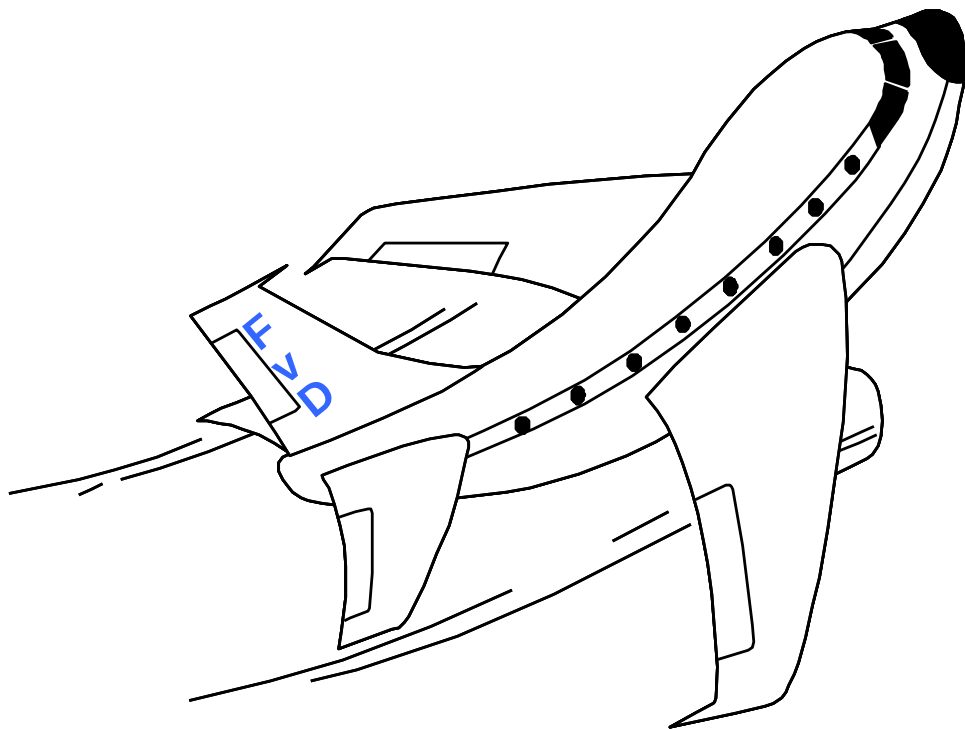


HANDBOEK BASISKENNIS VLIEGTUIGGELUID

Ir. F.W.J. van Deventer



***Mensen die ongevoelig zijn voor lawaai,
zijn ook ongevoelig voor argumenten,
voor gedachten, gedichten en kunstwerken.
Lawaai is van alle onderbrekingen de
kwaadaardigste; het maakt gedachten kapot.
En daar waar gedachten verdwijnen
heerst slechts leeghoofdigheid.***

Schopenhauer

VERSIE 1410

© 2014 Ir. F.W.J. van Deventer, Capelle aan den IJssel
fred.van.deventer@xs4all.nl

Voorwoord

In Nederland wordt veel gepraat over luchtvaartlawaai. Om verstandig mee te kunnen praten is een zekere basiskennis nodig. Deze reader beoogt in vogelvlucht die basiskennis te geven. Het is zeker geen volledige verhandeling over het geluidsbeleid dat in Nederland ten aanzien van de luchtvaart wordt gevoerd. Als de lezer de officiële stukken die de overheid en andere instanties publiceren, na lezing van deze reader beter begrijpt, is het doel bereikt. Het gaat hier vooral over “wat” en “hoe”, veel minder over “waarom”. Over “waarom” zijn vele boeken vol te schrijven. Ook kan deze reader een functie hebben als handboek om de vraag “hoe zat het ook al weer” snel te beantwoorden. De tekst is zo eenvoudig mogelijk en voor geïnteresseerde leken begrijpelijk gehouden. Technisch jargon is tot het onvermijdelijke minimum beperkt.

Deze reader is de opvolger van de reader “Basiskennis geluidzonering luchtvaart” die voor het laatst in 2005 is geactualiseerd.

Leeswijzer

De reader bevat vier hoofdstukken: geluid in het algemeen; het geluid van één vliegtuig (geluidniveau); het geluid van alle vliegtuigen samen (geluidbelasting) en meten van geluid.

Waar dat zinvol is, is de tekst toegelicht met figuren. Die figuren, en ook tabellen, zijn per hoofdstuk genummerd. Bijvoorbeeld “figuur 2.4” is figuur 4 van hoofdstuk 2.

Alle voorbeelden - zoals in § 3.3.3 over de invoergegevens voor de berekening van de geluidbelasting, § 3.4 over geluidbelastingscontouren en hoofdstuk 4 over meten - zijn gebaseerd op Schiphol.

Voor sommige onderdelen is in bijlagen nadere informatie gegeven, in de tekst is daarnaar verwezen. De laatste twee bijlagen bevatten “geselecteerde onderwerpen” die wat technischer van aard zijn dan de rest van de reader.

In de luchtvaart en de regelgeving daaromtrent, worden Engelse maten gebruikt, bijvoorbeeld feet (voeten) voor vlieghoogte en knots (knopen) voor snelheden. In de tekst zijn deze maten ook gebruikt, de “vertaling” naar SI maten is daarbij vermeld.

Over de auteur

Fred van Deventer (1948) studeerde in 1973 af als vliegtuigbouwkundig ingenieur aan de TU-Delft. Tot eind 1980 was hij daar werkzaam als wetenschappelijk medewerker. Daarna was hij als deskundige vliegtuiggeluid werkzaam bij het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), het ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) en – na de samenvoeging van VROM en V&W – bij het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M).

Van 2003 tot 2006 was hij secretaris van de Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV) onder voorzitterschap van drs. Eversdijk.

Als wetenschappelijk medewerker van de TU-Delft is hij auteur en medeauteur van diverse wetenschappelijke rapporten en papers voor internationale symposia op het gebied van vliegtuiggeluid. Als medewerker van VROM, V&W en I&M was hij nauw betrokken bij het formuleren en uitvoeren van beleid inzake luchtvaartgeluid voor Nederlandse vliegvelden.

Hij is docent van cursussen op dit gebied.

Deze reader is op persoonlijke titel geschreven.

INHOUDSOPGAVE

1 Geluid	
1.1 Geluid als fysisch verschijnsel	1
1.2 Decibellen	1
1.3 Afstand bron-waarnemer	2
1.4 Rekenen met decibellen	3
2 Het geluid van één vliegtuig – geluidniveau	
2.1 Geluidbronnen	4
2.2 Time histories	4
2.3 Geluidniveaus	4
2.3.1 L _{Amax}	
2.3.2 L _{Ax}	
2.3.3 De ene dB(A) is de andere niet	
2.4 Footprints	5
2.5 Afstand tot het vliegveld	6
2.5.1 Geluidniveaus	
2.5.2 Stuwkrachtprofielen	
2.5.3 Hoogteprofielen	
2.6 Geluidcertificatie volgens ICAO Annex 16	9
2.6.1 Wat is geluidcertificatie	
2.6.2 Uitvoering van geluidcertificatie	
2.6.3 De geluidlimieten in ICAO Annex 16 volume 1 hoofdstuk 3	
2.6.4 Toepassing van geluidcertificatiemetingen	
2.6.5 Hoofdstuk 2 en hoofdstuk 4 limieten	
3 Het geluid van alle vliegtuigen samen - geluidbelasting	
3.1 Waarom geluidbelasting	15
3.2 L _{den} en L _{night}	15
3.2.1 Beschrijving	
3.2.2 Uitwisseling geluidniveau – aantal vliegtuigen	
3.2.3 Relatie geluidbelasting en ernstige hinder en slaapverstoring	
3.2.4 Perceptie	
3.3 Berekening van de geluidbelasting	18
3.3.1 Rekenmodel	
3.3.2 Prestatie- en geluidgegevens	
3.3.3 Invoergegevens	
3.3.4 Invoergegevens prognose en realisatie	
3.4 Geluidbelastingscontouren	21
3.4.1 Contouren uit rasterpunten	
3.4.2 Voorbeelden van L _{den} contouren	
3.4.3 Effect van het weer	
3.4.4 Meteotoeslag	
3.4.5 Criteria voor gelijkwaardige bescherming	
3.5 TVG en MHG	24
3.5.1 Uitgangspunten	
3.5.2 Berekening van TVG	
3.5.3 Grenswaarden	
3.6 Andere maat voor de geluidbelasting – N _{Ax}	26
4 Meten van vliegtuiggeluid	
4.1 Het doel van geluidmetingen	27
4.1.1 Geluidmetingen voor handhaving	
4.1.2 Geluidmetingen om berekeningen te verbeteren	
4.1.3 Geluidmetingen voor informatievoorziening	
4.2 Uitvoering van geluidmetingen	28
4.2.1 Geluidmeters	
4.2.2 Bemand of onbemand meten	
4.2.3 Operationeel vliegveld of meetvliegveld	
4.2.4 Wat meten	
4.3 Externe factoren	29
4.3.1 Het weer	
4.3.2 Stoorgeluid	
4.4 Resultaten van geluidmetingen	31
4.4.1 Beschikbare gegevens	
4.4.2 Factoren die de meting beïnvloeden	
4.4.3 Histogram	
4.4.4 Spreiding	
4.4.5 Analyse van een geluidmeting	
4.5 Meten in het buitenland	33
4.5.1 London Heathrow	
4.5.2 Frankfurt	
4.6 Meten en rekenen	35

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

1 Details LAX	39
<i>LAX afgeleid uit L_{Amax}; zelfde L_{Amax} verschillende LAX; zelfde LAX met verschillende L_{Amax}</i>	
2 Formules	41
<i>Formules voor de geluidbelasting L_{den} en L_{night}; voor de dosis-effectrelaties L_{den} en L_{night}</i>	
3 Bepaling aantal mensen dat ernstige geluïhinder ondervindt	42
4 Indeling van vliegtuigen in categorieën	44
<i>Indeling in gewichtscategorie en geluidklassen ten behoeve van de berekening van de geluidbelasting (VVC-indeling)</i>	
5 Banenstelsel en baangebruik Schiphol	46
<i>Achtergrond nummering van de banen; hoeveel banen tegelijkertijd in gebruik; geluidpreferentieel baangebruik; dwars- en staartwind; zicht en wolkenbasis; andere omstandigheden die het baangebruik beïnvloeden</i>	
6 Overzicht luchtruimgebruik rond Schiphol	50
<i>Luchtwegen; SIDs; vijf sectoren voor vertrekkend verkeer, drie voor aankomend verkeer; regels omtrent luchtverkeerswegen.</i>	
7 Criteria voor gelijkwaardige bescherming	53
<i>Wettelijk kader; geschiedenis; actualisering 2007; actualisering 2013</i>	
8 TVG en MHG	57
<i>Berekeningswijze TVG; jaarlijkse bepaling van de grenswaarde MHG voor TVG uit Gebruiksprognose</i>	
9 Geselecteerde onderwerpen – Laterale geluidverzwakking	60
<i>Wat is laterale geluidverzwakking (LGV); hoe wordt die berekend en wat zijn de effecten op het geluidniveau</i>	
10 Geselecteerde onderwerpen – Spectra en atmosferische demping	64
<i>Hoe ziet het geluidsspectrum van een vliegtuig er uit; hoe wordt dat beïnvloed door atmosferische demping; hoe wordt atmosferische demping berekend.</i>	

1. Geluid

In dit hoofdstuk gaat het over:

- Geluid als fysisch verschijnsel
- Decibellen, geluidfrequenties en gewogen decibellen
- De relatie tussen het geluidsniveau en afstand bron-waarnemer
- Rekenen met decibellen

1.1 Geluid als fysisch verschijnsel

Geluid is een kleine verandering van luchtdruk veroorzaakt door een geluidbron, die zich als een trilling door de lucht voortplant. Geluid kan zich ook door een ander medium dan lucht voortplanten, bijvoorbeeld in water of in metalen of in glas, hier gaat het alleen over lucht als medium. Deze trilling verspreidt zich van de bron af met de "geluidssnelheid", op zeeniveau ca. 1200 km/uur (340 m/s). Op grotere hoogten is de geluidssnelheid lager. Geluid kan door mensen of dieren met een gehoororgaan worden waargenomen, wanneer het trommelvlies van het oor in trilling wordt gebracht en het gehoororgaan deze trillingen verwerkt tot signalen die met de hersenen worden geïnterpreteerd.

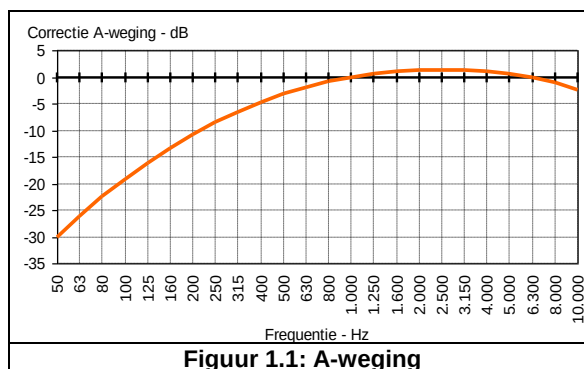
1.2 Decibellen

De geluidsterkte wordt uitgedrukt in "decibellen"; hoe hoger het aantal decibellen, hoe harder het geluid. De afkorting van decibel is dB, met een hoofdletter B, omdat deze maat is genoemd naar Alexander Graham Bell. De geluidsterkte is het "geluidsniveau", aangeduid met de letter L (van het Engelse "Level"). Bijvoorbeeld: "het geluidsniveau is 80 decibel", wordt aangeduid als $L = 80 \text{ dB}$.

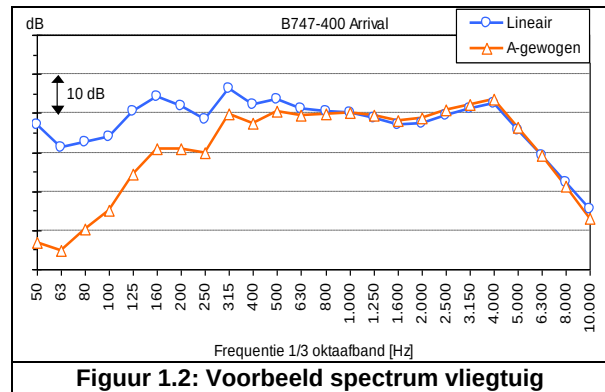
Het geluid van een mechanische geluidbron - zoals een auto, trein, machine of vliegtuig - bevat niet één toon maar is samengesteld uit een mix van vele toonhoogten, "geluidfrequenties" genoemd, elk met zijn eigen geluidsterkte. Dit wordt weergegeven in het "frequentiespectrum". De frequentie wordt daarbij uitgedrukt in Hertz (Hz), het aantal trillingen per seconde, genoemd naar de Duitse natuurkundige Heinrich Hertz. Hoe hoger het aantal Hertz, hoe hoger de toon. De frequentie van de "a één gestreept" van een muziekinstrument is 440 Hz, een piano beslaat frequenties van ca. 20 Hz tot ca. 4.000 Hz.

Het menselijk gehoororgaan (van een jonge volwassene) kan geluiden horen met frequenties tussen ongeveer 20 en 18.000 Hz. Maar het gehoororgaan is niet voor alle frequenties even gevoelig, vooral voor lage frequenties is het gehoororgaan minder gevoelig. Om dit te simuleren, worden "frequentie gewogen

decibellen" gebruikt. De "A-gewogen decibel" wordt het meest gebruikt, deze weging staat in figuur 1.1. De frequenties op de horizontale as zijn de internationale standaard 1/3 oktaaf ("terts") middenfrequenties. De weging drukt het hele frequentiespectrum uit in één getal, de A-gewogen decibel. Ten opzichte van de ongewogen decibel worden vooral lage tonen onderdrukt. Dat het om een A-gewogen decibel gaat, wordt aangegeven door de toevoeging "(A)" achter dB, dus dB(A).



Figuur 1.2 toont een voorbeeld van het "ongewogen" (lineair) en het bijbehorende "A-gewogen" frequentiespectrum van een vliegtuig. Let wel: het getoonde spectrum is slechts een voorbeeld van een vliegtuigspectrum; elk vliegtuig heeft een ander spectrum, dus een andere "blauwe lijn" in de figuur.



Er bestaan ook andere standaard wegingen, die worden aangeduid door de letters B t/m D. Bijvoorbeeld: het geluid van een vliegtuig dat met draaiende motoren op de grond staat of taxiëet, kenmerkt zich in vergelijking met vliegende vliegtuigen door veel lage frequenties. Dat geluid wordt uitgedrukt in een andere gewogen decibel, namelijk dB(C). Dit blijft hier verder buiten beschouwing.

De luchtvaart gebruikt ook nog andere decibellen met weer andere wegingen, zoals de "Perceived Noise decibel" (PNdB), de "Tone corrected Perceived Noise decibel" (TPNdB) en de "Effective Perceived Noise decibel" (EPNdB). Deze maten hebben tot doel het "eigen karakter" van het geluid van vliegtuigen met straalmotoren te beschrijven. Deze decibellen worden alleen gebruikt voor de geluidcertificatie van vliegtuigen, zie § 2.6.

1.3 Afstand bron-waarnemer

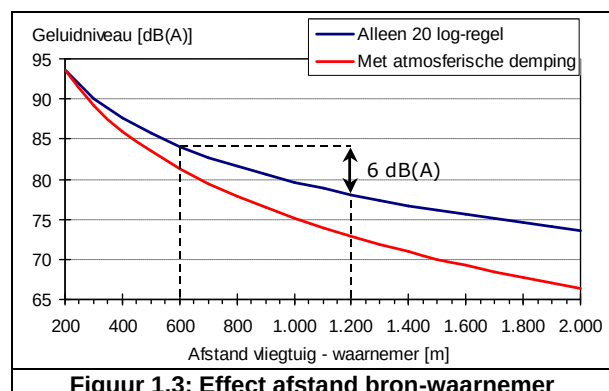
Naarmate de afstand tussen de geluidbron en degene die het geluid hoort - "de waarnemer" - toeneemt, wordt het waargenomen geluidniveau lager. Hiervoor gelden voor alle geluidbronnen de volgende natuurwetten:

- De "inverse square law" (sferische spreiding) ofwel "de 20 log regel". Volgens deze regel is de afname van het geluidniveau evenredig met 20 maal de logaritme (20 log) van de afstand. Dit betekent dat het geluidniveau met 6 dB afneemt als de afstand bron-waarnemer verdubbelt. Het omgekeerde geldt ook: als de afstand halveert, neemt het geluidniveau met 6 dB toe.
- Atmosferische damping. Atmosferische damping wordt veroorzaakt door absorptie van geluidenergie tijdens de voortplanting van het geluid door de atmosfeer. De mate van atmosferische damping is ondermeer afhankelijk van de temperatuur en de relatieve vochtigheid van de atmosfeer en van het frequentiespectrum (hoge frequenties worden sterker gedempt dan lage).

Figuur 1.3 toont een voorbeeld voor een vliegtuig. Uitgaande van een referentieafstand van 200 m is daarin weergegeven het geluidniveau volgens alleen de 20 log regel (blauw) en het geluidniveau inclusief atmosferische damping (rood).

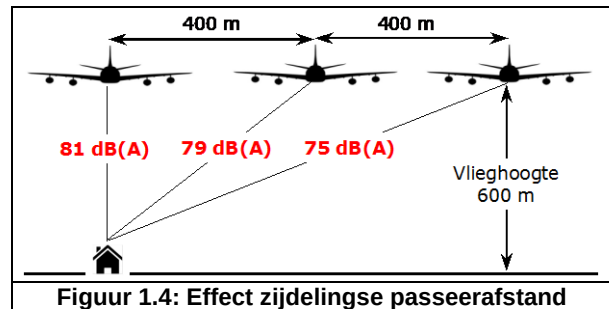
Voorbeeld 20 log regel. Als het geluidniveau op 200 m 94 dB(A) is, is het geluidniveau op 400 m 88 dB(A). En als de afstand dan nog eens verdubbelt naar 800 m, is het geluidniveau 82 dB(A) en nog eens verdubbelt naar 1.600 m is het 76 dB(A).

Met atmosferische damping is



het beeld anders (rode lijn). Uitgaande van dezelfde referentieafstand van 200 m, is het geluidniveau op 400 m 86 dB(A), op 800 m 78 dB(A) en op 1.600 m 69 dB(A). De atmosferische demping - "het verschil tussen de blauwe en de rode lijn" - neemt toe naarmate de afstand bron-waarnemer toeneemt.

In figuur 1.4 staat een voorbeeld van de toepassing van de rode lijn in figuur 1.3. Deze figuur geeft weer hoe hoog het geluidniveau is als het vliegtuig recht over iemand heen vliegt of op dezelfde vlieghoogte respectievelijk op 400 m en 800 m zijdelingse afstand voorbij vliegt waardoor de afstand bron-waarnemer toeneemt.



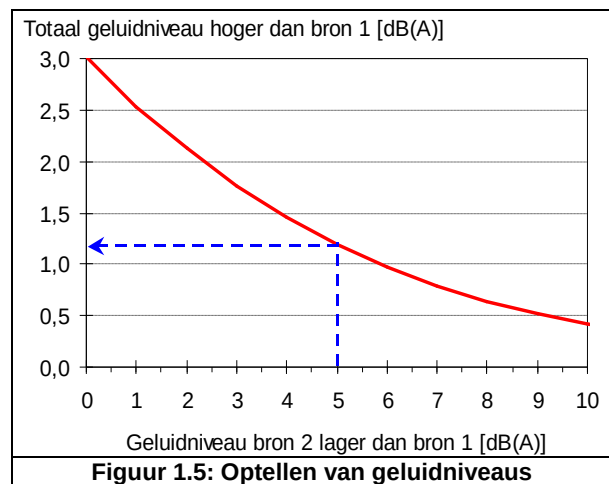
1.4 Rekenen met decibellen

In het dagelijks leven is optellen simpel: $70 + 70 = 140$ en $70 + 65 = 135$. Voor decibellen is optellen minder simpel.

Als tegelijkertijd twee geluidbronnen met elk een geluidniveau van X dB(A) hoorbaar zijn, dan is het totale geluidniveau 3 dB(A) hoger dan X. Voorbeeld: tegelijkertijd twee bronnen met elk 70 dB(A) geeft een totaal geluidniveau van 73 dB(A). Dus: $70 + 70 = 73$ dB(A).

Als tegelijkertijd twee bronnen hoorbaar zijn, bron 1 met een geluidniveau van X dB(A) en bron 2 met een geluidniveau van X - 5 dB(A), dan is het totale geluidniveau 1,2 dB(A) hoger dan de lawaaiigste bron, dus bron 1. Voorbeeld: tegelijkertijd twee bronnen, bron 1 met 70 dB(A) en bron 2 met 65 dB(A), geeft een totaal geluidniveau van 71,2 dB(A). Dus: $70 + 65 = 71,2$ dB(A)

In figuur 1.5 is dit grafisch weergegeven. Er zijn 2 geluidbronnen, bron 1 en bron 2. Het geluidniveau van bron 2 is lager dan van bron 1. Langs de horizontale as staat hoeveel dB(A) geluidbron 2 stiller is dan bron 1. Langs de verticale as staat hoeveel hoger dan bron 1 het totale geluidniveau is als beide bronnen tegelijkertijd hoorbaar zijn. De hierboven gegeven voorbeelden staan in deze figuur; voor "geluidniveau bron 2 lager dan bron 1" bij 0 dB(A) (geen verschil tussen beide bronnen, dus totaal is 3 dB(A) hoger) respectievelijk 5 dB(A) (stippellijn in figuur, dus 1,2 dB(A) hoger dan de lawaaiigste bron).



Deze van het dagelijks leven afwijkende optelling wordt veroorzaakt doordat decibellen 'energetisch' en niet rekenkundig moeten worden opgeteld.

In het (hypothetische) geval dat de drie vliegtuigen in figuur 1.4 tegelijkertijd voorbij zouden vliegen, is het totale geluidniveau 83,7 dB(A)

Deze van het dagelijks leven afwijkende optelling wordt veroorzaakt doordat decibellen 'energetisch' en niet rekenkundig moeten worden opgeteld.

2. Het geluid van één vliegtuig – geluidniveau

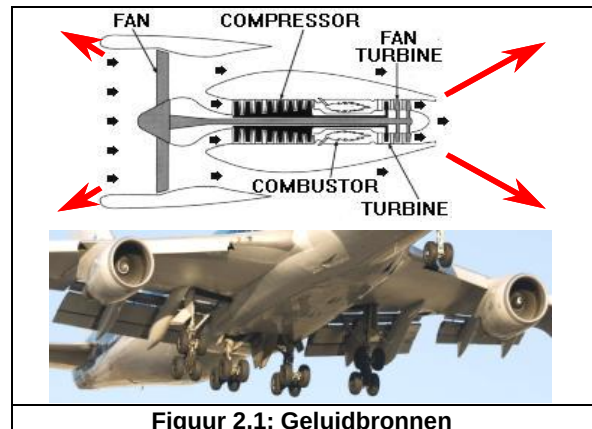
Het geluid van één afzonderlijk vliegtuig wordt beschreven door het “geluidniveau”. In dit hoofdstuk gaat het over:

- Geluidbronnen van een vliegtuig
- Noise Time history
- Geluidniveaus, L_{Amax}, L_A
- Footprints
- Effect afstand tot het vliegveld, stuwkrachtprofielen en hoogteprofielen
- Geluidcertificatie volgens ICAO-Annex 16

Figuren 2.3 t/m 2.11 zijn bepaald met het officiële Nederlandse berekeningsvoorschrift voor de geluidbelasting, zie ook § 3.3.

2.1 Geluidbronnen

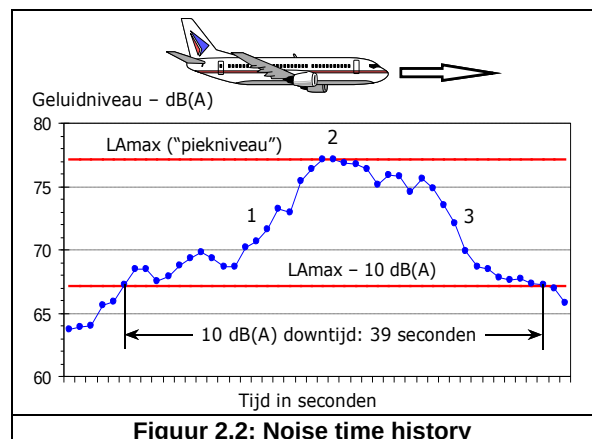
De straalmotoren van een vliegtuig zijn de belangrijkste geluidbronnen. Dit geluid straalt schuin naar achteren en - in mindere mate - schuin naar voren uit, zie figuur 2.1. De afgelopen decennia zijn de motoren erg veel stiller geworden. Daardoor dragen, vooral in de naderingsvlucht voorafgaand aan de landing, ook het onderstel en de vleugelkleppen belangrijk bij aan het geluid. Men kan zich goed voorstellen dat al die uitsteeksel, die in de nadering met 250 á 350 km/u door de lucht worden gesleurd, geluid veroorzaken.



Figuur 2.1: Geluidbronnen

2.2 Time history

Het geluidniveau blijft niet constant tijdens de periode dat het vliegtuig overvliegt. Figuur 2.2 toont een voorbeeld van de “noise time history” van een vliegtuigpassage. Die brengt in beeld hoe het geluidniveau tijdens het voorbij vliegen van het vliegtuig is verlopen.



Figuur 2.2: Noise time history

beeld hoe het geluidniveau tijdens het voorbij vliegen van het vliegtuig is verlopen. Het geluid dat in een bepaald punt op de grond is waar te nemen, (1) zwelt aan als het vliegtuig dichterbij komt, (2) bereikt dan het maximum en (3) zwakt daarna weer af wanneer het vliegtuig verder vliegt.

2.3 Geluidniveaus

2.3.1 L_{Amax}

Het geluid van een voorbij vliegend vliegtuig wordt vaak uitgedrukt in het hoogste geluidniveau dat tijdens de vliegtuigpassage optreedt, het “piek(geluid)niveau”. Dit wordt aangeduid als L_{Amax} uitgedrukt in dB(A), punt 2 in figuur 2.2. In L_{Amax} staat “L” voor level (niveau), “A” voor A-gewogen niveau en geeft “max” aan dat het om het hoogste geluidniveau tijdens de vliegtuigpassage gaat. In dit voorbeeld is L_{Amax} 77 dB(A).

2.3.2 LAX (SEL)

Ook het "geluidexpositieniveau" LAX (ook SEL genoemd, "Sound Exposure Level") wordt gebruikt. Deze maat drukt het geluid van de hele vliegtuigpassage - dus het hele proces van "aanzwellen-maximum-afzwakken" en niet alleen het maximum - uit in één getal. Ook LAX wordt uitgedrukt in dB(A). Daarin is verdisconteerd hoe lang het geluid hoorbaar is. Belangrijk hiervoor is de tijdsduur dat het geluidniveau minder dan 10 dB(A) lager is dan L_{Amax}, de "10 dB(A) downtijd". In figuur 2.2 is dat 39 seconden, LAX = 90 dB(A). LAX is altijd hoger dan L_{Amax}, want LAX = 'L_{Amax} + hoorbaarheidsduur'. LAX is de maat die wordt gebruikt voor de geluidbelasting L_{den} en L_{night}, zie hoofdstuk 3. LAX is formeel gedefinieerd als het constante geluidniveau gedurende 1 seconde, dat dezelfde 'akoestische energie' levert als de hele vliegtuigpassage. Zie bijlage 1 voor meer details.

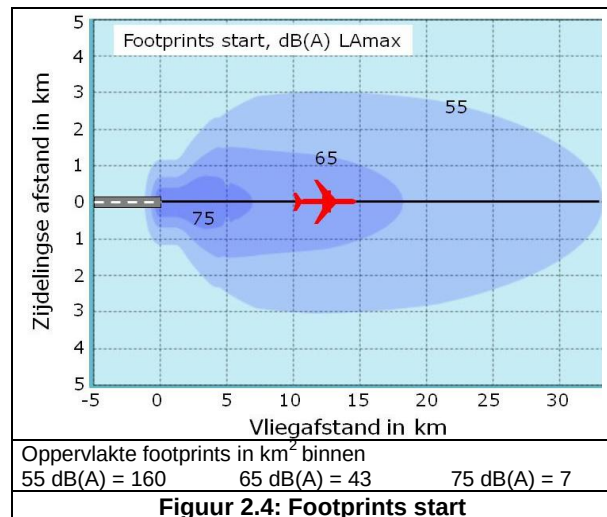
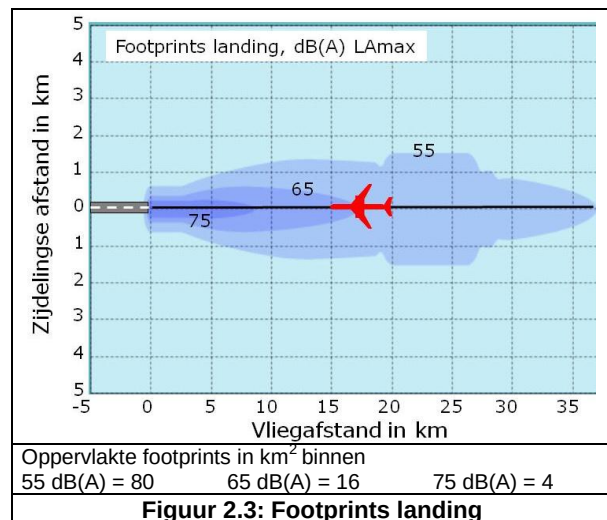
2.3.3 De ene dB(A) is de andere niet

De geluidniveaus L_{Amax} en LAX (voor afzonderlijke vliegtuigen) en ook de in hoofdstuk 3 behandelde geluidbelastingsmaten L_{den} en L_{night} (alle vliegtuigen in een heel jaar gezamenlijk), worden allemaal uitgedrukt in "dB(A)". Niettemin hebben deze maten zeer verschillende betekenissen. Het volstaat daarom niet om te zeggen "het geluid is X dB(A)", er moet altijd bij gezegd worden of het gaat om L_{Amax}, LAX, L_{den} of L_{night}. Dit is essentieel om verwarring te voorkomen, omdat bijvoorbeeld 65 dB(A) L_{Amax} een relatief laag geluidniveau is, maar 65 dB(A) L_{den} een hoge geluidbelasting.

2.4 Footprints

Geluidniveaus van afzonderlijke vliegtuigen kunnen op diverse manieren worden weergegeven. Vaak wordt dit gedaan door "dB(A) L_{Amax} footprints". Deze footprints zijn dB(A) L_{Amax} contouren waarlangs het piekgeluidniveau van een vliegtuig dezelfde waarde heeft. Dit is te vergelijken met hoogtelijnen op een landkaart. Footprints geven weer waar een bepaald dB(A) L_{Amax} niveau optreedt.

In figuur 2.3 staat een voorbeeld van de footprints voor 55, 65 en 75 dB(A) L_{Amax} voor een landing, in figuur 2.4 voor hetzelfde vliegtuigtype voor een start. Op de horizontale as staat de vliegafstand vanaf de start- of landingsbaan, op de verticale as de afstand terzijde van de vliegroute, beide in kilometers. Binnen de 55 dB(A) footprint is L_{Amax} hoger dan 55 dB(A),



B733-S43-cat 469 L=1201 3000RF; S=0502

buiten die footprint lager dan 55 dB(A). Dit geldt net zo voor de 65 en 75 dB(A) footprints. Behalve de contouren zijn de oppervlakten in km² binnen de contouren weergegeven. Dit is als kwantitatieve maat te gebruiken bij het maken van vergelijkingen tussen verschillende vliegtuigtypen en vliegprocedures.

Het piekniveau en dus de grootte van de footprint is van veel zaken afhankelijk. Bijvoorbeeld van het vliegtuigtype; sommige typen zijn nu eenmaal 'van nature' lawaaiiger dan andere. Zo veroorzaakt een grote Boeing 747 onvermijdelijk meer geluid dan een kleine Fokker 70. Maar ook voor hetzelfde type zijn er verschillende footprints. Die verschillen worden bijvoorbeeld veroorzaakt door de mate van belading en dus het gewicht en dus de stijgprestaties, en van de vliegprocedure; wordt een 'stille' of juist een 'lawaaige' procedure gevlogen. In dit voorbeeld zijn de footprints voor een landing veel kleiner dan voor de start.

2.5 Afstand tot het vliegveld

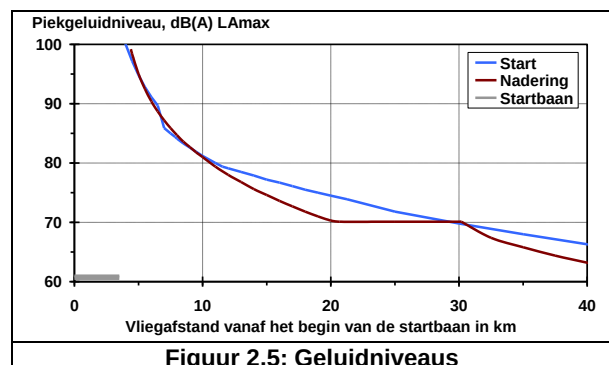
2.5.1 Geluidniveaus

In § 1.3 is beschreven hoe het geluidniveau afneemt als de afstand tussen bron en waarnemer toeneemt. In figuur 2.5 een voorbeeld van een ander "afstandseffect", te weten het piekgeluidniveau L_{Amax} (op de verticale as) op een bepaalde vliegafstand in km vanaf het vliegveld (op de horizontale as). Hier is ervan uitgegaan, dat het vliegtuig in een rechte lijn in het verlengde van de start- of landingsbaan vliegt, net zoals in de footprints.

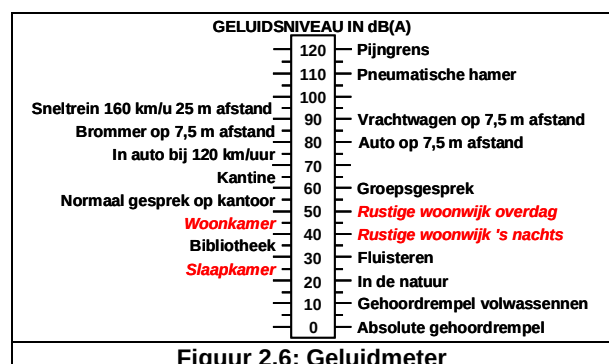
Figuur 2.5 toont - voor een start en een nadering - de piekniveaus recht onder de vliegbaan. Dat wil zeggen als het vliegtuig recht over iemand heen vliegt en niet verderop "aan de horizon" voorbij vliegt. Voorbeeld: iemand staat op 20 km vanaf het vliegveld, het vliegtuig vliegt recht over hem heen. Dan is uit deze figuur af te lezen dat hij een geluidniveau ondervindt van 75 dB(A) L_{Amax} als het een startend vliegtuig is en van 70 dB(A) L_{Amax} als het een landend vliegtuig is. Let wel: dit is een voorbeeld voor een bepaald vliegtuigtype, andere typen geven andere grafieken.

Om deze waarden enigszins in perspectief te zetten, is in figuur 2.6 een "geluidsmeter" weergegeven. De voor de diverse geluidbronnen aangegeven waarden zijn "representatieve waarden". In de praktijk kunnen voor deze geluidbronnen ook hogere of lagere geluidniveaus optreden; niet in elke auto die 120 km per uur rijdt, is het geluidniveau 75 dB(A) zoals de "geluidsmeter" aangeeft.

Om de vorm van figuur 2.5 te begrijpen, is hieronder ingegaan op de "vliegprocedures", dat wil zeggen hoe een start of nadering wordt uitgevoerd. Belangrijk voor geluid zijn de "stuwkracht-" en "hoogteprofielen". In § 3.3.2 is beschreven hoe deze in berekeningen worden gebruikt.



Figuur 2.5: Geluidniveaus



Figuur 2.6: Geluidmeter

2.5.2 Stuwkrachtprofielen

In figuur 2.7 staan voorbeelden van stuwkrachtprofielen. Die geven weer op welke vliegafstand de straalmotoren hoeveel stuwkracht leveren ('hoeveel gas geeft de piloot'). Hoe hoger de stuwkracht, hoe meer geluid op de grond. De stuwkracht is uitgedrukt in kN (duizenden Newtons ofwel kiloNewton).

Uit deze figuur blijkt, dat de stuwkracht tijdens de vlucht niet constant is doch varieert, afhankelijk van de vliegprocedure. Voorts toont deze figuur dat de stuwkracht in de start veel hoger is dan in de nadering.

2.5.3 Hoogteprofielen

Figuur 2.8 toont voorbeelden van hoogteprofielen. Een hoogteprofiel geeft weer op welke vliegafstand het vliegtuig hoe hoog vliegt. Hoe hoger het vliegtuig vliegt, hoe groter de afstand tot de grond en daarmee minder geluid op de grond.

Uit deze figuur blijkt, dat zowel voor een nadering als voor een start, de vlieghoogte toeneemt naarmate de vliegafstand tot het vliegveld toeneemt. De afstand tussen de bron (het vliegtuig) en de waarnemer (iemand op de grond) neemt daarmee ook toe en daardoor neemt het geluidsniveau L_{Amax} af.

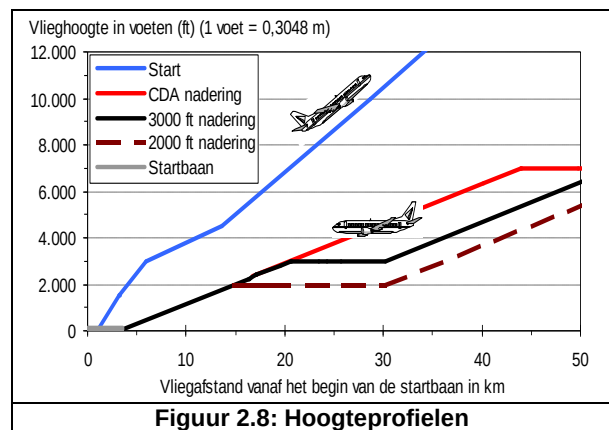
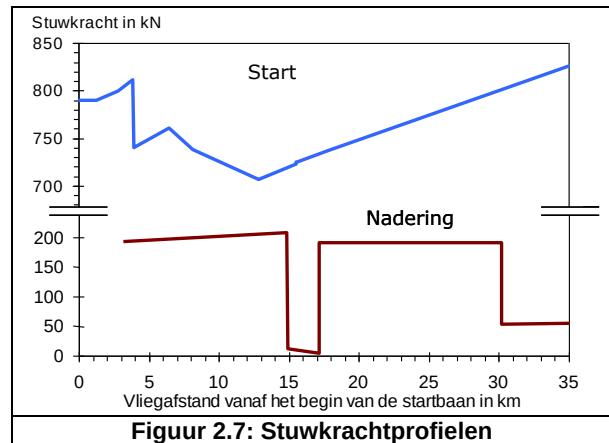
2.5.3.1 Naderingen

Er bestaan diverse vliegprocedures om een nadering uit te voeren. In figuur 2.8 zijn de volgende procedures weergegeven:

- een conventionele nadering op een naderingshoogte van 2000 ft of 3000 ft;
- een CDA-nadering (Continuous Descent Approach).

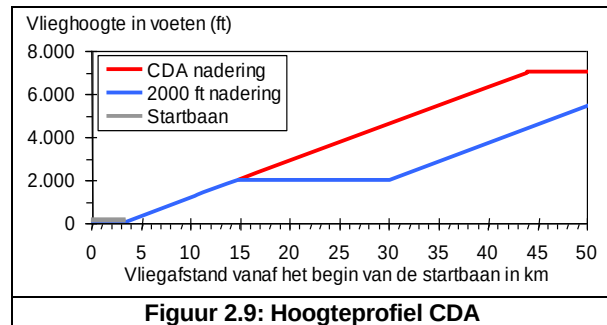
Een "conventionele nadering" bestaat achtereenvolgens uit: een daalvlucht van grote hoogte naar de "naderingshoogte" van 2000 ft (610 m) of 3000 ft (914 m); een horizontaal deel; de eindnadering en de landing op de baan. Een "2000 ft nadering" is een nadering met een naderingshoogte van 2000 ft.

Bij een "CDA-nadering" vliegt het vliegtuig in één continue daalvlucht vanaf een vlieghoogte van ca. 7000 ft (2134 m) op grote afstand van het vliegveld tot een vlieghoogte van ca. 1200 ft (366 m) á 1500 ft (457 m). Daarbij wordt een zeer lage motorstuwkracht gebruikt, een soort glijvlucht. Vanaf de laatst genoemde hoogte zijn CDA's en conventionele naderingen hetzelfde. In figuur 2.9 is het hoogteprofiel van een CDA vergeleken met het hoogteprofiel van een conventionele 2000 ft nadering, figuur 2.10 toont stuwkrachtprofielen. De stuwkrachtprofielen zijn afhankelijk van het vliegtuigtype, figuur 2.10 is dus slechts een voorbeeld. CDA naderingen veroorzaken op wat grotere afstanden van het vliegveld (in het "buitengebied") minder geluid dan conventionele naderingen. Er wordt immers hoger gevlogen en de stuwkracht van de motoren is lager. Voor

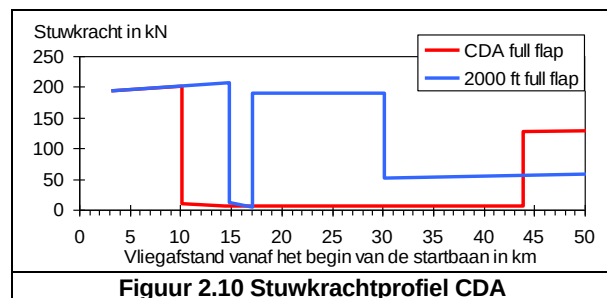


CDA-naderingen moet vanwege de vliegveiligheid een grotere afstand tussen twee achter elkaar vliegende vliegtuigen worden aangehouden dan voor conventionele naderingen. Dat betekent dat er minder vliegtuigen per uur kunnen landen, hetgeen de uurcapaciteit verlaagt. Om vertragingen te voorkomen, worden CDA-naderingen op Schiphol alleen uitgevoerd in de nacht, wanneer het verkeersaanbod laag is.

Naderingshoogteprofielen zijn standaardprofielen, ze zijn voor alle vliegtuigen hetzelfde. Alle dalhoeken zijn 3°, de internationale standaardwaarde.



Figuur 2.9: Hoogteprofiel CDA



Figuur 2.10: Stuwkrachtprofiel CDA

Hoewel dat niet in de hoogteprofielen tot uitdrukking komt, is er voor naderingen nog een onderscheid tussen vliegprocedures voor "full flap" en "reduced flap" naderingen. Vleugelkleppen (engels: "flaps") zijn aërodynamische hulpmiddelen aan de vleugel die de draagkracht verhogen, waardoor een vliegtuig 'langzaam' kan vliegen (zie ook figuur 2.1). Bij een "full flap" nadering zijn die kleppen maximaal uitgeslagen. Bij een "reduced flap" nadering zijn ze niet helemaal doch slechts gedeeltelijk ("reduced") uitgeslagen. Dit leidt in de nadering tot minder luchtweerstand, waardoor minder motorstuwkracht voor de daalvlucht nodig is en daardoor ook minder geluid wordt geproduceerd.

2.5.3.2. Starts

Voor de start is het hoogteprofiel ondermeer afhankelijk van het vliegtuigtype, de belading - en dus het gewicht - van het vliegtuig, de vliegprocedure en het weer, vooral windrichting, windsterkte en temperatuur. Het hoogteprofiel voor een start in figuur 2.8 is dus slechts een voorbeeld.

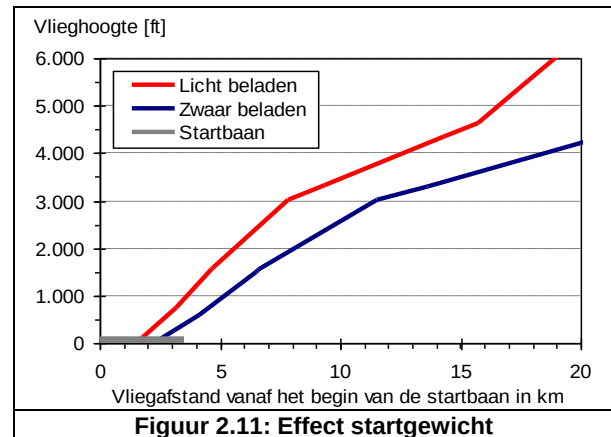
Er bestaan twee internationaal aanbevolen startprocedures aangeduid als "Noise Abatement Departure Procedure" (NADP), die betrekking hebben op de stijgvlucht na de start tot een vlieghoogte van 3000 ft (deze hoogte wordt bereikt op ca. 3 á 5 km vanaf het vliegveld):

- NADP-1: het geluid 'vlak bij' het vliegveld is zo laag mogelijk (vroegere benaming ICAO-A);
- NADP-2: het geluid 'wat verder weg' van het vliegveld is zo laag mogelijk (vroeger ICAO-B).

Het gaat er bij deze procedures om: wanneer geef je hoeveel gas en daarmee, hoe snel stijgt je (veel gas is snel stijgen maar ook veel lawaai aan de bron, weinig gas is langzaam stijgen maar weinig geluid aan de bron) en hoe werken die elkaar tegenwerkende factoren door in het geluid op de grond; hoe snel vlieg je; wanneer klap je het onderstel en de kleppen in, enzovoorts.

Voor elk van deze procedures zijn vier afstandsklassen onderscheiden, op basis van de te vliegen afstand tot de eerste bestemming. Dit brengt in rekening dat naarmate de te vliegen afstand groter is, het vliegtuig meer brandstof moet meenemen, dus zwaarder is en daardoor – bijvoorbeeld – minder snel stijgt. In figuur 2.11 staan, voor hetzelfde vliegtuigtype, voorbeelden van het

hoogteprofiel voor een "licht" beladen vliegtuig voor een vlucht naar een "nabij" gelegen vliegveld, en een "zwaar" beladen vliegtuig voor een vlucht naar een "ver weg" gelegen vliegveld. Het zwaar beladen vliegtuig heeft duidelijk slechtere stijgprestaties dan het licht beladen vliegtuig.



Figuur 2.11: Effect startgewicht

Wat betekent dit alles voor het geluidsniveauplaatje in figuur 2.5?

In de start vliegt het vliegtuig veel hoger dan in de nadering (minder geluid) maar ook de stuwkracht is veel hoger dan in de nadering (meer geluid). Per saldo liggen in het voorbeeld in figuur 2.5 de geluidsniveaus voor start en nadering dicht bij elkaar.

2.6 Geluidcertificatie volgens ICAO Annex 16

In discussies over vliegvelden wordt vaak gesproken over "hoofdstuk 3", "onderkant hoofdstuk 3" of "hoofdstuk 2" vliegtuigen. Die termen zijn ontleend aan de "geluidcertificatie".

2.6.1 Wat is geluidcertificatie

Voordat een civiel vliegtuigtype op de markt komt, moet eerst worden aangetoond dat het voldoet aan bepaalde eisen ten aanzien van het geluid dat dit type maakt. Dit heet "geluidcertificatie". Daarbij wordt onder internationaal strikt voorgeschreven voorwaarden het geluid van het vliegtuigtype gemeten. Niet alle exemplaren van hetzelfde type worden afzonderlijk gemeten; als een type eenmaal een geluidcertificaat heeft, wordt er van uitgegaan dat alle exemplaren van dat type hieraan voldoen. Het is derhalve een "typekeuring" zoals die bijvoorbeeld ook voor auto's bestaat.

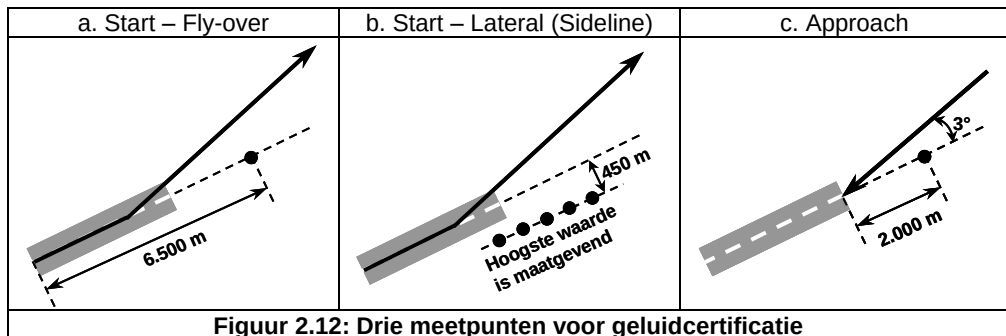
De voorschriften hiervoor liggen vast in een document van de International Civil Aviation Organization, ICAO. Vrijwel alle landen ter wereld die "iets met luchtvaart doen" zijn daar lid van. ICAO is opgericht in 1944 bij het verdrag van Chicago. In bijlagen ("annexes") bij dit verdrag zijn diverse regels omtrent luchtvaart vastgelegd. Annex 16 bevat de milieuaspecten; "volume 1" gaat over geluid, "volume 2" over luchtverontreiniging. Deze regels betreffen alleen de hoeveelheid geluid (en verontreinigende stoffen) die een vliegtuig mag uitstoten. Niet hoe de diverse landen omgaan met het geluid dat daardoor in de omgeving van een vliegveld wordt veroorzaakt, zoals in Nederland in wet- en regelgeving is vastgelegd.

Hier wordt alleen de geluidcertificatie volgens hoofdstuk 3 van ICAO Annex 16 beschreven; de zogenoemde "hoofdstuk 3 vliegtuigen". Dit hoofdstuk geldt voor vliegtuigtypen waarvan de aanvraag voor het typecertificaat is geaccepteerd na 6 oktober 1977 en geldt voor verreweg de meeste thans vliegende civiele vliegtuigen. Aan het slot staat een enkele opmerking over hoofdstuk 2 en hoofdstuk 4 vliegtuigen. In andere hoofdstukken van Annex 16 staan de meetmethoden en geluidlimieten voor andere vliegtuigen, zoals helicopters, sportvliegtuigen en dergelijke.

2.6.2 Uitvoering van geluidcertificatie

Drie meetpunten

Bij geluidcertificatie wordt het geluid gemeten in drie meetpunten, zie figuur 2.12. Er zijn twee meetpunten waar het geluid tijdens de start van het vliegtuig wordt gemeten en één meetpunt voor de landing. Voor elk van deze meetpunten geldt een limiet voor het geluidniveau, zie § 2.6.3.



a. Fly over.

Dit meetpunt ligt op het verlengde van de hartlijn van de startbaan op 6.500 m vanaf het begin van de aanloop voor de start. Het vliegtuig vliegt recht over dit meetpunt heen. De hoogte die het vliegtuig heeft bereikt als het over dit punt heen vliegt, is afhankelijk van de baanlengte die het vliegtuig nodig heeft om los te komen en van de stijghoek van het vliegtuig. Dit betekent, dat dit punt door verschillende vliegtuigtypen op verschillende hoogten wordt overvlogen.

b. Lateral (ook "sideline" genoemd).

Dit meetpunt ligt op 450 m naast het verlengde van de hartlijn van de startbaan. In figuur 2.12b is een aantal meetpunten geschetst, alleen het meetpunt dat de hoogste waarde oplevert telt mee. Het is niet vooraf bekend in welk punt die hoogste waarde zal optreden.

c. Approach.

Dit meetpunt ligt weer op het verlengde van de hartlijn van de landingsbaan op 2.000 m voor de baandrempel. Evenals bij "fly over", vliegt het vliegtuig ook hier recht over dit punt heen. De vlieghoogte is - anders dan voor fly over - voor alle vliegtuigen hetzelfde. Evenals in de normale vliegpraktijk is de daalhoek van het vliegtuig voorgeschreven, die bedraagt 3°. De vlieghoogte over dit punt is daarmee 120 m.

Het geluidniveau wordt uitgedrukt in "Effective Perceived Noise" decibellen (EPNdB). Deze maat is speciaal voor deze geluidcertificatie ontwikkeld en wordt dan ook alleen maar hiervoor gebruikt. Er bestaat geen methode om EPNdB's om te rekenen in de veel algemener gebruikte A-gewogen decibel dB(A). Voorts is de EPNdB niet rechtstreeks te meten (de dB(A) wel); met de uitgevoerde geluidmetingen wordt het EPNdB berekend. Hoe dat moet gebeuren is vastgelegd in Annex 16.

Strikt voorgeschreven regels

In ICAO-Annex 16 staat een groot aantal gedetailleerde regels over hoe de metingen moeten worden uitgevoerd en hoe de resultaten moeten worden verwerkt. Hieronder een paar voorbeelden daarvan.

De metingen worden uitgevoerd op een speciaal daarvoor ingericht "meet-vliegveld", niet op een "gewone operationele" luchthaven, zoals Schiphol.

Naast het geluid worden ook veel andere zaken geregistreerd, zoals de vliegbaan (inclusief de hoogte), de stuwkracht van de motoren, enzovoort.

Voor de geluidcertificatie worden de eisen voor de weersomstandigheden van de internationale norm ISO 3891 "Procedure for describing aircraft noise heard on the ground" gehanteerd. Daarin is bijvoorbeeld bepaald dat alleen mag worden gemeten als:

- de windsnelheid niet hoger is dan 10 knopen (5 m/s, 18 km/uur), om meting van te veel windgeruis te voorkomen en de prestaties van het vliegtuig niet onnodig door het weer te laten beïnvloeden (bijvoorbeeld: een vliegtuig stijgt sneller bij (veel) tegenwind);
- er geen neerslag valt;
- de temperatuur en de luchtvochtigheid binnen bepaalde onder- en boven grenzen liggen.

Er gelden strikt voorgeschreven meetprocedures en strikt voorgeschreven vliegprocedures.

De metingen moeten zo vaak worden herhaald, dat aan de voorgeschreven statistische betrouwbaarheid is voldaan. Voor elk van de drie meetpunten moet de meting tenminste zes maal worden uitgevoerd en mag het statistisch 90% betrouwbaarheidsinterval niet groter zijn dan 1,5 EPNdB. De metingen moeten net zo vaak - dus zonodig veel meer dan zes maal - worden herhaald als nodig is om aan deze eis te voldoen.

2.6.3 De geluidslimieten in ICAO Annex 16, volume 1, hoofdstuk 3

Onderdeel van de "strikt voorgeschreven regels" is het voorschrift dat de metingen moeten worden uitgevoerd bij het Maximum Take Off Weight (MTOW), het maximum toegelaten startgewicht. Ook de geluidslimieten zijn afhankelijk van dit MTOW. Voor de landing geldt het Maximum Landing Weight (MLW), dat soms lager is dan het MTOW. Het MTOW is een per vliegtuigtype vastgelegde wettelijke grens. Dit is het maximale gewicht dat het vliegtuig - inclusief belading, zoals passagiers, vracht, brandstof, enzovoort - mag hebben; een vliegtuig mag bij de start nooit zwaarder zijn. Het fenomeen MTOW is vooral van belang voor de luchtwaardigheidscertificatie en is niet speciaal voor de geluidcertificatie ontworpen.

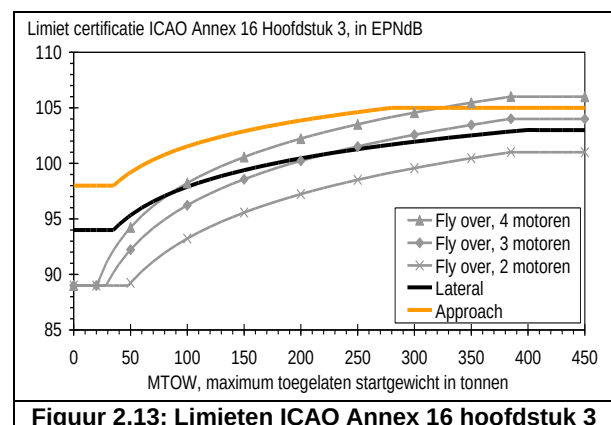
In figuur 2.13 zijn de geluidslimieten voor elk van de drie meetpunten weergegeven. Op de horizontale as staat het maximum startgewicht in tonnen, op de verticale as het geluidniveau in EPNdB.

De systematiek van de limieten is als volgt. Onder een bepaald MTOW zijn de limieten constant, vervolgens zijn de limieten afhankelijk

van het MTOW en boven een bepaald MTOW zijn de limieten weer constant.

Alleen voor "fly over" zijn de limieten bovendien nog afhankelijk van het aantal motoren. Ten opzichte van viermotorige vliegtuigen zijn de limieten voor driemotorige vliegtuigen 2 EPNdB strenger - dat wil zeggen: de limieten zijn lager - en voor tweemotorige vliegtuigen 5 EPNdB strenger.

Een vliegtuigtype is een "hoofdstuk 3 vliegtuig" als alle drie gemeten waarden lager zijn dan de onderscheiden limieten. Maar er is ook een zekere mate van uitruil ("trade off") mogelijk. Het vliegtuig mag op één of twee van de drie meetpunten de voor dat punt geldende limiet overschrijden, mits:



Figuur 2.13: Limieten ICAO Annex 16 hoofdstuk 3

- de overschrijding per meetpunt niet hoger is dan 2 EPNdB;
- bij overschrijding op twee meetpunten de gezamenlijke overschrijding niet hoger is dan 3 EPNdB;
- de overschrijding op die punten geheel teniet wordt gedaan door een onderschrijding op het andere meetpunt, met andere woorden: dat de som van de gemeten geluidniveaus op de drie punten niet hoger is dan de som van de voor die meetpunten geldende limieten.

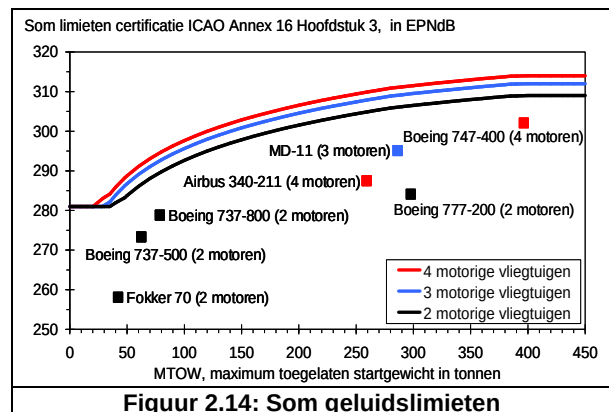
2.6.4 Toepassing van geluidcertificatiemetingen

Uiteraard is de primaire toepassing van deze metingen de hierboven beschreven geluidcertificatie: voldoet het vliegtuigtype aan de voorgeschreven limieten. Maar deze metingen zijn ook de basis voor veel formele regelingen, zoals de geluidstoeslag op de havengelden voor (onder andere) Schiphol, de nachtvluchten quota op London Heathrow (en andere vliegvelden in de UK) en voor het "onderkant hoofdstuk 3" beleid.

Hiervoor worden niet de gemeten waarden in elk van de drie meetpunten gebruikt, maar het "totale certificatiegeluidniveau". Daarbij worden de gemeten certificatiegeluidniveaus op elk van de drie meetpunten bij elkaar opgeteld en wordt het resultaat vergeleken met de som van de drie "hoofdstuk 3" limieten.

In figuur 2.14 is met de lijnen de som van die geluidslimieten weergegeven. Omdat de limieten (voor "fly-over") mede afhankelijk zijn van het aantal motoren (zie figuur 2.13), is uiteraard ook de som van de limieten afhankelijk van het aantal motoren.

In deze figuur staan ook voorbeelden van de opgetelde gemeten waarden voor enkele moderne vliegtuigtypen. Daaruit blijkt dat moderne vliegtuigtypen veelal heel ruim aan de hoofdstuk 3 limieten voldoen. Zo is de som van de certificatiegeluidniveaus voor de Boeing 747-400 ("Jumbojet") circa 12 EPNdB lager dan de som van de voor dit vliegtuig geldende limieten. Voor de nog nieuwere Boeing 777-200 is het verschil zelfs ruim 22 EPNdB. Een oorzaak voor dat "heel ruim voldoen" is, dat de limieten zijn opgesteld voor vliegtuigen die vanaf 1977 zijn ontworpen. De limieten zijn dan ook afgestemd op de technologie van toen. De huidige technologie is uiteraard veel geavanceerder, de vliegtuigen zijn na 1977 veel stiller geworden.



Figuur 2.14: Som geluidslimieten

Bij de interpretatie van certificatiegeluidmetingen, moet worden bedacht dat die vooral iets zeggen over het geluid in relatie tot het maximum toegelaten startgewicht en veel minder over het absolute geluid. Zo is bijvoorbeeld in figuur 2.14 de Boeing 777-200 ruim 22 EPNdB stiller dan de voor dat vliegtuigtype geldende limieten, de lichtere Boeing 737-500 is 'slechts' ruim 13 EPNdB stiller dan de voor dat type geldende lagere limieten. Maar in absolute zin, is het eerst genoemde vliegtuigtype lawaaiiger. Een vliegtuig met een laag maximum toegelaten startgewicht (links in figuur 2.14) dat maar juist aan de geluidlimieten voldoet, is niettemin in absolute zin stiller dan een zware Boeing 747 (rechts in figuur 2.14) die heel ruim aan de limieten voldoet.

Officiële regelingen

Zoals hierboven al is aangegeven, gebruiken veel formele regelingen de certificatie-niveaus. Dat gebeurt niet omdat die in hoge mate representatief zouden zijn voor het geluid dat zo'n vliegtuig in de dagelijkse praktijk in de buurt van een vliegveld veroorzaakt, want dat zijn ze niet. In de dagelijkse operationele praktijk wordt meestal met een lager gewicht gevlogen dan het maximum startgewicht, de voor certificatie "strikt voorgeschreven vliegprocedures" zijn veelal niet representatief voor de dagelijkse operationele praktijk rond een vliegveld en de geluidmaat EPNdB is niet om te rekenen in dB(A)'s die rond vliegvelden worden gebruikt. Voorts komt het vliegtuig in perfecte staat "vers uit de fabriek" en is de piloot is een testvlieger en geen "gewone" lijnpiloot. De geluidcertificatie moet dan ook vooral worden gezien als een middel om vliegtuigtypen onderling op een formeel vastgelegde gestandaardiseerde methode met elkaar te vergelijken en te toetsen aan bij die gestandaardiseerde methode horende geluidslimieten.

De certificatie-niveaus worden toch in dergelijke regelingen gebruikt, omdat ze officieel en volgens een internationaal vastgelegde en erkende methode zijn bepaald, hetgeen niet geldt voor metingen rond een "gewoon vliegveld". Voor elk vliegtuig liggen de certificatie-niveaus vast in een document.

Onderkant hoofdstuk 3 beleid

Met de aanpak van figuur 2.14 worden de resultaten van certificatiemetingen gebruikt als basis voor operationele beperkingen. Het gaat daarbij om vliegtuigtypen die "marginaal voldoen aan de limieten van hoofdstuk 3", kortweg ook wel "onderkant hoofdstuk 3 vliegtuigen" genoemd. Dit zijn vliegtuigtypen die wel is waar voldoen aan de limieten van hoofdstuk 3, maar waarvan de som van de gemeten certificatiegeluidniveaus op de drie meetpunten minder dan 5 EPNdB lager is dan de som van de hoofdstuk 3 limieten voor deze meetpunten. Dus vliegtuigtypen waarvoor de resultaten van de metingen minder dan 5 EPNdB onder de lijnen in figuur 2.14 liggen. Op Schiphol gelden voor deze vliegtuigen beperkingen ten aanzien van de periode van het etmaal waarin ze mogen worden gebruikt. Ook in de EU-richtlijn betreffende "geluid gerelateerde exploitatiebeperkingen op luchthavens" (26 maart 2002, nr. 2002/30/EG) wordt dit begrip gebruikt. Op basis van deze richtlijn kunnen - na een zeer zorgvuldige afweging - operationele beperkingen aan onderkant hoofdstuk 3 vliegtuigen worden opgelegd. De vliegtuigtypen in figuur 2.14 zijn duidelijk geen onderkant hoofdstuk 3 vliegtuigen, omdat ze veel meer dan 5 EPNdB stiller zijn dan de hoofdstuk 3 limieten.

In EU-kader is besloten om "onderkant hoofdstuk 3" anders te definiëren, te weten niet minder dan 5 maar minder dan 8 EPNdB lager dan de som van de limieten. Op termijn zal de grens bij 10 EPNdB lager worden gelegd. Het aantal vliegtuigtypen dat onder "onderkant hoofdstuk 3" regelingen valt, neemt daardoor uiteraard toe.

2.6.5 Hoofdstuk 2 en hoofdstuk 4 limieten

Tot 2002 vlogen er ook "hoofdstuk 2 vliegtuigen" op Schiphol. De regels hiervoor zijn vastgelegd in, zoals de naam al zegt, hoofdstuk 2 van ICAO Annex 16. Dit hoofdstuk bevat ongeveer dezelfde voorschriften als hoofdstuk 3, doch de limieten zijn hoger; de vliegtuigen mogen meer lawaai maken dan hoofdstuk 3 vliegtuigen. Per 1 april 2002 is het gebruik van hoofdstuk 2 vliegtuigen in Europa verboden, op grond van een EU richtlijn daarover.

In 2001 is besloten een hoofdstuk 4 aan ICAO Annex 16 toe te voegen. De limieten per meetpunt zijn gelijk aan die in hoofdstuk 3, maar de som van de gemeten certificatiegeluidniveaus moet ten minste 10 EPNdB lager zijn dan de som van de hoofdstuk 3 limieten. Dus tenminste 10 EPNdB onder de lijnen in figuur 2.14. Voorts moet de som van de gemeten waarden op elke combinatie van twee van de drie meetpunten ten minste 2 EPNdB lager zijn dan de som van de limieten voor die punten en vervalt de hierboven beschreven "uitruilmogelijkheid" van hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 is van kracht voor vliegtuigtypen waarvoor na 1 januari 2006 de aanvraag voor het typecertificaat wordt gedaan. Alle vliegtuigen in figuur 2.14, en ook de nieuwe "superjumbo" Airbus A-380, voldoen ook (ruim) aan deze nieuwe hoofdstuk 4 limieten.

3. Het geluid van alle vliegtuigen samen - geluidbelasting

Het geluid van alle vliegtuigen samen wordt beschreven door de "geluidbelasting". In dit hoofdstuk gaat het over:

- Het doel van geluidbelasting
- L_{den} en L_{night} : beschrijving, eigenschappen, perceptie
- Berekening van de geluidbelasting: rekenmodel, database, invoergegevens
- Geluidbelastingscontouren
- Totale volume van de geluidbelasting TVG
- Andere maat voor de geluidbelasting N_{Ax}

3.1 Waarom geluidbelasting

De geluidbelasting is een maat voor het geluid dat door alle vliegtuigen gezamenlijk gedurende een jaar wordt veroorzaakt. Daarbij worden de geluidniveaus van alle vliegtuigen die van het vliegveld vertrekken en daarop aankomen volgens een voorgeschreven formule "bij elkaar opgeteld".

Het fenomeen geluidbelasting is bedacht, omdat op basis van het geluidniveau van één vliegtuig geen uitspraken kunnen worden gedaan over de geluidhinder die mensen ondervinden. De hinder hangt ook af van hoe vaak men vliegtuigen hoort en gedurende welk deel van het etmaal ('s nachts of overdag). In de geluidbelasting, zitten de volgende elementen:

- a. hoeveel geluid maakt elk vliegtuig, dus het geluidniveau van elk vliegtuig;
- b. hoeveel vliegtuigen vliegen er gedurende een jaar voorbij;
- c. gedurende welk deel van het etmaal vliegen de vliegtuigen voorbij.

De drie elementen zijn in de geluidbelastingsmaat zodanig gecombineerd, dat een relatie kan worden gelegd met door vliegtuiglawaai veroorzaakte effecten. Dit is een "dosis-effectrelatie"; de dosis is de hoogte van de geluidbelasting, de effecten zijn (ernstige) hinder en (ernstige) slaapverstoring.

Het element "gedurende welk deel van het etmaal" wordt uitgedrukt in zogenoemde "etmaalweegfactoren", die in rekening brengen dat een vliegtuigpassage in de nacht of avond, als hinderlijker wordt ervaren dan wanneer datzelfde vliegtuig overdag voorbij vliegt.

In deze reader zijn alleen de geluidbelastingsmaten L_{den} en L_{night} behandeld, die rond de Nederlandse civiele vliegvelden worden gebruikt. Rond militaire bases wordt een andere maat gebruikt, de Kosten-eenheid (K_e), die tot 2003 ook voor Schiphol werd gebruikt. Die blijft hier buiten beschouwing.

3.2 L_{den} en L_{night}

3.2.1 Beschrijving

In L_{den} staat de "L" voor level (niveau) en "den" voor day-evening-night (dag-avond-nacht). L_{den} heeft betrekking op het hele etmaal. Voor de etmaalweegfactoren is het etmaal verdeeld in drie perioden: de dag van 07 tot 19 uur (weegfactor 1), de avond van 19 tot 23 uur (weegfactor 3,16) en de nacht van 23 tot 07 uur (weegfactor 10). Het aantal vliegtuigen dat in de geluidbelasting wordt meegenomen, wordt vermenigvuldigd met de etmaalweegfactor. Dus: overdag wordt een voorbij vliegend vliegtuig voor 1 vliegtuig geteld, 's nachts voor 10 vliegtuigen.

Daarnaast bestaat L_{night} (nacht), die alleen betrekking heeft op de nacht van 23-07 uur. Hierin zitten geen etmaalweegfactoren, omdat deze maat sowieso alleen de nacht betreft.

L_{den} en L_{night} worden uitgedrukt in dB(A), zie ook § 2.3.3 "De ene dB(A) is de andere niet".

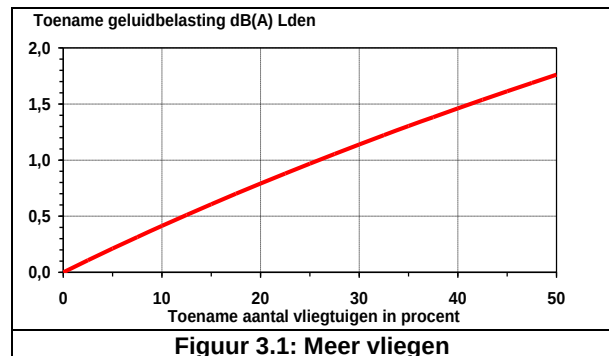
Kort door de bocht is de geluidbelasting: 'aantal vliegtuigen maal geluid per vliegtuig' waarbij voor 'geluid per vliegtuig' de maat LAX (zie § 2.3.2) wordt gebruikt. De werkelijke formules zijn complexer en staan in bijlage 2.

Lden en Lnight zijn door de EU voorgeschreven in het kader van de "EU-actieplannen", volgens Richtlijn 2002/49/EG van 25 juni 2002 inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai. Anders dan de Ke – die alleen voor luchtvaart en alleen in Nederland werd gebruikt – worden Lden en Lnight gebruikt in veel landen en voor alle geluidbronnen, zoals weg- en railverkeer en industriegeluid en vliegtuiggeluid.

3.2.2 Uitwisseling geluidniveau – aantal vliegtuigen

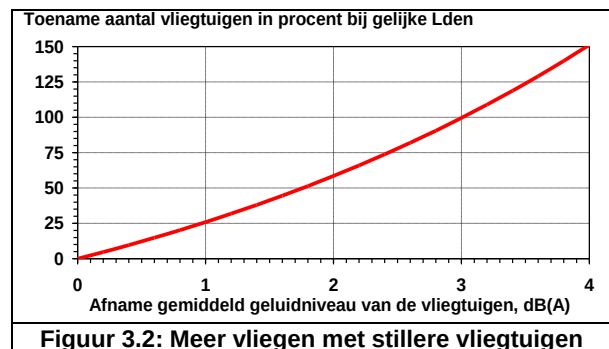
Een belangrijk kenmerk van de geluidbelasting is, dat het aantal vliegtuigen en het geluid per vliegtuig uitwisselbaar zijn. 'Veel stille' vliegtuigen geven dezelfde geluidbelasting als 'weinig lawaaiige' vliegtuigen.

Als het aantal vliegtuigen toeneemt en het (gemiddelde) geluid van de vliegtuigen en de verdeling over het etmaal niet veranderen, neemt Lden toe. Dit is weergegeven in figuur 3.1. Op de horizontale as staat de toename van het aantal vliegtuigen in %, op de verticale as de toename van de geluidbelasting.



Figuur 3.1: Meer vliegen

Voorbeelden: als het aantal vliegtuigen met 10% toeneemt, neemt Lden toe met 0,41 dB(A), bij 26% toename van het aantal neemt Lden toe met 1 dB(A).



Figuur 3.2: Meer vliegen met stillere vliegtuigen

Maar als het gemiddelde geluid van de vliegtuigen afneemt, kan men meer vliegen zonder dat de

geluidbelasting verandert. Dit is weergegeven in figuur 3.2. Op de horizontale as staat de afname van het gemiddelde geluidniveau van de vliegtuigen, op de verticale as de toename van het aantal vliegtuigen in % dat mogelijk is zonder dat de geluidbelasting verandert. Voorbeeld: als de vliegtuigen gemiddeld 3 dB(A) LAX stiller worden, kan het aantal vliegtuigen verdubbelen (toename met 100%) zonder dat de geluidbelasting verandert. 'Stiller worden' kan zowel door stillere vliegtuigen als door stille vliegprocedures te gebruiken.

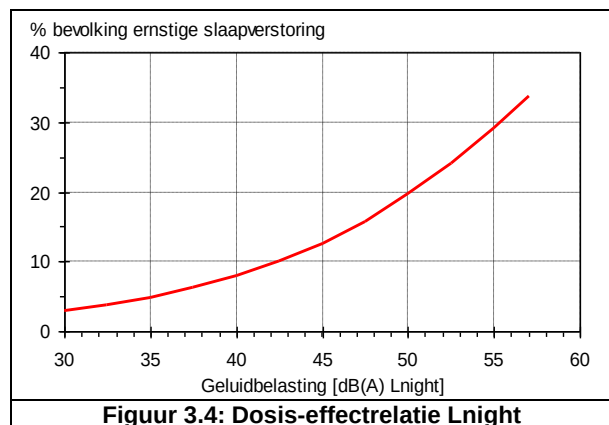
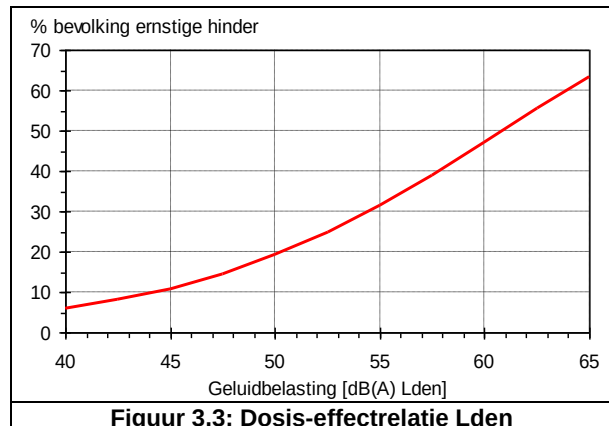
Voor alle duidelijkheid: dit is puur een gevolg van de formule voor Lden, niet van één of andere beleidsregel of iets dergelijks. Het bovenstaande geldt net zo voor Lnight.

3.2.3 Relatie geluidbelasting en ernstige hinder en slaapverstoring

Met behulp van de Lden-geluidbelasting kan de ernstige hinder rond een vliegveld in beeld worden gebracht. Het aantal ernstig door geluid gehinderde mensen wordt bepaald op basis van een "dosis-effectrelatie". De dosis is de geluidbelasting in dB(A) Lden, het effect is ernstige hinder. Dit is in 'geluidsland' een gebruikelijke aanpak, er zijn ook dosis-effectrelaties voor wegverkeer,

railverkeer en industrielawaai. Die zijn niet allemaal hetzelfde, zo is bijvoorbeeld voor dezelfde Lden-waarde, de ernstige hinder voor weg- en railverkeer lager dan voor luchtvaartlawaai. De dosis-effectrelaties zijn gebaseerd op enquêtes.

Figuur 3.3 toont de dosis-effectrelatie voor Lden, in bijlage 2 staat de formule hiervoor. Op de horizontale as staat de geluidbelasting in dB(A) Lden, op de verticale as het percentage van de bevolking dat bij die geluidbelasting ernstige hinder ondervindt. Voorbeeld: bij een geluidbelasting van 50 dB(A) Lden ondervindt ca. 20% van de bevolking die aan deze geluidbelasting is blootgesteld ernstige hinder. Voor Schiphol worden de contouren van 48 dB(A) Lden en hoger – dat wil zeggen meer dan 15% van de bevolking ernstige hinder – gebruikt om het totale aantal ernstig gehinderde mensen te berekenen. In bijlage 3 is beschreven hoe dit wordt uitgevoerd.



Let wel: 'hinder' is in hoge mate individueel bepaald; een geluidbelasting die de één heel erg hinderlijk vindt, wordt door een ander helemaal niet als hinderlijk ervaren. Waar hier over 'percentages ernstig gehinderden' wordt gesproken, gaat het om gemiddelden over grote bevolkingsgroepen.

Dezelfde werkwijze wordt met de dosis-effectrelatie voor Lnight toegepast, zie figuur 3.4. In dit geval is het effect niet hinder maar "ernstige slaapverstoring". Hierbij wordt gebruik gemaakt van contouren van 40 dB(A) Lnight en hoger, meer dan 8% van de bevolking ernstige slaapverstoring.

3.2.4 Perceptie

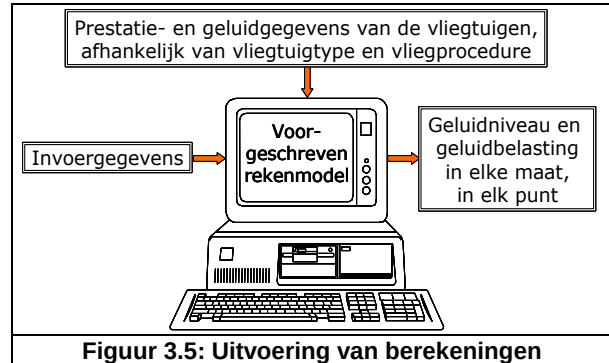
Stel dat de geluidbelasting met 2 dB(A) Lden afneemt. Als de geluidbelasting bijvoorbeeld afneemt van 58 naar 56 dB(A) Lden, neemt het percentage ernstig gehinderde mensen volgens de dosis effectrelatie in figuur 3.3 met ca. 7 procent punten af (van 41% naar 34%).

Wat merken de mensen op de grond daarvan? Het antwoord op deze vraag is afhankelijk van de oorzaak voor de afname. Twee voorbeelden:

- als de geluidbelasting afneemt doordat het geluidniveau van alle vliegtuigen met 2 dB(A) afneemt (bijvoorbeeld door stillere vliegtuigen of toename van de passeerafstand), dan is dat niet waarneembaar. Want als twee (piek)geluidniveaus minder dan 2 á 3 dB(A) van elkaar verschillen, hoort "een mens" geen verschil.
- als de geluidbelasting 2 dB(A) Lden afneemt doordat het aantal voorbij vliegende vliegtuigen met 37% afneemt, dan is dat wel waarneembaar.

3.3 Berekening van de geluidbelasting

In Nederland en in andere landen worden berekeningen van de geluidbelasting rond vliegvelden uitgevoerd. In figuur 3.5 is dat schematisch weergegeven: voer invoergegevens in een rekenmodel in, samen met een database waarin de "prestatie- en geluidgegevens van de vliegtuigen" staan, kan vervolgens overal rond een vliegveld het geluid worden berekend. Het geluid kan zijn uitgedrukt in de geluidniveaus L_{Amax} en L_{AEX} en de geluidbelastingmaten L_{den} en L_{night} (en ook de in § 3.1. genoemde K_e). "Overall rond een vliegveld" is een belangrijk verschil met de in hoofdstuk 4 beschreven geluidmetingen, want metingen gelden alleen voor de plek waar de meetpost staat, daarmee kunnen geen uitspraken worden gedaan over het geluid op andere plaatsen.



Figuur 3.5: Uitvoering van berekeningen

De drie gereedschappen – rekenmodel, database met prestatie- en geluidgegevens – zijn hierna behandeld.

3.3.1 Rekenmodel

Een "rekenmodel" is een computerprogramma voor de berekening van de geluidsbelasting. In Nederland mag alleen het conform het "berekeningsvoorschrift" voorgeschreven rekenmodel worden gebruikt. Dit geldt zowel voor het berekenen van grenswaarden – bijvoorbeeld de grenswaarden in de handhavingpunten rond Schiphol – als voor de handhaving, waarbij wordt nagegaan of een grenswaarde al dan niet is overschreden. Alleen dan is sprake van 'eerlijke handhaving'.

Het voorschrijven van een rekenmodel inclusief de te gebruiken prestatie- en geluidgegevens is belangrijk, want voor dezelfde set invoergegevens geven verschillende modellen verschillende resultaten. Het is niet mogelijk om vast te stellen welk rekenmodel 'betere of slechtere' respectievelijk 'nauwkeurige(r)' of 'onnauwkeurige(r)' resultaten levert, want er bestaat geen 'gouden standaard' voor dergelijke rekenmodellen waaraan de nauwkeurigheid kan worden getoetst.

Verschiedende landen gebruiken verschillende rekenmodellen. In EU-kader wordt gewerkt aan harmonisatie van die modellen, zodat de resultaten van de diverse landen zinvol met elkaar kunnen worden vergeleken. Maar ook hier is de vraag 'beter of slechter' dan bestaande modellen niet aan de orde. Rekenmodellen van andere landen gebruiken soms ook andere prestatie- en geluidgegevens dan het Nederlandse rekenmodel, ook dit wil de EU harmoniseren. In de EU is afgesproken dat een nieuw rekenmodel gebaseerd moet zijn op ECAC Doc 29 3rd Edition "Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports" (kortweg: "Doc 29"). Er loopt onderzoek naar de implementatie van deze nieuwe rekenmethode in Nederland.

3.3.2 Prestatie- en geluidgegevens

De "prestatie- en geluidgegevens ..." zijn opgenomen in een database met gegevens voor veel vliegtuigtypen, vastgelegd in de "appendices bij het berekeningsvoorschrift". Hieronder een schets van de opbouw van de appendices.

Uitgangspunt is de "vliegafstand". Die wordt bepaald vanaf het begin van de startbaan en gemeten langs de "vliegroute", zie figuur 3.6. De "vliegroute" (ook

genoemd "het grondpad") is de projectie op de grond van de "vliegbaan" die wordt gevlogen door het vliegtuig.

Voor elke waarde van de vliegafstand staan in de "prestatietabellen" in de appendices de volgende gegevens (zie figuur 3.8):

- motorstuwkracht;
- vlieghoogte;
- vliegsnelheid.

Dit resulteert in de stuwkracht- en hoogteprofielen in § 2.5.2 en 2.5.3.

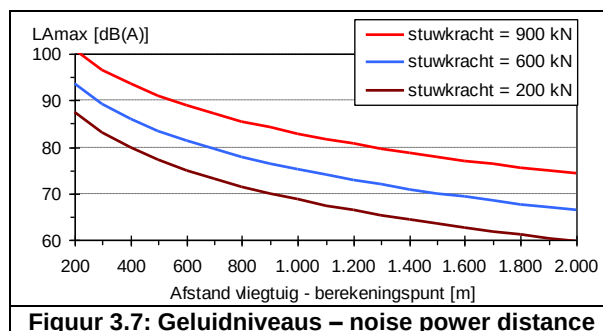
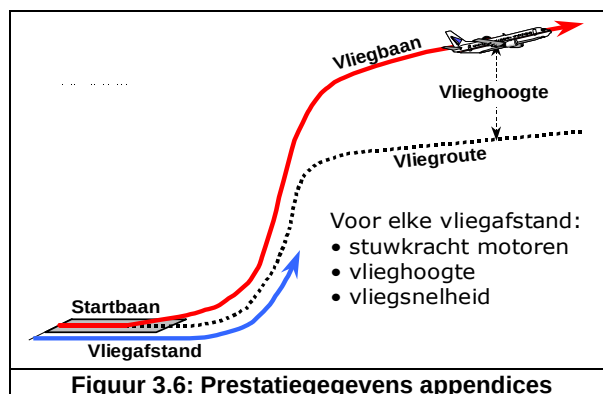
De appendices bevatten voor elk vliegtuigtype deze prestatiegegevens voor de vliegprocedures die zijn beschreven in § 2.5.3.

Resumerend:

- voor naderingen zes vliegprocedures:
 - 2000 ft nadering, 3000 ft nadering, CDA nadering;
 - voor elk van deze procedures: reduced flaps of full flaps;
- voor starts acht vliegprocedures:
 - NADP-1 (ICAO-A) of NADP-2 (ICAO-B);
 - voor elk van deze procedures vier afstandsklassen, op basis van de te vliegen afstand tot de eerste bestemming.

Om het geluidniveau te bepalen, wordt de "geluidtabel" gebruikt, zie figuur 3.10. De stuwkracht van de motoren - die is gevonden in de prestatietabel - is gekoppeld aan "Noise - power - distance" (NPD) grafieken, een voorbeeld staat in figuur 3.7. Langs de horizontale as staat de afstand tussen het vliegtuig en het "rekenpunt", dat wil zeggen het punt waarin het geluidniveau wordt berekend, zie figuur 3.9. Langs de verticale as staat het piekgeluidniveau L_{Amax} . Hoe meer stuwkracht, hoe hoger het geluidniveau. En, hoe groter de afstand vliegtuig - rekenpunt, hoe lager het geluidniveau, zie § 1.3.

Een vliegtuigtype (bijvoorbeeld Boeing 747, Airbus 320, enz) wordt ingedeeld in één van 25 "vliegtuigcategorieën". Die indeling vindt plaats op basis van het maximum toegelaten startgewicht (MTOW) en de meetgegevens van de officiële geluidcertificatie (zie § 2.6). Voor elke categorie is een "akoestische representant" bepaald. Die staat model voor alle vliegtuigtypen in die vliegtuigcategorie, de gegevens van de akoestische representant worden in de berekeningen gebruikt. Dit betekent, dat vliegtuigtypen niet met "hun eigen" gegevens worden



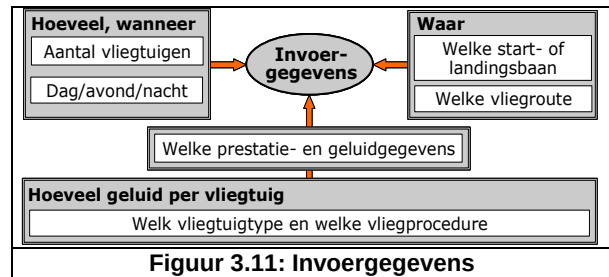
Vliegafstand	Stuwkracht	Vlieghoogte	Vliegsnelheid			L_{Amax} in dB(A) Stuwkracht [kN] = 200 600 900	
1 km				Afstand vliegtuig tot rekenpunt	200 m	.....	.....
2 km					300 m	.....	.....
3 km					500 m	.....	.....
4 km					1000 m	.....	.....
5 km					1500 m	.....	.....
enzovoorts					enzovoorts		
Figuur 3.8: Prestatietabel				Figuur 3.9: Rekenpunt		Figuur 3.10: Geluidtabel	

Gegevens gelden voor de Internationale Standaard Atmosfeer (ISA) op zeeniveau.

doorgerekend maar met de gegevens van de akoestische representant van de vliegtuigcategorie waartoe het type behoort. In bijlage 4 staat nadere uitleg.

3.3.3 Invoergegevens

In figuur 3.11 staat een overzicht van de invoergegevens. Kort gezegd geven die antwoord op de vraag: hoeveel van welke soorten vliegtuigen vliegen op welke wijze en op welke tijdstippen over elke plek rond het vliegveld. Waar nodig zijn de diverse onderdelen hieronder kort toegelicht.



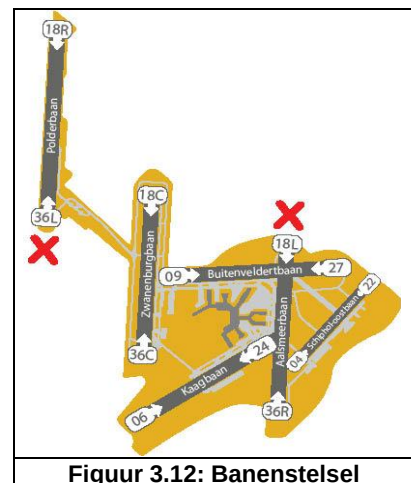
Figuur 3.11: Invoergegevens

De onderdelen bij "hoeveel, wanneer" spreken voor zich.

Het onderdeel "hoeveel geluid per vliegtuig" bepaalt welke gegevens uit de appendices met prestatie- en geluidgegevens moeten worden gebruikt (§ 3.3.2).

"Welke start- of landingsbaan", zie figuur 3.12, is afhankelijk van veel factoren, bijvoorbeeld:

- beschikbaarheid van banen en taxibanen;
- de weersomstandigheden, zoals windsnelheid en windrichting, zicht, wolkenbasis, buien in de omgeving van Schiphol, enzovoorts.
- de veiligheidsregels, bijvoorbeeld over de toelaatbare dwars- en rugwind;
- het verkeersaanbod (per 10 minuten), dat bepaalt of één of twee banen voor landingen en één of twee banen voor starts tegelijkertijd moeten worden ingezet;
- regels over geluidpreferentieel baangebruik, waarbij bij voorkeur de Kaagbaan en de Polderbaan worden gebruikt, omdat dan het minst over dicht bebouwd gebied wordt gevlogen.



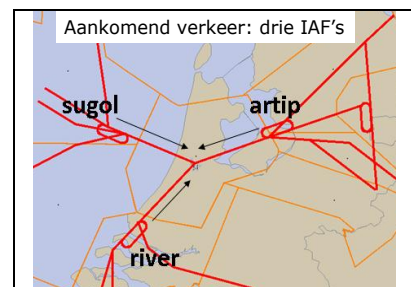
Figuur 3.12: Banenstelsel

In bijlage 5 is hierover nadere uitleg gegeven. Voor "toekomstberekeningen" (zie § 3.3.4) wordt het baangebruik geschat met het "baangebruikprognosemodel".

"Welke vliegroute" is afhankelijk van herkomst of bestemming van de vlucht:

- de herkomst bepaalt welke van de drie standaard aankomstrichtingen wordt gebruikt, zie figuur 3.13. Deze drie gebieden worden aangeduid als Initial Approach Fix (IAF);
- afhankelijk van de bestemming wordt één van de vijf standaard vertrekrichingen (sectoren) gekozen, zie figuur 3.14.

Bijlage 6 geeft hierover nadere uitleg. Daarin zijn tevens figuren opgenomen waarin werkelijk gevlogen routes zijn weergegeven.



Figuur 3.13: Aankomstrichtingen



Figuur 3.14: Vertrekrichingen

3.3.4 Invoergegevens prognose en realisatie

De in de vorige paragraaf beschreven invoergegevens zijn nodig om een berekening uit te voeren. Er is voor het opstellen van een invoerset een groot verschil tussen een "toekomstberekening" en een "realisatieberekening".

Een toekomstberekening betreft een situatie die zich nog niet heeft voorgedaan. Bijvoorbeeld: hoe ziet de geluidbelasting in 2020 er naar verwachting uit. Dat betekent dat de invoergegevens moeten worden geschat, anders gezegd, dat de berekeningen op basis van een prognose in een "verkeersscenario" worden uitgevoerd. Dat verkeersscenario bevat de volgende gegevens: hoeveel vliegtuigen zullen er vliegen, welk vliegtuig zal wanneer (dag-avond-nacht) starten of landen, waar zal het naar toe gaan of vandaan komen, welk vliegtuigtype en welke vliegprocedure zal worden gebruikt. Voorts wordt voorspeld hoe dit verkeer over de start- en landingsbanen zal zijn verdeeld. Dit is een complex proces, er worden "invoermodellen" gebruikt om dit uit te voeren.

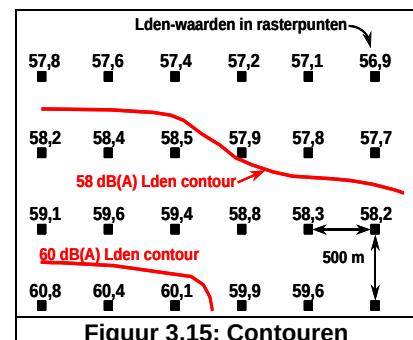
Een realisatieberekening betreft een situatie die zich al heeft voorgedaan. Bijvoorbeeld: wat was de geluidbelasting in het afgelopen jaar. Dit is vrij simpel, want van elk vliegtuig dat op Schiphol is gestart of geland, zijn alle gegevens geregistreerd, zoals vliegtuigtype, vliegprocedure, vliegroute, de gebruikte start- of landingsbaan, tijdstip van start of landing, enzovoorts.

3.4 Geluidbelastingscontouren

Het weergeven van "geluidbelastingscontouren", dus Lden en Lnight contouren, op een topografische kaart, is een gebruikelijke manier om de geluidbelasting rond een vliegveld in beeld te brengen. Langs zo'n contour heeft de geluidbelasting dezelfde waarde. Dit is het equivalent voor de geluidbelasting van de footprints voor geluidniveaus in hoofdstuk 2.

3.4.1 Contouren uit rasterpunten

Contourberekeningen rond Schiphol worden uitgevoerd in een rekengebied van 71 x 71 km. Daarin liggen 20.450 rekenpunten ("rasterpunten"), die in X-richting (west-oost) en in Y-richting (zuid-noord) op een afstand van 500 m van elkaar liggen. De geluidbelasting wordt in elk rasterpunt berekend, de contouren worden dan bepaald door "interpolatie", zie figuur 3.15. Met één berekening van de geluidbelasting in de rasterpunten kunnen contouren voor elke willekeurige waarde worden bepaald.

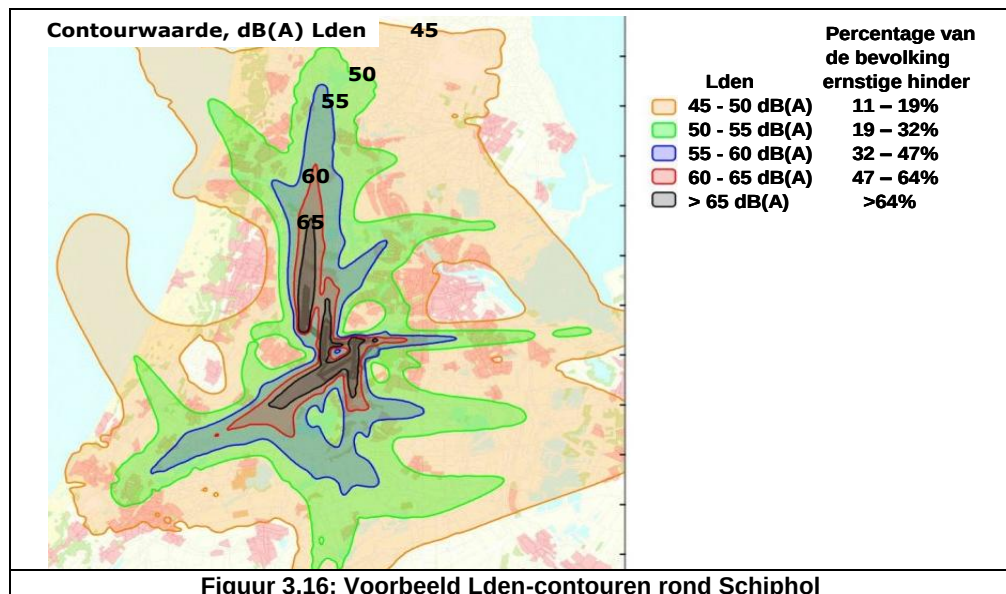


3.4.2 Voorbeelden Lden contouren

Figuur 3.16 toont een voorbeeld van Lden contouren rond Schiphol. Daarin zijn de contouren van 45 dB(A) Lden tot en met 65 dB(A) Lden in stappen van 5 dB(A) Lden weergegeven.

De contour voor een lage waarde, zeg 50 dB(A) Lden, ligt altijd helemaal buiten de contour voor een hogere waarde, zoals de contour voor 55 dB(A) Lden. Naarmate de afstand tot het vliegveld toeneemt, neemt de geluidbelasting af, vooral omdat naarmate die afstand toeneemt, hoger wordt gevlogen.

De kleuren geven de gebieden tussen de contouren weer, zie de legenda bij de figuur. Voorbeeld: tussen de 50 en 55 dB(A) Lden contour, dus in het groene gebied, is de geluidbelasting niet lager dan 50 dB(A) Lden en niet hoger dan



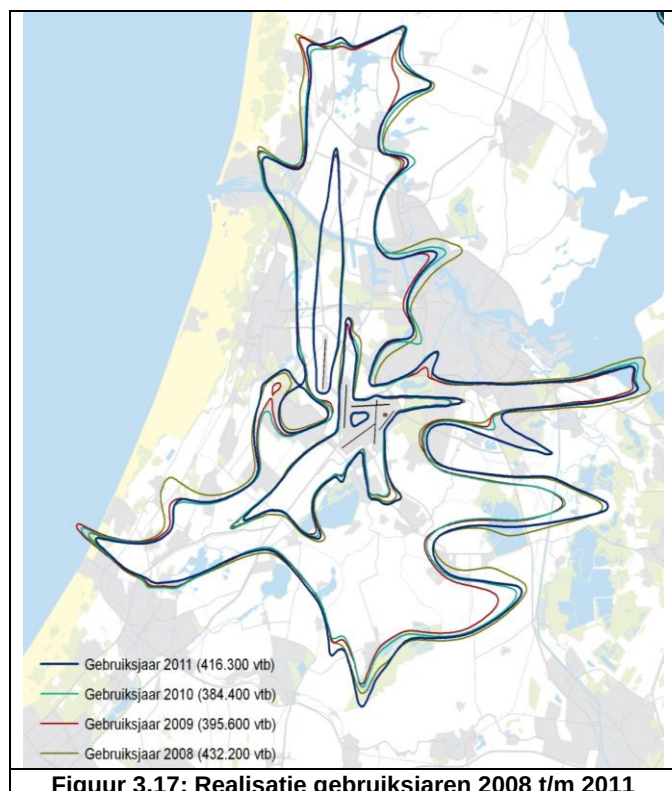
55 dB(A) Lden. In de legenda is vermeld welk percentage van de bevolking in die gebieden ernstige hinder ondervindt, waarbij gebruik is gemaakt van de dosis-effectrelatie in figuur 3.3 in § 3.2.3.

Let wel: geen enkele contour is de scheidslijn tussen 'wel' en 'geen' hinder. Ook buiten de 45 dB(A) Lden contour zal nog hinder optreden, zij het dat het percentage van de bevolking dat daar ernstige hinder ondervindt volgens figuur 3.3 lager is dan 11%.

In figuur 3.17 zijn voor de gebruiks jaren 2008 tot en met 2011 de Lden contouren voor 48 dB(A) (buitenste bundel contouren) en 58 dB(A) (binnenste bundel contouren) weergegeven. Dit zijn contouren voor realisatieberekeningen met het werkelijke verkeer in dat jaar. De aantallen vliegtuigbewegingen (= landingen + starts) zijn in de figuur vermeld.

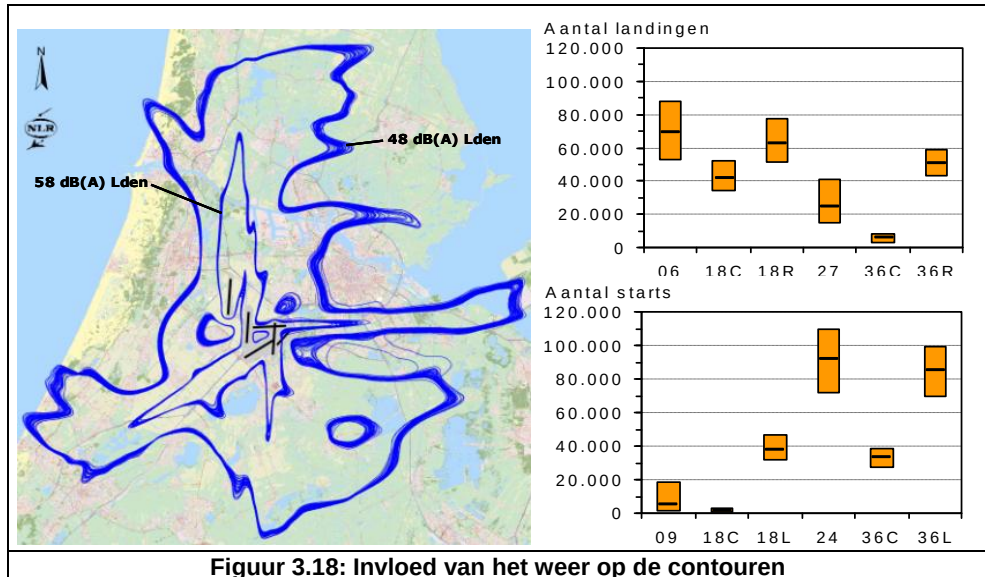
Deze contouren zijn berekend voor in het Schipholbeleid gebruikte "gebruiks jaren" van 1 november tot en met 31 oktober van het volgende jaar. Zo loopt gebruiksjaar 2011 van 1 november 2010 tot en met 30 oktober 2011.

De variatie van de contouren is van jaar tot jaar vrij beperkt, ondanks de steeds andere aantallen vliegtuigbewegingen. De variatie is voor lage Lden-waarden (hier 48 dB(A) Lden) groter dan voor hoge Lden-waarden (hier 58 dB(A) Lden).



3.4.3 Effect van het weer

In § 3.3.3 is aangegeven dat het weer een grote invloed heeft op de verdeling van het verkeer over de banen en dus op de verdeling van het verkeer over de omgeving en dus op de waarden in de rasterpunten (§ 3.4.1) en daardoor op de ligging van de contouren. In figuur 3.18 is dit geïllustreerd.



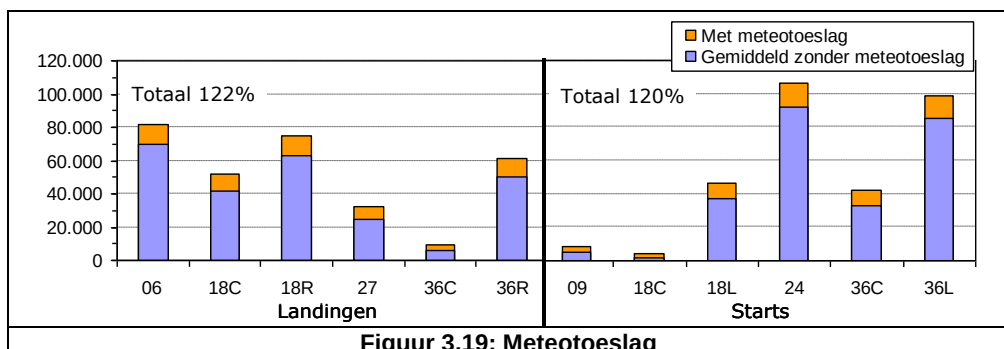
Het gaat hier om een “toekomstberekening”. Voor hetzelfde verkeersscenario zijn de contouren berekend met de meteorologische gegevens van 40 jaren, 1971 tot en met 2010. Let wel: “hetzelfde verkeersscenario”, dus niet met het verkeer in 1971, 1972, enz. Alleen de weergegevens voor die jaren zijn gebruikt. In figuur 3.18 staan de 40 contouren voor 48 dB(A) Lden en de 40 contouren voor 58 dB(A) Lden.

In de rechter helft van de figuur staat met oranje balkjes de spreiding van het aantal landingen en starts per baan voor deze 40 weerjaren, dus de hoogste en de laagste waarde, berekend met het baangebruikprognosemodel. Het horizontale zwarte streepje is het gemiddelde van de berekeningen. Voorbeelden:

- landingen op baan 06 (Kaagbaan): hoogste aantal is 87.700 (weergegevens van 1996), laagste aantal is 52.800 (weergegevens van 2000), het gemiddelde is 69.500.
- starts vanaf baan 36L (Polderbaan): hoogste aantal is 99.100 (weergegevens van 1976), laagste aantal is 69.900 (weergegevens van 1998), het gemiddelde is 85.300.

3.4.4 Meteotoeslag

Het is voor het beleid niet wenselijk te werken met bundels van contouren, zoals in figuur 3.18. Daarom wordt op het gemiddelde baangebruik – de zwarte



streepjes in die figuur – een “meteotoeslag” gezet en wordt vervolgens op basis hiervan één contour berekend. De meteotoeslag heeft tot doel kleine maar vaak voorkomende niet vooraf te voorspellen fluctuaties van het weer op te vangen. De meteotoeslag wordt berekend met een reeds lang geleden ontworpen formule. Deze formule gaat ervan uit, dat hooguit één maal per vijf jaar het aantal vliegtuigbewegingen op één of meer banen hoger zal zijn dan het aantal dat met meteotoeslag is voorspeld. Figuur 3.19 toont een voorbeeld van het effect van de meteotoeslag op de aantallen landingen en starts per baan. De meteotoeslag wordt met de formule voor elke baan afzonderlijk berekend en is mede afhankelijk van het gemiddelde zonder meteotoeslag.

Let wel: de meteotoeslag speelt alleen een rol in “toekomstberekeningen”, niet in “realisatieberekeningen” achteraf. In laatste genoemde berekeningen is geen sprake van onzekerheden ten aanzien van het weer en het effect op aantallen per baan, want die aantallen zijn eenvoudig vast te stellen door simpelweg te tellen hoeveel vliegtuigen elke baan hebben gebruikt, zie ook § 3.3.4.

3.4.5 Criteria voor gelijkwaardige bescherming

De criteria voor gelijkwaardige bescherming spelen een centrale rol in het Schipholbeleid, alle “toekomstberekeningen” en “realisatieberekeningen” worden hieraan getoetst. Hierbij wordt gebruik gemaakt van Lden en Lnight contouren.

De criteria zijn ten behoeve van het nieuwe normen en handhavingstelsel recent geactualiseerd, ze luiden zoals aangegeven in tabel 3.1. In bijlage 7 staat hierover, en over de geschiedenis van deze criteria, nadere uitleg.

Tabel 3.1: Criteria voor gelijkwaardige bescherming	
Onderwerp	Maximum aantal
Aantal woningen binnen 58 dB(A) Lden contour	11.900
Aantal mensen ernstige hinder binnen 48 dB(A) Lden contour	180.500
Aantal woningen binnen 48 dB(A) Lnight contour	11.000
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 40 dB(A) Lnight contour	49.000

3.5 TVG en MHG

Zoals we hierboven al zagen, heeft het weer grote invloed op de Lden contouren. In het huidige in 2003 van kracht geworden stelsel en in het voorgestelde Nieuwe Normen en Handhavingstelsel voor Schiphol (NNHS), wordt een maat gehanteerd die niet afhankelijk is van het weer, te weten het “Totale Volume van de Geluidbelasting”, TVG. Hier is de berekeningsmethodiek voor het NNHS samengevat, in bijlage 8 staat nadere informatie. De grenswaarde voor het TVG wordt “Maximale Hoeveelheid Geluid” (MHG) genoemd, in bijlage 8 staat hoe die wordt bepaald.

Het doel van MHG in het nieuwe normen en handhavingstelsel is het borgen van de eis dat aan de “criteria voor gelijkwaardige bescherming” (zie tabel 3.1) zal worden voldaan. Op basis van onderzoek is geconcludeerd dat de MHG afdoende bescherming biedt indien:

- het vliegen volgende de regels mogelijk en handhaafbaar blijkt;
- het baangebruikprognosemodel (thans DAISY) de praktijk dicht genoeg benadert.

3.5.1 Uitgangspunten

Als eis is gesteld dat TVG afhankelijk is van alle parameters in Lden (§ 3.3.3), met uitzondering van het baan- en routegebruik die de verdeling van het geluid over de omgeving bepalen en afhankelijk zijn van het weer.

Dus wel afhankelijk van:

- het aantal vliegtuigen;
- de vliegtuigtypen ("lawaaige" of "stille" typen);
- de vliegprocedures (§ 3.3.2, § 2.5.2 en § 2.5.3);
- de verdeling van het verkeer over het etmaal (dag - avond - nacht).

Maar niet afhankelijk van:

- de verdeling van het verkeer over start- en landingsbanen;
- de vliegroutes.

TVG is daardoor ook onafhankelijk van de weersomstandigheden die van invloed zijn op het baangebruik. In TVG zit dan ook geen meteotoeslag.

3.5.2 Berekening van TVG

Aan de hand van figuur 3.20, is beschreven hoe TVG wordt berekend. Het TVG wordt bepaald door uit te gaan van een fictieve situatie, waarbij het verkeer dat op alle banen en vliegroutes van Schiphol wordt afgewikkeld, op één baan en één vliegroute wordt gezet. Daarbij vliegen alle vliegtuigen over dezelfde lijn, de groene lijn in figuur 3.20. Deze vliegroute geldt voor starts en voor naderingen.

In het verlengde van die baan zijn 100 "referentiepunten" gedefinieerd. Die liggen in een rechthoekig raster op een onderlinge afstand van 1 km van elkaar. In elk referentiepunt wordt L_{den} berekend als gevolg van al het vliegverkeer gedurende een gebruiksjaar. Het TVG is het energetisch gemiddelde van die L_{den} -waarden. Hetzelfde geldt voor L_{night} .

In figuur 3.21 staat een voorbeeld van de L_{den} -waarde in elk referentiepunt en de daaruit voortvloeiende waarde voor TVG (60,17 dB(A) L_{den}).

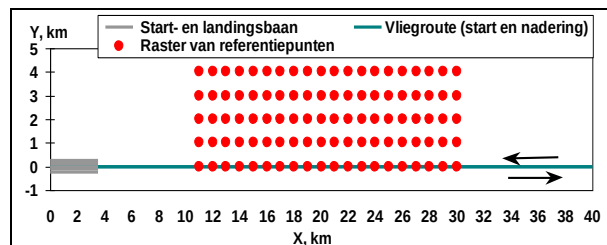
Let wel: er bestaat geen

enkele relatie tussen het TVG en de geluidbelasting op een bepaalde plek rond het vliegveld. TVG heeft ook geen relatie met (ernstige) hinder. TVG is uitsluitend een rekengrootheid.

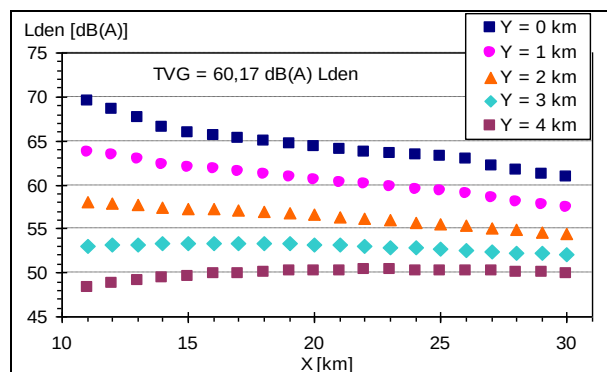
In het huidige stelsel wordt TVG ook gebruikt. De enige verschillen met het NNHS zijn het (veel) kleinere raster en niet energetisch maar rekenkundig middelen. De veranderingen in het NNHS zijn doorgevoerd op basis van recent onderzoek naar de werking van TVG.

3.5.3 Grenswaarden

Voor TVG voor L_{den} en TVG voor L_{night} worden grenswaarden vastgesteld, de MHG (zie bijlage 8). Aan het eind van het gebruiksjaar wordt in het kader van de handhaving bekeken of het werkelijke TVG al dan niet hoger is dan deze grenswaarden. Let wel: de grenswaarden gelden niet per referentiepunt, in de zin van: de geluidbelasting mag in geen enkel punt hoger zijn dan voor de MHG is berekend. MHG geldt alleen voor het TVG zoals dat op bovenstaande wijze is berekend.



Figuur 3.20: Raster van referentiepunten



Figuur 3.21: L_{den} waarden in referentiepunten

3.6 Andere maat voor de geluidbelasting – N_{Ax}

Zoals in § 3.2.1 is beschreven, zijn L_{den} en L_{night} als maten voor de geluidbelasting door de EU voorgeschreven. In sommige landen – zoals Australië en rond Zaventem in België – wordt voor informatieve doeleinden, niet voor officiële grenswaarden, ook de maat N_{Ax} gebruikt.

Deze maat geeft per locatie het aantal vliegtuigpassages dat een piekgeluid-niveau L_{Amax} van x dB(A) of hoger veroorzaakt; “N_A” staat voor “number above” ofwel aantal hoger dan.

Figuur 3.22 toont een (geschematiseerd) voorbeeld. Hierin zijn vijf vliegtuigpassages weergegeven door hun noise time history (zie § 2.2). Langs de horizontale as staat de tijd, langs de verticale as het geluidniveau.

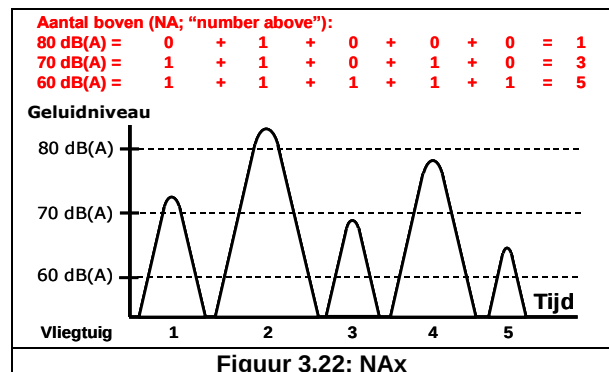
Boven in de figuur staat NA₇₀: voor hoeveel passages is L_{Amax} 70 dB(A) of hoger. In dit voorbeeld heeft NA₇₀ de waarde 3. Voorts zijn in deze figuur NA₈₀ (=1) en NA₆₀ (=5) opgenomen.

De maat N_{Ax} heeft ten opzichte van de geluidbelasting in dB(A) L_{den} de volgende voordelen:

- N_{Ax} is voor een leek beter te begrijpen dan L_{den}. Immers, wat is eenvoudiger dan te tellen hoe vaak een bepaald piekgeluidniveau wordt overschreden; er komen geen “ingewikkelde” formules aan te pas, zoals in L_{den}.
- De bijdragen van de afzonderlijke vliegtuigpassages worden “gewoon” (rekenkundig) opgeteld. Als bijvoorbeeld het aantal vliegtuigen met 25% toeneemt - en de geluidniveaus niet veranderen - neemt ook N_{Ax} met 25% toe. De geluidbelasting L_{den} neemt dan met ongeveer 1 dB(A) toe.

Het belangrijkste nadeel van N_{Ax} is, dat deze maat erg weinig “informatie-inhoud” heeft. Veel informatie die voor het “geluidsbeeld” van vliegtuigen relevant is, wordt niet meegenomen. Bijvoorbeeld:

- niet alle vliegtuigen tellen mee, vliegtuigpassages met een lager piekniveau dan x dB(A) blijven buiten beschouwing. In L_{den} telt wel elk vliegtuig mee;
- het doet er voor N_{Ax} niet toe in welke mate het niveau van x dB(A) wordt overschreden. Bijvoorbeeld: in NA₇₀ telt een vliegtuig met een piekniveau van 71 dB(A) even zwaar mee als een vliegtuig met een piekniveau van - zeg - 80 of 90 dB(A), namelijk voor één maal een overschrijding van 70 dB(A). In L_{den} komt dit verschil - dat ook in de hinderbeleving significant is - wel tot uitdrukking.



4. Meten van vliegtuiggeluid

Het meten van geluid is moeilijk. Meten aan mobiele bronnen, zoals auto's, treinen en vliegtuigen, is moeilijker dan het meten aan stationaire bronnen, zoals een machine. Van de mobiele bronnen is het meten aan vliegende vliegtuigen het moeilijkst. Van auto's en treinen is vooraf precies bekend waar ze zich zullen bevinden, namelijk op de grond en op de weg of op de rails, de meetopstelling kan hierop worden afgestemd. Voor geluidmetingen rond een vliegveld is dat - behalve bij metingen vlak bij de startbaan - niet het geval; vliegtuigen kunnen "overall" vliegen, zowel qua hoogte als plaats.

In dit hoofdstuk gaat het over:

- Het doel van geluidmetingen: handhaving, validatie, informatie
- Uitvoering van geluidmetingen
- Externe factoren: het weer en stoorgeluid
- Resultaten van metingen: wat wordt geregistreerd en waarvan zijn meetresultaten afhankelijk
- Meten in het buitenland: Heathrow en Frankfurt
- Meten en rekenen

In § 2.6 zijn geluidmetingen voor geluidcertificatie beschreven, die worden uitgevoerd op een speciaal "meetvliegveld". Hier gaat het vooral om metingen rond een "gewoon" operationeel vliegveld, met name Schiphol.

4.1 Het doel van geluidmetingen

Het doel van geluidmetingen bepaalt in hoge mate de eisen die aan de metingen worden gesteld. Hier zijn drie doelen onderscheiden:

- meten voor handhaving; iemand - bijvoorbeeld een piloot of een luchtvaartmaatschappij - wordt op de resultaten "afgerekend";
- meten om de berekeningen te verbeteren, ook wel "validatie" genoemd;
- meten voor informatie; niemand wordt op de resultaten "afgerekend".

4.1.1 Geluidmetingen voor handhaving

Kort gezegd is meten voor handhaving: stel een waarde voor L_{Amax} vast die niet mag worden overschreden ("grenswaarde"), meet het geluid van elk vliegtuig en geef een boete als het vliegtuig meer geluid maakt dan de grenswaarde.

Dit is voor Schiphol zowel technisch als juridisch onderzocht in het project "flitspalen rond Schiphol". Dit onderzoek had tot doel na te gaan of en hoe het mogelijk zou zijn om op basis van geluidmetingen in gebieden die vrij ver weg van Schiphol liggen (het "buitengebied") boetes te geven aan vliegtuigen die 'te veel' lawaai maken.

De geluidmetingen moeten aan zeer hoge kwaliteits- en betrouwbaarheidseisen voldoen, want ze moeten juridisch onbetwistbaar zijn.

Om een boete te kunnen opleggen moet uit juridisch oogpunt sprake zijn van "verwijtbaar gedrag" en van een "overtreder". De overtreder kan de piloot zijn, maar is dat vol te houden als de luchtverkeersleiding zodanige vluchtinstructies heeft gegeven dat (mede) dáárhoor de grenswaarde is overschreden?

"Verwijtbaar gedrag" heeft ook invloed op de te stellen grenswaarden. Uitgangspunt voor die grenswaarden kan niet zijn: hoeveel geluid is aanvaardbaar voor omwonenden van Schiphol. Het moet zijn: welk geluidsniveau maakt een bepaald vliegtuigtype, dat op Schiphol is toegelaten en wordt bestuurd door een goede piloot die zich houdt aan de regels voor de vluchttuitvoering, op de locatie van de

meetpost. De grenswaarde in die meetpost kan voor dat type niet lager zijn dan dat geluidniveau.

Op basis van dit onderzoek is geconcludeerd dat dit niet verantwoord mogelijk is. Bijvoorbeeld: om een verantwoord juridisch kader te creëren moet een onzekerheidsaftrek van 7 á 10 dB(A) van het gemeten geluidniveau gehanteerd worden alvorens te toetsen aan grenswaarden en kan een deel van het jaar (ca. 15%) niet worden gemeten vanwege te slecht weer, zie ook § 4.3.1.

4.1.2 Geluidmetingen om berekeningen te verbeteren (validatie)

Net als in Nederland, worden ook in het buitenland berekeningen van de geluidbelasting rond vliegvelden uitgevoerd. Belangrijk aspect is, welke prestatiegegevens (bijvoorbeeld hoe snel stijgt een vliegtuig na de start) en welke geluidgegevens (hoeveel dB(A) veroorzaakt dat vliegtuig) voor de verschillende vliegtuigtypen worden gebruikt. In EU-kader loopt onderzoek naar methoden om die gegevens op basis van geluidmetingen rond vliegvelden te valideren, zie ook § 3.3. Nederland doet mee aan dat project.

4.1.3 Geluidmetingen voor informatievoorziening

Het gaat puur om informatievoorziening. Niemand wordt 'afgerekend' op het resultaat, zoals dat wel het geval is voor meten voor handhaving. Hieraan worden minder hoge kwaliteitseisen gesteld dan voor metingen voor handhaving. Maar dat wil niet zeggen dat er 'zomaar' een meetpook in de lucht kan worden gestoken, de informatie moet wel zinvol zijn. Het is belangrijk vooraf goed vast te stellen welke informatie waarom gewenst is. De meetnetten rond Schiphol, zoals Geluidsnet, Luistervink en NOMOS, zijn voorbeelden van meten voor informatie.

4.2 Uitvoering van geluidmetingen

4.2.1 Geluidmeters

Geluidmeters bestaan uit een microfoon en electronica voor de verwerking van het signaal dat de microfoon afgeeft. Ze zijn ingedeeld in door de IEC (International Electrotechnical Commission) geformuleerde klassen. Hoe lager het klassenummer, hoe beter de kwaliteit van de meter.

Figuur 4.1 toont een voorbeeld van een meetpost voor vliegtuiggeluid. De microfoon zit helemaal bovenaan de mast. Op de microfoon zit een windkap – om meten van windruis te voorkomen – met vogelwerende pennen. Onderaan staan kasten met electronica en kasten ten behoeve van de stroomvoorziening.

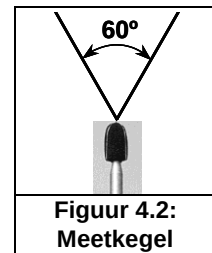


Figuur 4.1: Meetpost

De metingen worden meestal uitgevoerd met "klasse 1" geluidmeters. De apparatuur moet ongevoelig zijn voor, en bestand zijn tegen, temperatuurvariëaties en vocht.

Meetresultaten zijn ook afhankelijk van de opstelling van de microfoon. Obstakels die de weg van het geluid tussen het vliegtuig en de meetpost belemmeren en reflecterende oppervlakken – zoals gevels en daken van gebouwen, maar ook het bodemoppervlak – kunnen zorgen voor een onvoorspelbare versterking of verzwakking van het geluid. Bij voorkeur worden

alleen metingen gebruikt waarbij het vliegtuig door de "meetkegel" vliegt; een (denkbeeldige) omgekeerde kegel met de punt op de microfoon en met een tophoek van 60° , zie figuur 4.2.



Een "klasse 1" meetpost die goed is opgesteld, goed wordt onderhouden en regelmatig wordt gecalibreerd, meet het geluid redelijk nauwkeurig. Het is echter de vraag: welk geluid wordt gemeten?

4.2.2 Bemand of onbemand meten

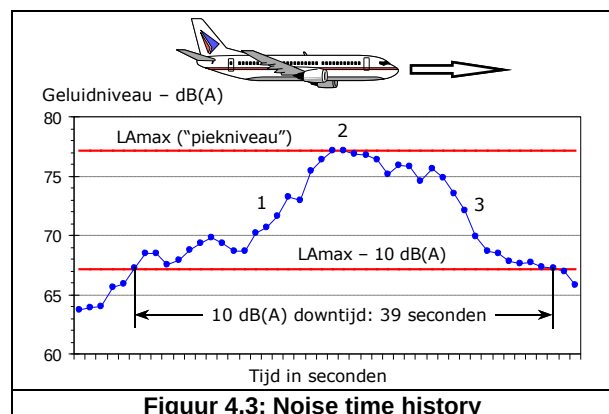
Bij "bemand meten" zit iemand naast de meetpost om te zien en te horen wat wordt gemeten. Bij "onbemand meten" is dat niet het geval. Om een meting te interpreteren is dan allerlei hulpapparatuur nodig, zoals radar en vluchtinformatiesystemen, bijvoorbeeld om vast te stellen of een vliegtuig voorbij vliegt en welk vliegtuig dat dan is. Voor meetposten die het geluid continu meten, zoals de meetnetten rond Schiphol, gaat het om "onbemande metingen", het is niet uitvoerbaar daar 24/7 iemand naast te zetten. In de internationale norm NEN-ISO 20906 "Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports" staan richtlijnen hiervoor.

4.2.3 Operationeel vliegveld of meetvliegveld

Een ander onderscheid is of de metingen rond een 'gewoon' operationeel vliegveld (zoals Schiphol) of rond een speciaal meetvliegveld worden uitgevoerd. Bij metingen rond een operationeel vliegveld wordt gemeten aan het vliegverkeer zoals zich dat 'toevallig' aandient, bij meetvliegvelden gaat het om metingen aan één bepaald vliegtuig onder strikt voorgeschreven condities, bijvoorbeeld metingen voor de ICAO-geluidcertificatie, zie § 2.6.2.

4.2.4 Wat meten

In § 2.2 en § 2.3 is aan de hand van de time history beschreven welke geluidsniveaus voor vliegtuigen worden gebruikt, te weten het piekniveau L_{Amax} en het geluidexpositieniveau L_{AEX} (SEL). In figuur 4.3 is figuur 2.2 nogmaals weergegeven. Deze figuur is het resultaat van een geluidmeting, waarbij het geluid elke seconde is gemeten (de blauwe stippen). Deze aanpak is voor dit soort metingen gebruikelijk.



Op basis hiervan worden het piekniveau L_{Amax} en het geluidexpositieniveau L_{AEX} bepaald. Met L_{AEX} kan L_{den} (en L_{night}) worden bepaald, want L_{den} (en L_{night}) is een soort optelling van de L_{AEX} -waarden per vliegtuig, zie § 3.2.

4.3 Externe factoren

Geluidmetingen worden sterk beïnvloed door toevallige externe factoren, zoals de weersomstandigheden en stoorgeluid. Deze factoren beantwoorden mede de vraag: wat wordt gemeten?

4.3.1 Het weer

Het weer heeft twee invloeden op geluidmetingen: de vraag of verantwoord kan

worden gemeten en de resultaten van de metingen. Speciaal voor vliegtuig-geluid speelt daarbij een rol, dat de afstand tussen de bron (vliegtuig) en de meetpost meestal groot is.

Voor officiële metingen, waaronder de ICAO-geluidcertificatie in § 2.6, worden veelal de eisen voor het "meteoventer" van de internationale norm ISO 3891 "Procedure for describing aircraft noise heard on the ground" gehanteerd. Daarin is bijvoorbeeld bepaald dat alleen mag worden gemeten als:

- de windsnelheid niet hoger is dan 5 m/s, om - ondanks de windkap op de microfoon - meting van te veel windgeruis te voorkomen. Voor Schiphol zou deze voorwaarde betekenen dat gedurende ca. 45% van de tijd niet gemeten mag worden. In het flitspalenonderzoek (zie § 4.1.1) is uitgegaan van 8 m/s, waarbij in ca. 15% van de tijd niet gemeten kan worden;
- er geen neerslag valt;
- de temperatuur en de luchtvochtigheid binnen bepaalde onder- en bovengrenzen liggen.

Voorts beïnvloeden de weersomstandigheden het resultaat van de meting. In algemene zin gaat het hierbij om de "opbouw van de atmosfeer", die de voortplanting van het geluid van het vliegtuig naar de meetpost beïnvloedt. Naast de hierboven genoemde aspecten, spelen hierbij bijvoorbeeld ook een rol:

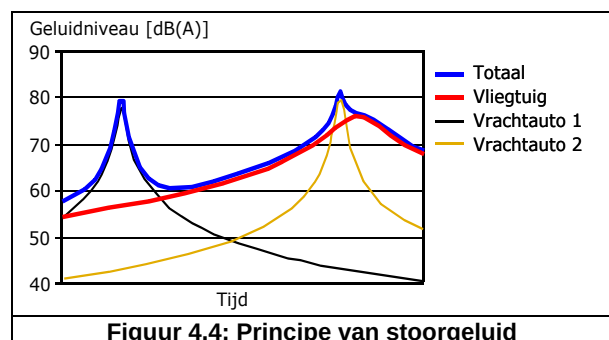
- naast de windsnelheid ook de windrichting - van het vliegtuig naar de meetpost toe of er juist vanaf - en de windgradiënt, dat wil zeggen het verloop van de windsnelheid met de hoogte;
- naast de temperatuur ook de temperatuurgradiënt.
- de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid beïnvloeden de atmosferische demping en dus het gemeten geluidniveau, zie § 1.3

Windsnelheid, windrichting, temperatuur en luchtdruk beïnvloeden ook de (stijg)prestaties van het vliegtuig en daarmee ook het gemeten geluidniveau.

4.3.2 Stoorgeluid

Een meetpost meet het totale geluid dat ter plaatse van de meetpost optreedt. Voor metingen aan vliegtuigen willen we alleen het vliegtuiggeluid meten, al het andere geluid is "stoorgeluid".

In figuur 4.4 is het principe van stoorgeluid toegelicht. Het totale geluid dat wordt gemeten is opgebouwd uit de passage van twee vrachtauto's en een vliegtuig. De eerste piek wordt uitsluitend door de vrachtauto veroorzaakt, de tweede piek in belangrijke mate. Alleen



tussen de twee pieken en na de tweede piek wordt het geluid van het vliegtuig gemeten. Bij "bemande metingen" is het makkelijk vast te stellen of het geluid werd veroorzaakt door de auto's of door het vliegtuig, want dat is simpel te zien en te horen door de persoon die naast de meetpost zit. Voor "onbemande" metingen is dat een stuk lastiger, ondanks de hulpapparatuur.

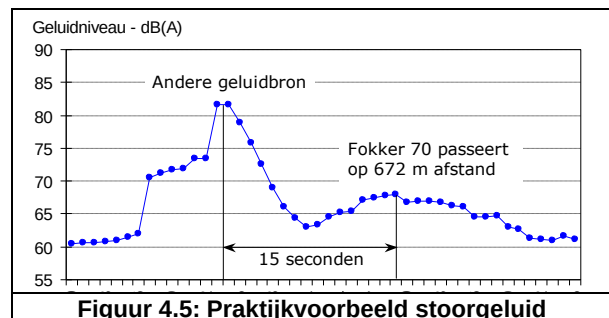
Om stoorgeluid te vermijden, moet de meetpost op een locatie staan waar de kans op stoorgeluid klein is, dus bijvoorbeeld niet langs een druk bereden weg. Er bestaan ook technische methoden om stoorgeluid te detecteren of te vermijden, bijvoorbeeld:

- een waarde waaronder niet wordt gemeten ("drempelwaarde"), voor NOMOS

- meetposten ligt die - afhankelijk van de locatie - rond 60 dB(A), het geluidniveau van een groepsgesprek (zie figuur 2.6);
- maximum "rise" en "fall" tijden, dat wil zeggen als het geluidniveau sneller dan 10 dB(A) per seconde toe- of afneemt, wordt de meting genegeerd;
- als de hoorbaarheidsduur boven de drempelwaarde erg kort - korter dan 10 seconden - of juist heel erg lang is - 120 seconden of meer - wordt de meting genegeerd;
- radarvliegbaan (plaats en hoogte) nauwkeurig in de tijd correleren met het geluidsignaal;
- analyse van het frequentiespectrum, voor een auto is dat anders dan voor een vliegtuig;
- uitluisteren van de audio opname van de meting.

Deze methodieken dragen er toe bij dat vliegtuiggeluid niet verward wordt met andere geluidbronnen, maar ze zijn niet foolproof en - vooral de laatste drie - soms moeilijk uit te voeren.

Figuur 4.5 toont een praktijkvoorbeeld van stoorgeluid, dat is gedetecteerd met bovenstaande methodieken. De "andere geluidsbron" is waarschijnlijk een toeterende auto nabij de meetpost.



Figuur 4.5: Praktijkvoorbeeld stoorgeluid

4.4 Resultaten van metingen

Hieronder zijn voorbeelden gegeven van resultaten van "geluidmetingen voor informatie" rond Schiphol met het NOMOS-meetsysteem, dat ruim 30 meetposten omvat. In al deze voorbeelden gaat het om LAmx-metingen, tenzij anders is aangegeven.

4.4.1 Beschikbare gegevens

Het NOMOS geluidmeetnet is gekoppeld aan de radar van Schiphol en aan andere vluchtinformatiesystemen. Voor elk vliegtuig dat start van of landt op Schiphol zijn beschikbaar:

- de meetpost(en) waar het geluid van het vliegtuig is gemeten;
- het verloop van het geluid in de tijd, de noise time history;
- datum en tijdstip van de meting;
- het vliegtuigtype;
- de luchtvaartmaatschappij;
- is het een start of een landing;
- de baan van waaraf is gestart respectievelijk waarop is geland;
- de vliegbaan, zowel de route op de grond als de vlieghoogte;
- de vliegsnelheid;
- de weersomstandigheden.

4.4.2 Factoren die de meting beïnvloeden

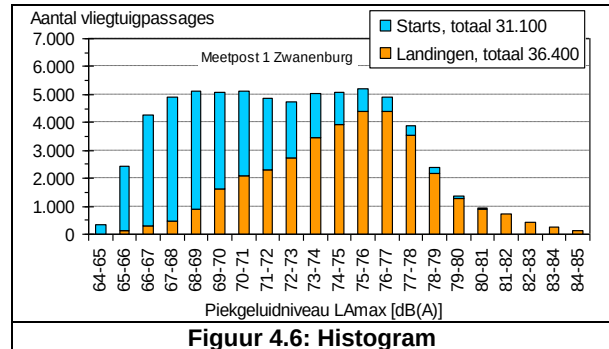
De resultaten van geluidmetingen zijn - afgezien van stoorgeluid - afhankelijk van veel factoren, waaronder:

- het vliegtuigtype;
- de stuwkracht van de motoren ('hoeveel gas geeft de piloot');
- de configuratie, dat wil zeggen zijn onderstel en vleugelkleppen uitgeslagen of ingetrokken;
- de vluchtsoort, dat wil zeggen start of landing;

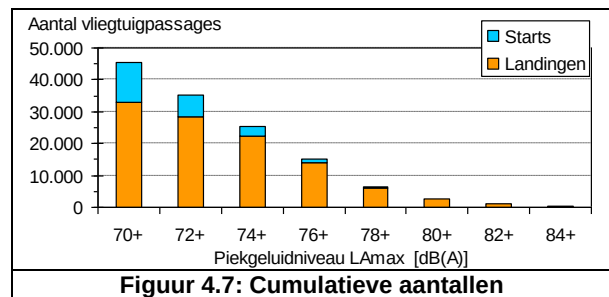
- de vliegprocedure, zie § 2.5.2 en 2.5.3;
- de afstand vliegtuig-meetpost; hoe groter de afstand, hoe lager het geluid-niveau, zie § 1.3;
- de oriëntatie van het vliegtuig ten opzichte van de meetpost;
- de weersomstandigheden, zie § 4.3.1.

4.4.3 Histogram

In figuur 4.6 is voor 67.500 metingen in Zwanenburg in een heel jaar het histogram weergegeven. Deze figuur toont voor de langs de horizontale as genoemde geluidintervallen het aantal metingen. Voorbeeld: een geluidniveau tussen 75 en 76 dB(A) L_{Amax} is gedurende dat jaar in totaal 5.190 maal gemeten, waarvan 4.380 landingen en 810 starts. Uit deze figuur blijkt dat in Zwanenburg landingen meer geluid maken dan starts. Figuur 4.7 toont dezelfde resultaten op een andere manier. Hier is aangegeven



Figuur 4.6: Histogram

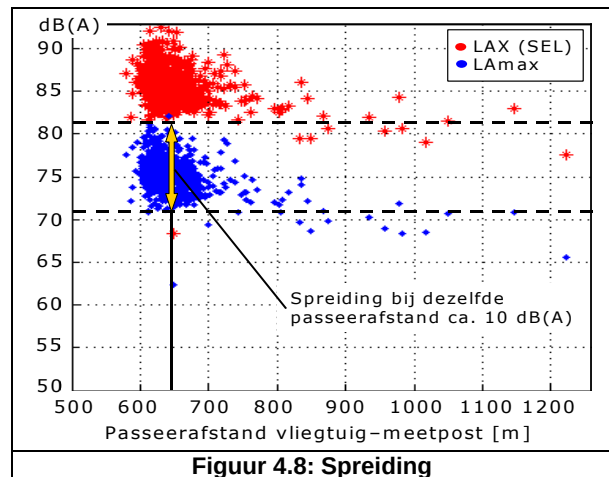


Figuur 4.7: Cumulatieve aantallen

voor hoeveel vliegtuigpassages een peikniveau van 70 dB(A) en hoger ("70+") is gemeten. Idem voor 72 dB(A) en hoger ("72+"), enzovoorts. In feite staat hier de maat N_{AX} uit § 3.6; 70+ is N_{A70}, 72+ is N_{A72}, enzovoorts.

4.4.4 Spreiding

Figuur 4.6 betreft alle vliegtuigtypen die in dat jaar voorbij vlogen. In figuur 4.8 staan de resultaten voor landingen van één vliegtuigtype, de B747-400, in één meetpost. Langs de horizontale as staat de minimum afstand tussen het vliegtuig en de meetpost tijdens de vliegtuigpassage, langs de verticale as staat het geluidniveau in dB(A). De onderste (blauwe) wolk van punten is het L_{Amax}, de bovenste (rode) wolk van punten zijn LAX (SEL) waarden.



Figuur 4.8: Spreiding

Uit deze figuur blijkt dat voor hetzelfde vliegtuigtype en dezelfde vluchtsoort (landingen), de spreiding van L_{Amax} groot is, ruim 20 dB(A). Ook bij dezelfde minimum passeerafstand van 650 m is de spreiding nog altijd ca. 10 dB(A). Waarom die spreiding optreedt is niet eenduidig vast te stellen, dat kan door alle in § 4.4.2 opgesomde genoemde factoren worden veroorzaakt.

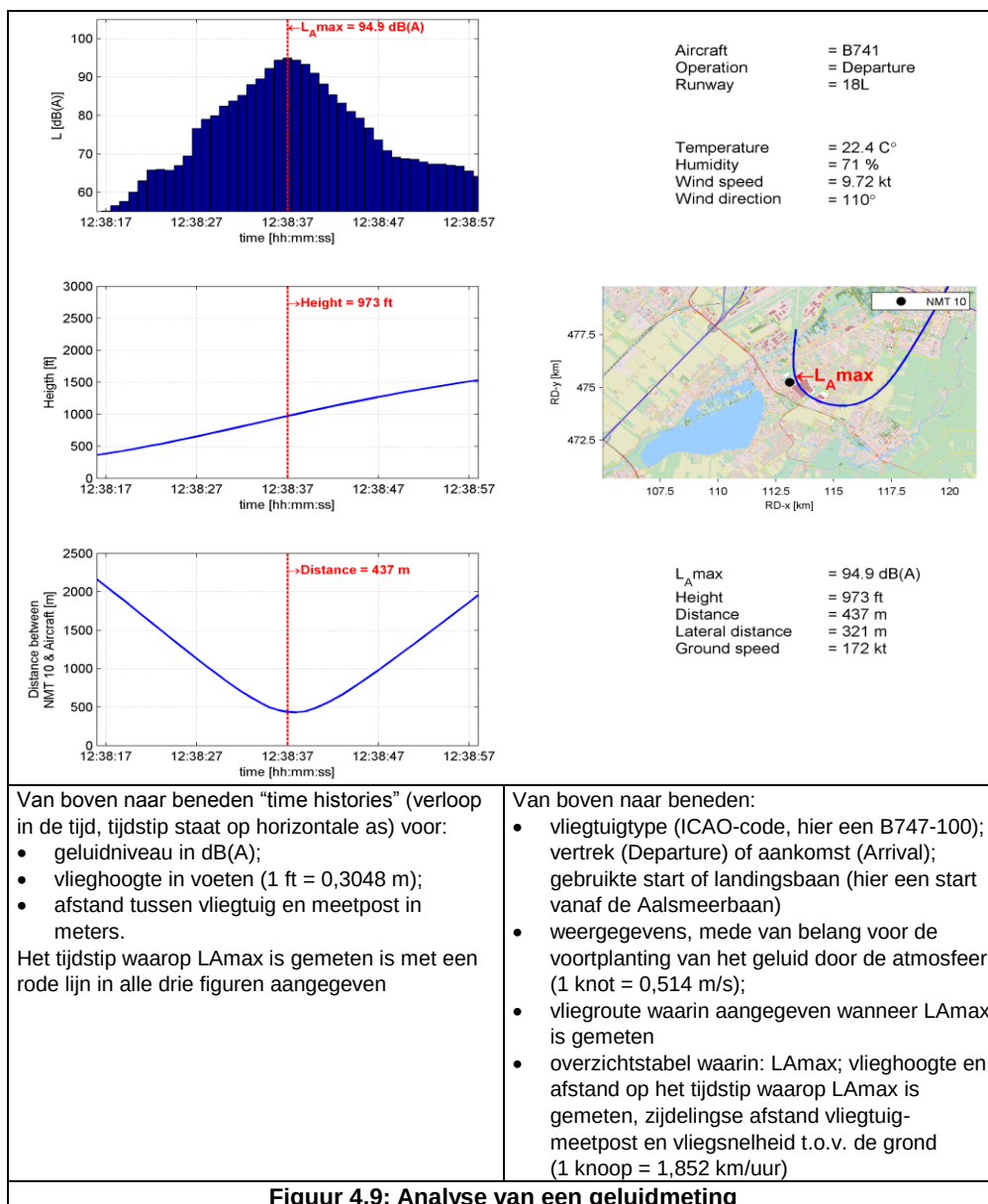
4.4.5 Analyse van een geluidmeting

Figuur 4.9 toont een voorbeeld van de analyse van een NOMOS geluidmeting.

Dit voorbeeld betreft een start vanaf de Aalsmeerbaan met een B 747 gemeten in meetpost 10 in Aalsmeer.

Al deze gegevens zijn nodig om te kunnen verklaren waarom het gemeten piekniveau - in dit voorbeeld 94,9 dB(A) - zo hoog is als is gemeten. Maar dat is niet voldoende, heel belangrijke gegevens ontbreken. De stuwkracht van de motoren en de configuratie van het vliegtuig zijn niet bekend en ook niet te bepalen. Dit zou wel te bepalen zijn als real time zou kunnen worden beschikt over de gegevens van de "flight data recorder" (één van de twee "zwarte dozen" in het vliegtuig), doch dat is in de praktijk niet uitvoerbaar.

Let wel: metingen gelden alleen voor de plek waar de meetpost staat, daarmee kunnen geen uitspraken worden gedaan over het geluid op andere plaatsen.



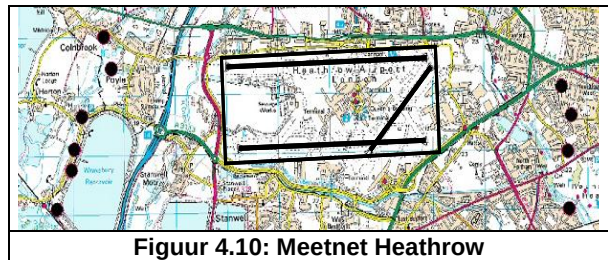
Figuur 4.9: Analyse van een geluidmeting

4.5 Meten in het buitenland

Rond veel vliegvelden wereldwijd wordt het vliegtuiggeluid gemeten. Vrijwel altijd zijn dit metingen voor informatie; de meetresultaten worden periodiek gerapporteerd, maar er gebeurt verder niet mee. Hierna twee voorbeelden van metingen die ook voor meer dan "informatie" worden gebruikt.

4.5.1 London Heathrow

Figuur 4.10 toont het meetnet rond Heathrow. Er zijn tien meetposten, die op ca. 2 km vanaf het vliegveld staan (vergelijk: Zwanenburg ligt op ca. 5 km van Schiphol).



Figuur 4.10: Meetnet Heathrow

In elke meetpost gelden grenswaarden die voor alle vliegtuigen van kracht is. Die grenswaarden zijn afgestemd op het lawaaiigste vliegtuigtype dat op dit vliegveld mag worden gebruikt. De basisgrenswaarden voor het piekgeluidniveau gelden voor alle meetposten en alleen voor starts, niet voor landingen en zijn afhankelijk van de periode van het etmaal:

- 07.00 – 23.00 uur: 94 dBA) L_{Amax}
- 23.00 – 23.30 uur en 06.00 – 07.00 uur: 89 dB(A) L_{Amax}
- 23.30 – 06.00 uur: 87 dB(A) L_{Amax}

Er staan geen meetposten ten oosten van de noordelijke baan, omdat deze baan niet naar het oosten voor starts mag worden gebruikt ('Cranford Agreement').

Als er sprake is van een staartwind, dan wordt van het gemeten geluidniveau 0,4 dB(A) L_{Amax} per knoop staartwind afgetrokken, tot een maximum van 2 dB(A) L_{Amax}.

Als de grenswaarde is overschreden, krijgt de luchtvaartmaatschappij die het vliegtuig gebruikt een heffing opgelegd. Bij een overschrijding van 0,1 - 3 dB(A), is die heffing £ 500, bij een overschrijding van meer dan 3 dB(A) is de heffing £ 1000. Per jaar worden 10 á 15 heffingen opgelegd.

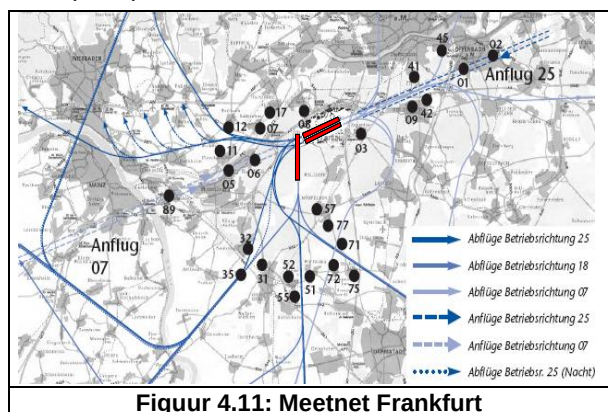
De aanpak rond Heathrow wordt ook toegepast rond veel andere vliegvelden in het Verenigd Koninkrijk.

Hierbij de volgende opmerkingen.

Metingen "dichtbij" een vliegveld - zoals rond Heathrow - zijn technisch veel makkelijker uit te voeren dan metingen "ver weg" van een vliegveld, zoals werd beoogd in het "flitspalen onderzoek" (zie § 4.1.1). Op basis van metingen "dichtbij" een vliegveld kunnen ook geen uitspraken worden gedaan over het geluidniveau "ver weg". Noch in de zin van: geluid ver weg is altijd X dB(A) lager dan dicht bij, noch in de zin van: als vliegtuig X "dichtbij" het vliegveld stiller is dan vliegtuig Y, is dat vliegtuig ook ver weg stiller dan vliegtuig Y.

4.5.2 Frankfurt

Figuur 4.11 toont het meetnet rond Frankfurt. Naast informatie wordt een klein aantal meetposten dicht bij de baan ook gebruikt om de geluid-toeslag op de havengelden te bepalen, gebaseerd op afspraken tussen de luchthaven en de luchtvaartmaatschappijen die Frankfurt gebruiken. Ook op Schiphol worden geluidtoeslagen in rekening gebracht, doch die zijn gebaseerd op de "officiële" metingen voor de geluidcertificatie, zie § 2.6. Tevens geldt op Frankfurt een systeem waarbij op basis van metingen met dit meetnet maatschappijen worden aangesproken, die met een



Figuur 4.11: Meetnet Frankfurt

bepaald vliegtuigtype stelselmatig significant meer geluid maken dan andere maatschappijen met dit vliegtuigtype, om na te gaan welke mogelijkheden er zijn het geluid te beperken.

4.6 Meten en rekenen

In § 3.3 is beschreven hoe geluidberekeningen worden uitgevoerd.

Vaak wordt de stelling ingenomen, dat meten veel zuiverder is dan rekenen, onder andere omdat berekeningen zouden kunnen worden gemanipuleerd en metingen niet.

Uit de vorige paragrafen mag worden geconcludeerd, dat het uitvoeren van goede metingen complex is, onder andere vanwege de niet beïnvloedbare externe omstandigheden. Bijvoorbeeld: zoals in § 4.3.1 is betoogd, heeft “het weer” grote invloed op de meetresultaten. Berekeningen - en de gegevens die daarvoor worden gebruikt - gelden voor gestandaardiseerde atmosferische omstandigheden volgens de Internationale Standaard Atmosfeer (ISA) op zeeniveau. Voorwaarde voor verantwoord rekenen is wel, dat een eenduidig rekenmodel en eenduidige gegevens worden gebruikt, zie § 3.3.1

Voorts is van belang, dat metingen alleen gelden in de meetpost. Daarmee kunnen geen uitspraken worden gedaan over het geluid op een andere plaats, rekenen geldt overal. Daarom kunnen geluidbelastingscontouren (zie § 3.4) niet alleen met metingen worden bepaald.

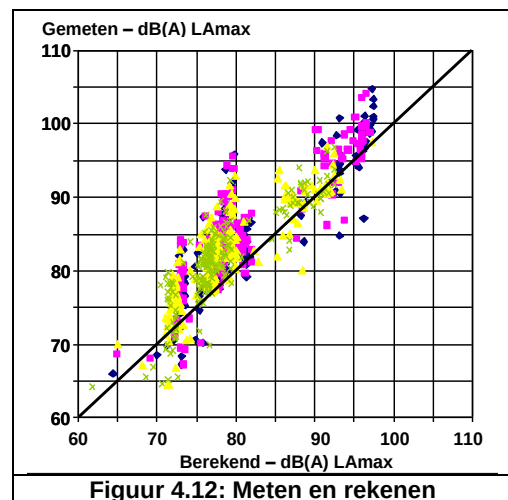
Er zijn verschillen tussen de resultaten van meten en rekenen.

De Commissie Deskundigen Vliegtuiggeluid (CDV, Commissie Eversdijk) heeft onderzoek gedaan naar de verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus (rapport “Luid maar duidelijk”, CDV, 2006).

In figuur 4.12 staan voorbeelden. Dit zijn metingen op diverse locaties rond Schiphol aan diverse vliegtuigtypen. Daaruit blijkt dat deze metingen soms lager (onder de diagonale lijn in figuur 4.12) en veelal hoger (boven die lijn) uitvallen dan berekeningen.

De CDV concludeert dat:

- met een rekenmodel berekend geluid en gemeten geluid nooit zomaar met elkaar mogen worden vergeleken en dat er altijd verschillen tussen gemeten en berekende geluidniveaus zullen zijn;
- die verschillen zowel door rekenen als meten worden veroorzaakt; voor rekenen door onvermijdelijke schematiseringen in het rekenmodel, die altijd noodzakelijk zijn omdat de werkelijkheid erg complex is; voor meten door meeton nauwkeurigheden en de meetcondities, zoals de opstelling van de meetpost en het weer;
- geen uitspraak kan worden gedaan over de vraag of meten beter of slechter is dan rekenen.



Om goed te kunnen verklaren waarom een meting afwijkt van een berekening of van een andere meting, is een zeer gedetailleerde analyse van de meting noodzakelijk, waarbij alle aspecten aan de orde zijn die in de vorige paragrafen zijn genoemd.

BIJLAGEN

Bijlage 1: Details LAX

Bepaling LAX

Doorgaans wordt LAX bepaald door 'stapsgewijze integratie' van de hele noise time history in figuur 2.2.

Zoals al is opgemerkt in § 2.3.2, is LAX formeel gedefinieerd als het constante geluidniveau gedurende 1 seconde, dat dezelfde 'akoestische energie' levert als de hele vliegtuig-passage, zie figuur B1.1.

LAX kan worden benaderd door $L_{Amax} + \text{duration correction}$ ("hoorbaarheidsduurcorrectie"), zoals beschreven in ISO 3891 "Procedure for describing aircraft noise heard on the ground". De duration correction wordt berekend volgens de formule $D = 10 \log [0,5 (t_2 - t_1)]$. Daarin is $t_2 - t_1$ de "10 dB(A) down-tijd"; t_1 is het eerste tijdstip dat het geluidniveau in de time history 10 dB(A) lager is dan L_{Amax} , t_2 het laatste tijdstip dat het geluidniveau in de time history 10 dB(A) lager is dan L_{Amax} . In het voorbeeld in figuur 2.2 is de "10 dB(A) down-tijd" 39 seconden.

In figuur B1.2 is de "duration correction" volgens bovenstaande formule uitgezet tegen de 10 dB(A) down tijd. Bij een 10 dB(A) down-tijd van 39 seconden is de duration correction 12,9 dB(A). Derhalve $LAX = L_{Amax} + D = 77,1 + 12,9 = 90 \text{ dB(A)}$.

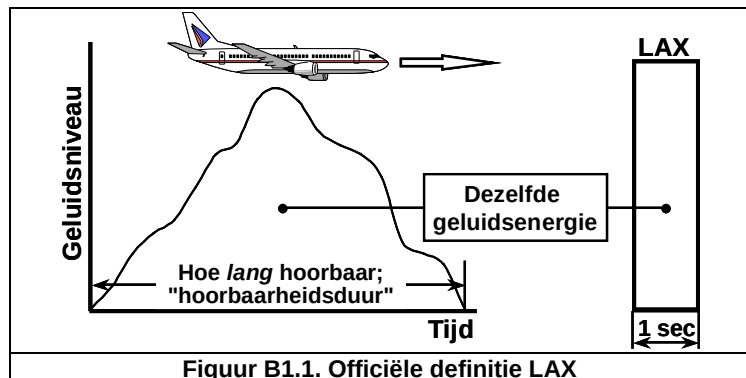
L_{Amax} en LAX vergeleken

Als twee vliegtuigen dezelfde waarde voor L_{Amax} veroorzaken, maar het voor het eerste vliegtuig langer duurt voordat dat piekniveau wordt bereikt en voordat het geluid daarna weer is uitgestorven dan voor het tweede vliegtuig, is de waarde van LAX voor het eerste vliegtuig hoger dan voor het tweede.

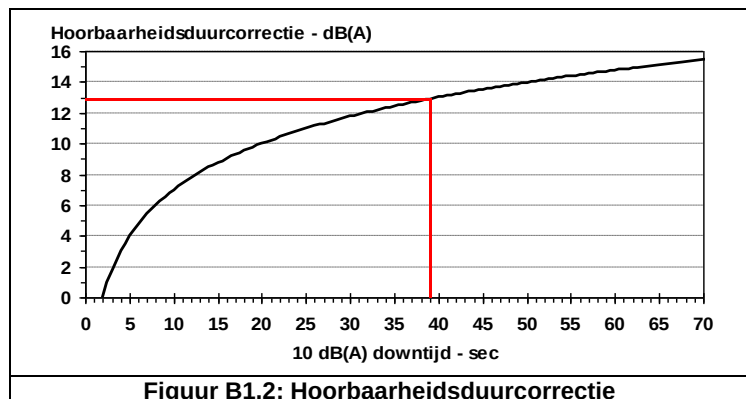
Figuur B1.3 toont de (geschematiseerde) time histories voor twee vliegtuigen, een 'lawaaig' en een 'stil' vliegtuig.

Een vliegtuig dat veel geluid produceert kan, wanneer het op grote afstand voorbij vliegt, dezelfde L_{Amax} veroorzaken als een stiller vliegtuig op kleinere afstand.

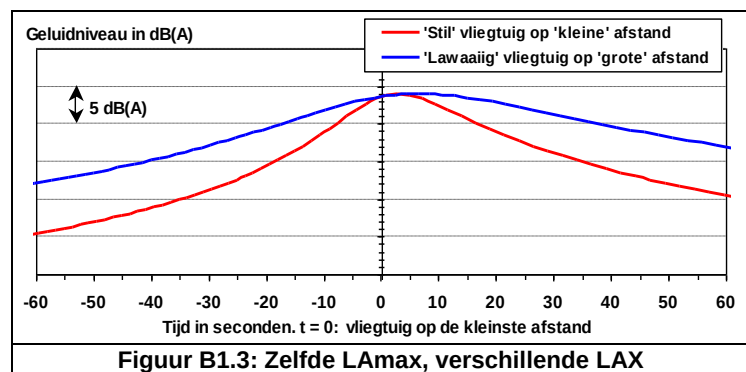
Maar het LAX is voor het 'lawaaige vliegtuig' hoger (in dit voorbeeld 3 dB(A) hoger), omdat het langer



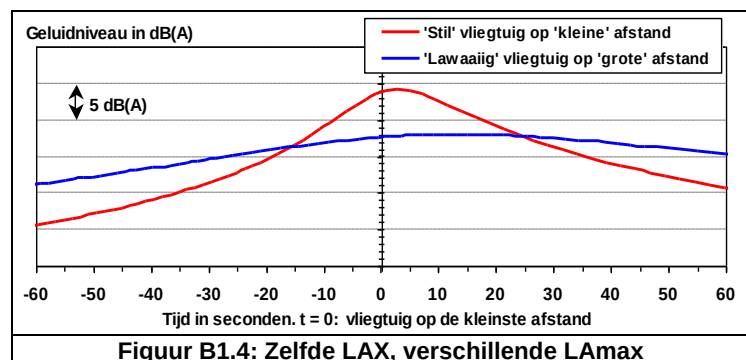
Figuur B1.1. Officiële definitie LAX



Figuur B1.2: Hoorbaarheidsduurcorrectie



Figuur B1.3: Zelfde L_{Amax} , verschillende LAX



Figuur B1.4: Zelfde LAX, verschillende L_{Amax}

hoorbaar is. Het is langer hoorbaar omdat het op grotere afstand voorbij vliegt; in het algemeen neemt de hoorbaarheidsduur toe naarmate het vliegtuig op grotere afstand voorbij vliegt.

In figuur B1.4 is LAX voor beide vliegtuigen hetzelfde. L_{Amax} voor het 'stille vliegtuig op kleine afstand' is 7 dB(A) hoger dan voor het 'lawaaige vliegtuig op grote afstand'.

In § 1.3 is beschreven dat het geluidniveau afneemt met 6 dB(A) als de afstand vliegtuig – waarnemer verdubbelt (afgezien van atmosferische demping). Dit geldt voor L_{Amax}. Voor LAX is die afname 3 dB(A), omdat als de afstand groter wordt ook de hoorbaarheidsduur toeneemt.

Bijlage 2: Formules

B2.1 Geluidbelasting Lden en Lnight (§ 3.2.1 en verder)

Lden - day-evening-night level

Lden = 10 log (Σ N x 10^{LAX/10}) – 74,99, uitgedrukt in dB(A), waarin:

LAX = geluidexpositieniveau: het tijdsgeïntegreerde geluidniveau voor een referentieperiode van 1 seconde ten gevolge van één vliegtuigpassage, uitgedrukt in dB(A).

N = etmaalweegfactor afhankelijk van de periode van het etmaal waarin de vliegtuigpassage plaatsvindt.

Overdag tussen 07 en 19 uur is de weegfactor 1, voor vluchten in de avond tussen 19 en 23 uur is de waarde 3,16 en in de nachtperiode tussen 23 en 07 uur is de waarde 10.

Σ = somming van de bijdragen van alle vliegtuigen die in één jaar gedurende het gehele etmaal starten van of landen op het vliegveld.

74,99 = 10 log (aantal seconden in een heel jaar gedurende het gehele etmaal)

Lnight - night level

Lnight = 10 log (Σ 10^{LAX/10}) – 70,22, uitgedrukt in dB(A), waarin:

LAX = geluidexpositieniveau: het tijdsgeïntegreerde geluidniveau voor een referentieperiode van 1 seconde ten gevolge van één vliegtuigpassage, uitgedrukt in dB(A).

Σ = somming van de bijdragen van alle vliegtuigen die in één jaar gedurende de periode 23-07 uur starten van of landen op het vliegveld.

70,22 = 10 log (aantal seconden in een heel jaar gedurende de acht-uurs periode 23-07 uur)

De etmaalweegfactoren in Lden brengen in beeld dat hetzelfde geluid in de avond of nacht als hinderlijker wordt ervaren dan overdag. In Lnight zitten geen etmaalweegfactoren, omdat die maat sowieso alleen de nacht betreft. Deze formules zijn vastgesteld door de EU.

B2.2 Dosis-effectrelaties Lden en Lnight (figuren 3.3 en 3.4)

Lden: % van de bevolking dat ernstige hinder door vliegtuiggeluid ondervindt =

$$100 \times \frac{e^{-8,1101+0,1333 \cdot L_{den}}}{1+e^{-8,1101+0,1333 \cdot L_{den}}}$$

Geldigheidsgebied: 39 - 65 dB(A) Lden

Lnight: % van de bevolking dat ernstige slaapverstoring door vliegtuiggeluid ondervindt =

$$100 \times \frac{e^{-6,642+0,1046 \cdot L_{night}}}{1+e^{-6,642+0,1046 \cdot L_{night}}}$$

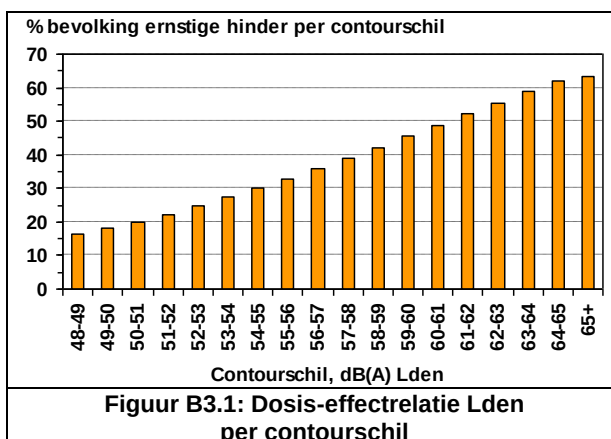
Geldigheidsgebied: 29 - 57 dB(A) Lnight

Bron: "Het milieu rond Schiphol, 1990-2010. Feiten en cijfers", MNP 2005 (Lden p 172; Lnight p 183), op basis van onderzoek in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES).

Bijlage 3: Bepaling aantal mensen dat ernstige geluidhinder ondervindt

Rond Schiphol wordt het aantal mensen dat ernstige hinder door vliegtuiggeluid ondervindt als volgt berekend.

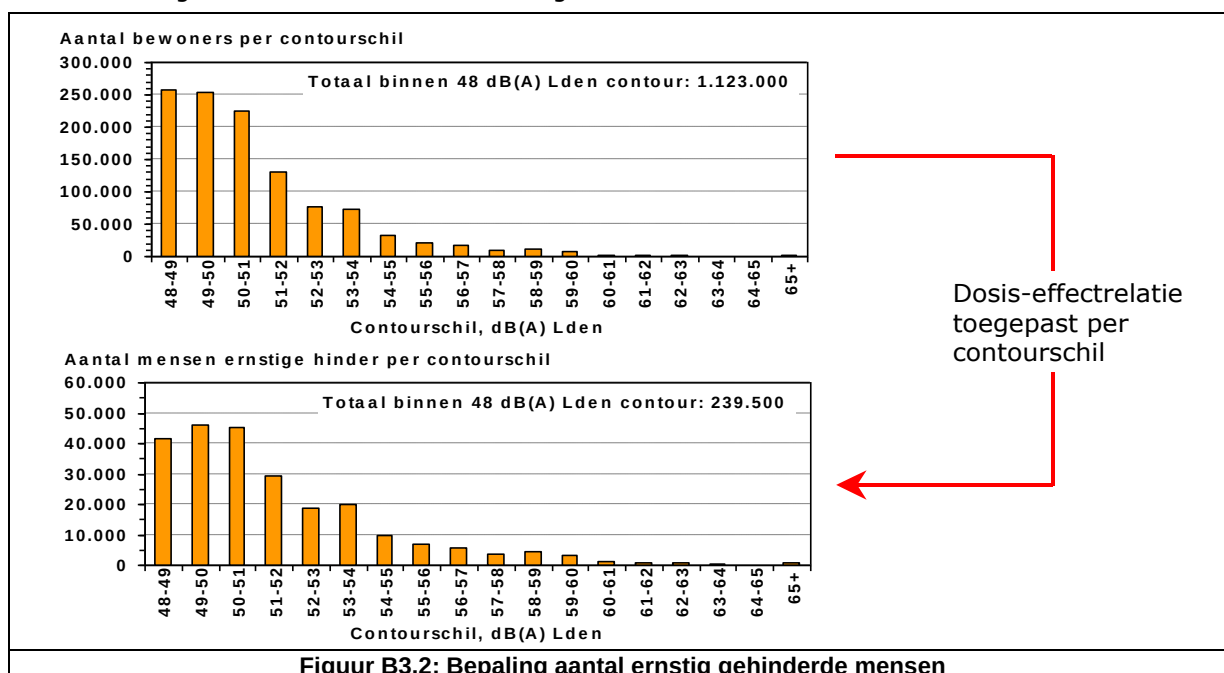
Het is voor Schiphol gebruikelijk het aantal ernstig gehinderden binnen de 48 dB(A) Lden contour te bepalen. Die 48 dB(A) Lden contour is niet de scheidslijn tussen "wel" en "geen" hinder, ook buiten die contour, bij lagere waarden voor Lden, treedt nog hinder op, maar het percentage ernstig gehinderden is lager dan het percentage bij 48 dB(A) Lden, dus lager dan 15%, zie figuur B3.1 (dezelfde figuur als figuur 3.3, maar anders weergegeven).



Het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt wordt als volgt bepaald.

- Bereken Lden contouren vanaf 48 dB(A) Lden in stappen van 1 dB(A) Lden, dus 48, 49, 50 enz. dB(A) Lden.
- Bepaal voor elke 1 dB(A) brede "contourschild" het aantal woningen en het aantal bewoners. Dus het aantal binnen de 48 - 49 dB(A) Lden contourschild, binnen de 49 - 50 dB(A) Lden contourschild, binnen de 50 - 51 dB(A) Lden contourschild, enzovoorts.
- Voor alle bewoners in die schil wordt het percentage ernstig gehinderden volgens de dosis-effectrelatie gebruikt, dat hoort bij het gemiddelde van de hoogste en laagste geluidbelasting in de betreffende schil. Voorbeeld: in de hele 50 - 51 dB(A) Lden contourschild geldt het percentage ernstig gehinderden dat hoort bij 50,5 dB(A) Lden, ofwel 20%, zie figuur B3.1.
- Per contourschild wordt het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt bepaald. Dit is het aantal bewoners in die contourschild vermenigvuldigd met het voor die contourschild geldende percentage ernstig gehinderde mensen. Voorbeeld: stel in de 50 - 51 dB(A) contourschild wonen 225.000 mensen, het aantal ernstig gehinderde mensen in deze contourschild is dan 20% van 225.000 = 45.000.
- Tenslotte worden de aantallen ernstig gehinderden van alle contourschilden bij elkaar opgeteld om het totale aantal binnen de 48 dB(A) Lden contour te bepalen.

Dit is verder geïllustreerd in onderstaande figuur.



In de bovenste helft staat het aantal bewoners per contourschild vanaf 48 dB(A) Lden. Het totaal voor alle contourschilden is ruim 1,1 miljoen. Met de dosis-effectrelatie is vervolgens per contourschild het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt berekend, dit staat in de onderste helft van de figuur (dus: "bovenste helft figuur B3.2 maal figuur B3.1"). Het totaal van alle contourschilden is 239.500.

Uit figuur B3.2 blijkt, dat het aantal bewoners in een schild met een lage Lden-waarde (bijvoorbeeld de 48-49 dB(A) Lden contourschild) veel hoger is dan voor een hoge Lden-waarde (bijvoorbeeld de 58-59 dB(A) Lden contourschild). Dat komt onder andere doordat de 48-49 dB(A) Lden contourschild een veel groter gebied beslaat dan de 58-59 dB(A) Lden contourschild.

Voor 65 dB(A) Lden en hoger wordt het percentage dat hoort bij 65 dB(A) Lden gebruikt.

Er wordt geen rekening gehouden met geluidsisolatie.

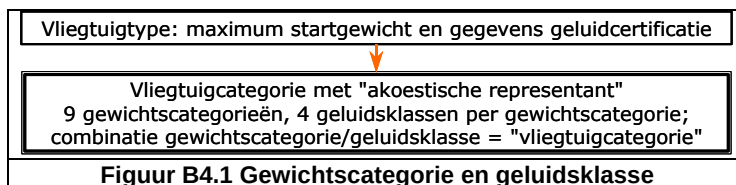
Deze aanpak brengt niet in beeld waar de mensen die ernstige hinder ondervinden precies wonen. Het gaat alleen om het totaal per contourschild ongeacht waar die contouren liggen en daaruit berekend het totaal van alle contourschilden samen.

Dezelfde werkwijze wordt toegepast voor Lnight voor de bepaling van het aantal mensen dat ernstige slaapverstoring ondervindt, waarbij de dosis-effectrelatie voor Lnight wordt gebruikt, zie figuur 3.4. Hierbij wordt gebruik gemaakt van contouren vanaf 40 dB(A) Lnight. Voor 57 dB(A) Lnight en hoger wordt het percentage dat hoort bij 57 dB(A) Lnight gebruikt.

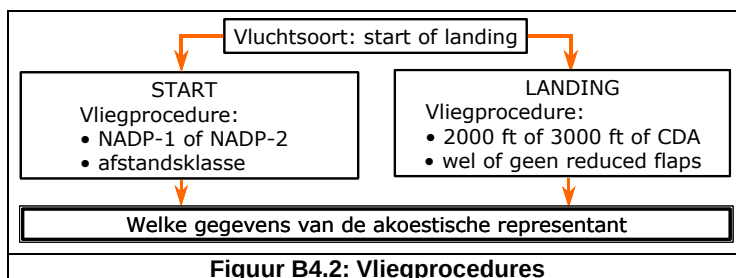
Bijlage 4: Indeling van vliegtuigen in categorieën

In § 3.3.2 is beschreven hoe “de appendices met prestatie en geluidgegevens” zijn opgebouwd. Deze bijlage beschrijft hoe de luchtvloot op Schiphol wordt verwerkt in de berekening van de geluidbelasting, zoals vastgelegd in de genoemde appendices.

De vliegtuigen worden op basis van hun maximum startgewicht en geluidproductie ingedeeld in “vliegtuigcategorieën”, voor elke categorie geldt een “akoestische representant”, zie figuur B4.1. De prestatie- en geluidgegevens van die akoestische representant worden in de berekeningen gebruikt. In tabel B4.1 staat de indeling, daaronder is een toelichting gegeven. Deze methodiek wordt aangeduid als de “verbeterde vlootclassificatie” (VVC)



Figuur B4.1 Gewichtscategorie en geluidsklasse



Figuur B4.2: Vliegprocedures

Figuur B4.2 toont hoe wordt bepaald welke gegevens van de akoestische representant moeten worden gebruikt, zoals beschreven in § 3.3.2.

Tabel B4.1: Indeling en akoestische representanten VVC				
Gewichtscategorie (MTOW - ton)	Geluidsklasse			
	1	2	3	4
1. 6 tot 15 ton appendix nr.	BAe-Jetstream 072	BAe-Jetstream 072	BAe-Jetstream 072	BAe-Jetstream 072
2. 15 tot 40 ton appendix nr.	F-28 060	F-27 079	F-100 082	F-70 088
3. 40 tot 60 ton appendix nr.	B 737-200 067	DC 9-30 - 3 dB 066 - 3 dB	B 737-300 HWFAP 469	BAe 146-200 074
4. 60 tot 100 ton appendix nr.	B 727-200 045	B 737-300 069	B 737-300 HWFAP 469	MD-90 086
5. 100 tot 160 ton appendix nr.	DC 8-63 026	A 310-203 + 3 dB 081 + 3 dB	A 310-203 081	B 757-200 087
6. 160 tot 230 ton appendix nr.	DC 8-63 026	B 767-300 ER + 3 dB 083 + 3 dB	B 767-300 ER 083	B 767-300 ER - 3 dB *) 083 - 3 dB
7. 230 tot 300 ton appendix nr.	DC 10-30 + 3 dB 055 + 3 dB	DC 10-30 055	DC 10-30 - 3 dB 055 - 3 dB	B 777-200 084
8. 300 tot 400 ton appendix nr.	B 747-200B 035	B 747-300 036	B 747-400 039	B 777-300 ER 085
9. 400 ton en hoger appendix nr.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	B 777-300 ER - 1 dB *) 085 -1 dB

A = Airbus; B = Boeing; BAe = British Aerospace; DC = Douglas; F = Fokker; MD = Mc Donnell Douglas.
 "Appendix nr." verwijst naar een bepaalde appendix bij het berekeningsvoorschrift, waar de gegevens zijn vastgelegd.
 *) Categorie 6/4 en categorie 9/4 zijn tijdelijke indelingen voor respectievelijk de Boeing 787 "Dreamliner" en de Airbus A380 "Super Jumbo"..

Basis voor de gegevens

De regels voor de vlootindeling zijn gebaseerd op de geluidcertificatie volgens ICAO-Annex 16 Volume I, zie § 2.6.

Gewichtscategorie

Er zijn negen gewichtscategorieën, gekenmerkt door een onder- en bovengrens voor het maximum toegelaten startgewicht (Maximum Take Off Weight). In het algemeen maken grotere vliegtuigen meer lawaai dan kleine. Het MTOW is een voor elk vliegtuigtype formeel vastgelegde waarde; zwaarder dan die waarde mag het vliegtuig – inclusief brandstof, passagiers, vracht, enz. - niet zijn.

Geluidsklasse

Elke gewichtscategorie is onderverdeeld in vier geluidsklassen, geluidsklasse 1 zijn de lawaaiigste

vliegtuigen, geluidsklasse 4 de stilste.

- Geluidsklasse 1 zijn "hoofdstuk 2" vliegtuigen (hogere maximaal toegestane waarden dan voor hoofdstuk 3). Deze mogen na 2002 in Europa niet meer worden gebruikt en zijn voor berekeningen niet meer relevant, doch volledigheidshalve nog wel in de tabel opgenomen.
- Geluidsklasse 2 tot en met 4 zijn allemaal "hoofdstuk 3" vliegtuigen. De indeling in deze geluidsklassen geschiedt op basis van een vergelijking van de gemeten geluidsniveaus tijdens de geluidcertificatie met de maximaal toegestane waarden volgens hoofdstuk 3 van Annex 16.
- Voor de indeling in geluidsklassen wordt gebruikt gemaakt van de som van de gemeten geluidsniveaus op de drie meetpunten voor geluidcertificatie, zie ook figuur 2.14 in § 2.6.4. Voor geluidsklasse 2 is de som van de gemeten waarden van 0 tot 9 dB lager dan de som van de maximaal toegestane waarden van "hoofdstuk 3", voor geluidsklasse 3 van 9 tot 18 dB lager en voor geluidsklasse 4 meer dan 18 dB lager.

Indeling vliegtuigtypen in vliegtuigcategorieën

Een bepaald vliegtuigtype wordt op basis van het maximum startgewicht voor dát type en de geluidcertificatieniveaus van dát type volgens de bovenstaande regels ingedeeld.

Voorbeeld: de tweemotorige Boeing 737-800 heeft een MTOW van 79 ton. De som van de ICAO hoofdstuk 3 limieten voor dit type is 290 EPNdB. De som van de gemeten geluidcertificatieniveaus is 279 EPNdB, dus 11 EPNdB lager dan de som van de limieten. Dit vliegtuig is ingedeeld in gewichtscategorie 4 (60-100 ton) en geluidsklasse 3 (9-18 dB lager dan de som van de limieten), kortheidshalve wordt dit aangeduid als "VVC vliegtuigcategorie 4/3".

VVC 4/3. 9-18 dB lager dan limieten Hoofdstuk 3. Akoestische representant B 737-300 HWFAP (469)

ICAO-code	Type	ICAO-code	Type
A306	Airbus A300B4-600/C4-600/F4-600	B738	Boeing 737-800
A319	Airbus A319	B739	Boeing 737-900
A320	Airbus A320	MD81	McDonnell Douglas MD-81
A321	Airbus A321	MD82	McDonnell Douglas MD-82
B734	Boeing 737-400 (zie noot)	MD87	McDonnell Douglas MD-87
B736	Boeing 737-600	MD88	McDonnell Douglas MD-88
B737	Boeing 737-700	NOOT: B734 maatschappijen KLM/ KLC/TRA/MPH/AHR	

d. Akoestische representant

Hierboven staat als voorbeeld de vliegtuigtypen die zijn ingedeeld in VVC 4/3. Alle dertien genoemde vliegtuigtypen worden in de berekening doorgerekend met de gegevens voor de "akoestische representant" voor VVC 4/3.

Voor elke vliegtuigcategorie is de "akoestische representant" bepaald, het vliegtuigtype dat in tabel B4.1 is genoemd. Voorbeeld: voor "vliegtuigcategorie 4/3" is de akoestische representant de Boeing 737-300. De gegevens van die akoestische representant worden in de geluidsberekeningen gebruikt, dit vliegtuigtype representeert alle vliegtuigtypen die tot een bepaalde vliegtuigcategorie horen. Niet alle akoestische representanten passen goed in de genoemde geluidsklassen. Waar nodig, is dit gecorrigeerd door van de geluidsniveaus van de akoestische representant een aantal dB(A) af te trekken (in de tabel aangegeven door een "-" teken) of er bij op te tellen ("+" teken).

Deze aanpak betekent, dat vliegtuigtypen niet met "hun eigen" gegevens worden doorgerekend maar met de gegevens van de akoestische representant van de vliegtuigcategorie waartoe het vliegtuig behoort.

De geluidgegevens in de appendices zijn gebaseerd op de meetgegevens in het kader van de officiële ICAO-geluidcertificatie.

Bijlage 5: Banenstelsel en baangebruik Schiphol

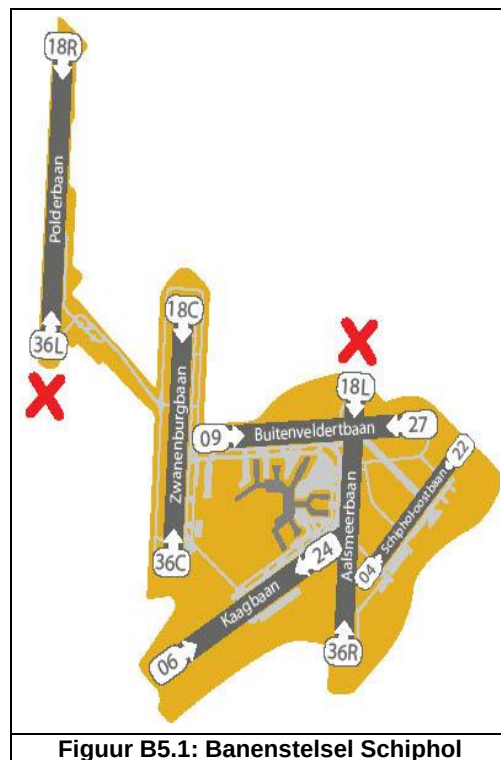
B5.1 Banenstelsel

In figuur B5.1 is het banenstelsel van Schiphol met de op 20 februari 2003 in gebruik genomen Polderbaan weer-gegeven: de populaire namen ("Polderbaan", "Aalsmeerbaan", enz) en de officiële luchtvaarttechnische namen.

De luchtvaarttechnische naam is een getal dat de kompasrichting van de baan aangeeft, afgerond op tientallen graden. Bijvoorbeeld: "baan 27" heeft een richting van (ongeveer) 270°, derhalve naar het westen (90° = oost, 180° = zuid, 270° = west; 360° = noord). Dit nummer is aan het begin van elke baan op de baan geschilderd.

Elke baan heeft twee gebruiksrichtingen. Zo kan de Buitenveldertbaan naar het oosten en naar het westen worden gebruikt, richting 09 respectievelijk richting 27. Deze baan heet daarom "baan 09-27".

Wanneer meerdere banen in dezelfde richting liggen, dus parallelle banen zijn, wordt onderscheid gemaakt door de toevoeging "R" ("right", rechts), "C" ("centre", midden) of "L" ("left", links). De Zwanenburgbaan is "baan 18C-36C", de Aalsmeerbaan in dezelfde richting is "baan 18L-36R". De banen zijn 3300 á 3800 m lang, de Schiphol Oostbaan 2000 m.

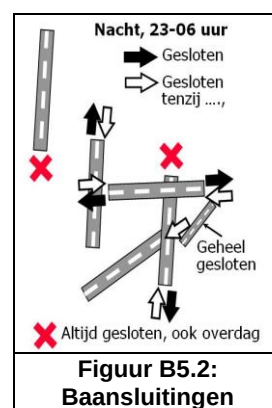


Figuur B5.1: Banenstelsel Schiphol

Bij een "start vanaf baan 36C" taxiëet het vliegtuig naar de zuidkant van de Zwanenburgbaan en start naar het noorden. Bij een "landing op baan 18C" komt het vliegtuig vanuit het noorden over Zwanenburg naar de baan toe en landt op het begin van de Zwanenburgbaan.

De kruisen in deze figuur geven aan welke gebieden niet mogen worden overvlogen. Dus gesloten zijn de Polderbaan voor landingen vanuit en voor starts naar het zuiden, en de Aalsmeerbaan voor landingen vanuit en starts naar het noorden. Daardoor wordt voorkomen dat op lage hoogte over Hoofddorp (ten zuiden van de Polderbaan) en Badhoevedorp (ten noorden van de Aalsmeerbaan) wordt gevlogen.

In de nacht zijn meer baanrichtingen vanwege geluidhinder gesloten, zie figuur B5.2. Dat moet, omdat vliegtuigen 's nachts meer overlast veroorzaken dan overdag. Dat kan, omdat er 's nachts aanmerkelijk minder wordt gevlogen dan overdag. Voor deze baansluitingen gelden uitzonderingen. "Gesloten tenzij ..." betekent dat "van deze beperkingen kan afgeweken worden bij landingen op de Zwanenburgbaan, de Aalsmeerbaan, de Buitenveldertbaan of de Kaagbaan, als geen van de andere banen beschikbaar of bruikbaar is". Daardoor is het altijd mogelijk op Schiphol te landen. Voor starts geldt dit niet; als niet gesloten banen niet voor starts kunnen worden gebruikt, zijn geen starts mogelijk. Van al deze beperkingen kan ook worden afgeweken "voor zover dit noodzakelijk is in verband met reddingsacties of hulpverlening".



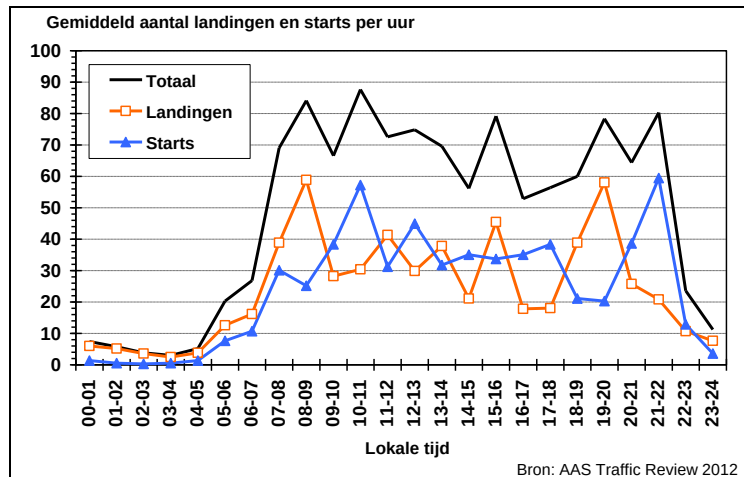
Figuur B5.2: Baansluitingen

B5.2 Hoeveel banen in gebruik

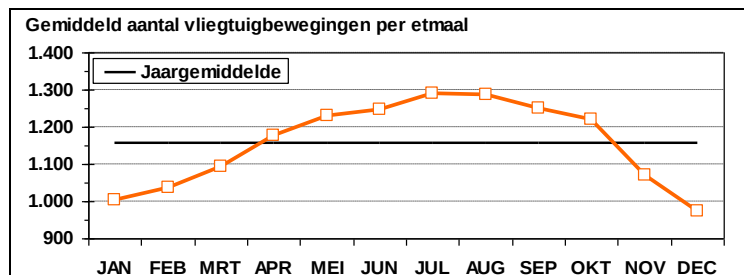
Op Schiphol wordt altijd – afgezien van calamiteiten – tenminste één baan voor landingen en één baan voor starts gebruikt, het zogenoemde "1+1 baangebruik". Onder ideale omstandigheden, kan een baan ca. 36 landingen of ca. 38 starts per uur verwerken. Als het aantal uit te voeren landingen of starts hoger is dan deze aantallen of het weer dit noodzakelijk maakt, moet een tweede landingsbaan of een tweede startbaan worden "bijgezet". Twee landingsbanen plus één

startbaan heet "2 + 1 baangebruik", één baan voor landingen en twee banen voor starts heet "1 + 2 baangebruik". Soms moeten zowel twee landingsbanen als twee startbanen worden gebruikt, het "2 + 2 baangebruik".

Het gebruik van Schiphol kenmerkt zich door een afwisseling van "veel" landingen met "weinig" starts en "weinig" landingen met "veel" starts. Dit heet "landingspiek" respectievelijk "startpiek". Het 2 + 2 baangebruik heet "dubbelpiek". Figuur B5.3 toont een voorbeeld van landings- en startpieken. Deze figuur geeft weer hoeveel landingen en starts per uur worden uitgevoerd, gemiddeld over een heel jaar. In de zomer is het (veel) drukker dan in de winter, zie figuur B5.4; in de zomer zijn de pieken dan ook hoger dan figuur B5.3 aangeeft, in de winter lager.

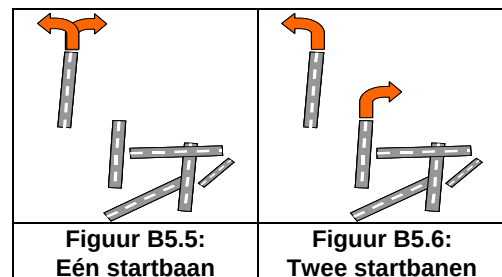


Figuur B5.3: Landings- en startpieken



Figuur B5.4: Verdeling van het vliegverkeer over het jaar

Als tegelijkertijd twee banen voor landingen of voor starts worden gebruikt, hangt het van de herkomst of bestemming van het vliegtuig af welke van die twee banen wordt gebruikt. Figuur B5.5 geeft de situatie weer dat alleen de Polderbaan voor starts wordt gebruikt. Dan maakt de bestemming niets uit, want er is maar één startbaan. In figuur B5.6 worden zowel de Polderbaan als de Zwanenburgbaan voor starts gebruikt. Dan maakt de bestemming wel wat uit. De Polderbaan wordt gebruikt voor vliegtuigen met een westelijke bestemming, de Zwanenburgbaan voor vliegtuigen met een oostelijke bestemming. Zo wordt de onveilige situatie voorkomen dat vliegtuigen elkaar in de lucht kruisen. In bijlage 6 staat hierover meer informatie.



B5.3 Geluidpreferentieel baangebruik

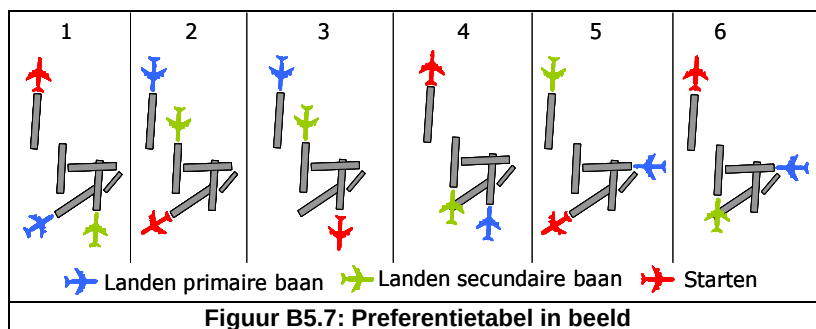
Elk vliegtuig dat op Schiphol landt of er van start, vliegt onvermijdelijk over woonbebouwing, ongeacht welke baan wordt gebruikt. Maar er zijn twee banen waar, in vergelijking met de andere banen, dichte woonbebouwing op grotere afstand van de baan ligt, te weten de Polderbaan voor starts naar en landingen vanuit het noorden en de Kaagbaan voor starts naar en landingen vanuit

Tabel B5.1: Voorbeeld preferentietabel landingspiek							
Periode	Index	Baancombinatie			Restricties		
		Landingen		Starts S1	Minimum zicht (m)	Minimum wolkenbasis (ft)	Overig
		L1	L2				
Landingspiek (2+1)	1	06	36R	36L	5000	1000	UDP
	2	18R	18C	24	200 *)		
	3	18R	18C	18L	550 *)	200	
	4	36R	36C	36L	350 *)		
	5	27	18R	24	5000	1000	UDP
	6	27	36C	36L	5000	1000	
Toelichting L1, L2: primaire respectievelijk secundaire landingsbaan. S1: Primaire (en in dit voorbeeld enige) startbaan *) RVR = runway visual range = zicht langs de baan. UDP = alleen gebruiken binnen uniforme daglicht periode: tussen een kwartier voor zonopkomst en een kwartier na zonsondergang							

bron: AAS OP2011

het zuidwesten. Uit geluidoogpunt zijn dit de banen die bij voorkeur worden gebruikt, het zijn "geluidpreferente banen".

In het Nieuwe Normen en Handhavingstelsel Schiphol (product van de Alderstafel) zijn regels geformuleerd over geluidpreferentieel baan-gebruik. Die geven aan in welke volgorde bepaalde combinaties van banen voor landingen en starts moeten worden ingezet.



Figuur B5.7: Preferentietabel in beeld

In tabel B5.1 staat een voorbeeld van een preferentietabel voor een landingspiek (dus "2+1 baangebruik"), waarbij twee landingsbanen en één startbaan tegelijkertijd in gebruik zijn. In figuur B5.7 staat deze tabel in beeld.

De werkwijze is als volgt: gebruik bij voorkeur de eerste preferentie, als dat niet kan dan de tweede preferentie, als dat ook niet kan, dan de derde preferentie, enzovoorts.

Dergelijke tabellen worden ook gemaakt voor een startpiek (1+2), dubbelpiek (2+2), off-piek (1+1) en voor de nacht (1+1). Voor de nacht 23-06 uur gelden de regels ten aanzien van gesloten banen in figuur B5.2.

Welke preferentie daadwerkelijk kan worden gebruikt, is afhankelijk van veel factoren, waarbij windrichting, windsterkte, zicht en wolkenbasis een belangrijke rol spelen. Op het effect van de wind is hieronder afzonderlijk ingegaan, de andere genoemde factoren staan in tabel B5.1 onder "restricties". Zoals uit de tabel blijkt, zijn deze restricties afhankelijk van de baancombinatie.

B5.4 Wind

Uit veiligheidsoverwegingen starten en landen vliegtuigen bij voorkeur tegen de wind in ("neuswind"). In de beginjaren van de luchtvaart was dit altijd mogelijk; vliegvelden waren grasvlakten zonder vaste banen en men kon de richting waarin werd gestart of geland vrij kiezen. Sinds vaste banen gemeengoed zijn, moet worden gekozen. Niet "altijd" maar "zoveel mogelijk" tegen de wind in. Tot op zekere hoogte is dwarswind (wind van opzij), en zelfs staartwind (wind van achteren, ook wel rugwind genoemd) toelaatbaar.

Als de wind schuin van voren komt is er sprake van een neuswindcomponent (altijd goed) en een dwarswindcomponent, zie figuur B5.8. Komt de wind schuin van achteren, dan is er sprake van een dwars- en staartwindcomponent. In tabel B5.2 staan de maximale windsterkten voor dwars- en staartwind, opgesteld door de commissie Rinooy Kan in 2000. Deze waarden gelden op de baan, tevens is rekening gehouden met windvlagen ("gust").

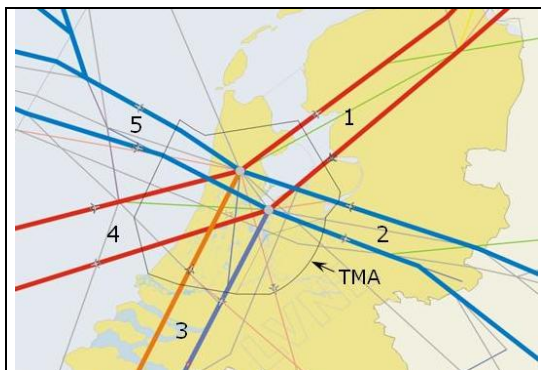
Tabel B5.2: Dwars- en staartwindlimieten			
Stroefheid baan	Dwarswind	Staartwind	
Goed	20 kts *) (10,3 m/s)	7 kts (3,6 m/s)	
Gemiddeld tot goed	10 kts (5,2 m/s)	0	
Gemiddeld	10 kts (5,2 m/s)	0	
Gemiddeld tot slecht	5 kts (2,6 m/s)	0	
Slecht	5 kts (2,6 m/s)	0	
*) als het zicht minder is dan 550 m en/of de wolkenbasis lager is dan 200 voet: niet maximaal 20 maar 15 knopen dwarswind. In de tabel staat kts voor het Engelse woord "knots" ofwel knopen, de gebruikelijke snelheidsmaat in de luchtvaart. Het aantal meters per seconde staat tussen haken. 1 kt = 1,852 km/uur = 0,514 m/s			Figuur B5.8: Dwars- en staartwind

B5.5: Overzicht van aspecten die baangebruik beïnvloeden

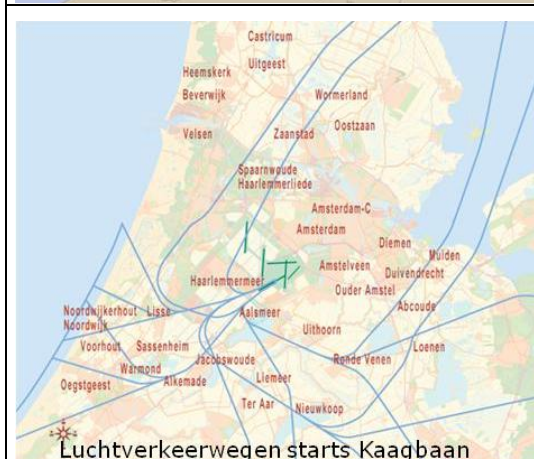
Al met al is het bepalen welke baancombinatie wordt gebruikt een complexe zaak. De hierboven behandelde aspecten spelen hierbij een belangrijke rol, maar er is meer. Hieronder een overzicht.

- a. De mogelijk te gebruiken banen en taxibanen moeten fysiek beschikbaar en bruikbaar zijn (dus bijvoorbeeld geen klein of groot baanonderhoud).
- b. De afspraken over geluidpreferentieel baangebruik, zie § B5.3.
- c. De weersomstandigheden op de baan, vooral ten aanzien van:
 - windrichting en windsterkte met het oog op dwars- en staartwind, zie § B5.4;
 - zicht, wolkenbasis, binnen of buiten UDP, zie § B5.3.
- d. de windcondities op wat grotere hoogte (boven 500 ft), vooral als deze afwijken van de situatie op de baan.
- e. Andere weersinvloeden, zoals buien, onweer in de omgeving van Schiphol, sneeuw en dergelijke.
- f. Het 'tijdig' anticiperen op veranderende (weers) omstandigheden en daarmee het moment van wisselen naar een andere baancombinatie.
- h. Tijdelijke inzet van baancombinaties om baanwisselingen mogelijk te maken.
- i. Beschikbaarheid van verkeersleidingsmiddelen en -systemen, zoals ILS (Instrument Landing System) en/of verkeersleiders.
- j. Controle en/of ijking van baan en/of ILS.
- k. Sluiting van (delen van) het luchtruim.
- l. Overige onvoorziene omstandigheden, bijvoorbeeld een op te ruimen vliegtuigbom, vulkaan

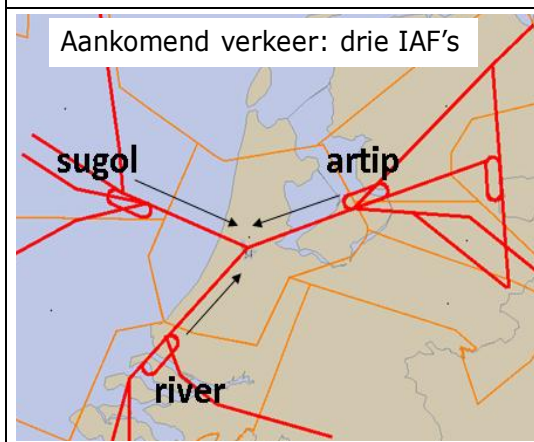
Bijlage 6: Overzicht luchtruimgebruik rond Schiphol



Vertrekkend verkeer: vijf sectoren



Luchtverkeerwegen start Kaagbaan



Aankomend verkeer: drie IAF's

Luchtwegen: snelwegen in de lucht.

Op grote hoogte boven Nederland lopen internationaal vastgestelde luchtwegen ("ATS-routes"), de "snelwegen in de lucht".

De TMA is de "terminal control area" (vroeger "terminal manoeuvring area", vandaar de afkorting) waarbinnen op een bepaalde manier verkeersleiding wordt gegeven.

Starts: van Schiphol naar de luchtwegen.

Via een SID (Standard Instrument Departure) vliegt het vliegtuig naar het "invoegpunt" van een luchtweg.

Vanaf elke baan loopt (tenminste) één SID naar elke luchtweg via vijf "sectoren". Welke SID wordt gebruikt, hangt af van de bestemming.

Een SID is geen "voorgeschreven lijn op de grond" die zo goed mogelijk moet worden gevolgd, maar een reeks in de AIP (Aeronautical Information Publication) vastgelegde instructies, gebaseerd op navigatiebakens. Bijvoorbeeld:

"Klim naar een vlieghoogte van 500 ft, maak dan een rechterbocht en vlieg naar baken X, maak vervolgens een linkerbocht en vlieg naar baken Y", enz. De uit die instructies resulterende "lijn op de grond" pakt voor ieder vliegtuig anders uit, afhankelijk van de stijgprestaties van het vliegtuigtype, het gewicht, het weer, enzovoort. Er treedt dus spreiding in de vliegpaden op; een "waaier van uitvliegroutes" voor één bepaalde SID.

Elke SID heeft een naam (LEKKO, ANDIK, enz.). Voor elke SID bestaan ook instructies die in de boordcomputer van het vliegtuig kunnen worden ingevoerd.

Luchtverkeerwegen

Rond Schiphol geldt een "luchtverkeerweg" voor elke SID.

Daar buiten mag in principe niet worden gevlogen, behalve in opdracht van de verkeersleiding in de vorm van een "aanvullende instructie" (aanvullend t.o.v. de SID). Overdag mag tot een vlieghoogte van 3000 ft (900 m) aan maximaal 3% van de per jaar vertrekkende vluchten zo'n "aanvullende instructie" worden gegeven. Boven 3000 ft gelden hiervoor geen beperkingen. 's Nachts mogen tot een vlieghoogte van 9000 ft (2700 m) geen "aanvullende instructies" worden gegeven. Luchtverkeerwegen gelden alleen voor straalvliegtuigen, niet voor (meestal stillere) propellervliegtuigen. Daarnaast staan als voorbeeld de luchtverkeerwegen voor starts vanaf de Kaagbaan. Voor elke baan geldt een soortgelijke kaart.

Landingen: van de luchtwegen naar Schiphol.

De aanvoer naar de banen gaat via drie "verzamel punten" (Initial Approach Fix – IAF), net buiten de TMA, te weten SUGOL, ARTIP en RIVER. Vanaf die punten leidt de luchtverkeersleiding het vliegtuig naar een landingsbaan. Welke IAF wordt gebruikt, hangt af van de herkomst van het vliegtuig. Er gelden voor landingen geen luchtverkeerwegen, behalve gedurende de nacht voor de Polder- en Kaagbaan.

Op de volgende bladzijden staan op basis van radarwaarnemingen voorbeelden van werkelijk gevlogen routes gedurende een heel etmaal. In totaal gaat het hier om ca. 1200 landingen en starts.

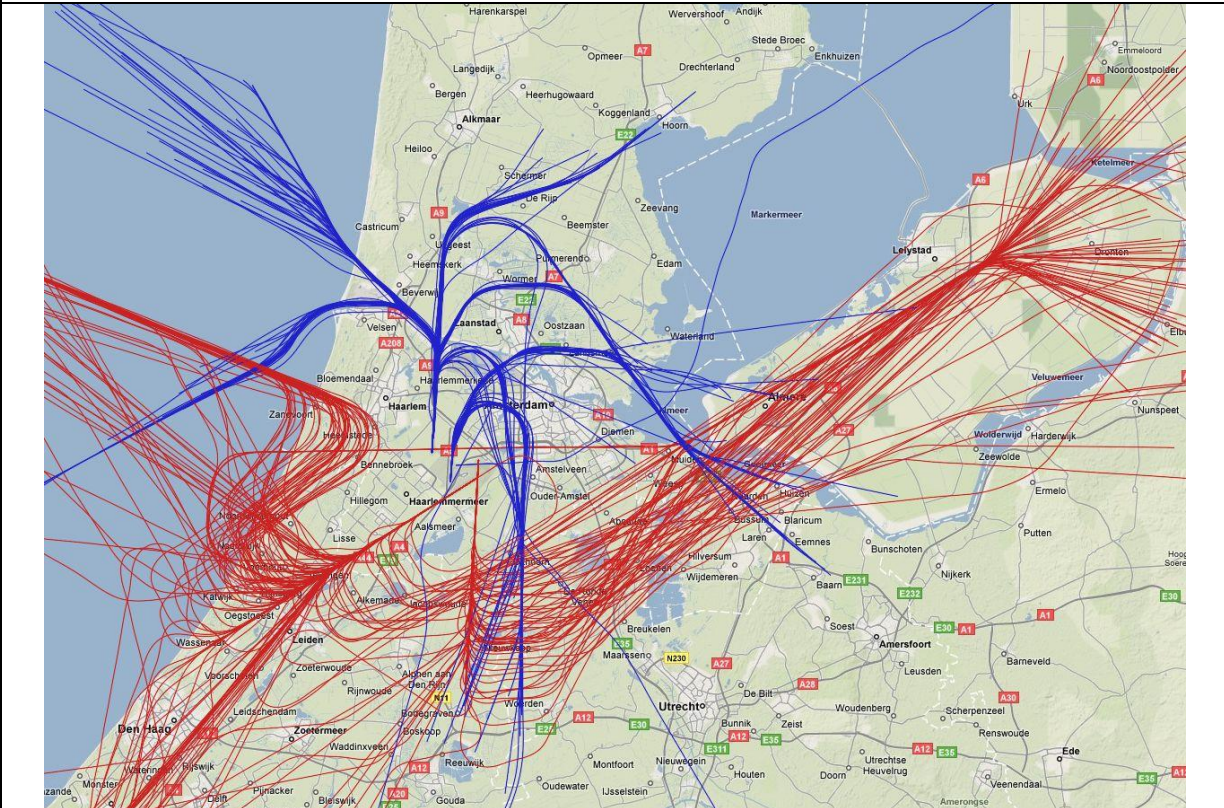
Werkelijk gevlogen routes

Rood = landingen; Blauw = starts.

23:00 – 06:00 uur



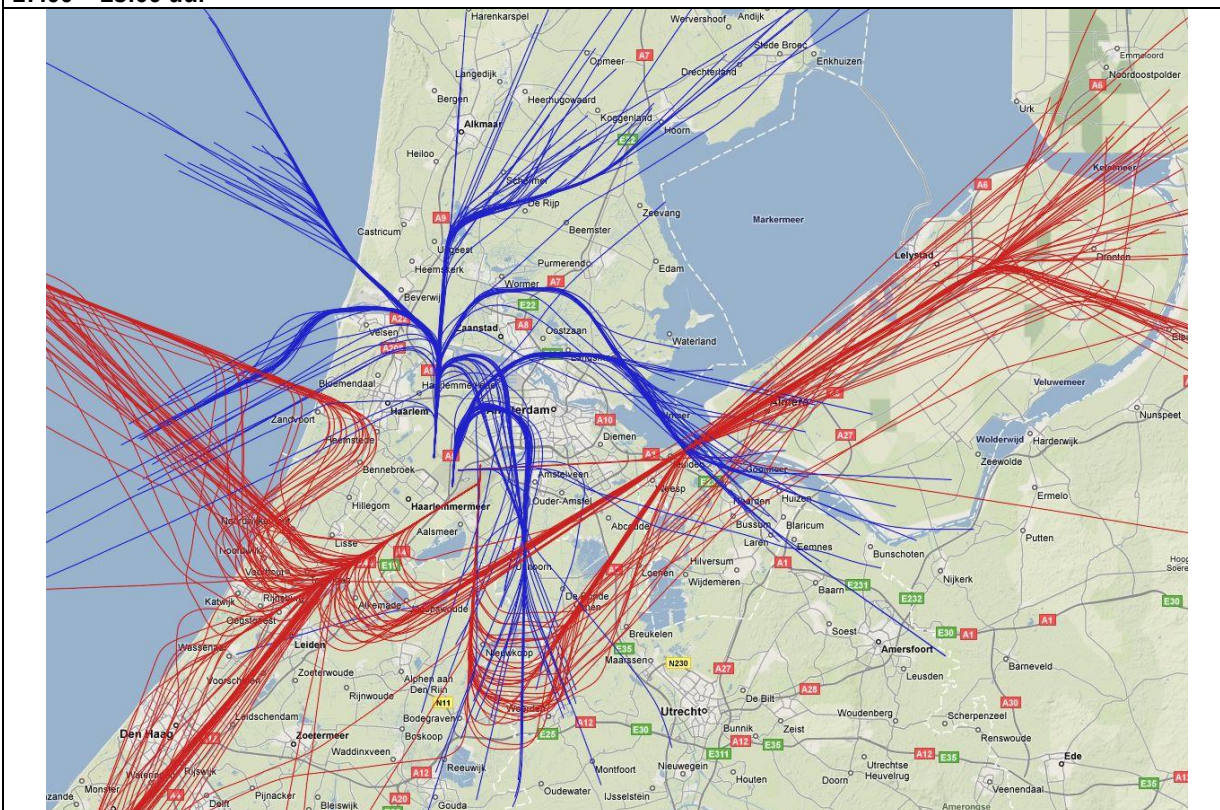
06:00 – 11:30 uur



11:30 – 17:00 uur



17:00 – 23:00 uur



Bijlage 7: Criteria voor gelijkwaardige bescherming

In § 3.4.5 zijn de criteria voor gelijkwaardige bescherming kort aangeduid. In deze bijlage wordt meer informatie gegeven over het wettelijk kader, de geschiedenis van de criteria en de actualiseringen in 2007 en – naar aanleiding van het experiment met het nieuwe normen en handhavingstelsel in van 1 november 2010 tot en met 31 oktober 2012 – in 2013.

B7.1 Wettelijk kader

Artikel 8.17, lid 7 van de Wet luchtvaart luidt:

“Elk besluit, volgend op het eerste luchthavenverkeerbesluit, biedt een beschermingsniveau ten aanzien van externe veiligheid, geluidbelasting en lokale luchtverontreiniging, dat voor ieder van deze aspecten, gemiddeld op jaarbasis vastgesteld, per saldo gelijkwaardig is aan of beter is dan het niveau zoals dat geboden werd door het eerste besluit.”

Hier worden alleen de criteria voor de geluidbelasting behandeld.

Let wel, in het geciteerde wetsartikel staat:

- “gemiddeld op jaarbasis”, dus niet op ieder moment van de dag;
- “per saldo”, dus voor de omgeving als totaal, niet op elke plek afzonderlijk.

B7.2 Beschermingsniveau

Hoe wordt het “beschermingsniveau” beschreven? Daarvoor moeten we terug naar 1990.

De criteria zijn in 1990 bedacht in het kader van het project “Plan van aanpak Schiphol en Omgeving” (PASO). In het PASO-eindconvenant (VROM, V&W, Noord-Holland, Amsterdam, Haarlemmermeer en de luchtvaartsector) staan 118 concrete maatregelen over een veelheid van onderwerpen. Onderdeel daarvan was een beperking aan de omvang van de 35 Ke-zone¹, voor het vijfbanenstelsel (dus met Polderbaan) zodat die niet “oneindig” groot kon worden vastgesteld. In dat kader is de eis “maximaal 10.000 woningen binnen de 35 Ke zone” bedacht.

Als onderwerpen voor het beschermingsniveau is gekozen voor het aantal woningen binnen een contour die relatief dicht bij het vliegveld ligt (de 35 Ke contour) en het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt in een contour op een grotere afstand van het vliegveld (de 20 Ke contour). Daarbij is gebruik gemaakt van de relatie Ke – ernstige hinder (de dosis-effectrelatie) die in 1967 is bepaald. Dezelfde redenering geldt voor LAeq nacht².

In de PKB Schiphol en omgeving, die in 1995 is vastgesteld, zijn de officiële criteria opgenomen, rechtstreeks afgeleid uit het PASO, zie tabel B7.1.

Tabel B7.1: Criteria in PKB Schiphol en omgeving	
Onderwerp	Maximum aantal
Aantal woningen binnen 35 Ke contour	10.000
Aantal mensen ernstige hinder binnen 20 Ke contour	45.000
Aantal woningen binnen 26 dB(A) LAeq nacht contour	10.100
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 20 dB(A) LAeq nacht contour	39.000

Belangrijk is, dat de criteria gekoppeld zijn aan de berekeningsmethodiek. Als die verandert, veranderen ook de getallen in de criteria. Bijvoorbeeld: omdat deze criteria zijn bedacht in 1990, is ook in latere berekeningen (tot de actualisatie in 2007) met woningbestand 1990 gerekend. De criteria zijn bepaald op basis van contourberekeningen met meteotoeslag (zie § 3.4.4.).

B7.3 Het eerste luchthavenverkeerbesluit

Het in het wetsartikel genoemde “eerste luchthavenverkeerbesluit” is het luchthavenverkeerbesluit (LVB), met de daarin opgenomen eerste grenswaarden in de handhavingpunten, dat is gebaseerd op het MER 2004. Volgens een overgangsbepaling in de Wet luchtvaart moest het eerste besluit voldoen aan de criteria in de PKB in tabel B7.1. Dat was – soms ruim – het geval, zie tabel B7.2.

¹ Ke staat voor Kosteneenheden als maat voor de geluidbelasting gedurende het hele etmaal. Dit is de voorloper van de vanaf 2003 gebruikte maat Lden.

² Deze maat heeft alleen betrekking op de nacht en is de voorloper van Lnight, die vanaf 2003 wordt gebruikt

Tabel B7.2: Waarden in het MER 2004	
Onderwerp	Aantal
Aantal woningen binnen 35 Ke contour	10.000
Aantal mensen ernstige hinder binnen 20 Ke contour	33.500
Aantal woningen binnen 26 dB(A) LAeq nacht contour	6.900
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 20 dB(A) LAeq nacht contour	23.000

Met de gegevens in dit MER zijn vervolgens de eerste grenswaarden in de handhavingspunten voor Lden en Lnight berekend. Immers, zie § 3.3, met een rekenmodel kan de geluidbelasting in elke willekeurige maat (dus Ke of Lden of ...) en in elk willekeurig punt worden berekend.

Dit eerste besluit met tabel B7.2 is – volgens de wet – de referentie voor volgende besluiten.

B7.4 Actualisering in 2007

De situatie waarbij de criteria zijn uitgedrukt in de “oude” maten voor de geluidbelasting (Ke en LAeq nacht, zie tabel B7.2) en de grenswaarden in de “nieuwe” maten (Lden en Lnight) is onwenselijk. Daarom zijn de criteria in 2007 geactualiseerd. In tabel B7.3 staan de onderwerpen waarop de actualisering betrekking had.

Tabel B7.3: Onderwerpen actualisering criteria	
Oud	Actualisering
Geluidbelasting in Ke en LAeq nacht	Geluidbelasting in Lden en Lnight
Woningbestand ADECS 1990	Woningbestand RIVM 2005
Oude routemodellering (“gemodelleerde routes”)	Verbeterde routemodellering (“hybride modellering”)
Relatie Ke – ernstige hinder onderzoek 1967	Relatie Lden – ernstige hinder en Lnight – ernstige slaapverstoring onderzoek 2002 rond Schiphol (GES)
Gebied ernstige hinder binnen de 20 Ke contour (ca. 52 dB(A) Lden)	Gebied ernstige hinder sterk vergroot naar gebied binnen de 48 dB(A) Lden contour
Gebied ernstige slaapverstoring binnen de 20 dB(A) LAeq nacht (ca. 43 dB(A) Lnight) contour	Gebied ernstige slaapverstoring sterk vergroot naar gebied binnen de 40 dB(A) Lnight contour
De vergroting van het gebied waarbinnen ernstige hinder en ernstige slaapverstoring wordt bepaald, is een besluit in het kader van de Evaluatie van het Schipholbeleid in 2006. Binnen de 52 dB(A) Lden contour wonen ca. 255.000 mensen, binnen de 48 dB(A) Lden contour ca. 1,1 mln.	

Voor de overgang van Ke naar Lden en LAeq nacht naar Lnight, is complex. Er bestaan geen overal geldende formules om Ke om te rekenen naar Lden, in de zin van $X \text{ Ke} = Y \text{ dB(A) Lden}$. Toch moesten er Lden equivalenten voor 35 en 20 Ke worden bepaald.

Dit is uitgevoerd op basis van een contourvergelijking voor de berekening met de invoergegevens voor het eerste besluit in § B7.3. Geconcludeerd is, dat voor Schiphol de 58 dB(A) Lden contour op het oog grosso modo het dichtst bij de 35 Ke contour lag, hoewel de verschillen lokaal groot kunnen zijn. Daarbij ligt de 58 dB(A) Lden contour lokaal zowel binnen als buiten de 35 Ke contour. Hetzelfde is gedaan voor de andere relevante Ke en LAeq nacht waarden, zie tabel B7.4.

Tabel B7.4: Equivalente waarden	
Oud	Equivalent
35 Ke	58 dB(A) Lden
20 Ke	52 dB(A) Lden
26 dB(A) LAeq nacht	48 dB(A) Lnight
20 dB(A) LAeq nacht	43 dB(A) Lnight
NOOT: voor andere velden dan Schiphol is 56 dB(A) Lden equivalent met 35 Ke en 48 dB(A) Lden met 20 Ke.	

Alle berekeningen voor de actualisering van de criteria zijn uitgevoerd met de verkeersgegevens voor het MER 2004 – dus het eerste besluit in § B7.3 – zoals het hierboven geciteerde wetsartikel voorschrijft. In tabel B7.5 staan de geactualiseerde criteria. Tabel B7.6 geeft de actualisering stap voor stap weer.

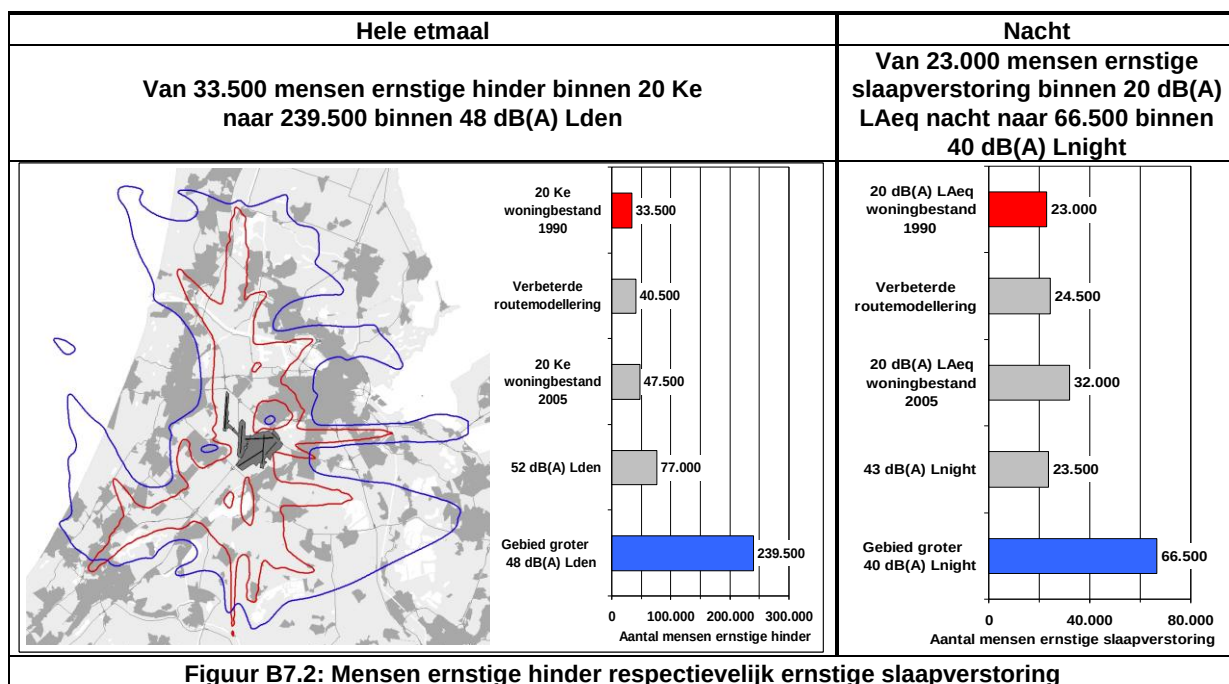
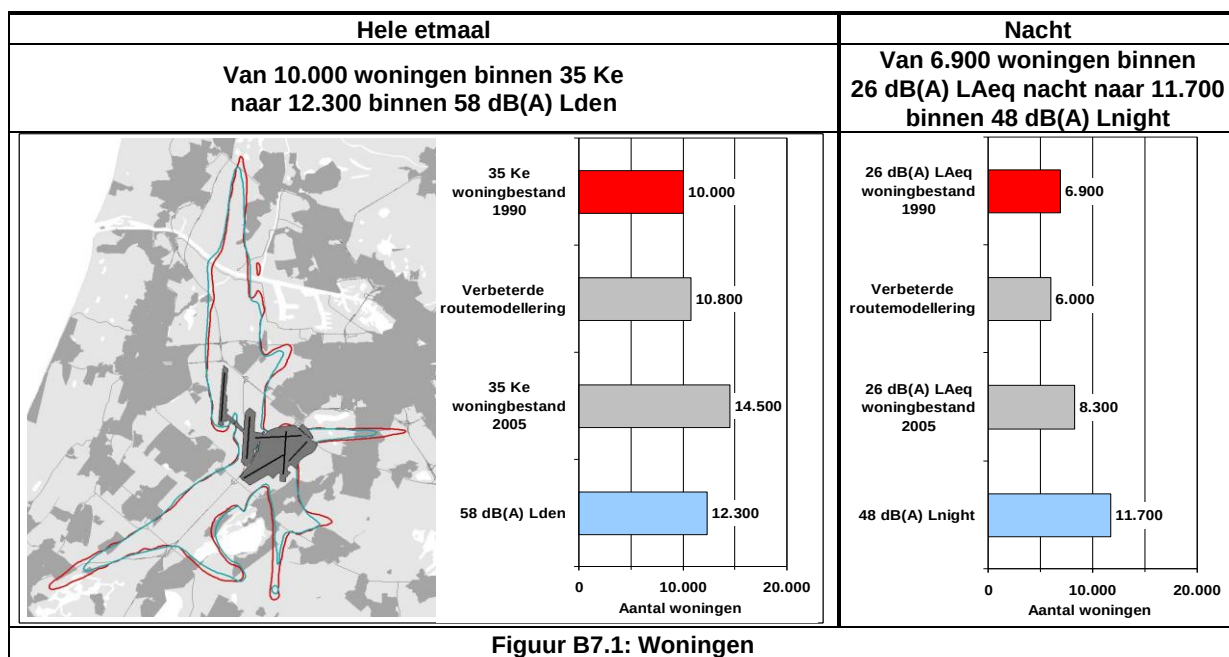
Tabel B7.5: Criteria na actualisering 2007	
Onderwerp	Maximum aantal
Aantal woningen binnen 58 dB(A) Lden contour	12.300
Aantal mensen ernstige hinder binnen 48 dB(A) Lden contour	239.500
Aantal woningen binnen 48 dB(A) Lnight contour	11.700
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 40 dB(A) Lnight contour	66.500

Tabel B7.6: Actualisering stap voor stap					
Woningen	Uitgangssituatie	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
Route modellering	oud	verbeterd	verbeterd	verbeterd	verbeterd
Woningbestand	1990	1990	2005	2005	2005
Contour	35 Ke	35 Ke	35 Ke	35 Ke	58 dB(A) Lden

Ernstige hinder	Uitgangssituatie	Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 4
Route modellering	oud	verbeterd	verbeterd	verbeterd	verbeterd
Woningbestand	1990	1990	2005	2005	2005
Contour	20 Ke	20 Ke	20 Ke	52 dB(A) Lden	48 dB(A) Lden

Stap 4 is de uitbreiding van het gebied waarin de ernstige hinder wordt bepaald

In figuren B7.1 en B7.2 zijn de effecten van elk van deze stappen op de aantallen weergegeven. Voor het hele etmaal (Lden) zijn bovendien de contouren voor de uitgangssituatie (rood) en de eindsituatie (blauw) weergegeven.



Voor verdere toelichting over deze actualisering wordt verwezen naar de brief van de minister van V&W en aan de Tweede kamer dd. 25 mei 2007, Kamerstuk 2006-2007, 29665 nr. 46

B7.4 Correctie 2013

In het kader van het experiment met het nieuwe normen en handhavingstelsel is onder andere onderzocht of en zo ja hoe het baangebruikprognosemodel – dus het model dat voor toekomstberekeningen voorspelt hoe het verwachte baangebruik zal zijn – kon worden verbeterd. Het huidige model is een theoretisch windroosmodel. Op basis van dit onderzoek is een verbeterde voorspellingsmethode voor het baangebruik ontwikkeld, de “hybride baangebruikmodellering”. Daarbij wordt – gegeven een bepaalde set weersomstandigheden, verkeersaanbod, enz. – het baangebruik voorspeld op basis van het in het verleden onder dezelfde omstandigheden werkelijk gerealiseerde baangebruik.

Ook de meteotoeslag wordt anders bepaald.

Zoals in § 3.4.4 is opgemerkt, gaat de tot nu toe gebruikte formule ervan uit, dat hooguit één maal per vijf jaar (dus 20%) het aantal vliegtuigbewegingen op één of meer banen hoger zal zijn dan het aantal dat met meteotoeslag is voorspeld.

In de nieuwe methode worden de weergegevens van 40 jaren gebruikt, te weten de periode 1971 tot en met 2010. Daarbij worden de 20% (dus acht van de veertig) extreme weerjaren bij voorbaat uit de berekeningen geschrapt. Wat “extreme weerjaren” zijn, is bepaald op basis van statistische methoden. Vervolgens worden – steeds voor hetzelfde verkeersscenario - contouren voor elk van de overgebleven 32 weerjaren bepaald. De “contour met meteotoeslag” is de omhullende van deze contouren.

Dit is een wezenlijke aanpassing van de methodiek, daarom moeten de getallen voor de criteria worden aangepast. Ook dit is weer gebeurd met de gegevens van het MER 2004, dus het “eerste besluit” in §B7.3. De resultaten staan in tabel B7.7.

Tabel B7.7: Criteria na correctie 2013	
Onderwerp	Maximum aantal
Aantal woningen binnen 58 dB(A) Lden contour	11.900
Aantal mensen ernstige hinder binnen 48 dB(A) Lden contour	180.500
Aantal woningen binnen 48 dB(A) Lnight contour	11.000
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 40 dB(A) Lnight contour	49.000

De maximum aantallen zijn lager dan de maxima vóór deze correctie, vergelijk met tabel B7.5. Dat wil niet zeggen, dat de beschermingscriteria zijn aangescherpt. Het zijn nog steeds dezelfde criteria, maar omdat een andere methode is gebruikt om die te bepalen, vallen de getallen anders – in dit geval: lager - uit.

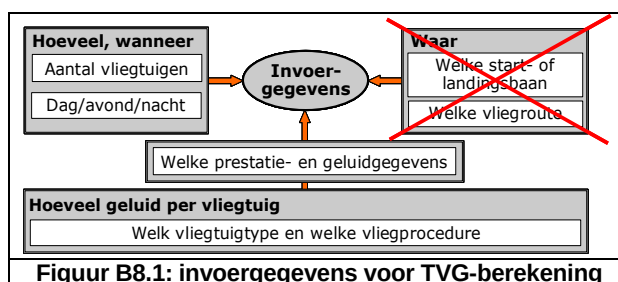
Voor in de komende jaren uit te voeren prognoseberekeringen, die worden getoetst aan de criteria, moeten dezelfde weerjaren (periode 1971 tot en met 2010) met dezelfde “extreme weerjaren” worden gebruikt, om een eerlijke toetsing aan de criteria uit te voeren. De extreme weerjaren – die dus uit de berekeningen worden geschrapt - staan in tabel B7.8.

Tabel B7.8: Extreme weerjaren								
Lden	1972	1982	1990	1994	1996	1998	2000	2010
Lnight	1972	1973	1983	1994	1995	1997	2007	2010

Bijlage 8: TVG en MHG

In § 3.5 is beschreven:

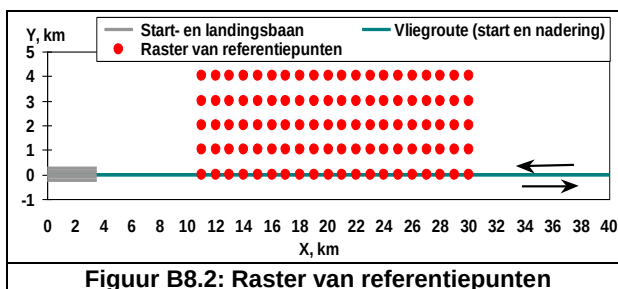
- wat het doel is van TVG (Totale Volume van de Geluidbelasting);
- dat TVG onafhankelijk moet zijn van het baan- en routegebruik, dus onafhankelijk van het weer; in de set invoergegevens zijn de gegevens onder "waar" geschrapt, zie figuur B8.1;
- dat TVG en MHG worden berekend door al het verkeer dat naar en van Schiphol vliegt op één baan en één route te zetten;
- dat er een raster met 100 referentiepunten in het verlengde van de baan ligt, in elk referentiepunt wordt de geluidbelasting (L_{den} of L_{night}) berekend waaruit het TVG wordt bepaald door energetisch middelen.



In deze bijlage staat aanvullende informatie en is beschreven hoe in het Nieuwe Normen en handhavingstelsel Schiphol (NNHS) de grenswaarde voor TVG, de "maximum hoeveelheid geluid" (MHG) wordt berekend.

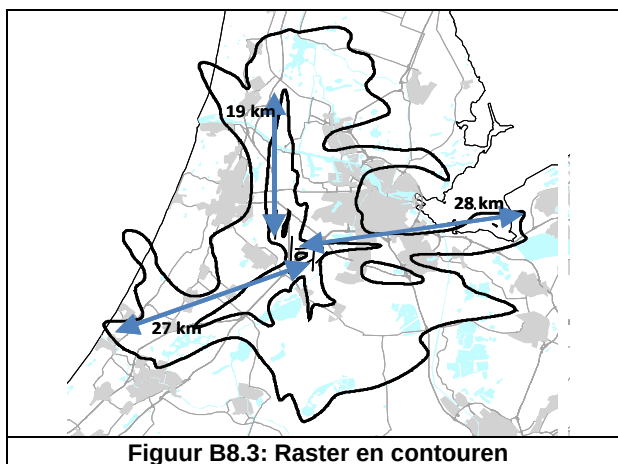
B8.1 Raster van referentiepunten

Figuur B8.2 (dezelfde figuur als figuur 3.21 in § 3.5) geeft weer waar het raster van referentiepunten ligt. Deze punten liggen in X-richting (het grondpad van de vliegroute) en in Y-richting (terzijde van de vliegroute) op een afstand van 1 km van elkaar.



De afmetingen en ligging van het raster is het resultaat van recent onderzoek.

Doordat het raster zich uitstrekt van $X = 11$ tot 30 km, houdt het TVG ook rekening met het "buitengebied" dat wil zeggen buiten de 58 dB(A) L_{den} tot ongeveer de 48 dB(A) L_{den} contour. Dit is geïllustreerd in figuur B8.3. Daaruit blijkt onder andere dat de 48 dB(A) L_{den} contour – de buitenste contour in de figuur – op zo'n 27 á 28 km van de baan ligt. Het raster, dat zich uitstrekt tot 30 km, dekt dit.

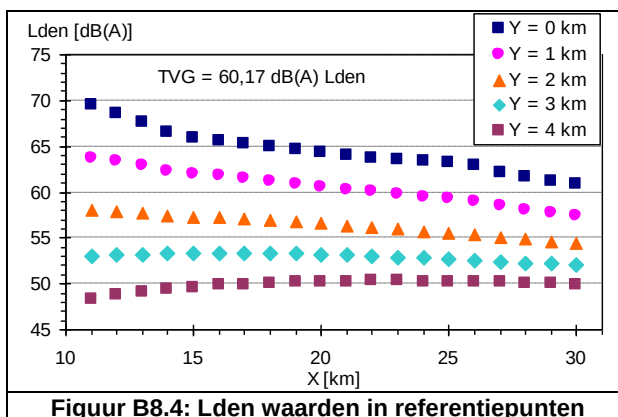


To70 onderzoek op basis van 600 verkeers-scenario's en 26.000 mogelijkheden voor de berekeningsmethodiek ten aanzien van het raster en wijze van middelen, concludeert dat de beschreven methodiek het beste is qua statistische correlatie met het aantal woningen binnen de 58 dB(A) L_{den} contour, als één van de criteria voor gelijkwaardige bescherming (zie § 3.5 voor het doel van TVG/MHG).

B8.2 L_{den} waarden in referentiepunten

Figuur B8.4 toont een voorbeeld van een TVG-berekening voor L_{den} . In die figuur staat voor elk referentiepunt de L_{den} geluidbelasting.

Dit is weergegeven voor $Y=0$ (dus recht onder de vliegbaan) en voor de andere waarden van



Y tot en met 4 km. In de figuur staat ook de hieruit resulterende waarde voor het TVG. Naarmate X - dus de vliegafstand tot het vliegveld, zie figuur B8.2 - toeneemt, neemt Lden af. Immers, naarmate X toeneemt, neemt ook de vlieghoogte en dus de afstand tot de grond, toe, waardoor het geluid op de grond lager wordt. Ook naarmate Y - de zijdelingse afstand ten opzichte van de vliegroute, zie figuur B8.2 - toeneemt, neemt Lden af. Daarom zijn de waarden voor Y = 4 km terzijde van de vliegroute veel lager dan voor Y = 0 km, dus op de vliegroute. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt doordat bij toenemende X of Y de passeerafstand van de vliegtuigen groter is. De geluidbelasting in het punt X = 11 km, Y = 0 km - dat wil zeggen het eerste punt in het verlengde van de startbaan en recht onder de vliegbaan - is uiteraard het hoogst.

TVG wordt uit de waarden in de referentiepunten berekend met de volgende formule:

$$L_{den} TVG = 10 \log [(1/100) \sum 10^{L_{den} \text{ in referentiepunt} / 10}]$$

$\sum$ = somming van de bijdragen van alle 100 referentiepunten.

In het voorbeeld in figuur B8.4 is TVG 60,17 dB(A) Lden.

Deze wijze van middelen heet "energetisch middelen". Voor rekenkundig middelen zouden de Lden-waarden "gewoon worden opgeteld" en door 100 gedeeld. Dit zou tot een andere waarde van TVG leiden. De voorkeur voor de gekozen wijze van middelen is één van de resultaten van het eerder genoemde To70 onderzoek.

Voor Lnight TVG geldt dezelfde formule en hetzelfde raster met referentiepunten, doch met Lnight in de referentiepunten in plaats van Lden.

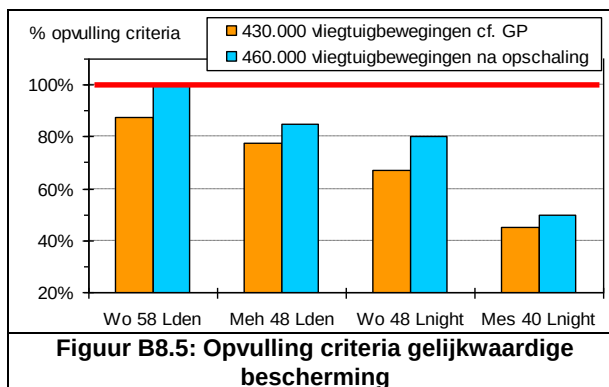
B8.3 Bepaling van de MHG

In het NNHS wordt de grenswaarde voor TVG, dus MHG (Maximum Hoeveelheid Geluid), elk jaar op basis van de voor dat jaar gemaakte Gebruiksprognose bepaald. De Gebruiksprognose moet elk jaar vooraf worden gemaakt en geeft een beschrijving van het verwachte verkeer, de afhandeling van dat verkeer en de milieueffecten daarvan. MHG wordt bepaald in samenhang met de "criteria voor gelijkwaardige bescherming". Hierbij is uitgegaan van de criteria na correctie in 2013, zie bijlage 7. Aan de hand van een (fictief) getallenvoorbeeld, is deze aanpak hieronder beschreven. Let wel: de grenswaarde geldt niet per referentiepunt maar alleen voor het TVG als geheel.

Tabel B8.1: Getallenvoorbeeld bepaling MHG					
Onderwerp	Maximum	430.000 vliegtuigbewegingen cf. GP		Opschaling naar 460.000 vliegtuigbewegingen	
		Aantal	% van maximum	Aantal	% van maximum
Aantal woningen binnen 58 dB(A) Lden contour	11.900	10.400	87%	11.900	100%
Aantal mensen ernstige hinder binnen 48 dB(A) Lden contour	180.500	140.000	78%	153.400	85%
Aantal woningen binnen 48 dB(A) Lnight contour	11.000	7.400	67%	8.800	80%
Aantal mensen ernstige slaapverstoring binnen 40 dB(A) Lnight contour	49.000	22.000	45%	24.500	50%

Er is een Gebruiksprognose gemaakt met 430.000 vliegtuigbewegingen. Daarvoor is berekend wat de score is op de vier onderwerpen voor de criteria voor gelijkwaardige bescherming. In tabel B8.1, 3^e kolom staat het resultaat hiervan.

In tabel B8.1, 2^e kolom staan de maxima - "de criteria" - voor deze onderwerpen. In deze tabel, 4^e kolom zijn de voor de Gebruiksprognose berekende aantallen uitgedrukt in procenten van deze maxima. Deze procenten



staan in figuur B8.5, de oranje staafjes. Voor geen van de vier onderwerpen, zijn de criteria helemaal opgevuld; het meest opgevuld is het onderwerp "aantal woningen binnen de 58 dB(A) Lden contour" met 87% opvulling.

Vervolgens wordt het aantal vliegtuigbewegingen in het verkeersscenario in de Gebruiksprognose zodanig opgeschaald, dat voor één van de vier onderwerpen juist het maximum is bereikt. Dat blijkt het geval te zijn bij 460.000 vliegtuigbewegingen, dus 30.000 hoger dan volgens de Gebruiksprognose. Het onderwerp "aantal woningen binnen de 58 dB(A) Lden contour" is in dit voorbeeld kritiek voor de opschaling. Met dit aantal vliegtuigbewegingen - en dus niet met het aantal van 430.000 in de Gebruiksprognose - wordt vervolgens MHG berekend. De voorlaatste kolom van tabel B8.1 geeft de bij die opschaling horende aantallen, de laatste kolom de procentuele opvulling, in figuur B8.5 zijn dit de blauwe staafjes. Voor het aantal woningen binnen de 58 dB(A) Lden contour is dat percentage uiteraard 100%, voor de andere onderwerpen wel is waar hoger dan vóór opschaling, maar nog geen 100%.

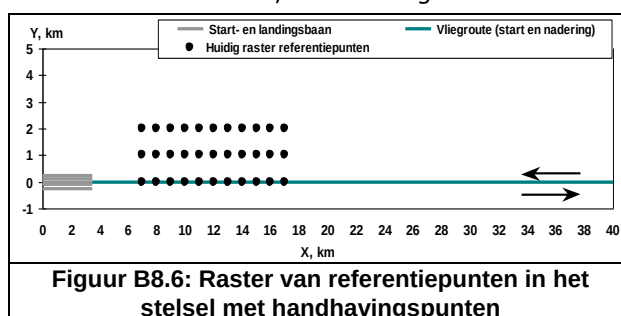
Door deze opschaling is MHG 0,3 dB(A) Lden hoger dan wanneer MHG zou zijn bepaald op basis van de 430.000 bewegingen in de Gebruiksprognose.

In het kader van de handhaving wordt na afloop van elk gebruiksjaar gecontroleerd of het gerealiseerde TVG wel of niet hoger is dan de MHG.

B8.4 TVG in het stelsel met handhavingspunten

Ook in het stelsel met handhavingspunten dat in 2003 van kracht werd, werd TVG gebruikt.

De berekeningswijze is anders. Figuur B8.6 toont het raster met referentiepunten. Het raster is duidelijk veel kleiner dan in het NNHS TVG, vergelijk met figuur B8.2. Dit TVG en de grenswaarde daarvoor, heeft tot doel te voorkomen dat de meteotoeslagen die in de grenswaarden in de handhavingspunten zijn opgenomen, met "extra vliegverkeer" zouden kunnen worden opgevuld.



Er gelden vaste grenswaarden voor TVG-Lden te weten 63,46 dB(A) en TVG-Lnight, te weten 54,44 dB(A). In het kader van de handhaving wordt na afloop van elk gebruiksjaar gecontroleerd of het gerealiseerde TVG wel of niet hoger is dan de grenswaarde.

Belangrijkste nadelen van deze aanpak zijn, dat sommige geluidreducerende vliegprocedures niet goed tot uitdrukking komen, dat maar een heel klein deel van het gebied wordt gedekt en dat die ongeschikt is voor het doel van TVG in het NNHS stelsel. In tabel B8.2 zijn de verschillen opgesomd.

Tabel B8.2: Vergelijking NNHS stelsel en stelsel met handhavingspunten	
Methode NNHS	Methode stelsel met handhavingspunten
Al het verkeer op alle banen en routes wordt op één baan en één route in het verlengde van de baan gezet, zonder horizontale spreiding.	idem
Raster van 100 "referentiepunten", zie figuur 2. X loopt van 11 t/m 30 km, Y van 0 t/m 4 km. Onderlinge afstand punten in X en Y-richting is 1 km.	Raster van 33 "referentiepunten", zie figuur 1. X loopt van 7 t/m 17 km, Y van 0 t/m 2 km. Onderlinge afstand punten in X en Y-richting is 1 km.
Bereken Lden in elk referentiepunt	idem
Bepaal TVG als het <i>energetisch</i> gemiddelde van de waarde in elk referentiepunt: $TVG = 10 \log \left[\frac{1}{100} \sum 10^{L_{den \text{ in referentiepunt} / 10} \right]$ Σ = somming van de bijdragen van alle 100 referentiepunten	Bepaal TVG als het <i>rekenkundig</i> gemiddelde van de waarde in elk referentiepunt: $TVG = (1/33) \sum L_{den \text{ in referentiepunt}}$ Σ = somming van de bijdragen van alle 33 referentiepunten
Grenswaarde elk jaar afgeleid uit Gebruiksprognose	Vaste grenswaarde

Bijlage 9: Geselecteerde onderwerpen – Laterale geluidverzwakking

In § 1.3 is beschreven dat het geluid bij de voortplanting door de atmosfeer om twee redenen afneemt naarmate de afstand bron-waarnemer toeneemt: de "20 log regel" en atmosferische damping.

In sommige gevallen zijn er ook nog andere factoren die een rol spelen:

- de aanwezigheid van de bodem;
- het richtingseffect van het geluid, onder meer veroorzaakt door de afschermende werking van vliegtuigdelen.

De eerste factor wordt beschreven met de term "gronddamping", het effect is groter naarmate het geluid zich meer "scherend" langs de bodem voortplant. De tweede factor wordt in rekening gebracht door "afscherming". Het totale effect van deze factoren samen heet "laterale geluidverzwakking", afgekort als LGV.

Bij de bepaling van het (momentane) geluidsniveau van een vliegtuig wordt gecorrigeerd voor LGV.

B9.1 Berekening van LGV

Hieronder is beschreven hoe LGV wordt berekend voor een horizontale vlucht op constante vlieghoogte. Deze berekeningen worden uiteraard ook uitgevoerd voor stijg- en daalvluchten, de formules zijn dan iets complexer.

Figuur B9.1 toont de geometrie. Het gaat om het geluid in het "geluidpunt".

Een vliegtuig vliegt op hoogte H langs het geluidpunt. Het "grondpad" is de projectie op de grond van het "vliegpad" van het vliegtuig.

Het geluidpunt ligt op een afstand D naast het grondpad, dit wordt verder de "zijdelingse afstand" genoemd.

S is de afstand tussen het vliegtuig en het geluidpunt, de zogenoemde "slantafstand". Tijdens het voorbij vliegen van het vliegtuig verandert S. Als het vliegtuig zich "pal naast" het geluidpunt bevindt, in figuur B9.1 aangegeven met "O" op het vliegpad, is de afstand S het kleinste, dit is aangeduid met S_0 . Hierbij treedt L_{max} op.

De "elevatiehoek" β is de hoek tussen de lijn van het geluidpunt naar het vliegtuig, dus S, en de grond.

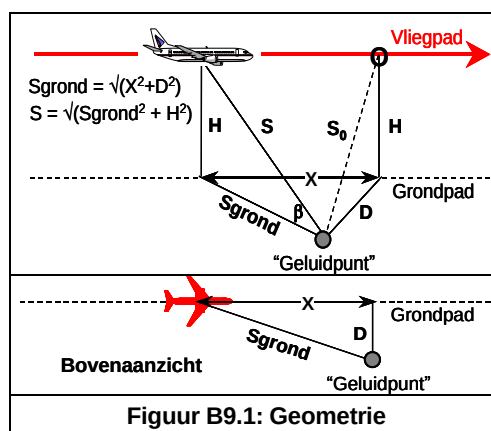
X is de afstand, gemeten langs het grondpad, tussen de positie van het vliegtuig en het punt waar het vliegtuig "pal naast" het geluidpunt is. Ook X verandert tijdens het voorbij vliegen van het vliegtuig, $X = 0$ als het vliegtuig "pal naast" het geluidpunt is, dit correspondeert met S_0 .

Als het vliegtuig recht over het geluidpunt vliegt, is de zijdelingse afstand 0.

De formules staan in figuur B9.2. De slantafstand S en de elevatiehoek β spelen bij de berekening van LGV een centrale rol.

Daarbij de opmerking dat de mate van bodemverzwakking sterk afhankelijk is van de meteorologische omstandigheden. Daarom zijn die gestandaardiseerd, zie § B9.3.

In figuren B9.3 tot en met B9.5 zijn enkele onderdelen van de formules in beeld gebracht.



Figuur B9.1: Geometrie

Elevatiehoek $\beta = \arctan (H/S_{grond})$
Bodemverzwakking ΔL

S in meters	Bodemverzwakking ΔL
$0 \leq S < 50$	0
$50 \leq S < 400$	$0,0163 \times S - 0,815$
$400 \leq S < 2300$	$19,1847 \times \log(S) - 36,4086$
$S \geq 2300$	18

$f(\beta) = 5,471 \times \beta^2 - 4,774 \times \beta + 1$. $0 \leq \beta \leq 20^\circ$

Gronddamping = $\Delta L \times f(\beta)$

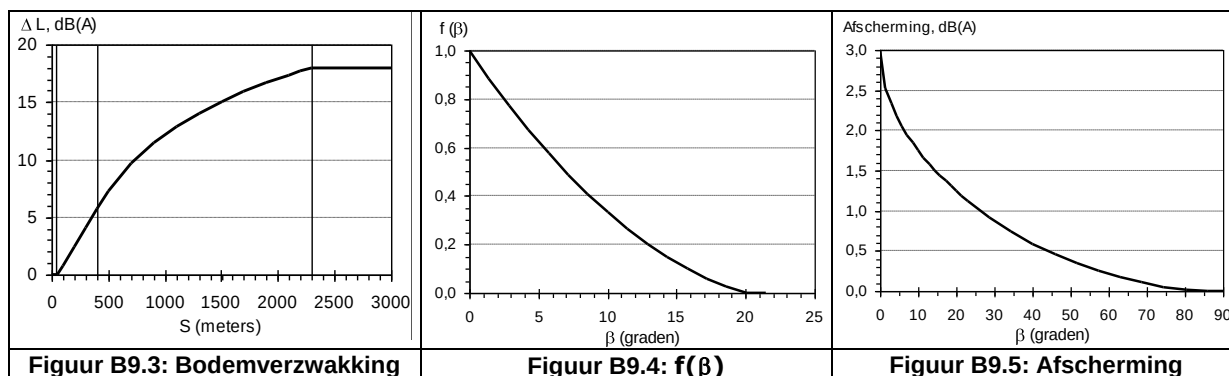
Afscherming = $q \times 3 \times [1 - \sqrt{(\sin \beta)}]$.

$q = 1$ (dus: wel afscherming) als het vliegtuig 2 of meer motoren heeft, anders $q = 0$ (dus: geen afscherming).

LGV = gronddamping + afscherming

Geluidsniveau L met LGV = L zonder LGV - LGV

Figuur B9.2: Formules



Figuur B9.3 toont de bodemverzwakking. Voor waarden van S groter dan 2300 m is de bodemverzwakking constant, te weten 18 dB(A), zie de formule in figuur B9.2.

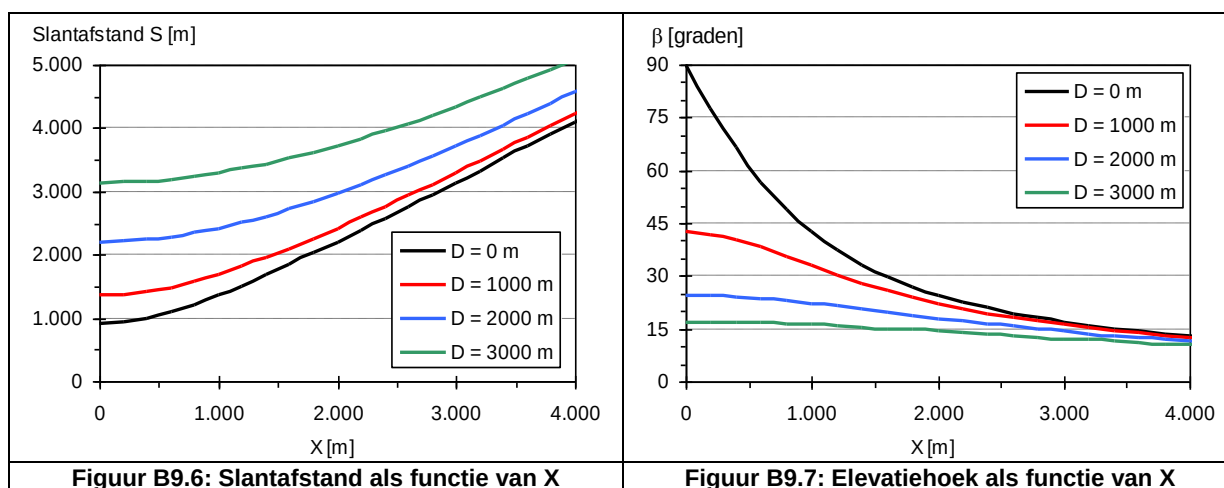
Uit figuur B9.4 blijkt dat $f(\beta)$, en dus de gronddemping, groter is naarmate de elevatiehoek kleiner is, en dus het geluid zich meer "scherend" langs de bodem voortplant. Voor elevatiehoeken groter dan 20° is er geen sprake van gronddemping. De gronddemping is "figuur B9.3 maal figuur B9.4", zie de formules in figuur B9.2. In figuur B9.5 staat de afscherming in dB(A) als functie van de elevatiehoek. De afscherming varieert tussen 0 en 3 dB(A).

B9.2 Effecten van LGV

Aan de hand van een reeks figuren, zijn voorbeelden van de effecten van LGV in beeld gebracht. Daarbij is steeds uitgegaan van vliegtuigen met twee of meer motoren, dus inclusief "afscherming" (zie figuur B9.2: $q = 1$)

B9.2.1 Slantafstand en elevatiehoek tijdens vliegtuigpassage

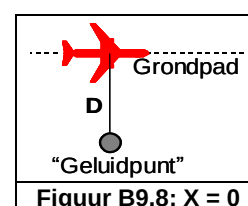
In figuur B9.6 is de slantafstand S als functie van X voor vier waarden van de zijdelingse afstand D , weergegeven, in figuur B9.7 de elevatiehoek. De vlieghoogte H is in dit voorbeeld 3000 ft (914 m). Voor $X = 0$ is de slantafstand het kleinst, dit is S_0 . Naarmate de zijdelingse afstand toeneemt, neemt, voor een bepaalde waarde van X , de slantafstand toe en neemt de elevatiehoek af. Dus: naarmate de zijdelingse afstand toeneemt, plant het geluid zich meer "scherend langs de grond" voort.

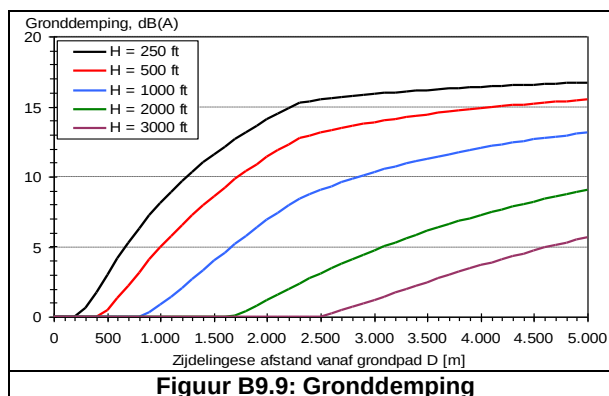


B9.2.2 Effecten vlieghoogte H en zijdelingse afstand D

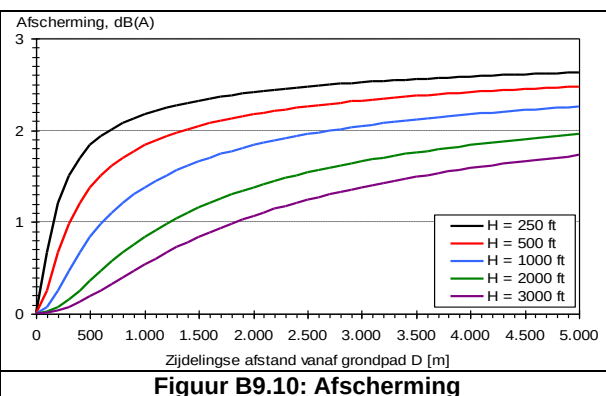
Figuren B9.9 tot en met B9.11 tonen de invloed van H en D op L_{Amax} , dus voor $X = 0$, zie figuur 9.8.

De effecten zijn weergegeven als functie van de zijdelingse afstand D voor vijf waarden van de vlieghoogte. Een zijdelingse afstand $D = 0$ wil zeggen dat het vliegtuig recht over het geluidpunt vliegt.



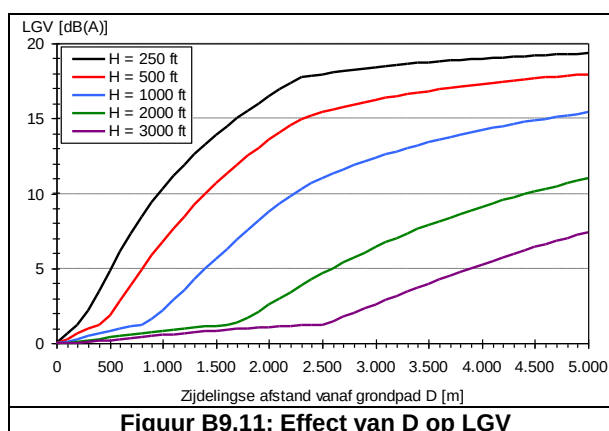


Figuur B9.9: Grondddemping

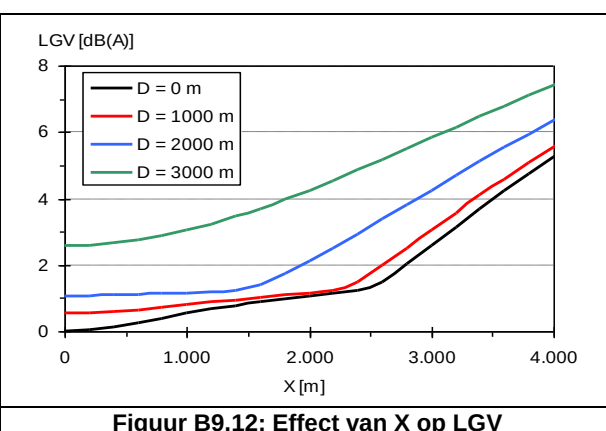


Figuur B9.10: Afscherming

Figuren B9.9 en B9.10 tonen de grondddemping respectievelijk de afscherming, figuur B9.11 de daaruit resulterende LGV, dus grondddemping plus afscherming ("figuur B9.9 plus figuur B9.10"), zie de formules in figuur B9.2. Uit deze figuren blijkt, dat het effect van LGV toeneemt naarmate de zijdelingse afstand D toeneemt en ook toeneemt naarmate het vliegtuig lager vliegt.



Figuur B9.11: Effect van D op LGV

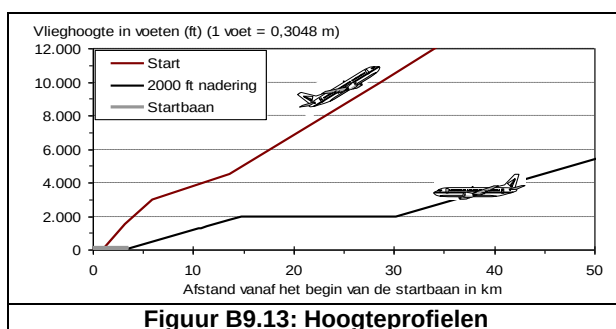


Figuur B9.12: Effect van X op LGV

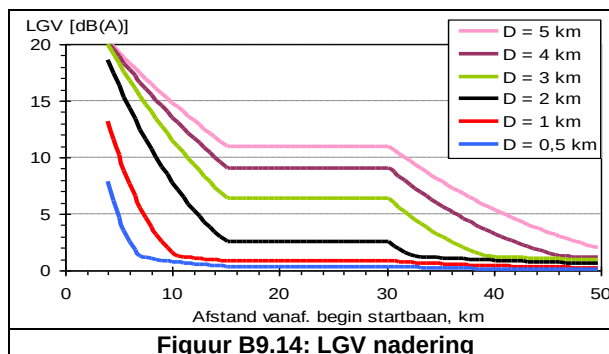
In figuur B9.12 staat voor een horizontale vlucht op een vlieghoogte van 3000 ft de LGV als functie van de afstand X (zie figuur B9.1) voor vier waarden van de zijdelingse afstand D (zie ook figuren B9.6 en B9.7). Ook hier wil $D = 0$ (zwarte lijn) zeggen dat het vliegtuig recht over het "geluidpunt" vliegt. Ook hier weer het inmiddels bekende beeld: LGV neemt toe naarmate D toeneemt, en neemt ook toe als X, en dus de slantafstand S, toeneemt.

In § 2.5.3 zijn hoogteprofielen beschreven, in figuur 9.12 staan twee van die profielen, voor een 2000 ft nadering en voor een start.

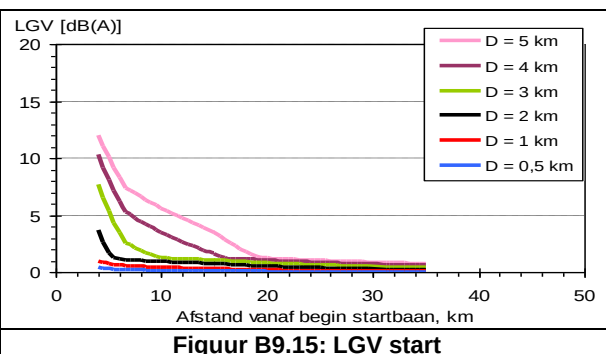
Figuren B9.14 en B9.15 tonen het effect van LGV op L_{max} voor beide profielen als functie van de vliegafstand vanaf het begin van de startbaan voor enkele waarden van de zijdelingse afstand D. Ook hier geldt $X = 0$ (figuur B9.8)



Figuur B9.13: Hoogteprofielen



Figuur B9.14: LGV nadering



Figuur B9.15: LGV start

Uit deze figuren blijkt, dat het effect van LGV voor naderingen veel groter is dan voor starts. Voornaamste reden is, dat tijdens naderingen veel lager wordt gevlogen dan voor starts en het geluid zich daardoor veel meer "scherend" langs de grond voortplant. Dit verklaart ook waarom in § 2.4 de footprint voor de nadering zoveel "smaller" is dan voor een start.

Let wel: de figuren in deze paragraaf brengen alleen gronddemping, afscherming en de daaruit resulterende LGV in beeld, niet de effecten van de "20 log regel" en atmosferische demping.

B9.3 Gestandaardiseerde omstandigheden LGV

Bij de keuze van de gestandaardiseerde omstandigheden, waaronder de LGV methode geldt, is rekening gehouden met:

- zoveel mogelijk dezelfde omstandigheden die worden gehanteerd voor de berekening van de geluidbelasting, waarop de prestatiegegevens en geluidsniveaus van vliegtuigen gebaseerd zijn.
- omstandigheden, die over het algemeen genomen representatief zijn voor de situaties, waarop de berekeningen betrekking hebben.

Dit heeft geleid tot de volgende keuze van standaardomstandigheden:

- a. Bodem
Verondersteld wordt een vlak oppervlak, begroeid met gras (tot ca. 20 cm hoog) en bestaande uit zand- of bouwgrond, zonder bebouwing.
- b. Wind- en temperatuurgradiënteffecten
Verondersteld wordt dat bij de overdracht van geluid de geluidstralen in lichte mate gekromd zijn met de bolle kant naar boven, hetgeen optreedt bij zowel wind met een geringe windsnelheidscomponent in de richting van het vliegtuig naar de waarnemer (tot maximaal 5 m/sec) als bij een geringe positieve verticale temperatuurgradiënt. Aangenomen wordt echter, dat de windinvloed het meest significant is.
- c. LuchtabSORPTIE
Verondersteld wordt een verzwakking door luchtabSORPTIE, die geldt voor een luchttemperatuur van 15°C en een vochtigheidsgraad van de lucht van 70 %. Dit zijn de waarden volgens de Internationale Standaard Atmosfeer (ISA) op zeeniveau.
- d. Turbulentie
Verondersteld wordt dat turbulentie in geringe mate zal bijdragen tot LGV.
- e. Waarnemings- of microfoonhoogte
Verondersteld wordt een hoogte van 1,20 à 1,90 m boven het bodemoppervlak.

Bovengenoemde omstandigheden corresponderen nagenoeg met die waaronder de geluidscertificatiemetingen aan vliegtuigen volgens de richtlijnen van de "International Civil Aviation Organization" (ICAO) Annex 16 dienen te worden uitgevoerd (zie § 2.6). Deze meetgegevens liggen ten grondslag aan de in de berekeningen gebruikte geluidgegevens.

Bron: toelichting bij berekeningsvoorschrift geluidbelasting

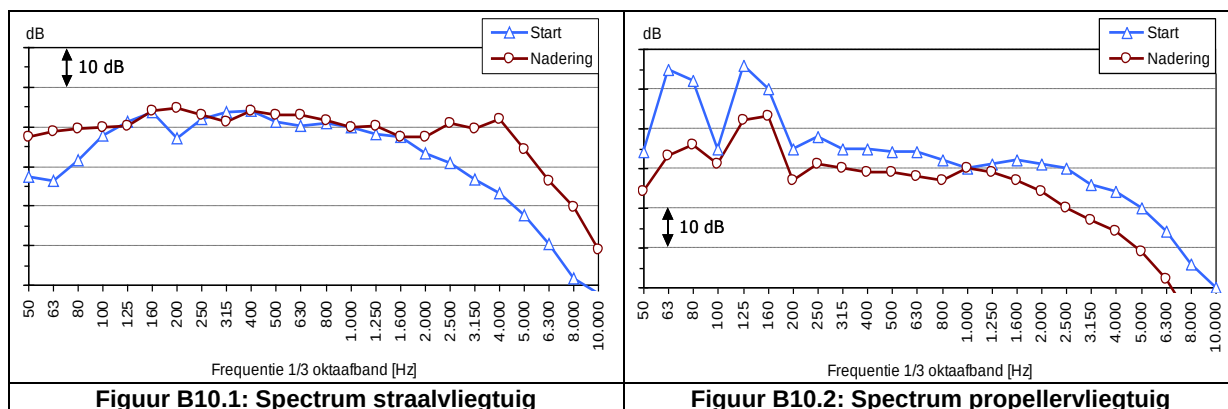
Bijlage 10: Geselecteerde onderwerpen – Spectra en atmosferische damping

In § 1.2 en 1.3 is beschreven dat het geluid van vliegtuigen is samengesteld uit verschillende frequenties ("toonhoogten") en dat dit wordt aangeduid als het "frequentiespectrum"; wat de A-gewogen decibel is en waarom die wordt gebruikt en dat de atmosferische damping – naast de "20 log regel" – bijdraagt aan de afzwakking van het geluid als dat zich voortplant van bron (vliegtuig) naar waarnemer op de grond.

In deze bijlage is nader ingegaan op de spectra en op de atmosferische damping.

B10.1 Spectra

Figuren B10.1 en B10.2 tonen voorbeelden van 1/3 oktaaf (terts) frequentiespectra van vliegtuig-geluid. Op de horizontale as staat de middenfrequentie van de betreffende tertsbands in Hz, op de verticale as het geluidniveau in ongewogen decibellen (dus dB en niet dB(A)).



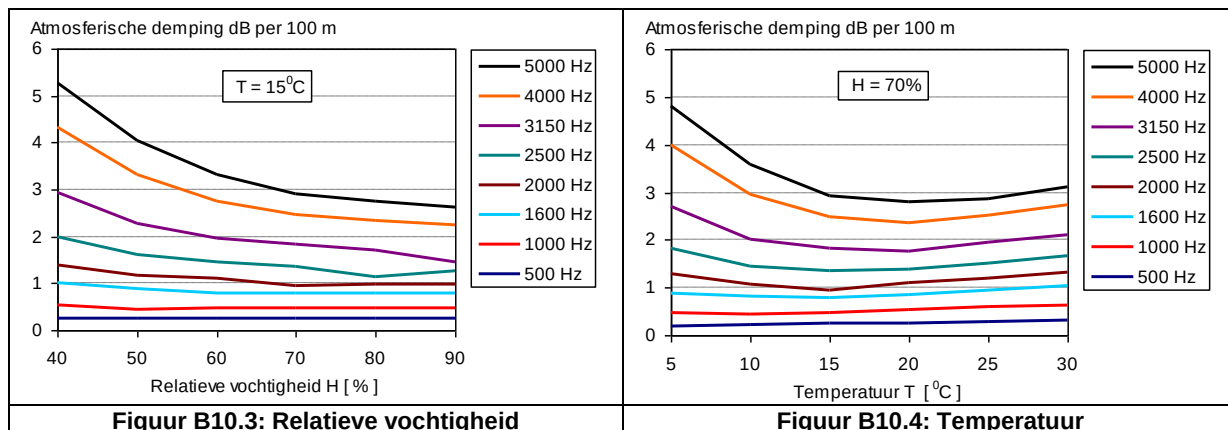
Figuur B10.1 betreft een straalvliegtuig. De spectra zijn weergegeven voor een start en een nadering. Daaruit blijkt dat het spectrum voor de nadering wat meer hoge frequenties bevat dan het spectrum voor de start. In figuur B10.2 staan de spectra voor een (turbo)propellervliegtuig. De pieken bij lage frequenties worden veroorzaakt door de propeller. Let wel: dit zijn gegevens voor bepaalde vliegtuigtypen, andere typen hebben andere spectra.

B10.2 Atmosferische damping

De atmosferische damping is afhankelijk van de frequentie van het geluid; de relatieve vochtigheid en de temperatuur van de atmosfeer. De atmosferische damping wordt uitgedrukt in dB/100 m, dus het aantal decibel per 100 m afstand tussen bron en waarnemer.

Er zijn twee methoden om de atmosferische damping in beeld te brengen: de "volledige methode" waarin alle genoemde aspecten zijn meegenomen en de "benaderingsmethode" waarin voor relatieve vochtigheid en temperatuur gemiddelde waarden worden gebruikt. In § B10.3 staan de formules.

Figuur B10.3 geeft voor verschillende frequenties voor de "volledige methode" het effect van de



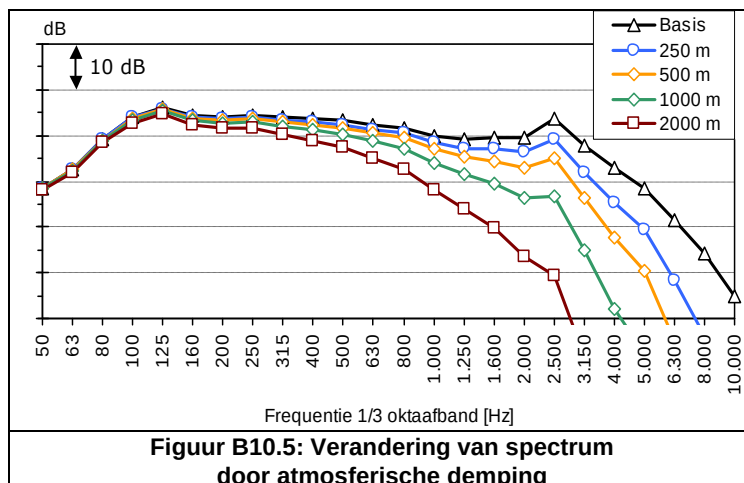
relatieve vochtigheid H bij een vaste temperatuur T van 15°C, op de atmosferische demping weer. Figuur B10.4 toont het effect van de temperatuur bij een vaste waarde voor de relatieve vochtigheid (70%).

De uitgangswaarden voor T in figuur B10.3 (15°C) en H in figuur B10.4 (70%) zijn van belang, omdat dit de condities voor de Internationale Standaard Atmosfeer op zeeniveau zijn, die veel gebruikt worden voor geluidberekeningen.

Uit deze figuren blijkt, dat hoge frequenties (in de figuren bijvoorbeeld 5000 Hz) sterker door de atmosfeer worden gedempt dan lage frequenties (in de figuren bijvoorbeeld 1000 Hz). Voorts dat de atmosferische demping bij een gegeven temperatuur hoger is naarmate de lucht droger is (lage waarden voor H), zie figuur B10.3. Figuur B10.4 toont dat, uitgaande van een vaste waarde voor H, de atmosferische demping het grootst is bij lage temperaturen.

Figuur B10.5 toont een voorbeeld van het effect van atmosferische demping op het spectrum. Uitgaande van een basissituatie is daarin aangegeven het spectrum als de afstand bron-waarnemer toeneemt met 250 m, 500 m enzovoorts. Deze figuur is bepaald volgens de "benaderingsmethode". Hier herhaalt zich wat hierboven al is beschreven, te weten dat vooral de hoge frequenties worden gedempt.

Let wel: dit geeft alleen de verandering van de vorm van het spectrum weer. Naast atmosferische demping neemt ook de afzwakking van het geluid door de "20 log regel" toe naarmate de afstand groter wordt. Dit is hier buiten beschouwing gelaten.



B10.3 Formules atmosferische demping

B10.3.1 Volledige methode

Bron: Elements of aviation acoustics p73/74; ISO 3891 en ICAO Annex 16

$$\delta = \sqrt{(1010/f_0) \times 10^{[\log H - 1,328924 + 0,03179768 \times T]}} \times 10^{[-0,0002173716 \times T^2 + 0,0000017496 \times T^3]}$$

$$\alpha = 10^{[2,05 \times \log(f_0/1000) + 0,0011394 \times T - 1,916984]} + \eta(\delta) \times 10^{[\log(f_0) + 0,00842994 \times T - 2,755624]}$$

α = atmosferische demping in dB per 100 m

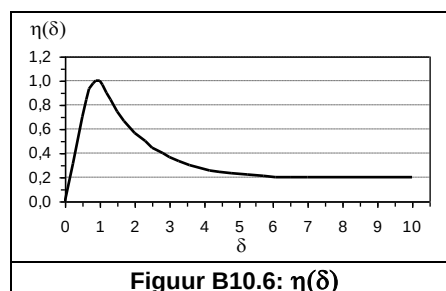
f_0 = gecorrigeerde middenfrequentie tertsband in Hz,

cf. tabel B10.1

T = temperatuur in °C

H = relatieve luchtvochtigheid in %

$\eta(\delta)$ = functie van delta zie figuur B10.6



Tabel B10.1: Gecorrigeerde middenfrequentie							
f	f ₀	f	f ₀	f	f ₀	f	f ₀
50	50	200	200	800	800	3150	3150
63	63	250	250	1000	1000	4000	4000
80	80	315	315	1250	1250	5000	4500
100	100	400	400	1600	1600	6300	5600
125	125	500	500	2000	2000	8000	7100
160	160	630	630	2500	2500	10000	9000

B8.3.2 Benaderingsmethode

Middenfrequentie 1/3 oktaaf band	Atmosferische demping [dB/100 m]	Middenfrequentie 1/3 oktaaf band	Atmosferische demping [dB/100 m]	Middenfrequentie 1/3 oktaaf band	Atmosferische demping [dB/100 m]
50	0,033	315	0,197	2 000	1,311
63	0,033	400	0,230	2 500	1,705
80	0,033	500	0,295	3 150	2,295
100	0,066	630	0,361	4 000	3,115
125	0,066	800	0,459	5 000	3,607
160	0,098	1 000	0,590	6 300	5,246
200	0,131	1 250	0,754	8 000	7,213
250	0,131	1 600	0,983	10 000	9,836

Bron: ECAC DOC 29; ANP-database

