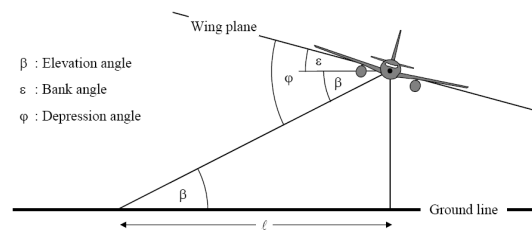
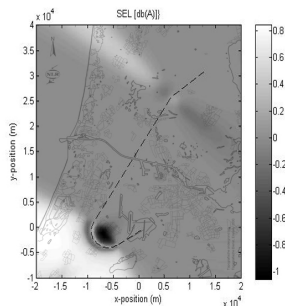




## Managementsamenvatting

### Het berekenen van vliegtuiggeluid

Net als in andere Europese landen zal in de toekomst ook in Nederland een nieuwe rekenmethode geïmplementeerd worden. Wat zijn de verschillen?



#### Probleemstelling

In de toekomst is te verwachten dat het Nederlandse rekenvoorschrift voor het berekenen van vliegtuiggeluid rondom luchthavens vervangen wordt door de nieuwe methode van ECAC. CEAC doc.29. Veranderen de geluidscontouren en dus de normstelling bij invoering van doc.29?

#### Inhoud

Het artikel gaat in op de modelmatige en de invoerverschillen tussen het Nederlandse rekenvoorschrift en doc.29. Tevens wordt het kader geschetst, waarbinnen de ontwikkelingen ten aanzien van het berekenen van vliegtuiggeluid zich momenteel afspelen (NL, EU, ECAC en ICAO). Het doel is de gebruikers, handhavers en beleidsmakers te informeren.

Naast de beschrijving van de verschillen en het kader is één modelmatig verschil uitgewerkt, namelijk bochten (zie bijgevoegde plaatjes). Dit geeft alleen een doorkijk naar de toekomst met de daarbij te verwachten verschillen.

#### Discussie

Het implementeren van een nieuwe rekenmethode heeft consequenties voor de normstelling van geluid in het gebied rondom een luchthaven. Een andere rekenmethode leidt tot andere resultaten. Het zou wenselijk zijn dat in de toekomst Nederlandse berekeningen ongeacht de gebruiker van de methode dezelfde uitkomsten genereert. Om dit te kunnen realiseren zullen er nog allerlei Nederlandse (of Europese) afspraken gemaakt moeten worden aan de invoerzijde en dient elke partij voorkeur met dezelfde software te rekenen.

**Rapportnummer**  
NLR-TP-2008-087

**Auteur(s)**  
D.H.T. Bergmans

**Rubricering rapport**  
ONGERUBRICEERD

**Datum**  
mei 2008

**Kennisgebied(en)**  
Aircraft Noise

**Trefwoord(en)**  
Geluid  
Nederlands rekenvoorschrift  
ECAC.doc29  
Bochten

### **Het berekenen van vliegtuiggeluid**

Net als in andere Europese landen zal in de toekomst ook in Nederland een nieuwe rekenmethode geïmplementeerd worden. Wat zijn de verschillen?



NLR-TP-2008-087

## Het berekenen van vliegtuiggeluid

Net als in andere Europese landen zal in de toekomst ook in Nederland een nieuwe rekenmethode geïmplementeerd worden. Wat zijn de verschillen?

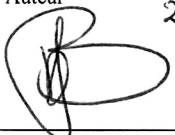
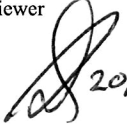
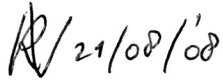
D.H.T. Bergmans

Uit dit rapport mag worden geciteerd onder de voorwaarde dat volledige bronvermelding plaatsvindt.

Deze publicatie is beoordeeld door de Adviescommissie Luchtverkeer.

Opdrachtgever           NLR  
Contractnummer        ----  
Eigenaar                NLR  
NLR Divisie            Air Transport  
Verspreiding            Onbeperkt  
Rubricering titel        Ongerubriceerd  
                              augustus 2008

Goedgekeurd door:

Auteur  20/08/08	Reviewer  20/08/08	Beherende afdeling  21/08/08
--	--	--

## Introductie

Hoe berekent Nederland zijn vliegtuiggeluid nu? Het berekenen van vliegtuiggeluidscontouren geschiedt volgens het Nederlandse rekenvoorschrift [ref.1]. De rekenmethode is hierin beschreven en vastgelegd als onderdeel van het Luchthavenverkeerbesluit (LVB). De methode is een 'typisch' Nederlandse methode en kent geen gelijke in Europa.

De rekenmethode, beschreven in het Nederlandse rekenvoorschrift komt voort uit de jaren '60 en is in de loop der tijd aangepast aan de wensen van de tijd. Drukte men eerst de resultaten uit in de Kosteneenheid, tegenwoordig wordt het resultaat uitgedrukt in  $L_{DEN}$ . De Nederlandse geschiedenis van vliegtuiggeluid wordt beschreven door Fred van Deventer in zijn artikel *Vliegtuiggeluid rond Schiphol – een geschiedenis in vogelvlucht* [ref 2]. Zijn artikel gaat met name in op de grenswaarden voor geluid en de handhaving daarvan voor de Schiphol situatie. Nu richten we onze blik meer naar de toekomstige ontwikkelingen van de rekenmodellen.

Hoe gaat Nederland in de toekomst vliegtuiggeluid berekenen? Europa wordt steeds meer één, hadden we vroeger alleen NEN normen als Nederlandse standaard, tegenwoordig hebben de meeste huidige standaarden ook een EN (European Normalisation) nummer. Kortom, normen en rekenmethodes worden steeds meer internationaal op elkaar afgestemd en dus geharmoniseerd. Voor het berekenen van vliegtuiggeluid rondom luchthavens is deze trend ook waarneembaar.

Vanaf 2001 heeft ANCAT<sup>1</sup>'s werkgroep AIRMOD, onderdeel van European Civil Aviation Conference (ECAC) gewerkt aan het vernieuwen van haar Europese voorkeursmethode ECAC.CEAC doc.29 [ref.3]. In 2005 zijn volumes 1 en 2 verschenen en sluit de huidige voorkeursmethode meer aan op de technische inzichten van de huidige tijd. Volume 1, de '*application guide*' is primair geschreven voor gebruikers, handhavers en beleidsmakers. Volume 2, de '*technical guide*' is primair geschreven voor software- en modelontwikkelaars. En volume 3, '*verification and tool uncertainty*' is momenteel in ontwikkeling.

ECAC is een Europese organisatie voor de luchtvaart, maar niet de Europese organisatie die de regels en richtlijnen voorschrijft voor het geluid(handhavings)beleid. Het maken van geluidsbeleid gebeurt nu nog vaak op nationaal niveau. In de afgelopen jaren hebben op hoofdlijnen verschuivingen plaatsgevonden bij het maken van nieuw geluidsbeleid. De Europese commissie heeft richtlijnen voor geluidregels (beleid) vastgelegd in de zogeheten Environmental Noise Directive (zie richtlijn 2002/49/EG). De AIRMOD werkgroep is

---

<sup>1</sup> Abatement of Nuisances Caused by Air Transport

momenteel in gesprek met de Europese commissie om aansluiting te vinden bij het Europese geluidsbeleid. Tevens is de AIRMOD werkgroep in gesprek met ICAO CAEP (International Civil Aerospace Organisation, Committee on Aviation Environmental Protection), waarbij gekeken wordt of de vernieuwde doc.29 voorkeursmethode door ICAO kan worden overgenomen.

Het huidige Nederlandse rekenvoorschrift is momenteel niet gelijk aan de richtlijn van de Europese commissie. Binnen de Environmental Noise Directive wordt al naar doc.29 (*second edition, 1997*) verwezen. Door het volgen van de eerder genoemde internationale harmonisatie trend, is het aannemelijk dat Nederland in de toekomst vliegtuiggeluid gaat berekenen volgens de voorkeursmethode van doc.29 (*third edition 2005*).

Dit artikel gaat in op de modelmatige en de invoerverschillen, met als doel de gebruikers, handhavers en beleidmakers te informeren. Daarnaast is één modelmatig verschil uitgewerkt dat slechts een doorkijk is naar de toekomst met de daarbij te verwachten verschillen. Studies waarbij naar alle verschillen tussen het Nederlandse rekenvoorschrift en de voorkeursmethode van doc.29 (inclusief interpretatieverschillen, zoals hoe om te gaan met de invoer) zijn onderwerp voor verder onderzoek.

### **Wat zijn de verschillen?**

Een andere c.q. nieuwe methode leidt tot andere resultaten. Het staat vast dat de  $L_{DEN}$  berekend met het Nederlandse rekenvoorschrift verschilt met de  $L_{DEN}$  berekend met de voorkeursmethode van doc.29. Helaas is het niet mogelijk een objectieve vergelijkingsstudie te doen tussen rekenmodellen die uitsluitend gebaseerd zijn op deze twee methoden. Doordat de invoer van de beide rekenmethodes niet volledig overeenkomt, is het verschil in rekenresultaat dus het gevolg van zowel de berekeningsmethode als de invoergegevens.

#### *Invoerverschillen*

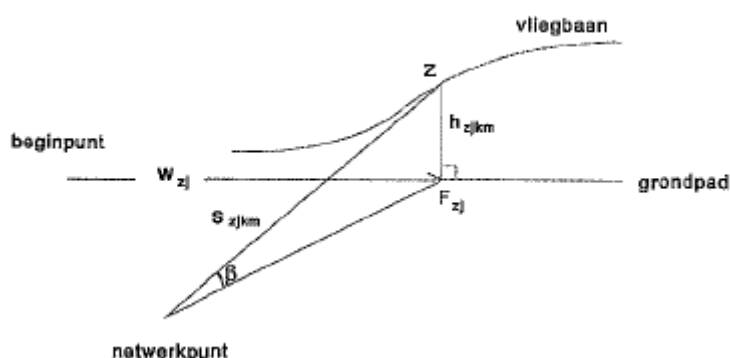
De huidige invoergegevens van het Nederlandse rekenvoorschrift zijn vastgelegd in de zogeheten appendices [ref. 4]. Deze appendices bevatten de momentane geluidniveaus ( $L_{Amax}$ ) en vliegtuigprestatieprofielen van verschillende vliegtuigtypes. De invoergegevens van doc.29 zijn vastgelegd in de zogeheten ANP-databases [ref. 5]. Deze databases bevatten niet alleen gegevens van veel meer afzonderlijke vliegtuigtypes, maar bevatten naast de momentane geluidniveaus ook tijdsgeïntegreerde geluidgegevens, zoals de Sound Exposure Levels (SEL).

Voor het gebruik van het Nederlandse rekenvoorschrift zijn afspraken gemaakt inzake de invoer. Zo is de methode die toegepast wordt om vliegtuigen voor berekeningen te groeperen in

technologie- en geluidsklassen voorgeschreven en zijn er afspraken hoe bijvoorbeeld met routespreidingen om moet worden gegaan. Voor het gebruik van de voorkeursmethode doc.29 zijn er nog geen Nederlandse (dan wel Europese) invoer afspraken gemaakt. Zo wordt met doc.29 per type vliegtuig gerekend, maar is er nog niet voor elk type vliegtuig geluiddata beschikbaar.

#### *Modelmatige verschillen*

Het huidige Nederlandse rekenvoorschrift is ontstaan uit de ‘*kortste afstand*’ methode. Met een vliegprestatieprofiel (hoogteprofiel) wordt de vliegbaan opgedeeld in segmenten die de hoogtes en de stuwkracht beschrijven als functie van de afgelegde afstand. Dit hoogteprofiel wordt over een grondpad geprojecteerd, de kortste afstand tussen de vliegbaan en een gridpunt (ontvanger) kan nu bepaald worden. Zie figuur 1 voor een schematische voorstelling. Vervolgens wordt met de ‘*Noise Power Distance*’ (NPD) tabellen (bestaande uit  $L_{Amax}$  geluidswaarden) de maximale monumentale geluidswaarde in het gridpunt (netwerkpunt) berekend. Afhankelijk van de hoek tussen vliegtuig en de waarnemer wordt nog een correctie gedaan voor de laterale verzwakking.



*Figuur 1: De geometrie bij een geluidsberekening*

Met de bovenstaande beschrijving is het maximale momentane geluidsniveau ( $L_{Amax}$ ) berekend voor één vlucht in één netwerkpunt en dus niet een  $L_{DEN}$ . Het Nederlandse rekenvoorschrift is in 1998 aangepast om het mogelijk te maken resultaten uit te drukken in tijdsgeïntegreerde parameters (hier valt de  $L_{DEN}$  ook onder). De vlucht (en dus het hoogteprofiel) wordt nu in tijdstappen van 2 of 10 seconden opgedeeld, om vervolgens voor elke tijdstap de geluidbijdrage in het gridpunt te berekenen. Met andere woorden: voor het berekenen van de tijdsgeïntegreerde parameters wordt niet de kortste afstand bepaald, maar elke afstand die ontstaat als het vliegtuig over de vliegbaan vliegt in integratiestappen van 2 of 10 seconde. Voor het gemak wordt in dit artikel het huidige Nederlandse rekenvoorschrift de ‘*integratiestap*’ methode genoemd.

De NPD tabellen met de  $L_{Amax}$  waarden (Nederlandse rekenvoorschrift) kennen geen tijdreferentie. Een parameter die dit wel heeft, is de Sound Exposure Level (SEL), een parameter die de geluidsenergie in 1 seconde weergeeft en tevens rekening houdt met de duur van het geluidsevent. De SEL wordt in het Nederlandse rekenvoorschrift aangeduid als LAX. In het Nederlandse rekenvoorschrift van 1998 is de  $L_{Amax}$  waarde gelijkgesteld aan de SEL(=LAX) waarde. Het berekenen van de  $L_{DEN}$  in integratiestappen van 2 of 10 seconden kan nu gedaan worden, echter bij deze omzetting ontbreekt een correctie voor de duur van de geluidgebeurtenis. Hiervoor zijn in 2003 aanbevelingen gedaan door de Europese commissie in de richtlijn 2003/613EG §3.3.2, maar deze aanbevelingen zijn geen onderdeel van het Nederlandse rekenvoorschrift.

Naast het vertalen van de momentane geluidswaarde naar SEL waarden, zijn destijds bij de overgang van de *'kortste afstand'* methode naar de *'integratiestap'* methode ook vliegsnelheden aan de prestatieprofielen toegevoegd. De afgelegde afstand tijdens een integratiestap van 2 of 10 seconden en dus ook de afstand tussen het vliegtuig en het gridpunt kan nu berekend worden. Het berekenen van de  $L_{DEN}$  in een gridpunt is vervolgens een sommatie van geluidsenergie, in stappen van 2 of 10 seconden veroorzaakt door alle vliegbewegingen. Bij de handhaving zoals deze voor Schiphol plaatsvindt wordt elke geregistreerde vlucht afzonderlijk doorgerekend.

De voorkeursmethode van doc.29 is, in tegenstelling tot het Nederlandse rekenvoorschrift, gebaseerd op de *'segmentatie'* methode (SAE-AIR 1845 [ref.6]). De tijdstappen van 2 of 10 seconden verdwijnen en per segment wordt nu de bijdrage van de geluidsenergie in een gridpunt berekend. De tijd dat het vliegtuig zich in het segment bevindt is dus variabel. De duur van het geluidsevent vertaald in de SEL waarde, heeft nu meer impact. De segmenten kunnen een langere tijdsduur hebben die groter is dan 2 of 10 seconden. Een onbetrouwbare SEL waarde kan hierdoor tot grotere fouten leiden dan bij het Nederlandse rekenvoorschrift.

Naast het verschil tussen de *'integratiestap methode'* (Nederlands rekenvoorschrift) en de *'segmentatie methode'* (doc.29) zijn er aan de voorkeursmethode van doc.29 extra elementen toegevoegd, zoals:

- het rekenen met hoogteverschillen tussen de gridpunten (topografisch verloop van het gebied rondom de luchthaven);
- het rekenen met verschillende richtingsgevoeligheid door installatie effecten (positie motoren);
- het rekenen met een hellende hoek (*'bank angle'*) tijdens de bochtprocedure.

Het zijn deze elementen die ervoor zorgen dat de methode meer aansluit bij de huidige inzichten om vliegtuiggeluid te modelleren. De verschillen die ontstaan tussen het rekenen met en zonder

de toegevoegde elementen kan wel objectief vergeleken worden. Dit in tegenstelling tot het vergelijken van het Nederlands rekenvoorschrift en doc.29 methoden. Elk element zal hierbij invloed hebben op vorm en ligging van contouren. In dit artikel wordt alleen een doorkijk gegeven naar 'bochteffecten'. Andere genoemde elementen zijn onderwerp van verder onderzoek.

De eerdere genoemde verschillen tussen het Nederlandse rekenvoorschrift en doc.29 zijn structurele model verschillen ('kortste afstand methode' naar 'segmentatie methode') en vernieuwingen (extra elementen). Naast deze verschillen en vernieuwingen heeft er voor het berekenen van de laterale verzwakking een aanpassing plaatsgevonden. Bij de voorkeursmethode van doc.29 en ook bij de methode van het Nederlandse rekenvoorschrift wordt, afhankelijk van de hoek tussen vliegtuig en de waarnemer, een correctie gedaan voor de laterale verzwakking. Het berekenen van de laterale verzwakking in het Nederlandse rekenvoorschrift geschiedt volgens SAE-AIR-1751 uit 1981 [ref.6]. Dit document is in 2006 vervangen door SAE-AIR-5667 [ref.7]. Dit nieuwe document is momenteel geen onderdeel van het Nederlandse rekenvoorschrift. De nieuwe voorkeursmethode van doc.29 daarentegen rekent de laterale geluidsverzwakking wel uit volgens SAE-AIR-5667.

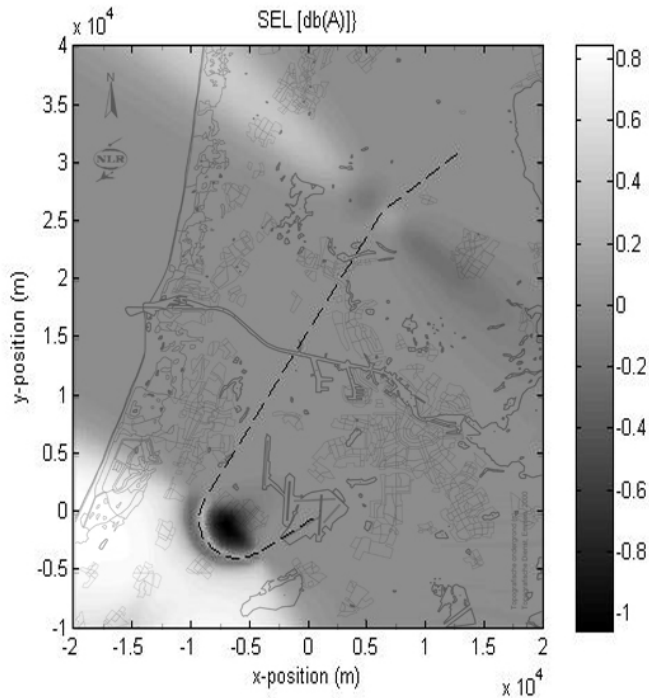
In dit artikel is met name ingezoomd op de verschillen tussen het Nederlandse rekenvoorschrift en de nieuwe voorkeursmethode van doc.29. Voor de geïnteresseerde lezer wordt verwezen naar het artikel Bütikofer, 'Concepts of Aircraft Noise Calculations' [ref.8], waarin binnen een groter kader dan alleen Nederland, verschillende concepten en ontwikkelingen besproken worden in relatie tot het berekenen van vliegtuigeluid.

### **Bochten**

Een nieuw onderdeel van de doc.29 methode zijn de 'bochteffecten'. Wat is het effect van hellende vliegtuigen tijdens de bochtprocedure op de geluidscontouren?

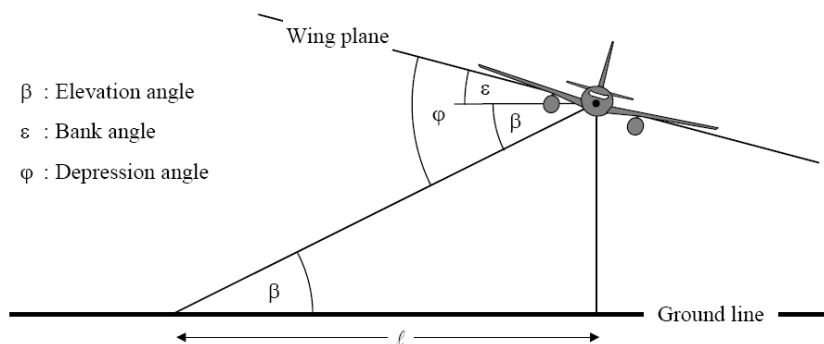
Om de veranderingen van de geluidscontouren te visualiseren geven wij een eenvoudig voorbeeld, betreffende één start van een Boeing 737-800 vanaf baan 24 (Kaagbaan) van Schiphol. Het startende vliegtuig maakt vervolgens een bocht om Hoofddorp heen en vliegt naar het noorden. In de eerste berekening worden met de methode van doc.29 de SEL contouren van de Boeing 737-800 berekend, waarbij niet gecorrigeerd wordt voor de hellende hoek die het vliegtuig maakt als er een bocht gevlogen wordt. In de tweede berekening worden de SEL contouren ook met doc.29 berekend, maar nu wordt wel gecorrigeerd voor een hellend vliegtuig in de bocht.





Figuur 2: De SEL [dB] verschillen van een berekening met en zonder bochten (stippel lijn= route)

Figuur 2 geeft de verschillen van de twee berekeningen weer, waarbij met en zonder 'bochtheffecten' is gerekend. Aan de binnenkant van de bocht wordt zichtbaar dat de berekende SEL waarden afnemen tot ongeveer 1 dB en dat aan de buitenkant van de bocht de SEL waarden toenemen met ongeveer 0.8 dB. Dit komt overeen met de verwachting, immers het vliegtuig helt over in de bocht, waardoor de motoren aan de binnenzijde gedeeltelijk worden afgeschermd en aan de buitenzijde minder worden afgeschermd. Zie voor een schematisch weergave figuur 3.



Figuur 3: Schematische weergaven van een hellend vliegtuig in de bocht

## **Discussie**

Het implementeren van de nieuwe (doc.29) rekenmethode heeft consequenties. In de nieuwe methode zullen nieuwe modelleringaspecten meegenomen worden die beter aansluiten bij de huidige inzichten. Dit alles betekent dat de overgang naar een Europese voorkeursmethode zal leiden tot andere contouren. De nieuwe methode vereist regels voor het definiëren van invoergegevens, zodat iedereen die met het nieuwe model rekent ook dezelfde ‘invoerregels’ toepast.

In dit artikel is voor het nieuw toegevoegde rekenelement ‘*bochten*’ voor één vlucht inzichtelijk gemaakt wat het verschil is ten opzichte van de huidige Nederlandse methode. Hiermee is slechts één van de modelveranderingen nader belicht. Hoe groot de effecten van alle modelveranderingen zijn op een berekening van een volledig verkeersbeeld voor bijvoorbeeld Schiphol moet nog onderzocht worden.

In de toekomst zullen verschillende partijen gaan rekenen met de methode doc.29. Het is wenselijk dat bij een gegeven set invoergegevens alle partijen hetzelfde (berekenings)resultaat verkrijgen. Om dit te kunnen realiseren zullen er nog allerlei Nederlandse (dan wel Europese) afspraken gemaakt moeten worden aan de invoerzijde en dient elke partij bijvoorkeur met dezelfde software te rekenen.

## Referenties

- [1] *Voorschrift voor de berekening van de  $L_{DEN}$  en  $L_{night}$  geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol*, NLR-CR-2001-372-PT-1&2 (2001).
- [2] Deventer F.W.J. van, *Vliegtuiggeluid rond Schiphol –een geschiedenis in vogelvlucht*, Geluid, jaargang 30, nummer 9, Kluwer, september 2007
- [3] ECAC.CEAC Doc 29, *Report on Standard method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, Volume 1&2, 3rd Edition (2005)
- [4] *Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting*, Versie 10.1, NLR-CR-96950 (2007)
- [5] *International Aircraft Noise and Performance Database Website* ([www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int))
- [6] SAE AIR 1845, *Procedure for the calculation of airplane noise in the vicinity of Airports*, (1986).
- [7] SAE AIR 5662, *Method for Predicting Lateral Attenuation of Airplane noise*, (2006), supersedes SAE AIR 1751 (1981)
- [8] Bütikofer, R., *Concepts of Aircraft Noise Calculations*, Acta Acustica vol.93 (2007) p.253-262