



NLR-CR-2001-372-PT-1

Voorschrift voor de berekening van de L_{den} en L_{night} geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol
Part 1: Berekeningsvoorschrift

H.M.M. van der Wal, P. Vogel en F.J.M. Wubben

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Programmadirectie Ontwikkeling Nationale Luchthaven, contractnummer 2.01.73.059.

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

Hoofdafdeling:	Luchtverkeer
Datum:	juli 2001
Rubricering van de titel:	Ongerubriceerd



Samenvatting

Ten behoeve van de bescherming van burgers tegen geluid van vliegtuigen worden voor de Nederlandse luchthavens grenzen gesteld aan de geluidbelasting die zij veroorzaken. Teneinde die geluidbelasting eenduidig te kunnen bepalen voor zowel de actuele (handhaving) als een voor de toekomst te verwachten situatie (prognose), dient een berekeningsmethode voor de geluidbelasting te worden vastgesteld. Dit berekeningsvoorschrift beschrijft voor de luchthaven Schiphol de methodiek voor de berekening van de L_{den} - en L_{night} - geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer voor normstelling, handhaving en (eventuele) prognoses. Het voorschrift voldoet, met uitzondering van de waarneemhoogte aan de voorwaarden voor interim-methoden zoals beschreven in Bijlage II van de concept EU-richtlijn (Ref.1) inzake de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai. Naast dit deel bestaat het berekeningsvoorschrift uit een toelichting op het berekeningsvoorschrift en een aantal appendices. Deze appendices zijn gedeeltelijk separaat gebundeld maar maken integraal onderdeel uit van het berekeningsvoorschrift.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	11
1.1	Algemeen	11
1.2	Doel van het berekeningsvoorschrift	11
1.3	Totstandkoming van het berekeningsvoorschrift	11
1.4	Globale beschrijving van de berekeningsmethodiek	12
1.5	Invoergegevens	14
2	Coördinatenstelsel	15
2.1	Algemeen	15
2.2	Studiegebied	15
2.3	Gegevens betreffende de luchthaven	15
2.4	Vliegbaangegevens	16
3	Grondpaden en spreiding	17
3.1	Geregistreerde grondpaden	17
3.2	Gemodelleerde grondpaden	17
4	Vliegtuigcategorieën	18
5	Prestatiegegevens	19
6	Geluidsniveaus	22
7	Berekeningsmethodiek	23
7.1	Bepaling momentaan geluidsniveau	23
7.2	Bepaling tijdsgeïntegreerd geluidsniveau	25
7.3	Berekening van de geluidbelasting	26
7.4	Berekening Totale Volume Geluid (TVG-kassa)	28
8	Presentatie van de berekeningsresultaten	29
	Referenties	30
Appendix A	De bepaling van geluidbelastingcontouren	31
A.3.1	Het opzoeken van startpunten	33
A.3.2	Het opzoeken van opeenvolgende omslagpunten	33



A.3.3	Het rangschikken van de gevonden omslagpunten	34
Appendix B	Indeling van civiele vliegtuigen naar vliegtuigcategorie	37
Appendix C	Prestatiegegevens van civiele vliegtuigen	38
Appendix D	Geluidsniveaus van civiele vliegtuigen	39

Verklaring van de symbolen

Gepresenteerd worden achtereenvolgens de symbolen, de eenheden (voor dimensieloze grootheden een horizontale streep), de omschrijving van de symbolen, gevolgd door een verwijzing naar de tekst van het berekeningsvoorschrift.

F_{zj}	[-]	snijpunt van het grondpad j en de, in een verticaal vlak gelegen, loodlijn vanuit Z op dit grondpad (7.1).
h_{zjkm}	[m]	vlieghoogte van een verzameling vliegtuigen km behorend bij een afgelegde weg w_{zj} (7.1).
H_{den}	[-]	hindersom over een jaar in een berekeningspunt, gerelateerd aan de etmaalperiode (1.4).
H_{night}	[-]	hindersom over een jaar in een berekeningspunt, gerelateerd aan de nachtperiode (1.4).
$H_{jkm,den}$	[-]	hindersombijdrage over een jaar in een berekeningspunt van de verzameling vliegtuigen km behorend bij het grondpad j , gerelateerd aan de etmaalperiode (7.3).
$H_{jkm,night}$	[-]	hindersombijdrage over een jaar in een berekeningspunt van de verzameling vliegtuigen km behorend bij grondpad j , gerelateerd aan de nachtperiode (7.3).
ICAO	[-]	International Civil Aviation Organization (5).
j	[-]	index voor een grondpad (7.1).
k	[-]	index voor een vliegtuigcategorie (7.1).
km	[-]	verzameling van vliegtuigen, behorende tot een vliegtuigcategorie k , die een start-, landings of circuitprocedure m uitvoeren (7.3).
LA_{zjkm}	[dB(A)]	het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt met inachtneming van de laterale geluidverzwakking, ten gevolge van een vliegtuig behorend tot de verzameling km , welke zich bevindt in het punt Z boven een grondpad j (7.1).



LA'_{zjkm}	[dB(A)]	het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt zonder inachtneming van de laterale geluidverzwakking ten gevolge van een vliegtuig behorend tot de verzameling km, welke zich bevindt in punt Z boven een grondpad j (7.1).
$LA(t)_p$	[dB(A)]	het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt ten gevolge van een vliegtuigpassage p en met inachtneming van de LGV (1.4).
L_{den}	[dB(A)]	gemiddeld (equivalente) A-gewogen geluidsniveau, dosismaat voor de geluidbelasting ten gevolge van vliegverkeer (1.4)
L_{night}	[dB(A)]	gemiddeld (equivalente) A-gewogen geluidsniveau; dosismaat voor de geluidbelasting ten gevolge van het nachtelijk vliegverkeer (1.4).
LAX_{jkm}	[dB(A)]	tijdsgeïntegreerd A-gewogen geluidsniveau in een berekeningspunt ten gevolge van de passage van een vliegtuig behorend tot de verzameling km boven een grondpad j en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (7.2).
LAX_p	[dB(A)]	tijdsgeïntegreerd A-gewogen geluidsniveau in een berekeningspunt, ten gevolge van een vliegtuigpassage p en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (1.4).
LGV	[dB(A)]	laterale geluidverzwakking in een berekeningspunt (7.1).
LGV_{zjkm}	[dB(A)]	laterale geluidverzwakking in een berekeningspunt behorend bij een vliegtuig uit de verzameling km, welke zich bevindt in het punt Z boven een grondpad j (7.1).
m	[-]	index voor een start-, landings- of circuitprocedure (7.1).
N_{day}	[-]	het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voorzover plaatsvindend tijdens de dagperiode (van 07:00 uur tot 19:00 uur lokale tijd) (1.4).
$N_{evening}$	[-]	het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voorzover plaatsvindend tijdens de avondperiode (van 19:00 uur tot 23:00 uur lokale tijd) (1.4).



N_{night}	[-]	het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voorzover plaatsvindend in de nachtelijke periode (van 23:00 uur tot 07:00 uur lokale tijd) (1.4).
$N_{jkm,day}$	[-]	het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de dagperiode (van 07:00 uur tot 19:00 uur lokale tijd), van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een grondpad j. (7.3)
$N_{jkm,den}$	[-]	het effectieve aantal vliegtuigpassages in één jaar, van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een grondpad j (7.3).
$N_{jkm,evening}$	[-]	het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de avondperiode (van 19:00 uur tot 23:00 uur lokale tijd), van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een grondpad j. (7.3)
$N_{jkm,night}$	[-]	het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de nachtelijke periode (van 23:00 uur tot 07:00 uur lokale tijd), van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een grondpad j. (7.3)
p	[-]	index voor een vliegtuigpassage (1.4).
q	[-]	factor die de afscherpende werking van vliegtuigdelen in rekening brengt (7.1).
s	[m]	afstand tussen een berekeningspunt en een punt op de vliegbaan (7.1).
s_0	[m]	referentieafstand bij de berekening van de bodemverzwakking (1 m) (7.1).
s_{zjkm}	[m]	afstand vanaf een berekeningspunt tot een punt Z, gelegen op de vliegbaan van een vliegtuig, behorend tot een verzameling km en vliegend boven het grondpad j (7.1).
sh_{zj}	[m]	afstand vanaf een berekeningspunt tot het punt F_{zj} (7.1).
t	[sec]	tijd
T_{den}	[sec]	de totale duur van de periode waarover de hindersommen H_{day} , $H_{evening}$ en H_{night} bepaald worden (1.4)



T_{night}	[sec]	de totale duur van de periode waarover de hindersom H_{night} bepaald wordt (1.4)
TI_{zjkm}	[-]	motorstuwkracht(index) van een verzameling vliegtuigen km behorend bij een afgelegde weg w_{zj} (7.1).
V	[m/sec]	de grondsnelheid, overeenkomstig de gegevens in Appendix C (7.2).
w	[m]	de afgelegde weg per integratiestap (7.2).
w_{zj}	[m]	afgelegde weg vanaf het begin van een grondpad j tot het punt F_{zj} , gemeten langs het grondpad j (7.1).
X, Y	[km]	coördinaten van een berekeningspunt, gelegen in het X-Y vlak van het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting; positieve X-as richting = Oost, positieve Y-as richting = Noord (Error! Reference source not found.).
z	[-]	index voor een punt Z (7.1).
Z	[-]	punt gelegen op de vliegbaan (7.1).
β	[rad]	elevatiehoek (7.1).
β_{zjkm}	[rad]	elevatiehoek, de hoek, gevormd enerzijds door de verbindingslijn tussen een berekeningspunt en een punt op de vliegbaan van de verzameling vliegtuigen km loodrecht boven het punt F_{zj} , en anderzijds door de projectie van deze lijn op het referentievlak (7.1).
ΔL	[dB(A)]	bodemverzwakking (7.1).
Δt	[sec]	tijdsduur van de integratiestap ter bepaling van het tijdsgeïntegreerde geluidsniveau (7.2).
τ	[sec]	referentieperiode van 1 seconde (1.4).



Deze pagina is opzettelijk blanco.



1 Inleiding

1.1 Algemeen

Door de Europese Unie is de L_{den} geluidbelasting in dB(A) gekozen als maat voor de beoordeling van de door mensen ondervonden hinder als gevolg van omgevingsgeluid. De L_{night} -geluidbelasting in dB(A) is gekozen als maat voor de beoordeling van de gezondheidseffecten (in dit geval slaapverstoringen) bij mensen door nachtelijk geluid. Beide dosismaten worden toegepast in het kader van Europese regelgeving met betrekking tot de evaluatie en beheersing van omgevingslawaai, waaronder vliegtuiggeluid (zie Ref.1) en zijn door de Nederlandse overheid overgenomen.

Dit voorschrift legt voor de luchthaven Schiphol de methodiek vast voor de berekening van de L_{den} - en de L_{night} -geluidbelasting, uitgedrukt in dB(A), ten gevolge van vliegverkeer. De L_{den} - en de L_{night} -geluidbelasting in dB(A) bepalen de geluidbelasting buitenshuis, en voldoen met uitzondering van de waarneemhoogte aan de voorwaarden voor interim-methoden zoals beschreven in bijlage II van Ref.1.

Het vliegverkeer betreft de op Schiphol landende en opstijgende luchtvaartuigen. Het operationele vliegtuiggebruik omvat zowel de vluchttuitvoering als het taxiën. Omdat de geluidbelasting ten gevolge van het taxiën aanzienlijk lager is dan de geluidbelasting vanwege vluchttuitvoering is dit aspect in de verdere uitwerking van de berekeningsmethodiek als verwaarloosbaar buiten beschouwing gelaten (Ref.2).

1.2 Doel van het berekeningsvoorschrift

Het berekeningsvoorschrift heeft tot doel het vastleggen van de berekeningsmethodiek, waarmee op eenduidige en reproduceerbare wijze de L_{den} - en de L_{night} -geluidbelasting door de in paragraaf 1.1 genoemde luchtvaartuigen moet worden bepaald.

Voor het uitvoeren van een berekening zijn, naast een algemeen toepasbaar berekeningsvoorschrift, invoergegevens benodigd. Deze worden ten dele door de opdrachtgever bepaald. Een deel van de toe te passen invoergegevens (zie ook § 1.5) is vastgelegd in de appendices bij dit berekeningsvoorschrift. Deze appendices zijn gedeeltelijk separaat gebundeld maar maken integraal onderdeel uit van het berekeningsvoorschrift.

Tevens is, in aanvulling op dit voorschrift, een verantwoording van de noodzakelijke benaderingen en schematiseringen opgenomen in de toelichting op het berekeningsvoorschrift.

1.3 Totstandkoming van het berekeningsvoorschrift

De EU dosismaten L_{den} en L_{night} zijn door de Nederlandse overheid overgenomen. Aangezien er nog geen EU berekeningsvoorschrift is vastgesteld voor de L_{den} en de L_{night} , is het Nederlandse berekeningsvoorschrift voor de L_{den} en de L_{night} gebaseerd op het bestaande LAeq-voorschrift (Ref.3), dat zo veel mogelijk is aangepast aan het concept van de toekomstige Europese regelgeving voor



omgevingslawaai (Ref.1). Een rekenvoorschrift geheel conform de Europese regelgeving kan pas worden opgesteld nadat de betreffende Europese regelgeving definitief is vastgesteld.

1.4 Globale beschrijving van de berekeningsmethodiek

De geluidbelasting veroorzaakt door de op Schiphol landende en opstijgende luchtvaartuigen, zoals genoemd in paragraaf 1.1, wordt berekend volgens de formule:

$$L_{den} = 10^{10} \log(H_{den}) - 10^{10} \log\left(\frac{T_{den}}{\tau}\right) \quad [1.1]$$

$$L_{night} = 10^{10} \log(H_{night}) - 10^{10} \log\left(\frac{T_{night}}{\tau}\right) \quad [1.2]$$

met

$$H_{den} = \sum_{p=1}^{N_{day}} 10^{\frac{LAX_p}{10}} + \sqrt{10} \cdot \sum_{p=1}^{N_{evening}} 10^{\frac{LAX_p}{10}} + 10 \cdot \sum_{p=1}^{N_{night}} 10^{\frac{LAX_p}{10}} \quad [1.3]$$

$$H_{night} = \sum_{p=1}^{N_{night}} 10^{\frac{LAX_p}{10}} \quad [1.4]$$

en

H_{den} = de hindersom over een jaar in een berekeningspunt, gerelateerd aan de etmaalperiode.

H_{night} = de hindersom over een jaar in een berekeningspunt, gerelateerd aan de nachtperiode.

N_{day} = het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voorzover plaatsvindend tijdens de dagperiode. De dagperiode betreft een periode van twaalf uren van 07:00 uur tot 19:00 uur lokale tijd, zoals is vastgelegd in bijlage I van Ref.1.

$N_{evening}$ = het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voor zover plaatsvindend tijdens de avondperiode. De avondperiode betreft een periode van vier uren van 19:00 uur tot 23:00 uur lokale tijd, zoals is vastgelegd in bijlage I van Ref.1.



N_{night}	=	het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen, voor zover plaatsvindend in de nachtelijke periode. De nachtelijke periode betreft een periode van acht uren van 23:00 uur tot 07:00 uur lokale tijd, zoals is vastgelegd in bijlage I van Ref.1.
T_{den}	=	de totale duur van de periode waarover de hindersommen H_{day} , H_{evening} en H_{night} bepaald worden, uitgedrukt in seconden.
T_{night}	=	de totale duur van de periode waarover de hindersom H_{night} bepaald wordt, uitgedrukt in seconden.
τ	=	referentieperiode van 1 seconde.
p	=	index voor een vliegtuigpassage.
LAX_p	=	het tijdsgeïntegreerde A-gewogen geluidsniveau in een berekeningspunt, ten gevolge van een vliegtuigpassage p , in dB(A) en als volgt gedefinieerd:

$$LAX_p = 10 \cdot 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \cdot \int 10^{\frac{LA(t)_p}{10}} dt \right) \quad [1.5]$$

met

τ	=	referentieperiode van 1 seconde.
$LA(t)_p$	=	het geluidsniveau in een berekeningspunt, ten gevolge van een vliegtuigpassage p in dB(A) op tijdstip t .

De berekening is globaal als volgt te beschrijven:

- De luchthaven en de omgeving, alsmede de vliegbanen worden geprojecteerd in een plat vlak. In dit zogenoemde referentievlak wordt een studiegebied gedefinieerd waarin een reeks van punten (losse punten of een netwerk) wordt gelegd. Vervolgens wordt in deze punten de geluidbelasting berekend.
- Voor één vliegtuigpassage p , langs een vliegbaan, wordt in ieder berekeningspunt het momentane geluidsniveau $LA(t)_p$ bepaald, gebruik makend van de geluidsniveaus die per vliegtuigcategorie (zie hoofdstuk 4) als functie van de motorstuwkracht(index) en de afstand tussen bron en waarnemer in Appendix C vermeld staan. Het momentane geluidsniveau wordt gecorrigeerd voor de bodemdempingsinvloed, de zogenaamde laterale geluidverzwakking (LGV) (zie § 7.4 van de toelichting).
- Door numerieke integratie van het momentane geluidsniveau, met gebruikmaking van de grondsnelheid (afkomstig uit de gegevens in Appendix C), wordt het tijdsgeïntegreerde



geluidsniveau LAX_p verkregen. Met behulp van formules [1.3] en [1.4] zijn vervolgens de hindersonbijdragen voor deze vliegtuigpassage in de berekeningspunten te bepalen.

- d) Op overeenkomstige wijze worden de overige vliegtuigpassages verwerkt. Sommatie van de hindersonbijdragen in ieder berekeningspunt geeft met behulp van formules [1.1] en [1.2] de L_{den} - en L_{night} -geluidbelastingen ten gevolge van het vliegverkeer in elk berekeningspunt.
- e) De geluidbelastingcontouren (lijnen die punten met een gelijke geluidbelasting verbinden) worden bepaald door interpolatie (Appendix A) tussen de in de netwerkpunten berekende geluidbelastingwaarden.

1.5 Invoergegevens

Voor het uitvoeren van een geluidbelastingsberekening zijn invoergegevens benodigd, die het verloop van het startende en landende vliegverkeer rondom Schiphol specificeren. De benodigde gegevens zijn hieronder kort samengevat:

Luchthavengegevens (luchthavengebonden)

Hiermee worden de posities en lengte van start- en landingsbanen vastgelegd voor de luchthaven Schiphol.

Grondpadgegevens (luchthavengebonden)

Deze definiëren de grondpaden waarlangs vliegbewegingen worden uitgevoerd.

Vliegtuiggegevens (onderdeel van dit voorschrift)

Hierin is vastgelegd wat de geluidkarakteristieken van bepaalde vliegtuigcategorieën zijn en volgens welke procedure (d.w.z. hoogteprofiel langs het grondpad, motorstuwkracht en vliegsnelheid) wordt gevlogen.

Vliegverkeersgegevens (luchthavengebonden)

Met behulp hiervan wordt vastgelegd welke (vliegtuigcategorie) en hoeveel vliegbewegingen in welke baanrichting, langs welk grondpad en volgens welke procedure worden uitgevoerd in welke periode van de dag.

2 Coördinatenstelsel

2.1 Algemeen

De geluidbelasting wordt berekend in punten liggend in het horizontale vlak van het stelsel van de Rijksdriehoekmeting, het referentievlak. Dit referentievlak ligt op lokaal luchthavenniveau. Voor de presentatie van geluidbelastingcontouren, o.a. in bestuurlijk verband, worden topografische kaarten toegepast, waarbij gebruik gemaakt is van projectie in het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting (R.D. stelsel).

2.2 Studiegebied

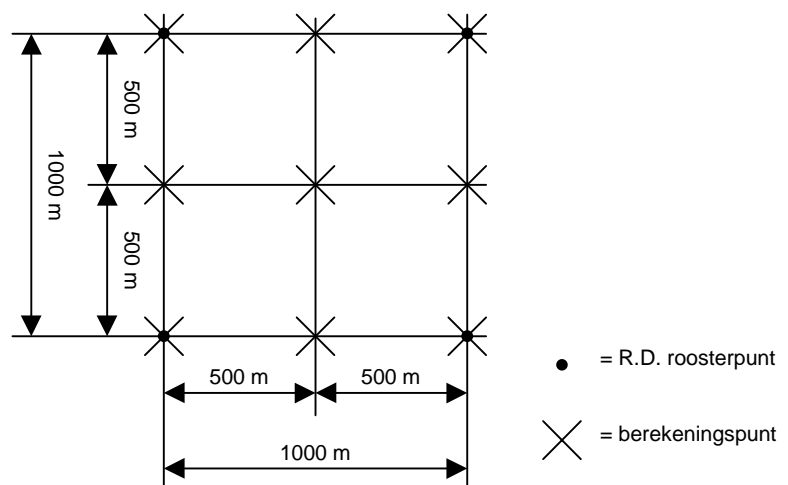
De geluidbelasting wordt bepaald binnen een zeker gebied, ook wel het studiegebied genoemd. Binnen het studiegebied wordt ofwel een reeks losse berekeningspunten gedefinieerd ofwel een raster van berekeningspunten voor het bepalen van geluidbelastingscontouren.

Voor rasterberekeningen wordt uitgegaan van een raster met een maaswijdte van 500 m, zowel voor de L_{den} als voor de L_{night} .

Het netwerk van punten waarin de geluidbelasting wordt berekend is zodanig bepaald dat de berekeningspunten iedere 1000 m in X- en Y-richting samenvallen met de gehele kilometerwaarden in het R.D. stelsel (zie figuur 1).

2.3 Gegevens betreffende de luchthaven

De voor de luchthaven Schiphol karakteristieke punten van elke start- en landingsbaan, de start- en landingspunten, worden gegeven in het referentievlak. Met het startpunt wordt het beginpunt van de aanloop aangegeven en met het landingspunt wordt het snijpunt van de (rechtlijnige) vliegbaan tijdens de eindnaderingsvlucht met de landingsbaan aangeduid.



Figuur 1 Ligging van de berekeningspunten t.o.v. de R.D. roosterpunten



2.4 Vliegbaangegevens

Bij de berekening wordt er van uitgegaan, dat alle vliegtuigpassages langs zogenaamde vliegbanen worden afgewikkeld. Een vliegbaan wordt beschreven door:

- a) zijn projectie op het referentievlak, het zogenaamde grondpad.
- b) het verloop van de vlieghoogte boven de grond als functie van de afgelegde weg langs het grondpad, het zogenaamde hoogteprofiel.



3 Grondpaden en spreiding

Het vliegverkeer rond Schiphol wordt afgehandeld volgens een bepaald aantal vaste vertrek- en aankomstprocedures. Echter, als gevolg van allerlei factoren zullen de bij één procedure behorende grondpaden spreiding vertonen.

Bij de berekeningsmethodiek wordt de horizontale spreiding, afhankelijk van het feit of gegevens omtrent geregistreerde vliegbanen voorhanden zijn, ofwel in rekening gebracht door:

- per vertrek- en aankomstprocedure een spreidingsgebied te definiëren met deelroutes en een gedefinieerd waarschijnlijkheidspercentage van het verkeer dat gebruik maakt van die deelroute, ofwel
- grondpaden af te leiden uit met behulp van radar geregistreerde vliegbewegingen.

Het beginpunt van een grondpad is zowel bij een start als bij een circuit het startpunt en bij een landing het punt gelegen op de landingsbaan, op een afstand ter lengte van de beschikbare landingsuitloop, gerekend vanaf het landingspunt (Appendix C). Ieder grondpad wordt gedefinieerd tot ruim voorbij de rand van het studiegebied of, als daar de berekende vlieghoogte minder is dan 9000 ft, tot zover als overeenkomt met een vlieghoogte van 9000 ft. De grondpadrichting wordt, onafhankelijk van de vliegrichting, positief gedefinieerd uitgaande van het beginpunt van een grondpad.

3.1 Geregistreerde grondpaden

Indien de grondpaden worden afgeleid uit, met behulp van radar, geregistreerde vliegbanen is per vliegtuigpassage een grondpad j te herleiden (zie § 3.1 van de toelichting). Door voor een ieder van deze grondpaden de bijdrage tot de geluidbelasting in een berekeningspunt te bepalen, wordt de in horizontale richting optredende spreiding van het vliegverkeer in rekening gebracht. Geregistreerde grondpaden kunnen zowel voor actuele berekeningen als voor prognoseberekeningen worden gebruikt.

3.2 Gemodelleerde grondpaden

Indien registraties, zoals vermeld in § 3.1, niet beschikbaar zijn kunnen de grondpaden alleen modelmatig worden gegenereerd. In tegenstelling tot het LAeq voorschrift (Ref.3) maakt de wijze, waarop de routespreiding in horizontale richting wordt gemodelleerd, geen deel uit van het huidige rekenvoorschrift voor L_{den} en L_{night} . De wijze waarop de routespreiding gemodelleerd wordt dient de werkelijkheid zo goed mogelijk te benaderen. De keuze van het toegepaste algoritme maakt deel uit van de invoergegevens van de berekening en dient in de rapportage te worden aangegeven en gemotiveerd.



4 Vliegtuigcategorieën

In de luchtvaart zijn vele vliegtuigtypen in gebruik, waarvan verder veelal diverse configuraties zijn ontwikkeld. Met name bij prognoseberekeningen is het praktisch het aantal te onderscheiden typen en configuraties te beperken. Bovendien zijn niet van alle typen en configuraties de voor de berekening van de geluidbelasting benodigde geluids- en prestatiegegevens bekend en beschikbaar.

Daarnaast zijn, bij de berekening van de geluidbelasting voor toekomstige situaties, schattingen noodzakelijk met betrekking tot de geluids- en prestatiegegevens van de in de toekomst te verwachten en nog niet bestaande vliegtuigtypen.

Om deze redenen worden de vliegtuigtypen ingedeeld in een beperkt aantal categorieën. De categorieën zijn vastgelegd in Appendix B. Alle vliegtuigtypen, die tot één categorie behoren, worden verondersteld identieke geluids- en prestatiegegevens te hebben.

Alleen de in Appendix B vermelde categorieën kunnen bij de berekening van de geluidbelasting worden toegepast.



5 Prestatiegegevens

De prestatiegegevens, zoals vastgelegd in de appendices bij het voorschrift (Appendix C), bevatten een beschrijving van de vlieghoogte (het hoogteprofiel), de motorstuwkracht (het stuwkrachtprofiel) en de grondsnelheid langs het grondpad (het snelheidsprofiel) als functie van de afgelegde weg langs het grondpad. Deze gegevens zijn per vliegtuigcategorie afhankelijk gesteld van de te volgen klim- of daalprocedure en het vliegtuiggewicht (afhankelijk van bestemming).

De afgelegde weg is onderverdeeld in een aantal segmenten, vastgelegd door een begin- en eindpunt, waarbij per segment geldt:

- a) een lineaire toe- of afname van de vlieghoogte, danwel een constante vlieghoogte. Het verloop wordt vastgelegd door de waarde van de vlieghoogte in het begin- en eindpunt van het segment.
- b) een lineaire toe- of afname van de motorstuwkracht, danwel een constante motorstuwkracht. Het verloop wordt vastgelegd door de motorstuwkrachtwwaarden in het begin- en eindpunt van het segment. Een *geïndexeerde* motorstuwkracht is per definitie constant over een segment.
- c) een constante vliegsnelheid. De waarde ervan is per segment bepaald.

De lengte van de prestatieprofielen (dit betreft hoogte-, snelheids- en stuwkrachtprofielen) is gelijk aan de som van de lengten van alle profielsegmenten. Als het grondpad van een route, waarvoor de geluidbelasting moet worden berekend, langer is dan de bijbehorende lengte van de prestatieprofielen, dan moeten deze prestatieprofielen worden geëxtrapoleerd. Hiervoor wordt de volgende procedure voorgeschreven:

- de vlieghoogte wordt lineair geëxtrapoleerd, m.a.w. de functie, die de hoogte, afhankelijk van de afgelegde weg, beschrijft op het laatste segment, geldt ook voor de extrapolatie.
- de waarde van de stuwkracht (index) en de snelheid zijn constant, en gelijk aan de waarde aan het einde van het laatste profielsegment.

De bij de bepaling van de prestatiegegevens gebruikte atmosferische grootheden zijn ontleend aan de ICAO standaard-atmosfeer op zeeniveau:

- luchtdruk op zeeniveau : 1013 hPa



- luchtdichtheid op zeeniveau : 1,225 kg/m³
- luchttemperatuur op zeeniveau : 15° C
- relatieve luchtvochtigheid : 70%
- geen wind

De prestatiegegevens zijn als representatief gekozen voor alle meteorologische omstandigheden.

De prestatiegegevens zijn voor wat betreft de civiele luchtvaartuigen, in tabelvorm per vliegtuigcategorie vermeld in Appendix C. Per vliegtuigcategorie is vervolgens een onderscheid gemaakt naar start-, landings- of circuitprocedure. De vliegprocedures zijn verder onderverdeeld in zogenaamde klassen.

Voor startprocedures is een indeling in klassen gemaakt op basis van de afstand tot de eerstvolgende bestemming (zie Tabel 1).

Tabel 1 De startprocedure voor civiele vliegtuigen onderverdeeld in klassen.

Klasse nr.	Afstand D naar eerstvolgende bestemming (km)
00	$D \leq 750$
01	$750 < D \leq 1500$
02	$1500 < D \leq 3000$
03	$D > 3000$

Met behulp van een representatief vliegtuiggewicht, gelet op de te overbruggen afstand, en de gehanteerde startprocedure (zoals ICAO-A en ICAO-B), worden het in de berekening te gebruiken hoogteprofiel, het stuwkracht- en vliegsnelheidsverloop uit Appendix C bepaald. Immers, afhankelijk van de hoeveelheid meegenomen brandstof zal een vliegtuig sneller danwel langzamer stijgen. In deze methodiek inzake indeling in klassen zijn de representatieve vliegtuiggewichten bepaald op basis van rekenkundige middeling van vliegtuiggewichten binnen het interval van de te overbruggen afstand D.

De reden voor het indelen op grond van de af te leggen weg is gelegen in het feit dat er meer gegevens beschikbaar zijn van aantallen vliegtuigen per bestemming dan van aantallen vliegtuigen per gewicht.



Aangezien voor zowel landings- als circuitprocedures de respectievelijke vliegtuiggewichten per categorie relatief weinig variëren, wordt op basis hiervan geen indeling naar klassen gemaakt. Voor wat betreft landingsprocedures is een onderverdeling gemaakt op basis van de initiële naderingshoogte. Bovendien zijn voor een beperkt aantal types noise abatement procedures opgenomen, zoals continuous descent approaches en reduced flap procedures.

Alleen de in Appendix C vermelde prestatiegegevens kunnen, voor wat betreft vliegtuigen die deel uitmaken van het civiele verkeer, bij de berekening van de geluidbelasting worden toegepast.



6 Geluidsniveaus

Voor iedere vliegtuigcategorie zijn de geluidsniveaus vermeld in Appendix D als functie van de motorstuwkracht(index) en de afstand tussen het vliegtuig en het berekeningspunt. Deze geluidsniveaus, uitgedrukt in dB(A), zijn gegeven zonder correctie voor de zogenoemde laterale geluidverzwakking, die is beschreven in § 7.1.

De stuwkrachtwaarde, benodigd om het geluidsniveau vast te stellen, wordt bepaald aan de hand van het stuwkrachtprofiel, waarin voor elk segment is aangegeven wat de stuwkrachtwaarde is. De afstand tussen het vliegtuig en het betreffende berekeningspunt wordt berekend volgens § 7.1. Voor het bepalen van het geluidsniveau dient meestal geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd te worden tussen opgegeven waarden in Appendix D.

Voor andere afstanden tot het vliegtuig dan die waarvoor de opgegeven geluidsniveaus expliciet in Appendix D zijn vermeld, wordt lineair geïnterpoleerd danwel geëxtrapoleerd op basis van de logaritme van de afstand. Voor andere motorstuwkrachtwaarden dan opgegeven in de Appendix D wordt lineair geïnterpoleerd danwel geëxtrapoleerd. Dit geldt niet als de stuwkracht is opgegeven in de vorm van een stuwkrachtindex (zie toelichting).

Als de berekende $\log(\text{afstand})$ of stuwkracht of zowel de $\log(\text{afstand})$ als de stuwkracht buiten de geluidstabel in Appendix C valt (vallen), dan wordt lineair geëxtrapoleerd op basis van de twee waarden van de $\log(\text{afstand})$, danwel de stuwkracht, die het dichtst liggen bij de waarden van de $\log(\text{afstand})$, resp. de stuwkracht, waarvoor het geluidsniveau moet worden berekend, en de bijbehorende geluidsniveaus uit de tabel.

Alle uit de tabel bepaalde geluidsniveaus dienen bij verdere berekening te worden meegenomen, m.a.w. er geldt geen drempelwaarde, waar beneden de betreffende bijdrage wordt verwaarloosd.

De meteorologische omstandigheden waarvoor de geluidsniveaus geldig zijn komen overeen met die van de ICAO standaard-atmosfeer op zeeniveau (zie hoofdstuk 5). De geluidsniveaus worden representatief geacht voor alle meteorologische omstandigheden.

Alleen de in Appendix D vermelde geluidsgegevens kunnen bij de berekening van de geluidbelasting worden toegepast.

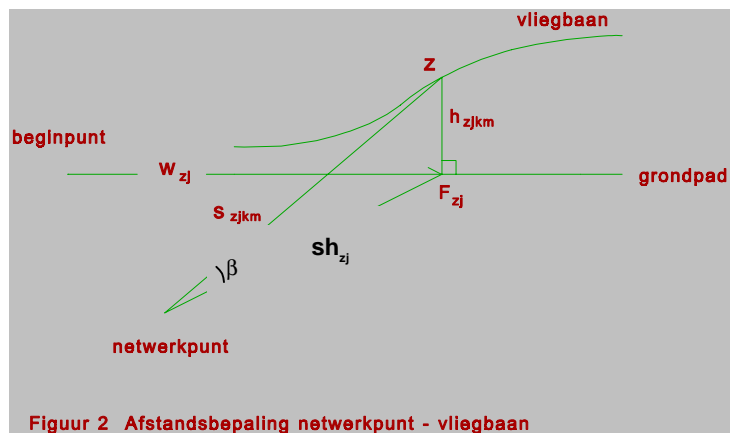


7 Berekeningsmethodiek

7.1 Bepaling momentaan geluidsniveau

LA_{zjkm} is het momentane geluidsniveau dat in een berekeningspunt wordt waargenomen, indien een vliegtuig, behorend tot categorie k, een vlucht uitvoert volgens procedure m boven grondpad j en zich bevindt in een punt Z van de vliegbaan. LA_{zjkm} wordt als volgt berekend:

- a) Bepaal het snijpunt F_{zj} van het grondpad en een in een verticaal vlak gelegen loodlijn vanuit Z op het grondpad (zie figuur 2). De afstand vanaf het begin van het grondpad tot dit punt en gemeten langs het grondpad wordt w_{zj} genoemd; de afstand van het berekeningspunt tot F_{zj} wordt sh_{zj} genoemd.



Figuur 2 Afstandsbepaling netwerkpunt - vliegbaan

- b) Bepaal de vlieghoogte h_{zjkm} en de motorstuwkracht(index) TI_{zjkm} geldend voor w_{zj} uitgaande van de prestatiegegevens die met betrekking tot categorie k en procedure m in Appendix C vermeld zijn.
- c) Bepaal de afstand s_{zjkm} tussen het berekeningspunt en Z overeenkomstig de volgende formule:

$$s_{zjkm} = \sqrt{(sh_{zj})^2 + (h_{zjkm})^2} \quad [7.1]$$

- d) Bepaal het geluidsniveau LA'_{zjkm} geldend voor s_{zjkm} en voor TI_{zjkm} uitgaande van de geluidsgegevens die in Appendix D met betrekking tot categorie k vermeld zijn.
- e) Corrigeer het momentane geluidsniveau LA'_{zjkm} als volgt voor de LGV:

$$LA_{zjkm} = LA'_{zjkm} - LGV_{zjkm} \quad [7.2]$$

waarbij

LA_{zjkm} = het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt met inachtneming van de LGV, ten gevolge van een vliegtuig behorend



- tot de verzameling km, welke zich bevindt in punt Z boven het grondpad j.
- LA'_{zjkm} = het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt zonder inachtneming van de LGV, ten gevolge van een vliegtuig behorend tot de verzameling km, welke zich bevindt in punt Z boven het grondpad j; afgeleid uit Appendix D.
- LGV_{zjkm} = de laterale geluidverzwakking ten gevolge van een vliegtuig behorend tot de verzameling km, welke zich bevindt in punt Z boven het grondpad j.

De laterale geluidverzwakking, LGV_{zjkm} , is afhankelijk gesteld van de afstand s_{zjkm} , de elevatiehoek β_{zjkm} en de afschermdende werking van vliegtuigdelen:

- 1) De elevatiehoek β_{zjkm} wordt als volgt bepaald:

$$\beta_{zjkm} = \arctan \left(\frac{h_{zjkm}}{sh_{zj}} \right) \quad [7.3]$$

N.B.: arctan in radialen.

- 2) De afschermingsfactor q brengt de afschermdende werking van vliegtuigdelen in rekening. Voor iedere vliegtuigcategorie is vermeld of deze factor wel ($q=1$) of niet ($q=0$) van toepassing is.
- 3) De bodemverzwakking ΔL is afhankelijk gesteld van de afstand s:

Tabel 2 Het verband tussen de bodemverzwakking en de afstand.

s (m)	ΔL (dB(A))
$0 \leq s < 50$	0
$50 \leq s < 400$	$0,0163 \cdot (s/s_0) - 0,815$
$400 \leq s < 2300$	$16,1847 \cdot {}^{10}\log(s/s_0) - 36,4086$
$s \geq 2300$	18

waarbij s_0 de referentieafstand van 1 meter is.

Hiermee wordt de laterale geluidverzwakking als volgt bepaald:

- i) voor $0 \leq \beta \leq 0,35$ rad

$$LGV = \Delta L (5,471 \beta^2 - 4,774 \beta + 1) + 3q (1 - \sqrt{\sin \beta}) \quad [7.4]$$

- ii) voor $0,35 < \beta \leq 1,57$ rad

$$LGV = 3q (1 - \sqrt{\sin \beta}) \quad [7.5]$$

7.2 Bepaling tijdsgeïntegreerd geluidsniveau

Het tijdsgeïntegreerde geluidsniveau LAX_{jkm} in een berekeningspunt, ten gevolge van één vliegtuigpassage, behorende tot categorie k, vliegprocedure m en grondpad j, wordt als volgt bepaald:

- a) Bepaal een aantal punten Z gelegen op de vliegbaan die het grondpad verdelen in een geheel aantal integratiestappen. De grootte van de integratiestap is afhankelijk gesteld van het tijdsinterval Δt . De afgelegde weg langs het grondpad wordt voor iedere integratiestap dus bepaald door de snelheid langs het grondpad ter plekke te vermenigvuldigen met het tijdsinterval Δt :

$$w = V \cdot \Delta t \quad [7.6]$$

met

w = de afgelegde weg langs het grondpad per integratiestap.

V = de vliegsnelheid, overeenkomstig de gegevens in Appendix C.

Δt = het tijdsinterval.

De grootte van de integratiestap varieert daarmee met de vliegsnelheid. Het tijdsinterval Δt bedraagt 2 seconden voor berekeningen in discrete punten (bijvoorbeeld handhavingspunten of referentiepunten) en 10 seconden voor berekeningen t.b.v. het bepalen van geluidbelastingcontouren.

Indien binnen de integratiestap een segmentovergang plaatsvindt in het prestatieprofiel, wordt de lengte van de integratiestap aangepast, zodanig dat de integratiestap eindigt ter plekke van de segmentovergang in het prestatieprofiel. Het in de berekeningen te hanteren tijdsinterval Δt voor dit segment (en daarmee de in formule 7.6 gedefinieerde weglengte $V \Delta t$) is dan korter dan het maximale tijdsinterval. Het eindpunt van het volgende segment, dat begint ter plaatse van de



betreffende discontinuïteit, is zodanig gedefinieerd, dat dit segment weer een lengte $V \Delta t$ heeft. Indien het aldus gedefinieerde segment een (volgende) discontinuïteit in het hoogte-, stuwkracht- of snelheidsprofiel bevat, dan komt het eindpunt van het segment weer ter plaatse van deze discontinuïteit te liggen.

- b) De punten Z van de vliegbaan zijn de punten in het midden van ieder segment. De punten Z bevinden zich altijd loodrecht boven het grondpad.
- c) Bereken, overeenkomstig de methode beschreven in paragraaf 7.1, voor elk punt Z van de vliegbaan het momentane geluidsniveau LA_{zjkm} (gecorrigeerd voor LGV) dat in een berekeningspunt wordt waargenomen.
- d) Bereken het tijdsgeïntegreerde geluidsniveau LAX_{jkm} door de momentane geluidsniveaus LA_{zjkm} voor alle segmenten van de vliegbaan te integreren overeenkomstig de navolgende formule:

$$LAX_{jkm} = 10 \cdot 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \cdot \sum_z \Delta t \cdot 10^{\frac{LA_{zjkm}}{10}} \right) \quad [7.7]$$

met

Δt = tijdsduur van de integratiestap in seconden.

LA_{zjkm} = het momentane geluidsniveau in een berekeningspunt met inachtneming van de LGV, ten gevolge van een vliegtuig behorend tot de verzameling km, welke zich bevindt in punt Z boven het grondpad j.

z = index voor een punt Z.

τ = referentieperiode van 1 seconde.

7.3 Berekening van de geluidbelasting

De hindersombijdrage in een berekeningspunt ten gevolge van het aantal vliegtuigpassages van categorie k en volgens procedure m, die een grondpad j volgen, bedraagt:

$$H_{jkm,den} = N_{jkm,den} \cdot 10^{\frac{LAX_{jkm}}{10}} \quad [7.8]$$

$$H_{jkm,night} = N_{jkm,night} \cdot 10^{\frac{LAX_{jkm}}{10}} \quad [7.9]$$



hierin is:

- $H_{jkm,den}$, $H_{jkm,night}$ = de aan de etmaal- resp. de nachtperiode gerelateerde hindersombijdrage in een berekeningspunt van de vliegtuigen km, die een grondpad j volgen.
- $N_{jkm,den}$ = het effectieve aantal vliegtuigpassages in één jaar, van de verzameling vliegtuigen km, behorende bij een grondpad j:
- $$N_{jkm,den} = N_{jkm,day} + \sqrt{10} \cdot N_{jkm,evening} + 10 \cdot N_{jkm,night} \quad [7.10]$$
- $N_{jkm,day}$ = het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de dagperiode, van de verzameling vliegtuigen km, behorende bij een grondpad j.
- $N_{jkm,evening}$ = het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de avondperiode, van de verzameling vliegtuigen km, behorende bij een grondpad j.
- $N_{jkm,night}$ = het aantal vliegtuigpassages in één jaar, voorzover plaatsvindend in de nachtelijke periode, van de verzameling vliegtuigen km, behorende bij een grondpad j.
- LAX_{jkm} = het tijdsgeïntegreerde geluidsniveau in een berekeningspunt ten gevolge van de passage van een vliegtuig behorend tot de verzameling km, die een grondpad j volgt en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking.

De totale hindersommen H_{den} en H_{night} in een berekeningspunt voor de etmaal- resp. de nachtperiode zijn te bepalen door de hindersombijdragen voor alle combinaties van vliegtuigcategorieën k, procedures m en grondpaden j te sommeren:

$$H_{den} = \sum_j \sum_k \sum_m H_{jkm,den} \quad [7.11]$$

$$H_{night} = \sum_j \sum_k \sum_m H_{jkm,night} \quad [7.12]$$

De aan de etmaal- resp. de dagperiode gerelateerde geluidbelastingen L_{den} resp. L_{night} ten gevolge van het vliegverkeer in een berekeningspunt volgen dan uit:

$$L_{den} = 10^{10} \log(H_{den}) - 10^{10} \log\left(\frac{T_{den}}{\tau}\right) \quad [7.13]$$

$$L_{night} = 10^{10} \log(H_{night}) - 10^{10} \log\left(\frac{T_{night}}{\tau}\right) \quad [7.14]$$

Voor alle berekeningspunten worden de geluidbelastingen op de hier beschreven wijze berekend. De berekende waarden van de geluidsniveaus, tijdsgeïntegreerde geluidsniveaus,



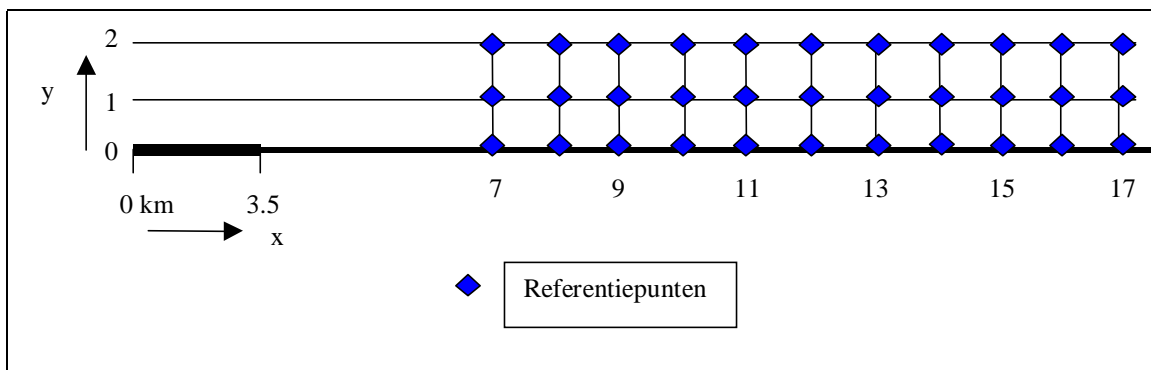
hindersonbijdragen, hindersommen en geluidbelastingen dienen in alle gevallen bij de verdere berekening te worden meegenomen, m.a.w. voor deze parameters geldt geen drempelwaarde, waar beneden de betreffende bijdrage mag worden verwaarloosd.

7.4 Berekening Totale Volume Geluid (TVG-kassa)

Het Totale Volume Geluid voor Schiphol wordt berekend op basis van navolgende uitgangspunten.

Baanlengte	3500 m
Grid	$7 \leq x \leq 17 \text{ km} , 0 \leq y \leq 2 \text{ km}$
Begin startroute	$x= 0 \text{ km} , y=0 \text{ km}$
Einde startroute	$x=35 \text{ km} , y=0 \text{ km}$
Begin Landingsroute	$x=35 \text{ km} , y=0 \text{ km}$
Einde Landingsroute	$x= 0 \text{ km} , y=0 \text{ km}$

In onderstaande figuur zijn de genoemde uitgangspunten weergegeven.



Voor de berekening van het TVG wordt geen spreading toegepast rond de nominale route.

Stapgrootte [m]

- De stapgrootte die is toegepast bedraagt 1000 meter. Dit resulteert in totaal 33 referentiepunten.

Tijdstap [sec]

- Bij de Lden- en Lnight-berekeningen is een tijdstap gehanteerd van 2 seconden.



8 Presentatie van de berekeningsresultaten

Het resultaat van de berekening, de geluidbelasting in de berekeningspunten, is aldus bepaald. Ten behoeve van het vaststellen van de geluidbelasting kunnen geluidbelastingcontouren worden gehanteerd. Uitgaande van de in de netwerkpunten berekende geluidbelastingwaarden worden deze contouren bepaald door middel van interpolatie, conform de in Appendix A, aangegeven methode.



Referenties

1. "Common position adopted by the Council with a view to the adoption of a Directive of the European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise", Council of the European Union, 10 april 2001.
2. "Geluid vanwege het taxiën van vliegtuigen op de Luchthaven Schiphol", ML-447-1 RA, Adviesbureau Peutz & Associates B.V., juli 2001.
3. "Voorschrift voor de berekening van de LA_{eq} -geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van structureel uitgevoerd nachtelijk vliegverkeer", uitgave RLD/BV-02, maart 1998, ISBN 903693212 2.

Appendix A De bepaling van geluidbelastingcontouren

A.1 Inleiding

De in deze appendix beschreven rekenmethode ter bepaling van geluidbelastingscontouren is eenduidig. Uitgegaan wordt van de berekende geluidbelastingwaarden in de punten van een rechthoekig netwerk. Na verfijning van dit netwerk (§ A.2) worden z.g. omslagpunten bepaald op de lijnstukken van het verfijnde netwerk (§ A.3). Door het stroken van krommen door de omslagpunten worden de contouren bepaald (§ A.4). Tenslotte zijn richtlijnen gegeven voor het tekenen van de contouren (§ A.5).

A.2 Verfijning van het netwerk

Over het gegeven netwerk wordt een nieuw netwerk gelegd met een maaswijdte van 125 meter en met dezelfde buitenrand. Uitgaande van de berekende geluidbelastingwaarden in de oorspronkelijke netwerkpunten worden in de punten van het verfijnde netwerk door middel van een interpolatiemethode benaderde geluidbelastingwaarden berekend. Deze interpolatiemethode is als volgt.

Gegeven is een netwerkvierkant in het oorspronkelijke netwerk tussen de lijnen:

$$x = x_i, x = x_{i+1}, y = y_j, y = y_{j+1} \quad [A.2.1]$$

met

$$1 \leq i \leq nx, 1 \leq j \leq ny, \quad [A.2.2]$$

waarbij nx en ny het aantal netwerklijnen zijn in x - resp. y -richting. De geluidbelastingwaarde in elk netwerkpunt (x_i, y_j) is $z_{i,j}$. De interpolerende functie voor dit netwerkvierkant is een bikubische polynoom:

$$f(z) = \sum_{\alpha=0}^3 \sum_{\beta=0}^3 A_{\alpha\beta} x^\alpha y^\beta \quad [A.2.3]$$

De 16 onbekende coëfficiënten $A_{\alpha\beta}$ worden bepaald uit 16 vergelijkingen. Deze 16 vergelijkingen ontstaan door:

- De gegeven functiewaarden in de hoekpunten van het netwerkvierkant in te vullen in formule A.2.3.
- De partiële afgeleide $\partial f/\partial x$ gelijk te stellen aan de waarde van de nog nader te definiëren functie f_x in de hoekpunten.
- De partiële afgeleide $\partial f/\partial y$ gelijk te stellen aan de waarde van de nog nader te definiëren functie f_y in de hoekpunten.



- d. De 2^e orde partiële afgeleide $\partial^2 f / \partial x \partial y$ gelijk te stellen aan de waarde van de nog nader te definiëren functie f_{xy} in de hoekpunten.

Voor f_x en f_y in (x_i, y_j) geldt:

$$(f_x)_{i,j} = (w_{x,i+1,j} c_{i-1,j} + w_{w,i-1,j} c_{i,j}) / (w_{x,i+1,j} + w_{x,i-1,j}) \quad [\text{A.2.4}]$$

$$(f_y)_{i,j} = (w_{y,i,j+1} d_{i,j-1} + w_{w,i,j-1} d_{i,j}) / (w_{y,i,j+1} + w_{y,i,j-1}) \quad [\text{A.2.5}]$$

waarbij de gewichtsfactoren als volgt gedefinieerd zijn:

$$w_{x,i,j} = |c_{i,j} - c_{i-1,j}| \quad [\text{A.2.6}]$$

$$w_{y,i,j} = |d_{i,j} - d_{i,j-1}| \quad [\text{A.2.7}]$$

In de gevallen dat de noemer van $(f_x)_{i,j}$ of $(f_y)_{i,j}$ nul zou worden, worden de gewichtsfactoren gelijk aan 1 gemaakt. Voor de 1^e orde partiële differenties c en d geldt:

$$c_{i,j} = (z_{i+1,j} - z_{i,j}) / (x_{i+1} - x_i) \text{ voor } 1 \leq i \leq nx-1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.8}]$$

$$c_{i,j} = 2 c_{i+1,j} - c_{i+2,j} \text{ voor } i = 0 \text{ of } i = -1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.9}]$$

$$c_{i,j} = 2 c_{i-1,j} - c_{i-2,j} \text{ voor } i = nx \text{ of } i = nx+1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.10}]$$

$$d_{i,j} = (z_{i,j+1} - z_{i,j}) / (y_{j+1} - y_j) \text{ voor } 2 \leq i \leq nx-1, 1 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.11}]$$

$$d_{i,j} = 2 d_{i,j+1} - d_{i,j+2} \text{ voor } 2 \leq i \leq nx-1, j = 0 \text{ of } j = -1 \quad [\text{A.2.12}]$$

$$d_{i,j} = 2 d_{i,j-1} - d_{i,j-2} \text{ voor } 2 \leq i \leq nx-1, j = ny \text{ of } j = ny+1 \quad [\text{A.2.13}]$$

Voor f_{xy} in (x_i, y_j) geldt:

$$(f_{xy})_{i,j} = \frac{w_{x,i+1,j} (w_{y,i,j+1} e_{i-1,j-1} + w_{y,i,j-1} e_{i-1,j})}{(w_{x,i+1,j} + w_{x,i-1,j}) (w_{y,i,j+1} + w_{y,i,j-1})} + \frac{w_{x,i-1,j} (w_{y,i,j+1} e_{i,j-1} + w_{y,i,j-1} e_{i,j})}{(w_{x,i+1,j} + w_{x,i-1,j}) (w_{y,i,j+1} + w_{y,i,j-1})} \quad [\text{A.2.14}]$$

waarbij de gewichtsfactoren eveneens gelijk 1 gemaakt worden als de noemer nul zou zijn. Voor de 2^e orde partiële differenties geldt:

$$e_{i,j} = (d_{i+1,j} - d_{i,j}) / (x_{i+1} - x_i) \text{ voor } 1 \leq i \leq nx-1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.15}]$$

$$e_{i,j} = 2 e_{i+1,j} - e_{i+2,j} \text{ voor } i = 0, i = -1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.16}]$$



$$e_{i,j} = 2 e_{i-1,j} - e_{i-2,j} \text{ voor } i = nx, i = nx+1, 2 \leq j \leq ny-1 \quad [\text{A.2.17}]$$

A.3 Het bepalen van omslagpunten

A.3.1 Het opzoeken van startpunten

Uitgangspunt is het verfijnde netwerk, waarvan in de netwerkpunten de geluidbelastingwaarden berekend zijn op de manier zoals is beschreven in § A.2. Voor iedere gewenste contourwaarde wordt het proces, beschreven in de paragrafen A.3.1 en A.3.2, doorlopen.

Elk netwerklijnstuk (lijnstuk tussen twee naburige netwerkpunten) wordt onderzocht op tekenomslag. Met tekenomslag wordt bedoeld dat in het ene netwerkpunt de geluidbelastingwaarde groter is dan - en in het naburige netwerkpunt kleiner is dan of gelijk is aan - de gewenste contourwaarde. Indien tekenomslag plaatsvindt wordt op dit lijnstuk een omslagpunt bepaald. Een omslagpunt is een punt op een netwerklijnstuk dat bepaald wordt door lineaire interpolatie ten opzichte van de geluidbelastingwaarden in de twee naburige netwerkpunten, waarbij in het omslagpunt de gewenste contourwaarde geldt.

De volgorde, waarin de netwerklijnstukken worden onderzocht, is willekeurig, behalve dat de rand van het netwerk het eerst wordt onderzocht. Het eerstgevonden omslagpunt is het startpunt voor het proces beschreven in § A.3.2.

A.3.2 Het opzoeken van opeenvolgende omslagpunten

Steeds wordt, uitgaande van het laatst bepaalde omslagpunt, een volgend omslagpunt berekend op de volgende wijze:

1. Uitgaande van een startpunt aan de rand van het netwerk: Bepaald wordt op welke van de drie overige zijden van het desbetreffende netwerkvierkant tekenomslag plaatsvindt. Is dit het geval op één van die zijden dan wordt op die zijde een volgend omslagpunt berekend. Als op alle drie genoemde zijden tekenomslag plaatsvindt dan worden op beide aanliggende netwerk-zijden omslagpunten berekend. Als omslagpunt volgend op het startpunt geldt dan dat punt dat de kortste afstand heeft tot het startpunt.
2. Uitgaande van een startpunt niet aan de rand van het netwerk: De volgorde waarin de netwerkozijden van de aangrenzende netwerkvierkanten worden onderzocht op tekenomslag is willekeurig. Indien bij het zoeken naar tekenomslag op de zijden van een netwerkvierkant op alle drie overige zijden tekenomslag blijkt plaats te vinden dan wordt het omslagpunt bepaald op soortgelijke wijze als genoemd onder 1.



3. Uitgaande van een omslagpunt dat geen startpunt is: Bepaald wordt welk van de twee aan het omslagpunt grenzende netwerkvierkanten voor verdere verwerking in aanmerking komt. Dit is het netwerkvierkant dat voor de bepaling van dat omslagpunt nog niet gebruikt is.

Nagegaan wordt vervolgens op welk van de overige drie zijden van dit vierkant eveneens tekenomslag plaatsvindt. Op de gevonden zijde wordt het volgende omslagpunt bepaald. Indien bij het zoeken naar tekenomslag op alle drie overige netwerkwijden tekenomslag plaatsvindt dan worden op beide aanliggende netwerkwijden omslagpunten (P en Q) berekend. Vanuit het omslagpunt op de "basis"-zijde van het netwerkvierkant worden verbindings-lijnen (p en q) getrokken naar de punten P en Q en een verbindingslijn (r) naar het voorlaastst bepaalde omslagpunt. Van de twee laatstberekende omslagpunten wordt als volgende omslagpunt dat punt gekozen waarvan de verbindingslijn p of q de kleinste richtingsverandering met de lijn r tot gevolg heeft.

Het zoeken naar achtereenvolgende omslagpunten wordt gestaakt indien aan één van de onderstaande condities is voldaan:

1. Het gevonden omslagpunt valt samen met het desbetreffende startpunt;
2. het gevonden omslagpunt ligt op de rand van het netwerk.

A.3.3 Het rangschikken van de gevonden omslagpunten

Voor een eenduidig resultaat van het proces, hierna beschreven in § A.4, is per gewenste contourwaarde een vaste rangschikking van de gevonden omslagpunten noodzakelijk.

Voor een reeks van achtereenvolgende omslagpunten, waarvan het startpunt (zie § A.3.1) op de rand van het netwerk ligt geldt dat het eerste punt in die rangschikking het omslagpunt is op de rand van het netwerk met de kleinste x-coördinaat t.o.v. de oorsprong van het netwerk ($i=1$ en $j=1$, zie § A.2). Indien twee oplossingen mogelijk zijn dan geldt dat het eerste punt wordt bepaald door het omslagpunt op de rand van het netwerk met de kleinste y-coördinaat t.o.v. de oorsprong van het netwerk.

Voor een reeks van achtereenvolgende omslagpunten, waarvan het startpunt niet op de rand van het netwerk ligt geldt dat het eerste punt in die rangschikking het omslagpunt is met de kleinste afstand tot de oorsprong van het netwerk.



De volgorde in de rangschikking van omslagpunten ligt in het eerstgenoemde geval vast en is in het laatstgenoemde geval in de richting tegen de wijzers van de klok in.

A.4 Het stroken van krommen door de omslagpunten

Teneinde een vloeiende lijn (contour) te stroken langs de in rangorde gegeven N omslagpunten wordt, indien $N \geq 4$, het volgende proces toegepast. Bij elk omslagpunt (x_j, y_j) , $j = 1, \dots, N$ wordt een parameter t_j bepaald door:

$$t_1 = 0$$

$$t_j = t_{j-1} + \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2}, \quad j = 2, \dots, N \quad [\text{A.4.1}]$$

De beide tabellen (x_j, t_j) en (y_j, t_j) worden benaderd door het toepassen van zogenaamde strooklatfuncties (Engels: splines). Hierdoor ontstaan twee functies $x = x(t)$, $y = y(t)$.

De methode is als volgt:

De strooklatfuncties die hier gebruikt worden zijn opgebouwd uit 3^e graads polynomen. Het interval $[0, t_N]$ wordt hiertoe verdeeld in $(n-1)$ segmenten van gelijke lengte $\Delta t = t_N/(n-1)$. Hierbij volgt n uit de integer deling $n-1 = N/5$.

Aan de voorkant en achterkant van het interval $[0, t_N]$ worden nog drie even lange segmenten toegevoegd, zodat de segment-indeling bepaald wordt door $(n+6)$ knooppunten $\tau_i = (i-1)\Delta t$, $i = -2, -1, 0, 1, \dots, n+3$. De 3^e graads polynomen (basic splines) zijn positief in het interval $[\tau_i, \tau_{i+3}]$ en nul daarbuiten, $i = -2, \dots, n$:

$$M_i(t) = \begin{cases} \left(\frac{t - \tau_i}{\Delta t} \right)^3, & \text{als } t \in [\tau_i, \tau_{i+3}) \\ 0, & \text{als } t \notin [\tau_i, \tau_{i+3}) \end{cases} \quad [\text{A.4.2}]$$

De strooklatfuncties zijn in elk segment $[\tau_m, \tau_{m+1})$, $m = -2, \dots, n$ een lineaire combinatie van de plaatselijke polynomen, b.v. voor $x(t)$:

$$x(t) = \sum_{i=m-2}^m a_i M_i(t) \quad , \quad t \in [\tau_m, \tau_{m+1}) \quad [A.4.3]$$

Bewezen kan worden dat $x(t)$ in het interval $[0, t_N]$ continu is en een continue eerste afgeleide heeft. De onbekende coëfficiënten a_i , $i = -2, \dots, n$ worden bepaald door de gewogen som van de kwadraten van de afwijkingen:

$$S = \sum_{j=1}^N w_j \{x(t_j) - x_j\}^2 \quad [A.4.4]$$

te minimaliseren.

Hierbij geldt voor de gewichtsfactoren w_j :

$$\begin{aligned} w_j &= (5-j)^4 \quad \text{voor } j= 1,2,3 \\ w_j &= 1 \quad \text{voor } j= 4, \dots, N-3 \\ w_j &= (4+j-N)^4 \quad \text{voor } j= N-2, N-1, N. \end{aligned}$$

Het minimaliseren van S gebeurt door te stellen

$$\frac{\partial S}{\partial a_i} = 0, \quad i = -2, \dots, n \quad [A.4.5]$$

Hieruit ontstaan $(n+3)$ lineaire vergelijkingen in $(n+3)$ coëfficiënten a_i . Oplossen van dit stelsel (bandmatrix) geeft de coëfficiënten a_i . Hiermee is dan de strooklat-functie geheel bepaald.

A.5 Het tekenen van contouren

Het tekenen van de contouren gebeurt door het verbinden van punten op onderlinge afstand van 100 meter, waarvan de coördinaten berekend zijn met de strooklat-functies, beschreven in § A.4. Bij gesloten contouren worden het eerste en het laatste punt beide vervangen door hun gemiddelde.



Appendix B Indeling van civiele vliegtuigen naar vliegtuigcategorie

De hier te vermelden gegevens zijn, mede vanwege de grote omvang, uitgebracht in het onderstaande rapport:

"Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidbelasting", NLR-CR-96650 L ¹

¹ Bij het uitvoeren van berekeningen dient steeds uitgegaan te worden van de meest recente uitgave van de appendices (thans versie 5, april 2000)



Appendix C Prestatiegegevens van civiele vliegtuigen

De hier te vermelden gegevens zijn, mede vanwege de grote omvang, uitgebracht in het onderstaande rapport:

"Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidbelasting", NLR-CR-96650 L²

² Bij het uitvoeren van berekeningen dient steeds uitgegaan te worden van de meest recente uitgave van de appendices (thans versie 5, april 2000)



Appendix D Geluidsniveaus van civiele vliegtuigen

De hier te vermelden gegevens zijn, mede vanwege de grote omvang, uitgebracht in het onderstaande rapport:

"Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidbelasting", NLR-CR-96650 L³

³ Bij het uitvoeren van berekeningen dient steeds uitgegaan te worden van de meest recente uitgave van de appendices (thans versie 5, april 2000)