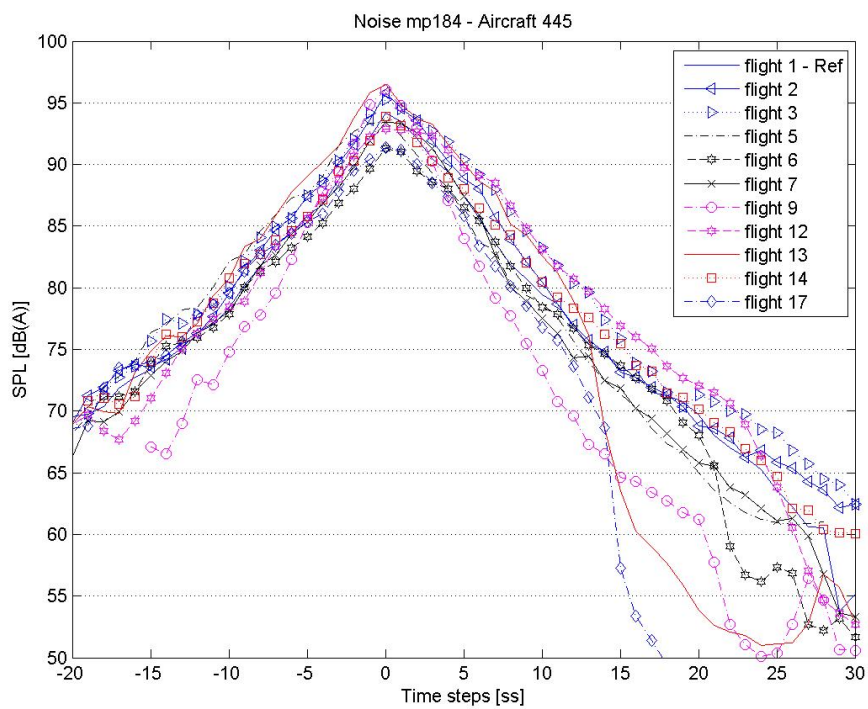
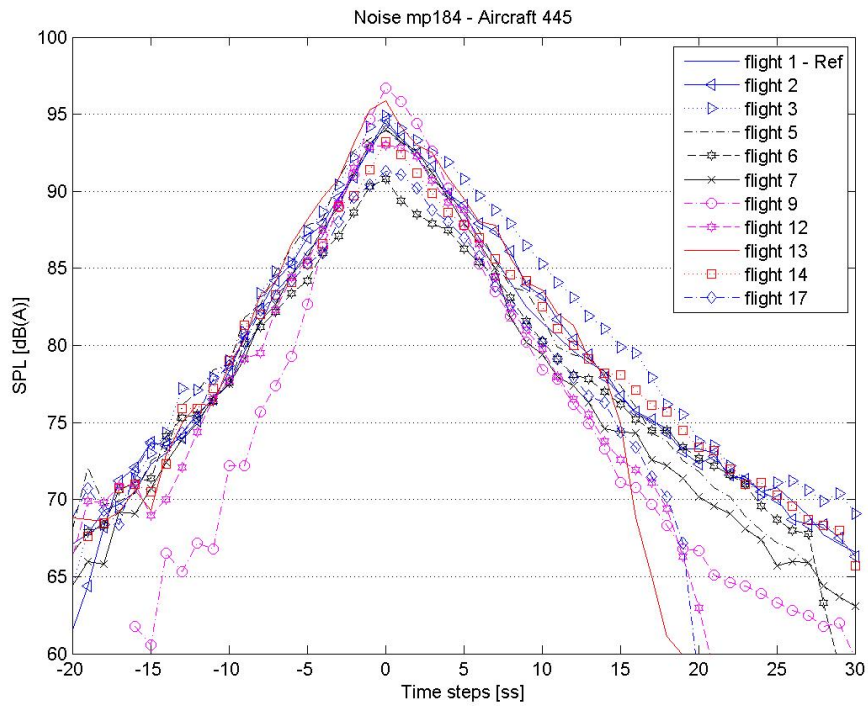
Figuur C.1.2: Mp173 (dichtbij) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



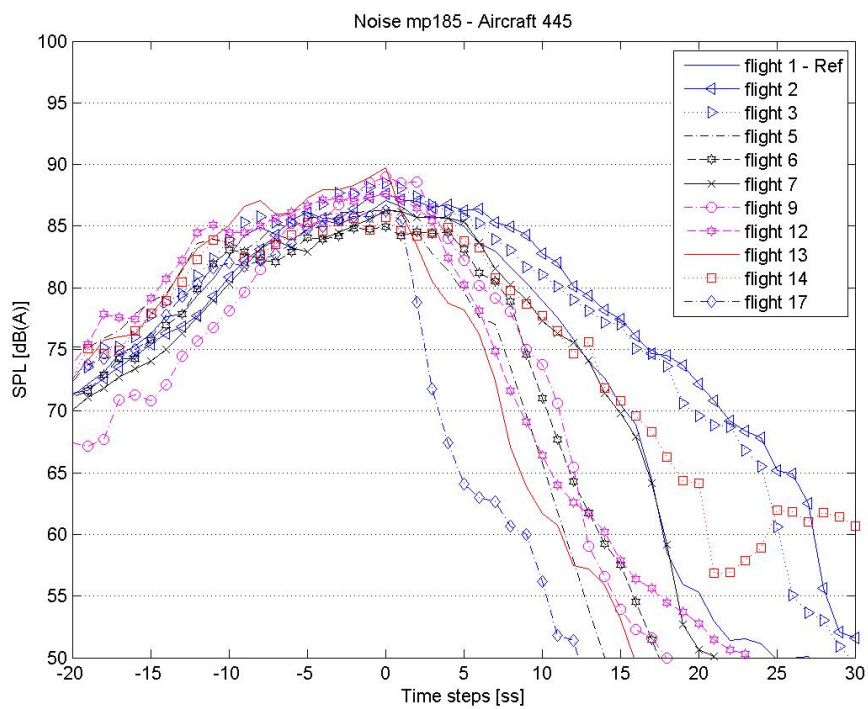
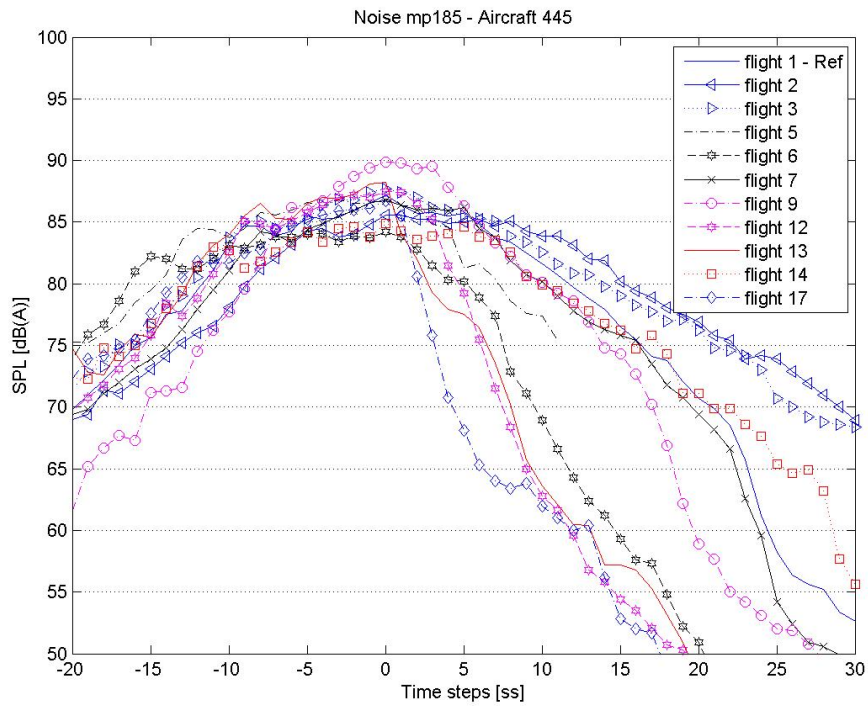
Figuur C.1.3: Mp174 (ver weg) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



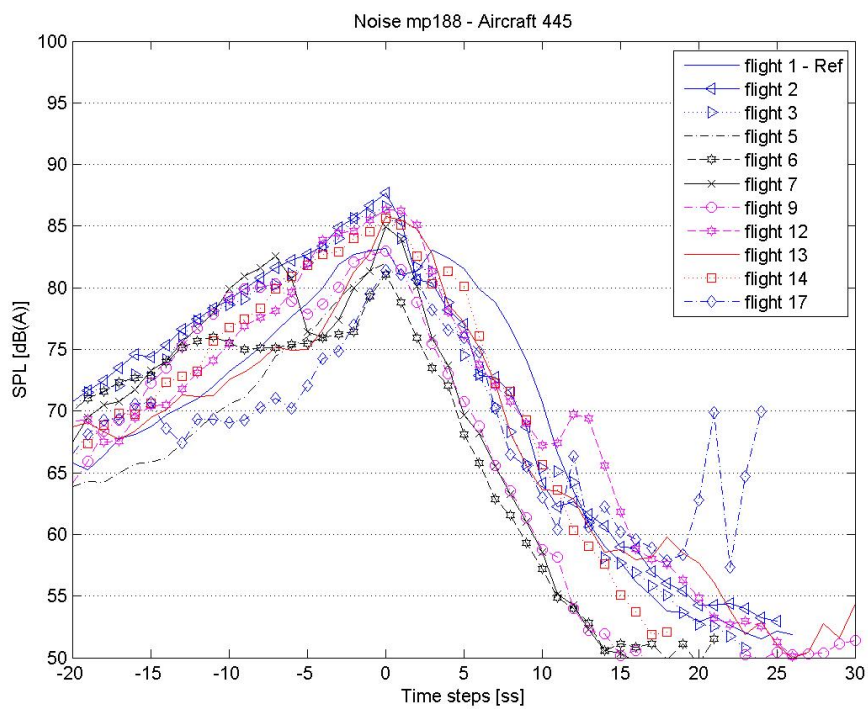
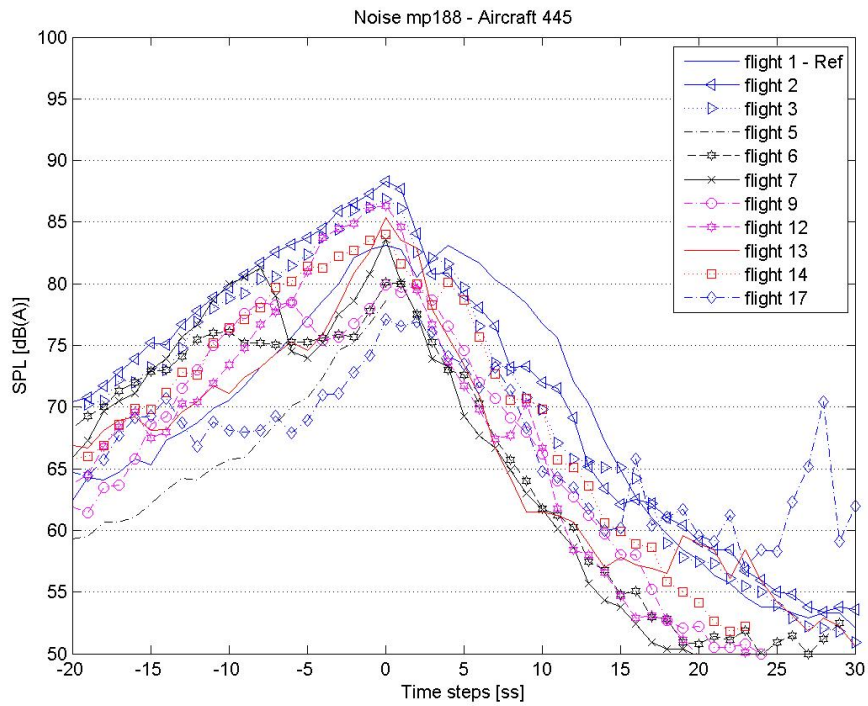
Figuur C.1.4: Mp180 (halfweg) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



Figuur C.1.5: Mp184 (dichtbij) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



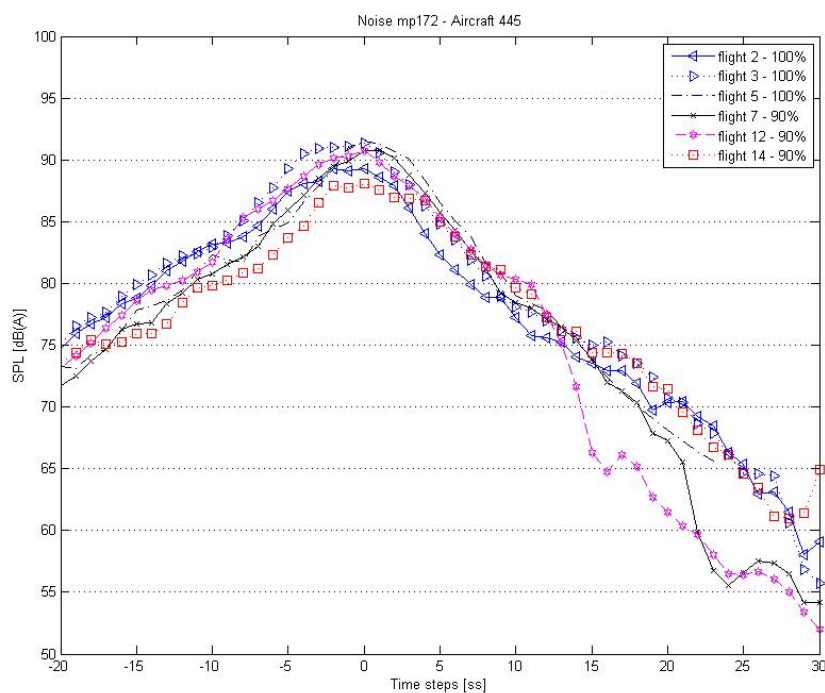
Figuur C.1.6: Mp185 (halfweg) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd



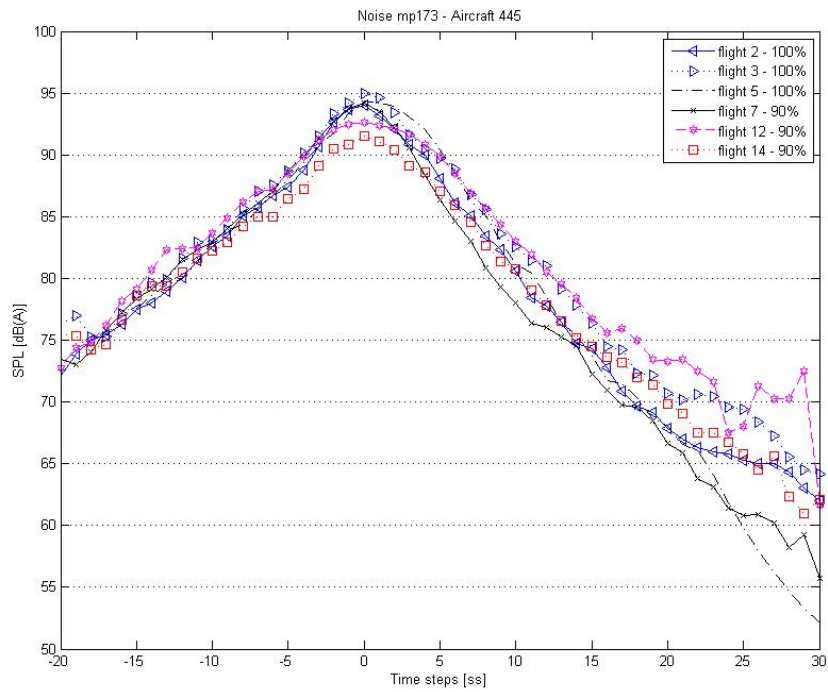
Figuur C.1.7: Mp188 (ver weg) boven: gemeten – onder: gecorrigeerd

C.2 Starts: vergelijking procedures gevolgen met verschil in stuwkracht

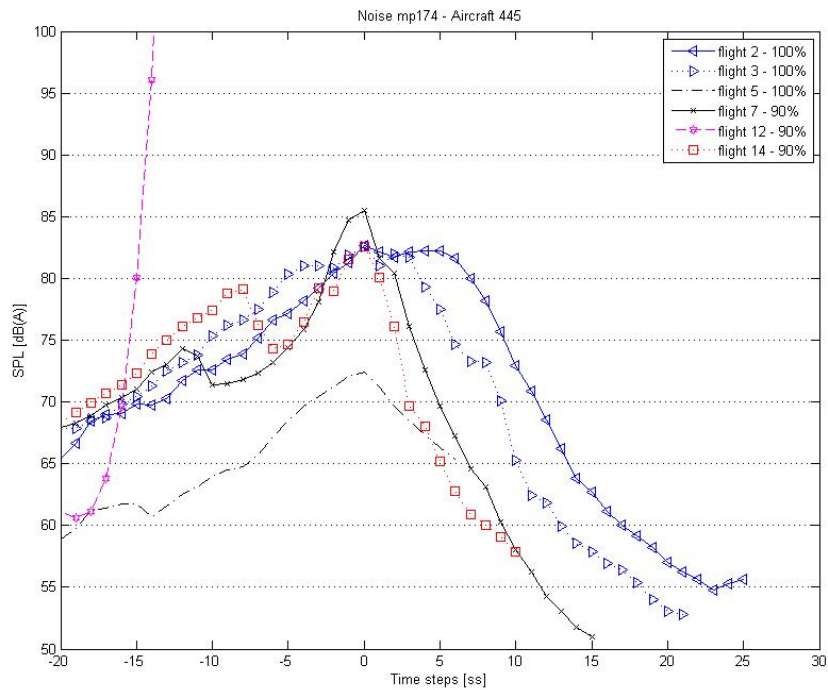
In deze appendix worden procedures vergeleken die of met 90% van het maximale startvermogen, of met 100% van het maximale startvermogen zijn gevolgen. Deze grafieken waren ook al te zien in appendix C1, maar worden hier nogmaals getoond zodat ze makkelijker onderling vergeleken kunnen worden. De opmerkingen begeleidende tekst bij appendix C1 geldt daarom ook voor appendix C2.



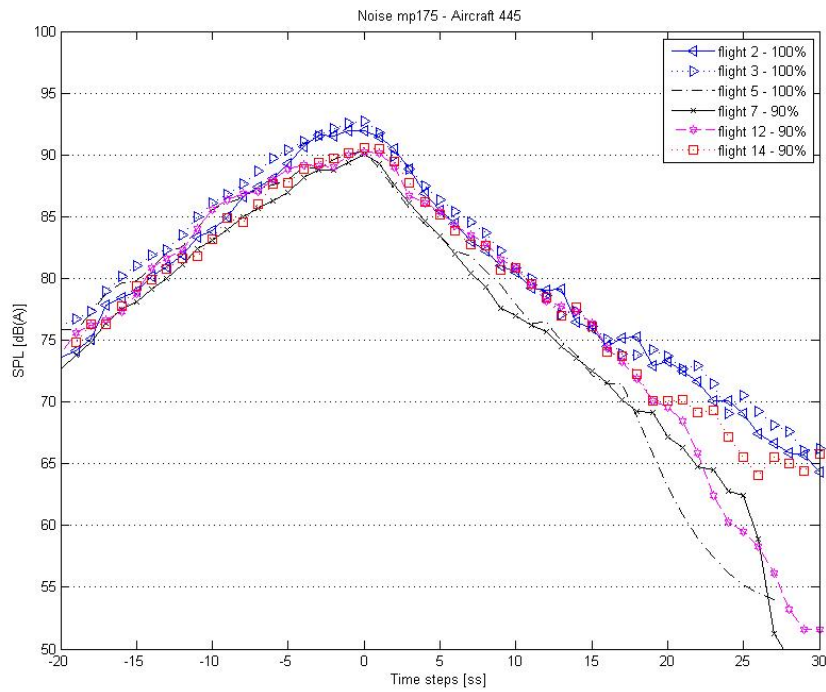
Figuur C.2.1: Mp172 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



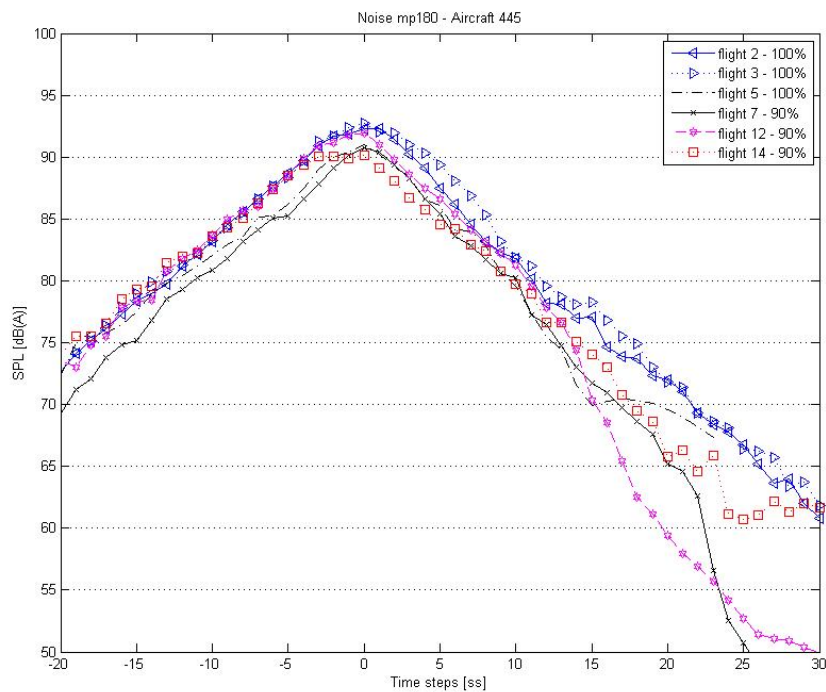
Figuur C.2.2: Mp173 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



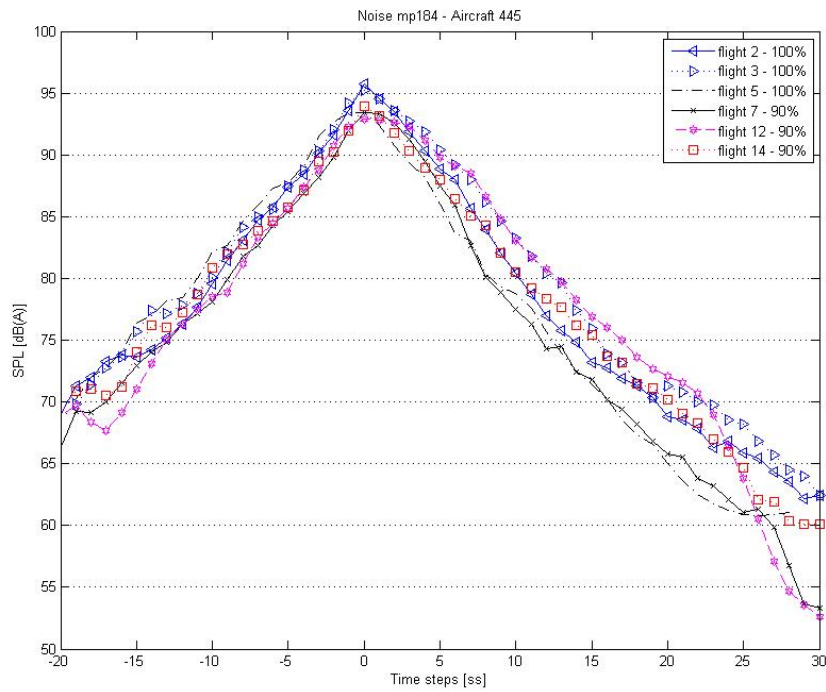
Figuur C.2.3: Mp174 (ver weg) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



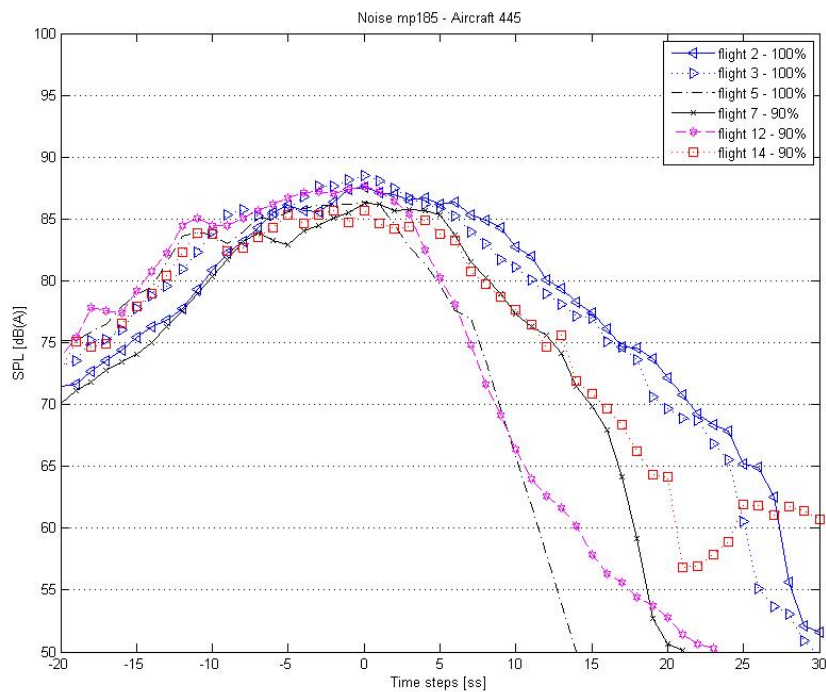
Figuur C.2.4: Mp175 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



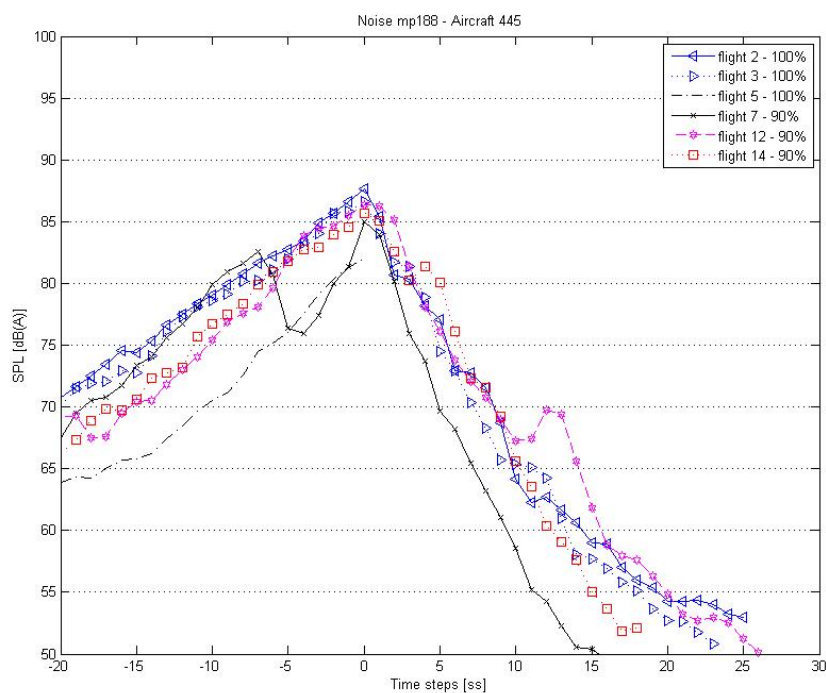
Figuur C.2.5: Mp180 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



Figuur C.2.6: Mp184 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



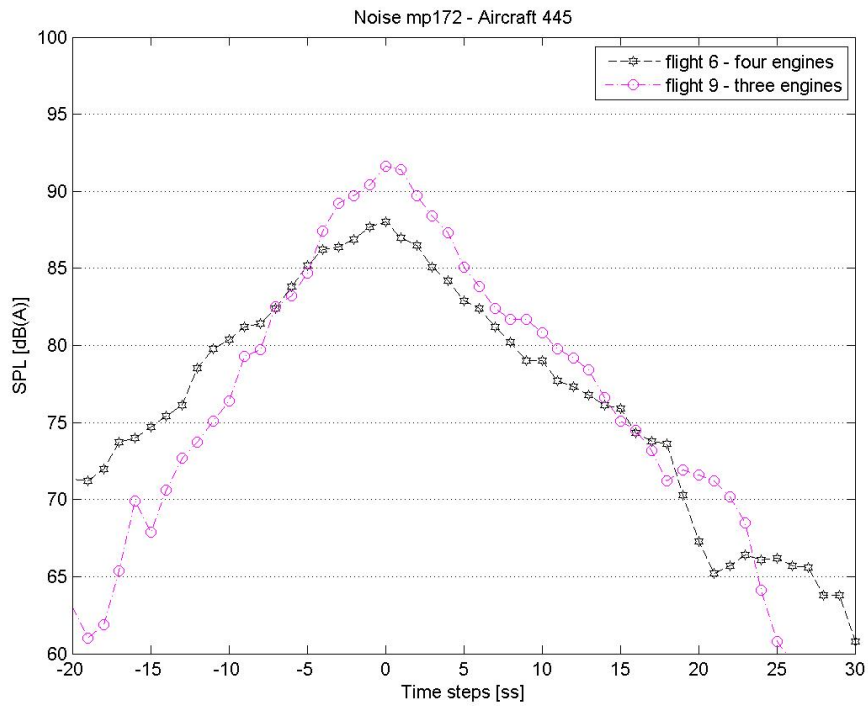
Figuur C.2.7: Mp185 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht



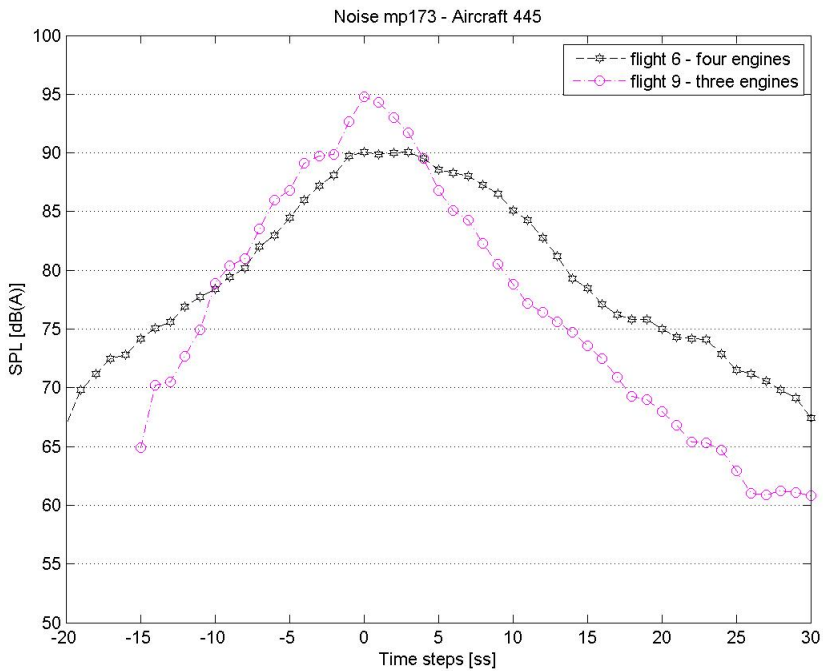
Figuur C.2.8: Mp188 (ver weg) gecorrigeerde meetwaarden - verschillende stuwkracht

C.3 Starts: vergelijk procedures met verschil in aantal operationele motoren

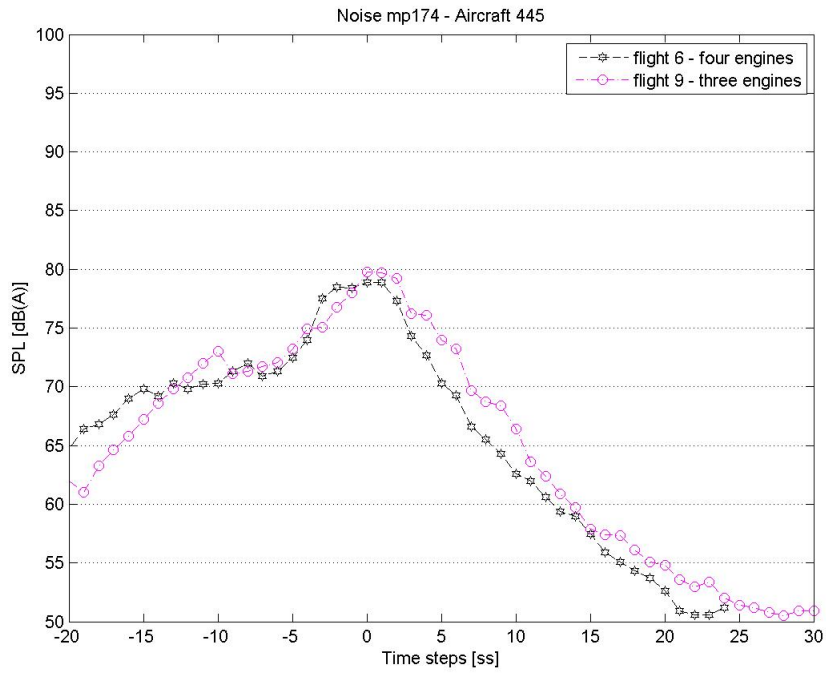
Net als bij appendix C2 is appendix een deelresultaat uit de figuren van C1. Vlucht 6 en vlucht 9 werden respectievelijk met 4 en met 3 operationele motoren gevlogen. De figuren in deze appendix tonen de verschillen in geluidsniveau van de vluchten met een verschillend aantal operationele motoren.



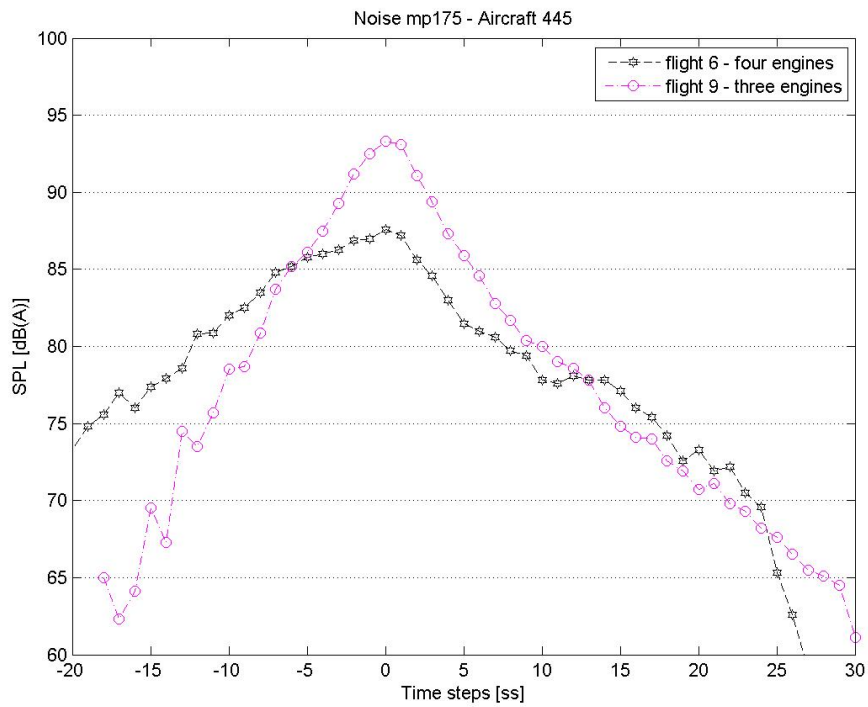
Figuur C.3.1: Mp172 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden – 3 en 4 operationele motoren



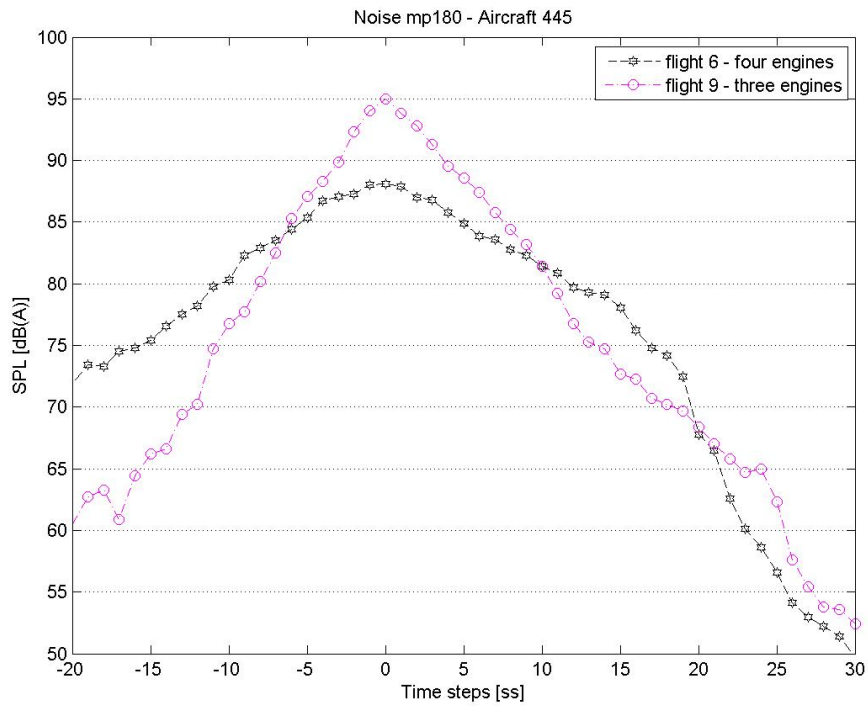
Figuur C.3.2: Mp173 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden – 3 en 4 operationele motoren



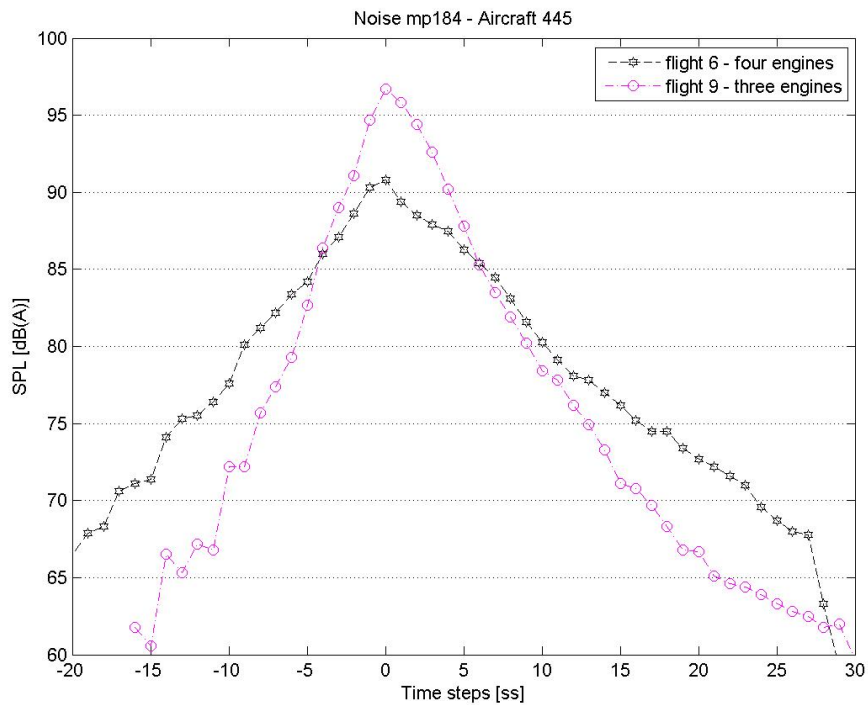
Figuur C.3.3: Mp174 (ver weg) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren



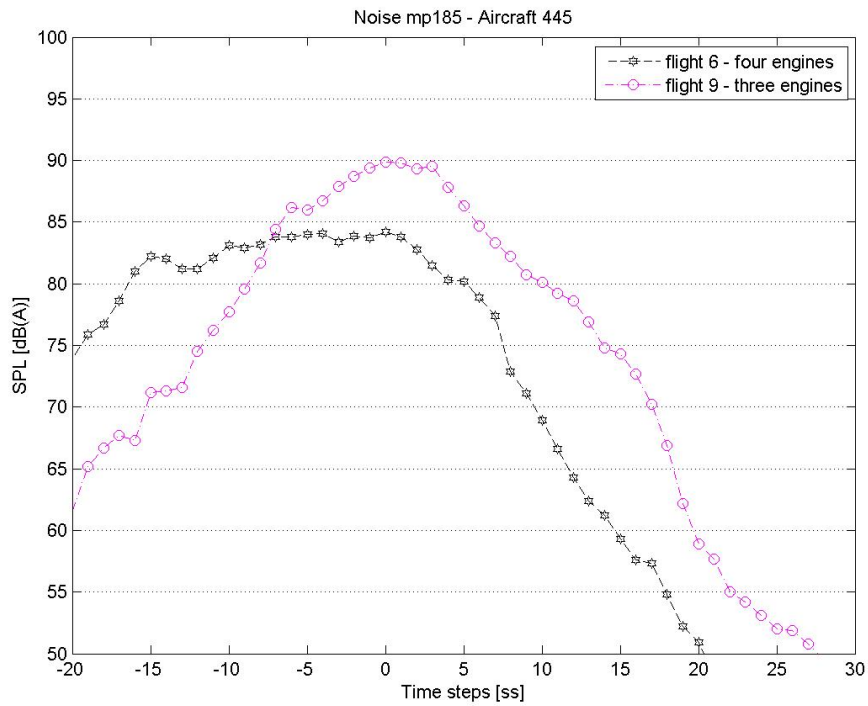
Figuur C.3.4: Mp175 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren



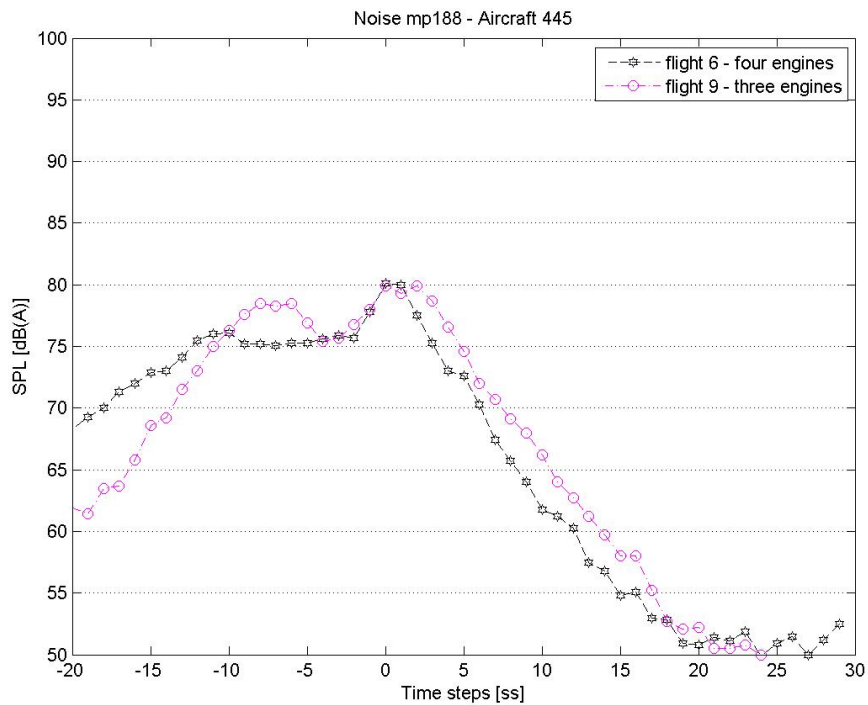
Figuur C.3.5: Mp180 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren



Figuur C.3.6: Mp184 (dichtbij) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren



Figuur C.3.7: Mp185 (halfweg) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren



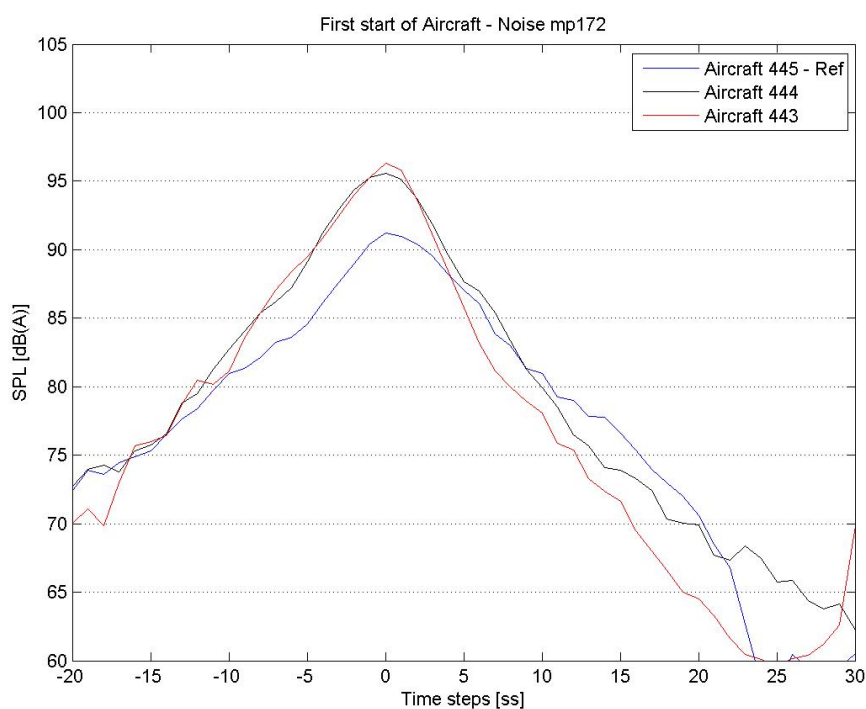
Figuur C.3.8: Mp188 (ver weg) gecorrigeerde meetwaarden - 3 en 4 operationele motoren

C.4 Starts: vergelijking van vluchten met een verschillend startgewicht

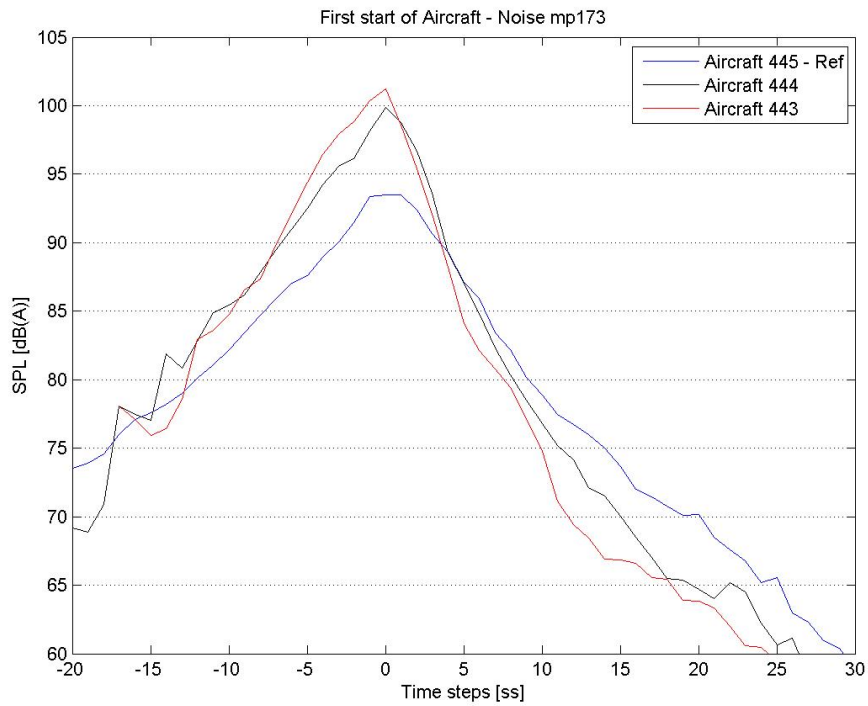
De figuren in Appendix C4 zijn geen deelresultaten van de figuren in C1. Alleen de resultaten van aircraft 445 is een deelresultaat van C1 (het betreft hier vlucht 1).

In figuur C4.6 neemt het geluid nadat het is uitgedoofd tot 77 dB(A) opnieuw toe voor aircraft 443. Het lijkt erop dat deze toename veroorzaakt wordt door een andere verstorende geluidsbron. Het geluid neemt te snel toe om aan te nemen dat dit de AWACS was.

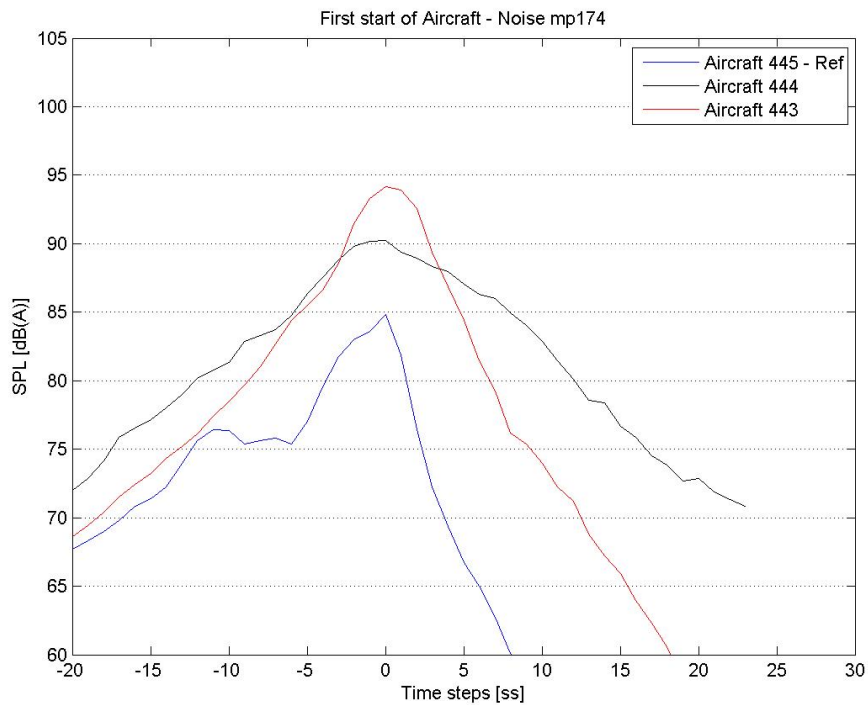
In figuur C4.7 is wederom een dip rond om het piekniveau te zien in de curve van aircraft 445, zoals eerder besproken in C1 wordt verwacht dat dit veroorzaakt wordt door vleugelfscherming. Het vliegtuig bevindt zich rond deze meetpost in een bocht.



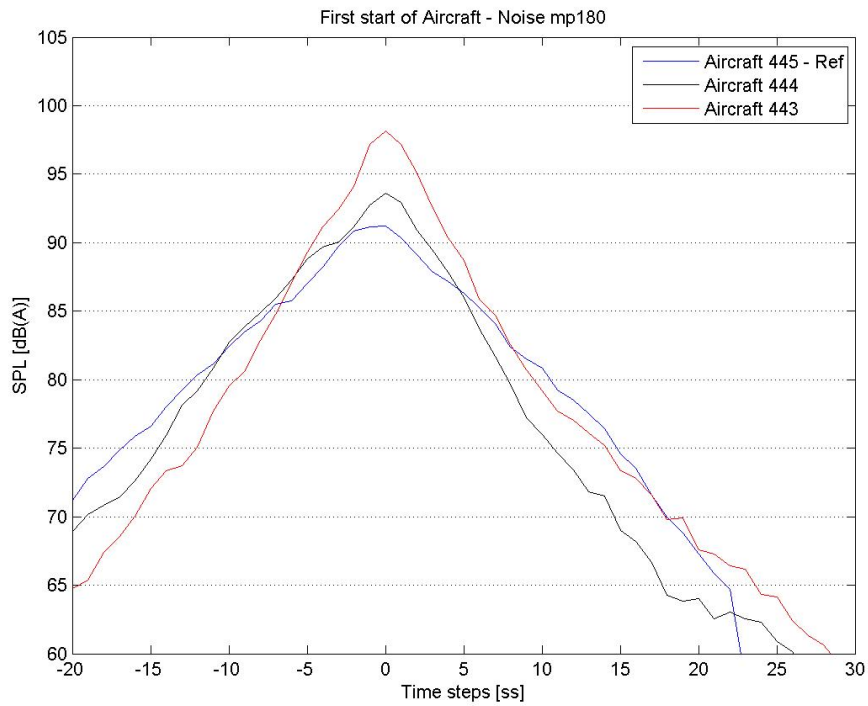
Figuur C.4.1: Mp172 (halfweg) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten



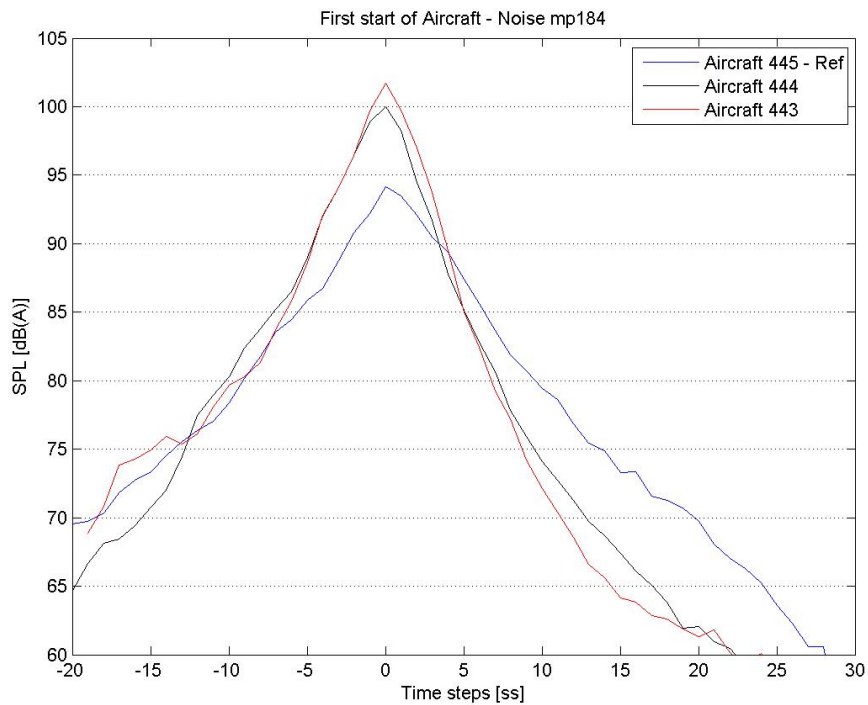
Figuur C.4.2: Mp173 (dichtbij) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten



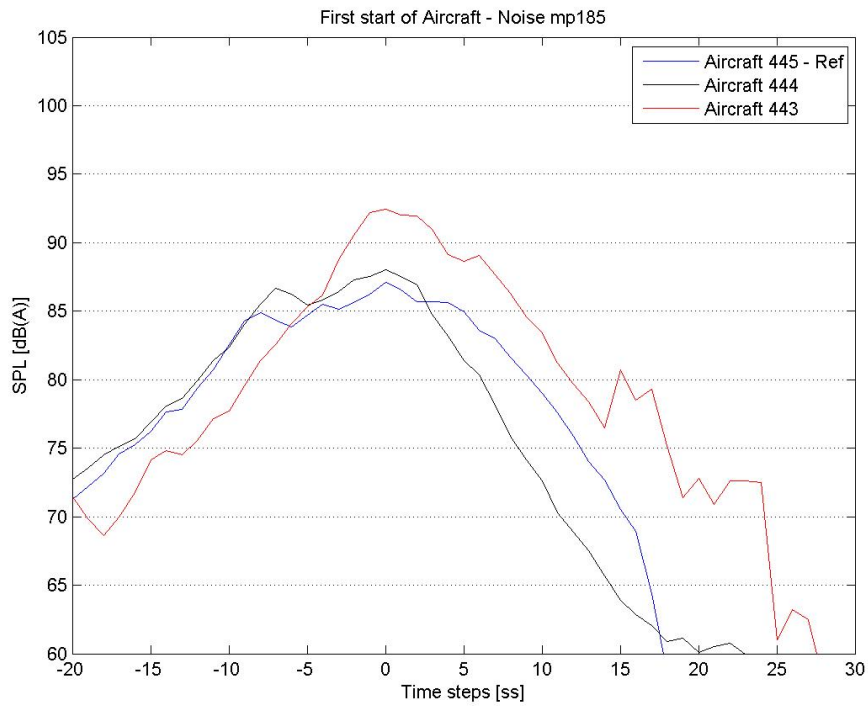
Figuur C.4.3: Mp174 (ver weg) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten



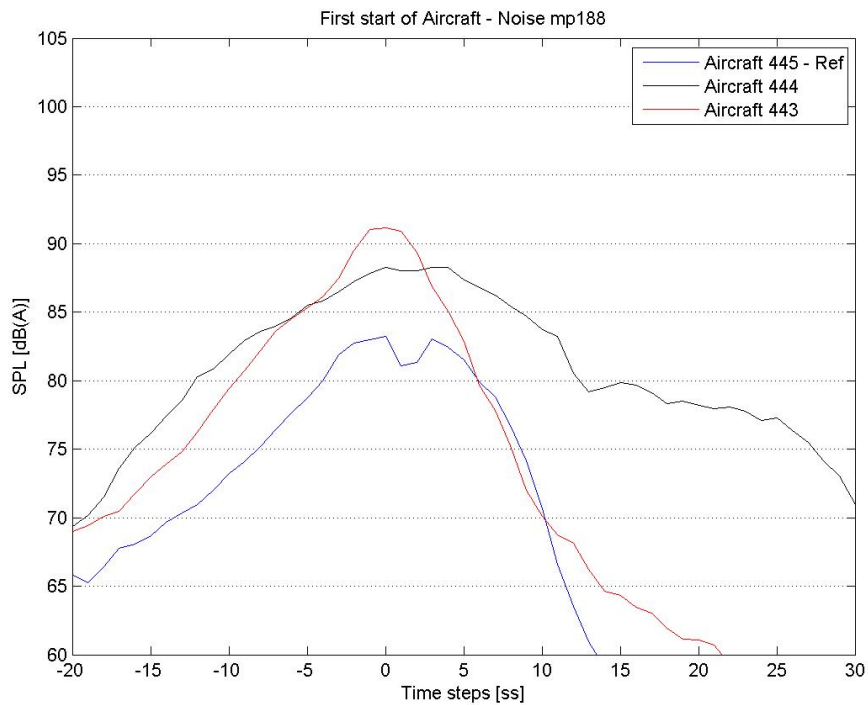
Figuur C.4.4: Mp180 (halfweg) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten



Figuur C.4.5: Mp184 (dichtbij) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten

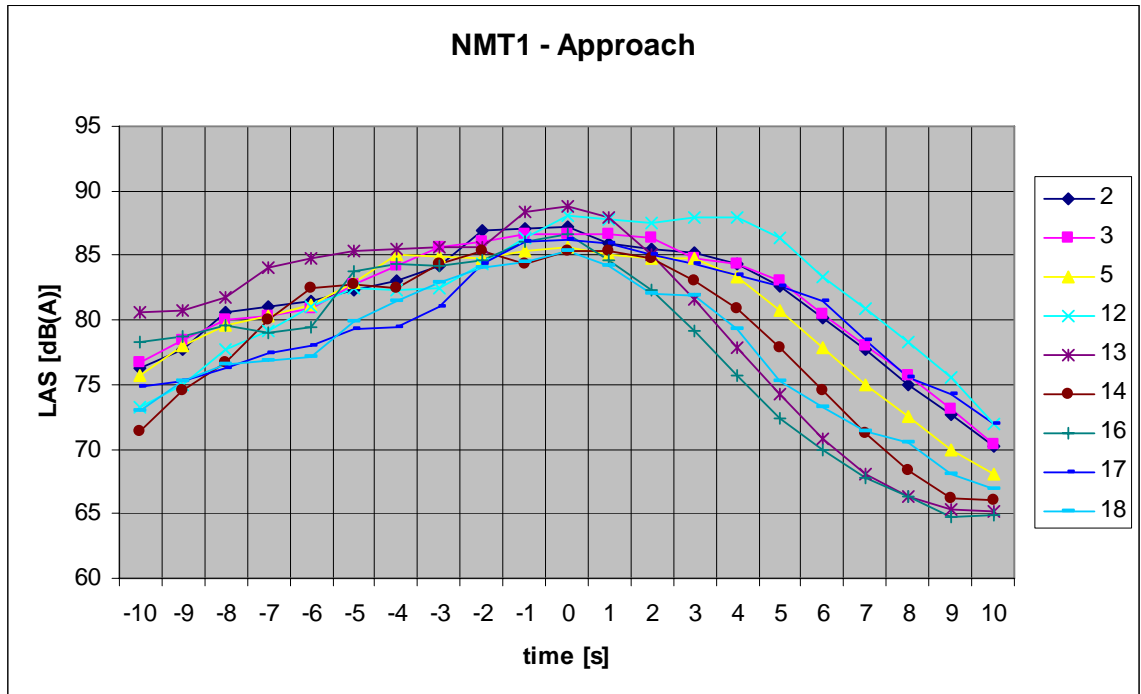


Figuur C.4.6: Mp185 (halfweg) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten

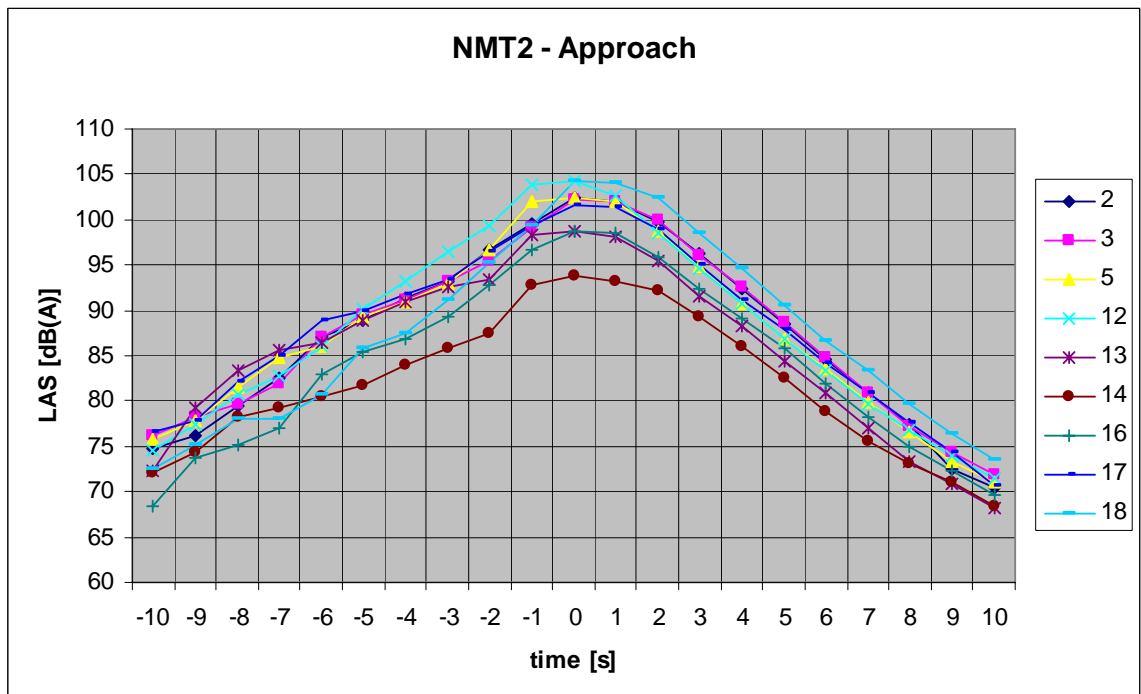


Figuur C.4.7: Mp188 (halfweg) – gecorrigeerde niveaus voor verschillende startgewichten

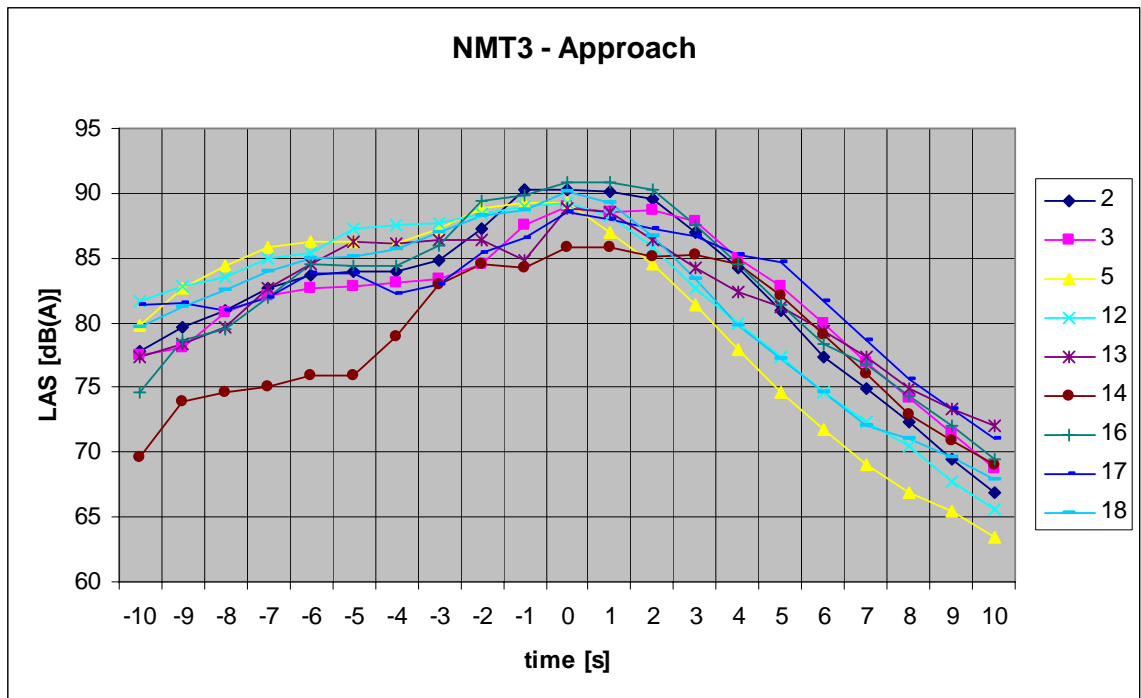
C.5 Landingen: resultaten geluidsmetingen



Figuur C5.1: Resultaten geluidsmetingen NMT 1



Figuur C5.2: Resultaten geluidsmetingen NMT 2



Figuur C5.3: Resultaten geluidsmetingen NMT 3

De locaties van de meetposten zijn terug te vinden in Figuur 3-12. In de bovenstaande figuren is te zien dat de horizontale spreiding invloed heeft op de gemeten geluidsniveaus. Zo laat Figuur C5.2 zien dat vlucht 12 het hoogste piekniveau gaf in NMT 2 terwijl dat niet het geval was voor NMT 1 en NMT 3. De meeste landingen vliegen tussen NMT 2 en NMT 3 door.