

RLD/BV-01.2

VOORSCHRIFT VOOR DE BEREKENING VAN DE GELUIDSBELASTING  
IN KOSTENEENHEDEN (Ke) - zonder drempelwaarde - TEN GEVOLGE VAN HET Vliegverkeer

september 2004

## SAMENVATTING

Ten behoeve van de bestrijding van de geluidhinder door vliegtuigen legt de Luchtvaartwet regels vast met betrekking tot de zonering rondom luchtvaartterreinen. Een essentieel onderdeel van de zonering betreft het vaststellen van geluidszones rond elk luchtvaartterrein. Hiervoor zijn veelal berekeningen van zowel de actuele als de voor de toekomst te verwachten geluidsbelasting noodzakelijk. In de Luchtvaartwet is met betrekking tot deze berekeningen een bepaling opgenomen welke de noodzaak van een standaard berekeningsvoorschrift impliceert.

Het berekeningsvoorschrift beschrijft de methodieken voor de berekening van de geluidsbelasting, uitgedrukt in Kosteneenheden, ten gevolge van landende en opstijgende luchtvaartuigen zoals is vastgelegd in de Luchtvaartwet artikel 25, eerste lid. Daarnaast bestaat het voorschrift uit een toelichting op het berekeningsvoorschrift en een aantal appendices. Appendix A en B zijn in het voorschrift opgenomen. De APPENDICES, opgenomen als Bijlage 2 bij het Besluit Regeling berekening geluidsbelasting in Kosteneenheden, zijn de "APPENDICES van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting, NLR CR 96650 L. Deze APPENDICES maken integraal onderdeel uit van het berekeningsvoorschrift.

## INHOUDSOPGAVE

|   | Pagina |
|---|--------|
| VERKLARING VAN DE SYMBOLEN  | 5      |
| 1 INLEIDING   | 9      |
| 1.1 Algemeen  | 9      |
| 1.2 Doel van het berekeningsvoorschrift                                       | 9      |
| 1.3 Totstandkoming van het berekeningsvoorschrift                             | 9      |
| 1.4 De geluidsbelasting   | 10     |
| 1.5 Invoergegevens  | 11     |
| 2 COÖRDINATENSTELSEL  | 12     |
| 2.1 Algemeen  | 12     |
| 2.2 Netwerk   | 12     |
| 2.3 Gegevens betreffende het luchtvaartterrein                                | 12     |
| 2.4 Vliegbaangegevens   | 12     |
| 3 GRONDPADEN EN SPREIDING   | 14     |
| 4 VLIEGTUIGCATEGORIEËN  | 15     |
| 5 PRESTATIEGEGEVENS   | 16     |
| 6 GELUIDSNIVEAUS  | 18     |
| 7 BEREKENINGSMETHODIEK 1  | 19     |
| 7.1 Toepassing  | 19     |
| 7.2 Berekeningsgegevens; grondpaden en spreiding                              | 19     |
| 7.3 Globale beschrijving berekeningsmethodiek 1                               | 19     |
| 7.4 Berekeningswijze  | 20     |
| 7.4.1 Bepaling invloedsgebieden   | 20     |
| 7.4.2 Berekening van de kortste afstand van een netwerkpunt tot een vliegbaan | 21     |
| 7.4.3 Berekening van het maximale geluidsniveau                               | 21     |
| 7.4.4 Berekening van de geluidsbelasting                                      | 23     |
| 8 BEREKENINGSMETHODIEK 2  | 25     |
| 8.1 Toepassing  | 25     |
| 8.2 Berekeningsgegevens; grondpaden en spreiding                              | 25     |
| 8.2.1 Geregistreerde grondpaden   | 25     |
| 8.2.2 Gemodelleerde grondpaden  | 25     |
| 8.3 Globale beschrijving berekeningsmethodiek 2                               | 29     |
| 8.4 Berekeningswijze  | 29     |
| 8.4.1 Berekening van het geluidsniveau  | 29     |
| 8.4.2 Berekening van het maximale geluidsniveau                               | 31     |
| 8.4.3 Berekening van de geluidsbelasting                                      | 32     |
| 8.4.3.1 Geregistreerde grondpaden   | 32     |
| 8.4.3.2 Gemodelleerde grondpaden  | 33     |
| 9 PRESENTATIE VAN DE BEREKENINGSMETHODIEK 2                                   | 35     |
| 10 REFERENTIES  | 36     |

---

|            |   |    |
|------------|---|----|
| APPENDIX A | DE BEPALING VAN GELUIDSBELASTINGCONTOUREN     | 37 |
| A.1        | Inleiding                                     | 37 |
| A.2        | Verfijning van het netwerk                    | 37 |
| A.3        | Het bepalen van omslagpunten                  | 38 |
| A.3.1      | Het opzoeken van startpunten                  | 38 |
| A.3.2      | Het opzoeken van opeenvolgende omslagpunten   | 39 |
| A.3.3      | Het rangschikken van de gevonden omslagpunten | 39 |
| A.4        | Het stroken van krommen door de omslagpunten  | 40 |
| A.5        | Het tekenen van contouren                     | 41 |
| APPENDIX B | BEREKENINGSMETHODIEK PER LUCHTVAARTTERREIN    | 42 |
| B.1        | Berekeningsmethodiek 1                        | 42 |
| B.2        | Berekeningsmethodiek 2                        | 42 |

## 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.

|            |      |  |
|------------|------|--|
| a          | [-]  | index die het aantal grondpaden binnen een spreidingsgebied bepaalt (8.2.2).   |
| b          | [m]  | maximale horizontale afwijking ten opzichte van het nominale grondpad (7.2).   |
| $b_{ijkm}$ | [m]  | maximale horizontale afwijking ten opzichte van het grondpadsegment ij voor de verzameling vliegtuigen km bij de afgelegde weg $w_{ij}$ (7.4.2). |
| B          | [Ke] | geluidsbelasting in een netwerkpunt in Kosteneenheden (1.4).   |
| c          | [-]  | integer tussen de grenswaarden $-(n-1)/2, \dots, +(n-1)/2$ (8.2.2).  |
| d          | [-]  | afstand tot het gemiddelde grondpad, uitgedrukt in u (8.2.2).  |
| e          | [-]  | punt op de linkerbegrenzing van het spreidingsgebied (8.2.2).  |
| f          | [-]  | punt op de rechterbegrenzing van het spreidingsgebied (8.2.2).   |
| $F_{ij}$   | [-]  | snijpunt van de cirkel met een netwerkpunt als middelpunt en rakend aan het grondpadsegment ij (7.4.2).  |
| $F_{zj}$   | [-]  | snijpunt van het grondpad j en de, in een verticaal vlak gelegen, loodlijn vanuit Z op dit grondpad (8.4.1).                                     |
| $FC_j$     | [-]  | verkeersfractie behorend bij het grondpad j binnen een spreidingsgebied (8.4.3.2).   |
| $h_{ijkm}$ | [m]  | nominale vlieghoogte van een verzameling vliegtuigen km behorend bij een afgelegde weg $w_{ij}$ (7.4.2).   |
| $h_{zjkm}$ | [m]  | vlieghoogte van een verzameling vliegtuigen km behorend bij een afgelegde weg $w_{zj}$ (8.4.1).  |
| H          | [-]  | hindersom in een netwerkpunt (1.4).  |
| $H_{jkm}$  | [-]  | hindersombijdrage in een netwerkpunt van de verzameling vliegtuigen km behorend bij het grondpad j (7.4.4).                                      |
| $H_{vkm}$  | [-]  | hindersombijdrage in een netwerkpunt van de verzameling vliegtuigen km behorend bij het spreidingsgebied v (8.4.3.2).                            |
| ij         | [-]  | index voor het segment i van het nominale grondpad j (7.4.1).  |
| i          | [-]  | index voor een segment van een grondpad (7.4.1).   |
| ICAO       | [-]  | International Civil Aviation Organization (5).   |
| j          | [-]  | index voor een grondpad (7.4.1).   |
| k          | [-]  | index voor een vliegtuigcategorie (7.4.2).   |
| km         | [-]  | verzameling van vliegtuigen, behorende tot een vliegtuigcategorie k, die een start-, landings- of circuitprocedure m uitvoeren (7.4.2).          |

|                   |         |  |
|-------------------|---------|--|
| $l$               | [-]     | index voor een punt op de linkergrenslijn van het spreidingsgebied (7.2).  |
| $L_{zjkm}$        | [dB(A)] | geluidsniveau in een netwerkpunt, dat optreedt indien een vliegtuig behorend tot een verzameling $km$ zich bevindt in punt $Z$ boven een grondpad $j$ met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (8.4.1).  |
| $L'_{zjkm}$       | [dB(A)] | geluidsniveau in een netwerkpunt, dat optreedt indien een vliegtuig behorend tot een verzameling $km$ zich bevindt in punt $Z$ boven een grondpad $j$ zonder inachtneming van de laterale geluidverzwakking (8.4.1).   |
| $LGV$             | [dB(A)] | laterale geluidverzwakking in een netwerkpunt (7.4.3).   |
| $LGV_{ijkm}$      | [dB(A)] | laterale geluidverzwakking in een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied ligt van het grondpadsegment $ij$ en van toepassing is op de verzameling vliegtuigen $km$ (7.4.3).  |
| $LGV_{zjkm}$      | [dB(A)] | laterale geluidverzwakking in een netwerkpunt behorend bij een vliegtuig uit de verzameling $km$ , welke zich bevindt in het punt $Z$ boven een grondpad $j$ (8.4.1).  |
| $Lmax^1_{vkm} _a$ | [dB(A)] | het gewogen maximale geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van één vliegtuigpassage $km$ en als bepaald voor $3^{(a-1)}$ grondpaden binnen het spreidingsgebied $v$ en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (8.4.3.2).                              |
| $Lmax_p$          | [dB(A)] | maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van een vliegtuigpassage $p$ , met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (1.4).   |
| $Lmax_{ijkm}$     | [dB(A)] | maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied ligt van het grondpadsegment $ij$ , ten gevolge van de passage van de bij het grondpad $j$ behorende verzameling vliegtuigen $km$ en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (7.4.3).    |
| $Lmax'_{ijkm}$    | [dB(A)] | maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied ligt van het grondpadsegment $ij$ , ten gevolge van de passage van de bij het grondpad $j$ behorende verzameling vliegtuigen $km$ en zonder inachtneming van de laterale geluidverzwakking (7.4.3). |
| $Lmax_{jkm}$      | [dB(A)] | maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, ten gevolge van de passage van de bij het grondpad $j$ behorende verzameling vliegtuigen $km$ en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (7.4.3).  |
| $Lmax_{jvkm}$     | [dB(A)] | maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, ten gevolge van één vliegtuigpassage uit de verzameling $km$ en langs grondpad $j$ uit spreidingsgebied $v$ en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking (8.4.3.2).  |
| $m$               | [-]     | index voor een start-, landings- of circuitprocedure (7.4.2).  |
| $n$               | [-]     | het aantal grondpaden binnen een spreidingsgebied (8.2.2).   |
| $n_{tp}$          | [-]     | nachtstraffactor, een weegfactor die afhankelijk is van de dagperiode $t$ , waarin de vliegtuigpassage $p$ plaatsvindt (1.4).  |
| $N$               | [-]     | het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar ten gevolge van landende en  |

opstijgende vliegtuigen. Het gehanteerde begrip "passage" houdt in, dat in één netwerkpunt één vliegtuigbeweging één bijdrage in de geluidsbelasting levert. In het geval, dat een vliegtuig tweemaal eenzelfde punt passeert (bijv. een punt "binnen" een circuit) wordt dezelfde regel toegepast; voor de berekening is sprake van eenmalig passeren. (1.4).

|             |     |   |
|-------------|-----|---|
| $N_{jkm}$   | [-] | het aantal vliegtuigpassages in één jaar van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een grondpad j (7.4.4).  |
| $N_{jkmt}$  | [-] | het aantal vliegtuigpassages $N_{jkm}$ binnen de dagperiode t (7.4.4).  |
| $N_{vkm}$   | [-] | het aantal vliegtuigpassages in één jaar van de verzameling vliegtuigen km behorende bij een spreidingsgebied v (8.4.3.2).  |
| $N_{vkmt}$  | [-] | het aantal vliegtuigpassages $N_{vkm}$ binnen de dagperiode t (8.4.3.2).  |
| o           | [-] | index voor een optimale verbindinglijn tussen de linker- en rechterbegrenzing van het spreidingsgebied (8.2.2).   |
| p           | [-] | index voor een vliegtuigpassage (1.4).  |
| q           | [-] | factor die de afscherpende werking van vliegtuigdelen in rekening brengt (7.4.3).   |
| r           | [-] | index voor een punt op de rechtergrenslijn van het spreidingsgebied (7.2).  |
| s           | [m] | afstand tussen een netwerkpunt en een punt op de vliegbaan (7.4.3).   |
| $s_0$       | [m] | referentieafstand bij de berekening van de bodemverzwakking (1 m) (7.4.3).  |
| $s_{ijkm}$  | [m] | afstand vanaf een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied van het grondpadsegment ij ligt, tot de bij dat segment behorende vliegbaan van de verzameling vliegtuigen km (7.4.2). |
| $s_{zjkm}$  | [m] | afstand vanaf een netwerkpunt tot een punt Z, gelegen op de vliegbaan van een vliegtuig, behorend tot een verzameling km en vliegend boven het grondpad j (8.4.1).              |
| $sh_{ij}$   | [m] | kortste afstand vanaf een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied van het grondpadsegment ij ligt, tot dat segment (7.4.2).  |
| $sh_{zj}$   | [m] | afstand vanaf een netwerkpunt tot het punt $F_{zj}$ (8.4.1).  |
| t           | [-] | index voor de dagperiode, waarvoor een bepaalde nachtstraffactor geldt (1.4).   |
| $TI_{zjkm}$ | [-] | motorstuwkracht(index) van een verzameling vliegtuigen km behorend bij een afgelegde weg $w_{zj}$ (8.4.1).  |
| u           | [-] | afstand tot het gemiddelde van de betreffende kansverdeling, uitgedrukt in $\sigma$ (8.2.2).  |
| v           | [-] | index voor een spreidingsgebied (8.2.2).  |
| $w_{ij}$    | [m] | afgelegde weg vanaf het begin van een grondpad j tot het punt $F_{ij}$ , gemeten langs het grondpad j (7.4.2).  |
| $w_{zj}$    | [m] | afgelegde weg vanaf het begin van een grondpad j tot het punt $F_{zj}$ , gemeten langs het grondpad j (8.4.1).  |

|                 |         |   |
|-----------------|---------|---|
| $X, Y$          | [km]    | coördinaten van een netwerkpunt, gelegen in het X-Y vlak van het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting; positieve X-as richting = Oost, positieve Y-as richting = Noord (2.2).  |
| $y$             | [-]     | index voor het bepalen van de positie van de integraal-grenzen ter bepaling van de verkeersfractie, behorende bij een grondpad (8.2.2).   |
| $z$             | [-]     | index voor een punt Z (8.4.1).  |
| $Z$             | [-]     | punt gelegen op de vliegbaan (8.4.1).   |
| $\beta$         | [rad]   | elevatiehoek (7.4.3).   |
| $\beta_{ijkm}$  | [rad]   | elevatiehoek, de hoek, gevormd enerzijds door de verbindingslijn tussen een netwerkpunt, gelegen in het invloedsgebied van het grondpadsegment ij, en een punt op de vliegbaan van de verzameling vliegtuigen km loodrecht boven het punt $F_{ij}$ , en anderzijds door de projectie van deze lijn in het referentievlak (7.4.3). |
| $\beta_{zjkm}$  | [rad]   | elevatiehoek, de hoek, gevormd enerzijds door de verbindingslijn tussen een netwerkpunt 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 in het referentievlak (8.4.1).  |
| $\gamma_{ijkm}$ | [rad]   | stijghoek van een verzameling vliegtuigen km bij de afgelegde weg $w_{ij}$ (7.4.2).   |
| $\delta$        | [rad]   | de hoek tussen het lijnstuk opgemaakt door $e_{e_{l+1}}$ en het lijnstuk opgemaakt door $f_r f_{r+1}$ (8.2.2).  |
| $\Delta L$      | [dB(A)] | bodemverzwakking (7.4.3).   |
| $\eta$          | [rad]   | de hoek tussen het lijnstuk opgemaakt door $e_{e_{l+1}}$ en het lijnstuk opgemaakt door het snijpunt van $e_{e_{l+1}}$ en $f_r f_{r+1}$ en het midden van het lijnstuk $e_{f_r}$ (8.2.2).   |
| $\varphi$       | [rad]   | de hoek tussen het lijnstuk opgemaakt door $f_r f_{r+1}$ en het lijnstuk opgemaakt door het snijpunt van $e_{e_{l+1}}$ en $f_r f_{r+1}$ en het midden van het lijnstuk $e_{f_r}$ ( $\varphi = \delta - \eta$ ) (8.2.2).   |
| $\sigma$        | [-]     | de standaarddeviatie (8.2.2).   |

Waar verwezen wordt naar de APPENDICES, opgenomen als Bijlage 2 bij het Besluit Regeling berekening geluidsbelasting in Kosteneenheden, heeft dit betrekking op de 'APPENDICES van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting', NLR CR 96650.



## 1 INLEIDING

### 1.1 Algemeen

In de Luchtvaartwet is onder artikel 25g, eerste lid, de bepaling opgenomen dat de Minister van Verkeer en Waterstaat, c.q. de Minister van Defensie, in overeenstemming met de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, regels vaststelt "omtrent de wijze van meten, berekenen en registreren van de geluidsbelasting binnen en buiten de geluidszone". Deze regels betreffen onder andere het vaststellen van een voorschrift voor de berekening van de geluidsbelasting rond luchtvaartterreinen.

Dit voorschrift legt de methodieken vast voor de berekening van de geluidsbelasting, uitgedrukt in Kosteneenheden (Ke), ten gevolge van landende en opstijgende luchtvaartuigen, als bedoeld in de Luchtvaartwet art. 25, eerste lid. Het betreft de landende en opstijgende luchtvaartuigen met een toegelaten totaal massa van 6.000 kg of meer, als mede de luchtvaartuigen met een toegelaten totaal massa van minder dan 6.000 kg maar meer dan 390 kg, voor zover deze luchtvaartuigen gebruik maken van dezelfde aan- en uitvliegroutes als de luchtvaartuigen van tenminste 6.000 kg, dan wel de vliegpatronen van deze luchtvaartuigen overeenkomen met die van luchtvaartuigen van tenminste 6.000 kg.

De geluidsbelasting in Kosteneenheden is gekozen als maat voor de beoordeling van de hinder bij mensen door vliegtuiggeluid ten gevolge van het operationele vliegtuiggebruik. Het operationele vliegtuiggebruik omvat zowel de vluchtuitvoering als het taxiën. Omdat de geluidsbelasting ten gevolge van het taxiën aanzienlijk lager is dan de geluidsbelasting vanwege vluchtuitvoering is dit aspect in de verdere uitwerking van de berekeningsmethodiek als verwaarloosbaar buiten beschouwing gelaten (Ref. 1).

De geluidsbelasting in Kosteneenheden bepaalt de geluidsbelasting buitenshuis. De grenswaarde voor de maximaal toegelaten geluidsbelasting die door, op het luchtvaartterrein landende en opstijgende, luchtvaartuigen buiten de zone niet mag worden overschreden is vermeld in artikel 2 van het besluit van 14 april 1988, Stb. 151 (Besluit Geluidsbelasting Grote Luchtvaartterreinen).

### 1.2 Doel van het berekeningsvoorschrift

Dit berekeningsvoorschrift heeft tot doel het vastleggen van de berekeningsmethodieken, waarmee op reproduceerbare wijze de geluidsbelasting door de in § 1.1 genoemde luchtvaartuigen moet worden bepaald.

Voor het uitvoeren van een berekening zijn, naast het berekeningsvoorschrift, invoergegevens benodigd. Deze worden ten dele door de opdrachtgever bepaald. Het merendeel van de toe passen invoergegevens (zie ook § 1.5) is vastgelegd in de APPENDICES. Deze APPENDICES zijn separaat gebundeld maar maken integraal onderdeel uit van het berekeningsvoorschrift. In aanvulling op dit voorschrift is een verantwoording van de noodzakelijke benaderingen en schematiseringen opgenomen in de Toelichting op het berekeningsvoorschrift.

### 1.3 Totstandkoming van het berekeningsvoorschrift

Aan de totstandkoming van het berekeningsvoorschrift heeft onderzoek ten grondslag gelegen, dat is uitgevoerd door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) en de Technisch Fysische Dienst TNO-TH in het kader van het onderzoekprogramma luchtvaartlawaaï van de Interdepartementale Commissie Geluidhinder. Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, het Ministerie van Defensie en het toenmalige Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, thans het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Het berekeningsvoorschrift (Ref. 2) is destijds vastgesteld bij beschikking van 12 januari 1984 (Staatscourant 1984, 95).

De in dit berekeningsvoorschrift vastgelegde berekeningsmethodiek is door het NLR, in opdracht van het Directoraat-Generaal Rijksluchtvaartdienst, aangepast aan gewijzigde inzichten samenhangend met de modellering van de vliegbaanspreiding (zie § 8.2) en neergelegd in rapport RLD/BV-01 Voorschrift voor de berekening van de geluidsbelasting in

Kosteneenheden (Ke) ten gevolge van vliegtuiglawaai. Dit aangepaste berekeningsvoorschrift is op 1 oktober 1996 van kracht op grond van de Regeling berekening geluidsbelasting in Kosteneenheden.

In de berekeningsmethodieken van vorengenoemde berekeningsvoorschriften werd een drempelwaarde van 65 dB(A) gehanteerd; de zogenaamde 65 dB(A) afkap. Dit houdt in dat bij de berekening van de geluidsbelasting in een netwerkpunt geluid onder het niveau van 65 dB(A) niet wordt meegerekend. De berekende geluidsbelasting zal hierdoor lager kunnen zijn dan de werkelijke geluidsbelasting. Het hanteren van een drempelwaarde van 65 dB(A) komt voort uit het feit dat ten tijde van de ontwikkeling van de Kosteneenheid als eenheid voor de geluidsbelasting van de grote luchtvaart, de geluidsgegevens van vliegtuigen in het algemeen niet werden gegeven beneden de 65 dB(A). Bij het toch in rekening brengen van dergelijke lage geluidsniveaus zouden extrapolatiefouten kunnen ontstaan. Voorts speelde een rol dat er destijds uit oogpunt van hinderbeleving geen dringende redenen waren om bij de berekening van de geluidsbelasting in Kosteneenheden rekening te houden met geluidsniveaus lager dan 65 dB(A).

In haar uitspraak van 3 december 2003, nr 200205524/1, heeft de Afdeling bestuursrechtpraak van de Raad van State de vaststelling van de Ke-geluidszone voor het luchtvaartterrein Eelde op basis van een berekeningswijze met 65 dB(A) afkap vernietigd. De Afdeling is van oordeel dat het gebruik van de 65 dB(A) afkap de validiteit van het model in zodanig ernstige wijze is gaan aantasten dat het model niet voldoende de in artikel 25, eerste lid van de Luchtvaartwet bedoelde werkelijke geluidsbelasting ten gevolge van landende en stijgende vliegtuigen benadert

Naar aanleiding van deze uitspraak is in onderhavig berekeningsvoorschrift de toepassing van de 65 dB(A) afkap bij de berekeningsmethodieken 1 en 2 komen te vervallen. Sedert de ontwikkeling van de berekeningsmethodieken zijn er steeds meer geluidsgegevens van vliegtuigen onder de 65 dB(A) bepaald. Daardoor is het thans mogelijk om ook lagere geluidsniveaus onder de 65 dB(A) in de berekeningen mee te nemen zonder dat dit leidt tot extrapolatiefouten. Het afschaffen van de drempelwaarde van 65 dB(A) brengt geen verandering in de aan de Kosteneenheid ten grondslag liggende verhouding tussen een Ke-waarde en het percentage ernstig geluidgehinderden binnen de daarbij behorende zone. Zo is ook op een zonder drempelwaarde van 65 dB(A) berekende 35 Ke-geluidscontour sprake van 25 procent ernstig geluidgehinderden.

#### 1.4 De geluidsbelasting

De geluidsbelasting veroorzaakt door de op een luchtvaartterrein landende en opstijgende luchtvaartuigen, zoals genoemd in paragraaf 1.1, wordt berekend overeenkomstig de in het Besluit Geluidsbelasting Grote Luchtvaart van 17 december 1996, Stb 1996, 668 zoals laatstelijk gewijzigd bij besluit van 21 mei 2003, Stb 2003, 241, vastgelegde formule. Deze, door de Adviescommissie "Geluidhinder door vliegtuigen" opgestelde, formule voor de berekening van de geluidsbelasting in de omgeving van een luchtvaartterrein, luidt als volgt:

$$B = 20 \cdot 10^{\log(H)} - 157 \quad [1.4.1]$$

met

$$H = \sum_{p=1}^N n_{ip} \cdot 10^{\frac{L_{max_p}}{15}} \quad [1.4.2]$$

en

B = de geluidsbelasting in een netwerkpunt in Kosteneenheden.

H = de hindersom in een netwerkpunt.

- $N$  = het totaal aantal vliegtuigpassages in één jaar<sup>1)</sup> ten gevolge van landende en opstijgende vliegtuigen.
- $n_{tp}$  = de nachtstraffactor; een weegfactor die afhankelijk is van de dagperiode  $t$  waarin een vliegtuigpassage  $p$  plaatsvindt.
- $p$  = index voor een vliegtuigpassage.
- $L_{max,p}$  = het maximale geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van een vliegtuigpassage  $p$ , met inachtneming van de laterale geluidverzwakking.

Zowel berekeningsmethodiek 1 als berekeningsmethodiek 2 is gebaseerd op bovenstaande formules. De twee methodieken onderscheiden zich met name in de wijze waarop de vliegbaanspreiding in rekening wordt gebracht.

### 1.5 Invoergegevens

Voor het uitvoeren van een geluidsbelastingsberekening zijn invoergegevens benodigd, die het verloop van het startende en landende vliegverkeer rondom een luchtvaartterrein specificeren.

De benodigde gegevens zijn hieronder kort samengevat:

#### *Luchtvaartterrein gegevens*

Hiermee worden het luchtvaartterrein waarvoor de berekening wordt uitgevoerd alsmede de geografische informatie betreffende het berekeningsnetwerk en de posities van start- en landingsbanen vastgelegd.

#### *Grondpad gegevens*

Deze definiëren de grondpaden waarlangs vliegbewegingen worden uitgevoerd, alsmede de mogelijke spreiding in de vliegbewegingen rondom het nominale grondpad.

#### *Vliegtuig gegevens*

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

#### *Vliegverkeer gegevens*

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.

Bij het prognostiseren van het toekomstig gebruik van een luchtvaartterrein ter berekening van de geluidszone, wordt uitgegaan van gemiddelde weersomstandigheden. Deze gemiddelde weersomstandigheden zijn bepaald aan de hand van de weersgegevens over de afgelopen 30 jaar.

De gemiddelde weersomstandigheden zijn van belang voor het bepalen van het gebruikspatroon van de verschillende start- en landingsrichtingen van een luchtvaartterrein omdat er, ten aanzien van het gebruik van start- en landingsbanen, uit veiligheidsoverwegingen eisen worden gesteld aan o.a. de toegestane dwars- en staartwind, het zicht en de wolkenbasis. De weersomstandigheden kunnen zodoende bepalend zijn voor de verdeling van het vliegverkeer over de verschillende baanrichtingen van een luchtvaartterrein.

Echter, wanneer op basis van de gemiddelde weersomstandigheden een geluidszone zou worden berekend is de kans groot dat deze ieder jaar, door afwijkende weersomstandigheden, wordt overschreden. Dit is de reden dat er bij de berekening van de geluidszone een toeslag, de meteomarge, wordt gehanteerd op het baangebruik. Deze toeslag is zodanig bepaald dat,

---

<sup>1)</sup> Het in het berekeningsvoorschrift gehanteerde begrip "passage" houdt in, dat in één netwerkpunt één vliegtuigbeweging één bijdrage in de geluidsbelasting levert. In het geval, dat een vliegtuig tweemaal eenzelfde punt passeert (bijv. een punt "binnen" een circuit) wordt dezelfde regel toegepast; voor de berekening is sprake van eenmalig passeren.

bij een gelijkblijvende gemiddeld te verwachten baangebruik, de kans op een overschrijding van de zoneringscontour ten gevolge van jaarlijks wisselende weersomstandigheden maximaal eens in de vijf jaar bedraagt.

In het geval dat de geluidsbelasting ten gevolge van het actuele gebruik in een jaar berekend wordt, wordt uiteraard geen gebruik gemaakt van deze toeslag.

## 2 COÖRDINATENSTELSEL

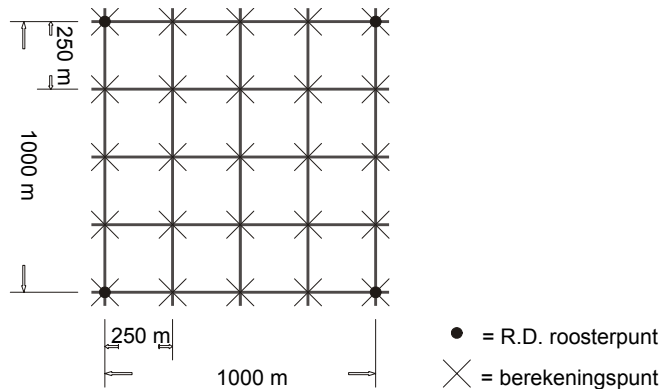
### 2.1 Algemeen

De geluidsbelasting wordt berekend in punten liggend in het horizontale vlak van het stelsel van de Rijksdriehoeksmeting, het referentievlak. Dit referentievlak ligt op lokaal luchtvaartterreinniveau. Voor de presentatie van geluidsbelastingscontouren, 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 Netwerk

De geluidsbelasting wordt bepaald binnen een zeker gebied, ook wel het studiegebied genoemd. Het studiegebied wordt voorzien van een netwerk met een maaswijdte van 250 m. Andere maaswijdten kunnen worden toegepast indien dit is aangegeven in de aanwijzing van het betreffende luchtvaartterrein.

Het netwerk van punten waarin de geluidsbelasting 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).



Figuur 1. Ligging van de berekeningspunten ten opzichte van de R.D. roosterpunten

### 2.3 Gegevens betreffende het luchtvaartterrein

De voor het luchtvaartterrein 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.

### 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 vliegvelden 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.

De in het horizontale vlak optredende spreiding wordt bij berekeningsmethodiek 1 meegenomen door per aankomst- en vertrekprocedure een nominaal grondpad te definiëren met links en rechts daarvan een spreidingsbreedte.

Bij berekeningsmethodiek 2 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 een linker en rechter spreidingsgrens waarbinnen grondpaden worden gegenereerd, ofwel in rekening gebracht door grondpaden af te leiden uit met behulp van radar geregistreerde vliegbewegingen.

In § 7.2 en § 8.2 voor respectievelijk berekeningsmethodiek 1 en 2, is hierover nadere informatie gegeven.

Het beginpunt van een grondpad is zowel bij een start als bij een circuit het startpunt en bij een landing het punt gelegen op een afstand ter lengte van de beschikbare landingsuitloop, gerekend vanaf het landingspunt (APPENDICES, § 3.2.1). Ieder grondpad wordt gedefinieerd tot aan de rand van het studiegebied. De grondpadrichting wordt, onafhankelijk van de vliegrichting, positief gedefinieerd uitgaande van het beginpunt van een grondpad.

#### 4 VLIEGTUIGCATEGORIEËN

In de luchtvaart zijn vele vliegtuigtypen in gebruik, waarvan verder veelal diverse modellen zijn ontwikkeld. Van slechts een beperkt aantal van deze typen of modellen zijn de voor de berekening van de geluidsbelasting benodigde geluids- en prestatiegegevens bekend en beschikbaar.

Daarnaast zijn, bij de berekening van de geluidsbelasting 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 de zgn 'APPENDICES'. Alle vliegtuigtypen, die tot één categorie behoren, worden verondersteld identieke geluids- en prestatiegegevens te hebben.

Alleen de in APPENDICES vermelde categorieën en de daarin vermelde indeling van de diverse vliegtuigtypen in categorieën kunnen bij de berekening van de geluidsbelasting worden toegepast.

## 5 PRESTATIEGEGEVENS

De prestatiegegevens, zoals vastgelegd in de APPENDICES, bevatten een beschrijving van de vlieghoogte (het hoogteprofiel), de motorstuwkracht (het stuwkrachtprofiel) en zonodig de vliegsnelheid<sup>2)</sup> (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 motorstuwkrachtwaarden in het begin- en eindpunt van het segment.
- c) een constante vliegsnelheid. De waarde ervan is per segment bepaald.

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/m<sup>3</sup>
- luchttemperatuur op zeeniveau: 15° C
- relatieve luchtvochtigheid: 70%
- geen wind

De prestatiegegevens worden representatief geacht voor alle meteorologische omstandigheden.

De prestatiegegevens zijn voor wat betreft de civiele luchtvaartuigen, in tabelvorm per vliegtuigcategorie vermeld in de APPENDICES. 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, worden het in de berekening te gebruiken hoogteprofiel, stuwkracht- en vliegsnelheidsverloop uit de APPENDICES bepaald. Immers, afhankelijk van de hoeveelheid meegenomen brandstof

<sup>2)</sup> Een voor het berekenen van de LAeq-geluidsbelasting benodigde parameter.



zal een vliegtuig sneller dan wel 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 (Ref. 3).

Aangezien voor zowel landings- als circuitprocedures de 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. Voor circuitprocedures wordt een klassenindeling gehanteerd op basis van het betreffende luchtvaartterrein. Dit is ingegeven door het feit dat circuits veelal luchtvaartterrein gebonden zijn (APPENDICES).

Voor militaire luchtvaartuigen zijn eveneens prestatiegegevens bepaald. Deze zijn echter niet in de APPENDICES opgenomen, daar het belang van de veiligheid van de Staat zich daartegen verzet (artikel 25i van de Luchtvaartwet).

Alleen de in APPENDICES vermelde prestatiegegevens kunnen, voor wat betreft de civiele vliegtuigen, bij de berekening van de geluidsbelasting worden toegepast.

## 6 GELUIDSNIVEAUS

Voor iedere vliegtuigcategorie zijn de geluidsniveaus vermeld in de APPENDICES als functie van de motorstuwkracht(index) en de afstand tussen het vliegtuig en het netwerkpunt. Deze geluidsniveaus, uitgedrukt in dB(A), zijn gegeven zonder correctie voor de zogenoemde laterale geluidverzwakking, die is beschreven in § 7.4.3 en § 8.4.1.

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 netwerkpunt wordt berekend volgens § 7.4.2 en § 8.4.1. Voor het bepalen van het geluidsniveau dient meestal geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd te worden tussen opgegeven waarden in de APPENDICES. Voor andere afstanden tot het vliegtuig dan die waarvoor de opgegeven geluidsniveaus expliciet in APPENDICES zijn vermeld, wordt geïnterpoleerd danwel geëxtrapoleerd op basis van de logaritme van de afstand. Voor andere motorstuwkrachtwaarden dan opgegeven in de APPENDICES wordt lineair geïnterpoleerd danwel geëxtrapoleerd.

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

Alleen de in de APPENDICES vermelde geluidsgegevens kunnen bij de berekening van de geluidsbelasting worden toegepast.

## 7 BEREKENINGSMETHODIEK 1

### 7.1 Toepassing

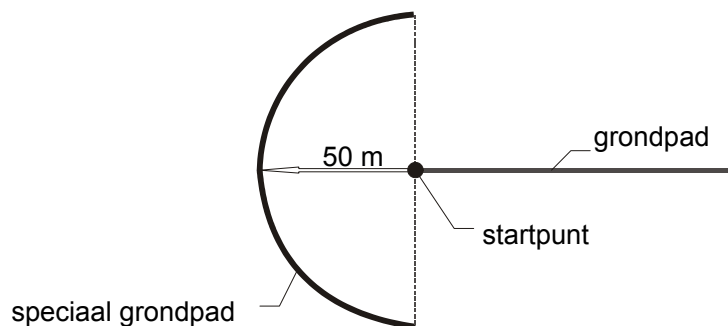
De berekeningsmethodiek 1 geldt voor de luchtvaartterreinen zoals vermeld in appendix B.

### 7.2 Berekeningsgegevens; grondpaden en spreiding

Een grondpad is de projectie van een vliegbaan op het referentievlak. Uitgegaan wordt van een indeling van de grondpaden in een aantal nominale grondpaden. Een nominaal grondpad beschrijft, tezamen met de horizontale afwijkingen ten opzichte van dat nominale grondpad, een groep grondpaden, welke een operationeel voorschrift (voor start, landing en circuit) gemeen hebben.

Een nominaal grondpad wordt benaderd door een aantal segmenten, bestaande uit rechte lijnstukken en/of cirkeldelen. Ieder recht lijnstuk wordt gevolgd door ten hoogste twee cirkeldelen. Deze benadering dient zodanig te zijn, dat voor elk punt van het benaderde grondpad de afwijking ten opzichte van het opgegeven grondpad ten hoogste 0,3 maal de minimale lokale vlieghoogte van de bij dat grondpad behorende vliegtuigen bedraagt, echter met dien verstande dat de afwijking tenminste 50 m mag bedragen.

Hoewel de vertrek- c.q. aankomst-procedures voor een luchtvaartterrein zijn vastgelegd, zullen in de praktijk afwijkingen ten opzichte hiervan optreden. Teneinde in de berekeningsmethodiek deze spreiding in horizontale richting in rekening te kunnen brengen, wordt een spreidingsgebied gedefinieerd door de maximale horizontale afwijking van het nominale grondpad  $b_{\text{links}}$  ( $b_l$ ), respectievelijk  $b_{\text{rechts}}$  ( $b_r$ ) als functie van de afgelegde weg, aan te geven. De oriëntatie links/rechts is gerelateerd aan de grondpad-richting. De statistische verdeling van de horizontale afwijkingen binnen het spreidingsgebied is uniform.



Figuur 2. Grondpadligging voor de berekening van het geluid achter het startpunt

Ten behoeve van de berekening van de bijdrage aan de geluidsbelasting als gevolg van het geluid van startende vliegtuigen in de netwerkpunten achter een startpunt, wordt een speciaal grondpad gedefinieerd (zie figuur 2). Dit grondpad heeft de vorm van een halve cirkel met een straal van 50 m. Het middelpunt van deze cirkel is het startpunt en het grondpad is gelegen achter dit startpunt.

### 7.3 Globale beschrijving berekeningsmethodiek 1

De berekeningswijze is als volgt te beschrijven:

- a) Het luchtvaartterrein en de omgeving, alsmede de vliegbanen worden geprojecteerd in een plat vlak. In dit zogenoemde referentievlak wordt een studiegebied gedefinieerd waarin een netwerk van punten wordt gelegd. Vervolgens wordt in de netwerkpunten de geluidsbelasting berekend.
- b) Voor iedere vliegbaan worden de kortste afstanden bepaald tussen een netwerkpunt, gelegen binnen een zeker invloedsgebied, tot de delen van die vliegbaan. Op die

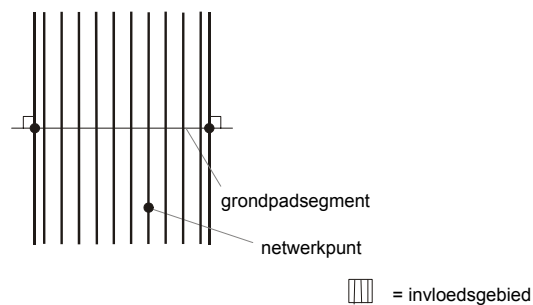
- afstanden worden correcties toegepast om de invloed van de horizontale afwijkingen ten opzichte van de beschouwde vliegbaan in rekening te brengen.
- c) Voor ieder vliegtuig, dat van die vliegbaan gebruik maakt, wordt met behulp van deze gecorrigeerde afstanden en de bijbehorende motorstuwkracht het maximale geluidsniveau in het netwerkpunt bepaald.
  - d) Dit geluidsniveau wordt gecorrigeerd voor bodemverzwakking en afscherming (welke effecten gezamenlijk 'laterale geluidverzwakking' worden genoemd).
  - e) Uitgaande van het maximale geluidsniveau, het aantal vliegtuigpassages en de nachtstraffactoren van de vliegtuigen per categorie, wordt de hindersombijdrage berekend.
  - f) Door de hindersombijdragen van alle vliegtuigpassages te sommeren wordt de geluidsbelasting in een netwerkpunt bepaald.
  - g) Geluidsbelastingcontouren worden tenslotte bepaald door interpolatie tussen de in de netwerkpunten berekende geluidsbelastingwaarden.

## 7.4 Berekeningswijze

### 7.4.1 Bepaling invloedsgebieden

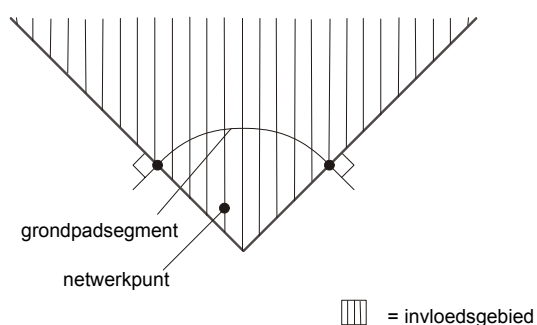
Voor elk grondpadsegment *ij* (segment *i* van het nominale grondpad *j*) wordt een in het referentievlak gelegen gebied bepaald, het zogenoemde invloedsgebied. Voor elk binnen dit invloedsgebied gelegen netwerkpunt worden de bijdragen in de geluidsbelasting ten gevolge van vliegtuigen, die de bij het grondpad *j* behorende vliegbaan volgen, in rekening gebracht. De invloedsgebieden zijn voor de twee te onderscheiden grondpadsegmenten als volgt gedefinieerd:

- a) Voor een door een recht lijnstuk beschreven segment van een grondpad, het gebied binnen de randen van het netwerk, dat samenvalt met het gebied gelegen tussen de loodlijnen op het begin- en eindpunt van het lijnstuk (zie figuur 3). De met deze loodlijnen samen-vallende netwerkpunten liggen in het invloedsgebied.



Figuur 3. Ligging van het invloedsgebied behorend bij een recht grondpadsegment

- b) Voor een door een cirkeldeel beschreven segment van een grondpad, het gebied binnen de randen van het netwerk, dat samenvalt met het gebied gelegen tussen de lijnen, die vanuit het bij het cirkeldeel behorende middelpunt door het begin- en eindpunt van het cirkeldeel gaan (zie figuur 4). In het geval van twee opeenvolgende cirkeldeel, tot het invloedsgebied van dat behoren de netwerkpunten, die samenvallen met de lijn door het

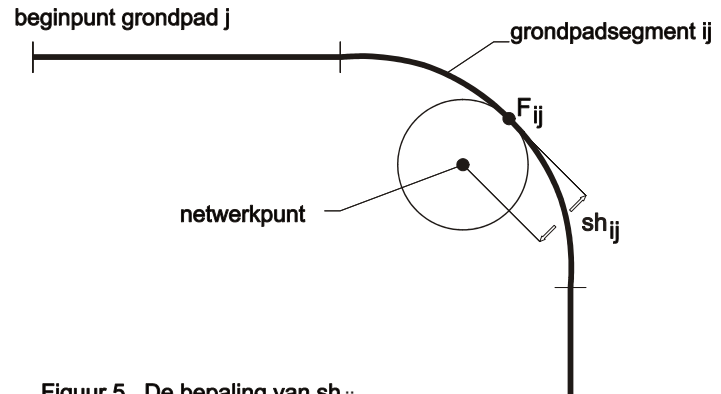


Figuur 4. Ligging van het invloedsgebied behorend bij een grondpadsegment beschreven door een cirkeldeel

eindpunt van het eerste segment.

#### 7.4.2 Berekening van de kortste afstand van een netwerkpunt tot een vliegbaan

Voor ieder netwerkpunt, liggend in het invloedsgebied van een grondpadsegment ij, wordt de afstand tussen het netwerkpunt en de cirkel met het netwerkpunt als middelpunt, welke raakt aan het grondpadsegment ij, bepaald.



Figuur 5. De bepaling van  $sh_{ij}$

De afstand tussen het netwerkpunt en dit raakpunt,  $F_{ij}$ , wordt  $sh_{ij}$  genoemd (zie figuur 5). Van de bij het grondpadsegment ij behorende vliegbaan wordt gebruik gemaakt door vliegtuigen behorende tot de categorie k en vliegend volgens de procedure m. De kortste afstand tussen het netwerkpunt en de vliegbaan wordt als volgt bepaald:

$$s_{ijkm} = \left( (sh_{ij})^2 + (h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad [7.4.2.1]$$

waarbij

$h_{ijkm}$  = de nominale vlieghoogte van een vliegtuig behorende tot de verzameling km bij de afgelegde weg  $w_{ij}$ .

$\gamma_{ijkm}$  = de stijghoek van een vliegtuig behorende tot de verzameling km bij de afgelegde weg  $w_{ij}$ .

$w_{ij}$  = de afgelegde weg vanaf het begin van het grondpad j tot het punt  $F_{ij}$ .

Rekening houdend met de maximale horizontale afwijkingen  $(b_{ijkm})_l$  en  $(b_{ijkm})_r$  ten opzichte van het grondpadsegment ij bij een afgelegde weg  $w_{ij}$  voor een vliegtuig behorende tot de verzameling km, wordt de afstand  $(s_{ijkm})_l$  c.q.  $(s_{ijkm})_r$  als volgt bepaald:

$$(s_{ijkm})_l = \left\{ \left\{ \frac{\arctan \frac{(b_{ijkm})_l - sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} + \arctan \frac{sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}}}{2(b_{ijkm})_l \cdot h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} \right\} + \left\{ \frac{\arctan \frac{(b_{ijkm})_r + sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} - \arctan \frac{sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}}}{2(b_{ijkm})_r \cdot h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad [7.4.2.2]$$

$$(s_{ijkm})_r = \left\{ \left\{ \frac{\arctan \frac{(b_{ijkm})_l + sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} - \arctan \frac{sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}}}{2(b_{ijkm})_l \cdot h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} \right\} + \left\{ \frac{\arctan \frac{(b_{ijkm})_r - sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} + \arctan \frac{sh_{ij}}{h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}}}{2(b_{ijkm})_r \cdot h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm}} \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad [7.4.2.3]$$

N.B.: arctan in radialen.

#### 7.4.3 Berekening van het maximale geluidsniveau

Op basis van de kortste afstand van het netwerkpunt tot de vliegbaan,  $s_{ijkm}$ , en de motorstuwkracht(index), volgend uit de vliegprocedure m, wordt het maximale geluidsniveau in het netwerkpunt bepaald aan de hand van de gegevens in de APPENDICES. Dit maximale geluidsniveau wordt als volgt gecorrigeerd voor de laterale geluidverzwakking (LGV):

$$Lmax_{ijkm} = Lmax'_{ijkm} - LGV_{ijkm} \quad [7.4.3.1]$$

waarbij

- $LGV_{ijkm}$  = de laterale geluidverzwakking voor een vliegtuig behorend tot de verzameling km, welke zich bevindt op het segment i van het grondpad j.
- $Lmax'_{ijkm}$  = maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied ligt van het grondpadsegment ij, ten gevolge van een vliegtuigpassage behorende tot de categorie k en volgens vliegprocedure m, zonder inachtneming van de laterale geluidverzwakking.
- $Lmax_{ijkm}$  = maximaal geluidsniveau in een netwerkpunt, dat in het invloedsgebied ligt van het grondpadsegment ij, ten gevolge van een vliegtuigpassage behorende tot de categorie k en volgens vliegprocedure m, met inachtneming van de laterale geluidverzwakking.

De laterale geluidverzwakking,  $LGV_{ijkm}$ , is afhankelijk gesteld van de afstand  $s_{ijkm}$ , de elevatiehoek  $\beta_{ijkm}$  en de afschermdende werking van vliegtuigdelen:

- a) De elevatiehoek  $\beta_{ijkm}$  wordt als volgt bepaald:

$$\beta_{ijkm} = \arctan \left[ h_{ijkm} \left\{ (s_{ijkm})^2 - (h_{ijkm} \cdot \cos \gamma_{ijkm})^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad [7.4.3.2]$$

N.B.: arctan in radialen.

- b) 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. Voor de berekening van het naar achteren uitgestraalde geluid van startende vliegtuigen geldt dat  $q=0$ .
- c) De bodemverzwakking  $\Delta L$  is afhankelijk gesteld van de afstand s:

Tabel 2. Het verband tussen de bodemverzwakking en de afstand.

| s (m)               | $\Delta L$ (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

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

[7.4.3.3]

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

$$LGV = 3q (1 - \sqrt{\sin \beta}) \quad [7.4.3.4]$$

Indien het beschouwde netwerkpunt in het invloedsgebied ligt van meerdere segmenten van het grondpad j moet voor deze segmenten eveneens op de bovenomschreven wijze het geluidsniveau  $L_{\max_{ijkm}}$  worden bepaald. Het maximale geluidsniveau,  $L_{\max_{jkm}}$ , in het netwerkpunt is gelijk aan de hoogste waarde van de berekende  $L_{\max_{ijkm}}$  waarden.

#### 7.4.4 Berekening van de geluidsbelasting

In een netwerkpunt dat in het invloedsgebied ligt van één of meer grondpadsegmenten i, bedraagt de hindersombijdrage ten gevolge van het totale aantal vliegtuigpassages, behorende tot de categorie k en volgens vliegprocedure m, die een vliegbaan met het grondpad j volgen:

$$H_{jkm} = N_{jkm} \cdot 10^{\frac{L_{\max_{jkm}}}{15}} \quad [7.4.4.1]$$

hierin is:

$$N_{jkm} = \sum_t n_{tp} \cdot N_{jkmt} \quad [7.4.4.2]$$

waarbij:

- $H_{jkm}$  = de hindersombijdrage in een netwerkpunt ten gevolge van een vliegtuigpassage behorende tot de verzameling km en langs het nominale grondpad j.
- $N_{jkm}$  = het aantal vliegtuigpassages in één jaar van de verzameling vliegtuigen km, die het nominale grondpad j volgen.
- $L_{\max_{jkm}}$  = het maximale geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van een vliegtuigpassage behorende tot de verzameling km en langs het nominale grondpad j, met inachtneming van de LGV.
- $N_{jkmt}$  = het aantal vliegtuigpassages  $N_{jkm}$  binnen de dagperiode t.
- $n_{tp}$  = de nachtstraffactor; weegfactor, die afhankelijk is van de dag-periode t waarin de vliegtuigpassage p plaatsvindt (zie tabel 3).

Tabel 3. De nachtstraffactor per dagdeel.

| Dagperiode t |       | Nachtstraffactor $n_{tp}$ |
|--------------|-------|---------------------------|
| van          | tot   |                           |
| 0            | 6 uur | 10                        |
| 6            | 7 "   | 8                         |
| 7            | 8 "   | 4                         |
| 8            | 18 "  | 1                         |
| 18           | 19 "  | 2                         |
| 19           | 20 "  | 3                         |
| 20           | 21 "  | 4                         |
| 21           | 22 "  | 6                         |
| 22           | 23 "  | 8                         |
| 23           | 24 "  | 10                        |

De totale hindersom H in het netwerkpunt is te bepalen door de hindersombijdragen voor alle combinaties van vliegtuigcategorieën k, procedures m en grondpaden j te sommeren:

$$H = \sum_j \sum_k \sum_m H_{jkm} \quad [7.4.4.3]$$

De geluidsbelasting ten gevolge van het vliegverkeer in een netwerkpunt volgt dan uit:

$$B = 20 \cdot \log(H) - 157 \quad [7.4.4.4]$$

Voor alle netwerkpunten wordt de geluidsbelasting op de hier beschreven wijze berekend.



## 8 BEREKENINGSMETHODIEK 2

### 8.1 Toepassing

De berekeningsmethodiek 2 geldt voor de luchtvaartterreinen zoals vermeld in appendix B.

### 8.2 Berekeningsgegevens; grondpaden en spreiding

#### 8.2.1 Geregistreeerde grondpaden

Indien de grondpaden worden afgeleid uit, met behulp van radar, geregistreeerde vliegbanen, is per vliegtuigpassage een grondpad  $j$  te herleiden (zie § 8.1.1 van de toelichting). Door voor een ieder van deze grondpaden de bijdrage tot de geluidsbelasting in een netwerkpunt te bepalen, wordt de in horizontale richting optredende spreiding van het vliegverkeer in rekening gebracht. Indien deze methode van toepassing is, is het gestelde onder § 8.2.2 niet van belang en kan vanaf § 8.3 verder gelezen worden.

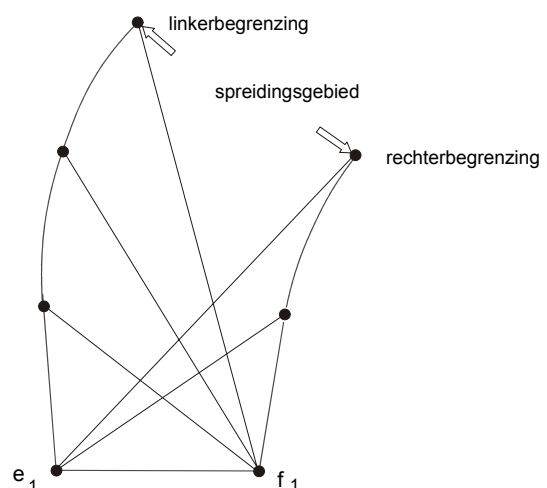
#### 8.2.2 Gemodelleerde grondpaden

Indien registraties, zoals vermeld in § 8.2.1, niet beschikbaar zijn kunnen de vliegbanen alleen modelmatig worden gegenereerd. Deze methode dient gebruikt te worden voor alle berekeningen die zijn gebaseerd op een prognose voor het gebruik van een vliegveld, waaronder geluidszones en contouren ten behoeve van een Gebruiksplan. Voor het Gebruiksplan dienen daarbij de spreidingsgrenzen gehanteerd te worden die in de aanwijzingsbeschikking zijn vastgelegd.

Voor iedere vertrek- c.q. aankomstprocedure dient een zogenaamd spreidingsgebied te worden vastgelegd. Binnen dit, door een linker- en rechtergrenslijn ingesloten gebied wordt het bij de betreffende vertrek- of aankomstprocedure behorende verkeer gemodelleerd. Op basis van deze twee grenslijnen worden de vliegbanen bepaald. Hiertoe wordt op de beide grenslijnen, vanaf het beginpunt van deze grenslijnen, om de 100 meter een punt geplaatst. Tussen de punten op de linker- en rechter grenslijn van het spreidingsgebied worden verbindingslijnen gegenereerd met behulp waarvan het gemiddelde grondpad wordt bepaald. Dit proces bestaat uit de volgende drie stappen.

#### Genereren

Beginnend vanuit het punt  $e_l$  op de linker spreidingsgrens met index  $l=1$  worden verbindingslijnen gegenereerd tussen dit punt en punten  $f_r$  op de rechter spreidingsgrens met index  $r \geq 1$ . Dit levert een waaier van verbindingslijnen door het punt  $e_l$ . Hetzelfde wordt uitgevoerd voor het punt  $f_r$  met index  $r=1$ . Dit geeft een waaier van verbindingslijnen door het punt  $f_1$ . Voor de punten  $e_l$  en  $f_1$  zijn zodoende een tweetal waaiers van verbindingslijnen bepaald (zie figuur 6).

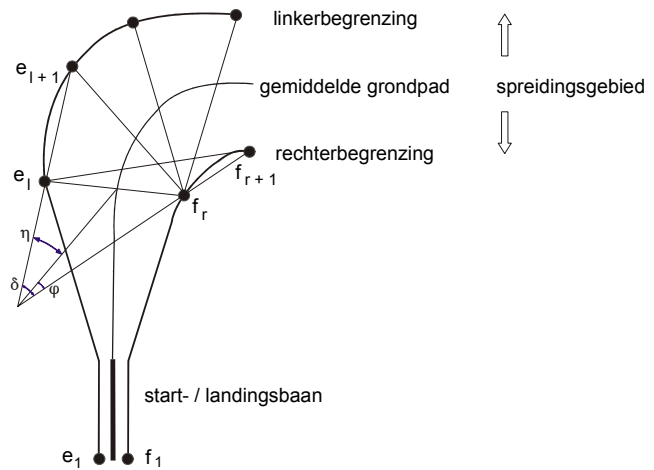


Figuur 6. Genereren van verbindingslijnen

## Selecteren

Uit deze twee waiers van verbindingslijnen wordt één optimale verbindingslijn geselecteerd. De selectie van de optimale verbindingslijn geschiedt op basis van het verschil tussen twee, per verbindingslijn vast te stellen, hoeken  $\eta$  en  $\varphi$ .

Iedere verbindingslijn wordt opgemaakt door twee punten, één op de linker spreidingsgrens en één op de rechter spreidingsgrens. Indien de te beoordelen verbindingslijn wordt opgemaakt door de punten  $e_i$  en  $f_r$  dan dienen de vectoren  $e_i e_{i+1}$ , respectievelijk  $f_r f_{r+1}$  te worden bepaald. Deze vectoren sluiten een zekere hoek  $\delta$  in (zie figuur 7).



Figuur 7. Grundpad modellering

Het lijnstuk tussen het snijpunt van de twee door deze vectoren opgemaakte lijnen und het midden van de beschouwde verbindingslijn deelt die hoek  $\delta$  op in die twee hoeken  $\eta$  und  $\varphi$ . Door het verschil zwischen diese zwei hoeken  $\eta$  und  $\varphi$  voor iedere verbindingslijn in die twee waiers te bepalen is die verbindingslijn te selecteren die het kleinst mögliche verschil zwischen die beide hoeken geeft. Dit is die optimale verbindingslijn. Die overige verbindingslijnen in die twee waiers komen te vervallen.

Bij dit selectieproces komen een tweetal bijzondere gevallen voor. Bedraagt die hoek  $\delta$  meer dan  $90^\circ$  dan wordt die betreffende verbindingslijn buiten beschouwing gelaten. Bedraagt die hoek  $0^\circ$  (plaatselijk evenwijdige linker- und rechterbegrenzung van het spreidingsgebied) dan is het die meest optimale verbindingslijn, indien het die enige verbindingslijn in die twee waiers is, waarvoor die hoek  $0^\circ$  bedraagt.

Het is in principe möglik dat meerdere verbindingslijnen eenzelfde verschil in die hoeken  $\eta$  und  $\varphi$  vertonen of eenzelfde hoek  $\delta = 0^\circ$  vertonen. In voorkomende gevallen zal die verbindingslijn worden geselecteerd die die laagst gesommeerde index waarde heeft.

Die optimale verbindingslijn definieert die nieuwe index waarden  $l=l_0$  und  $r=r_0$ . Vervolgens worden verbindingslijnen gegenereerd voor die punten  $e_i$  und  $f_r$  mit index  $l = l_0 + 1$  respectievelijk  $r = r_0 + 1$  ter bepaling van die volgende optimale verbindingslijn. Hiertoe worden op die boven omschreven wijze verbindingslijnen gegenereerd und aansluitend geselecteerd.

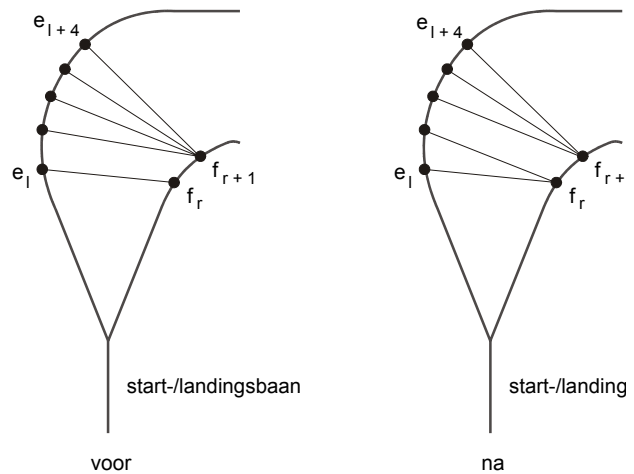
Indien die laatst bepaalde  $l_0$  und  $r_0$  waarden meer dan 1 indexpunt verschillen van die vorige  $l_0$  und  $r_0$  waarden dan zullen er op die betreffende grenslijn één of meer punten zijn die geen deel uit maken van een optimale verbindingslijn. Diese punten worden verbonden mit het laatstgevonden punt mit indexwaarde  $r_0$  of  $l_0$  op die tegenover het betreffende punt liggende grenslijn.

## Vegen

Nadat alle optimale verbindinglijnen zijn bepaald, wordt de eis opgelegd dat elk punt op de grenslijn van maximaal 3 lijnstukken deel mag uitmaken.

Vanaf het punt met de hoogste indexwaarde teruglopend, wordt bekeken of hieraan wordt voldaan. Indien een punt  $e_i$  respectievelijk  $f_r$ , deel uitmaakt van meer dan drie lijnstukken worden er lijnstukken naar het eerstvolgende punt  $e_{i-1}$  respectievelijk  $f_{r-1}$  met een lagere index-waarde verplaatst totdat aan dit criterium wordt voldaan (zie figuur 8). De punten  $e_i$  en  $f_r$  met een index-waarde kleiner dan 30 zijn van dit criterium uitgesloten.

Indien bij het vegen van de verbindinglijnen, een gedeelte van een verbindinglijn buiten het opgegeven spreidingsgebied terecht komt dient het betreffende spreidingsgebied te worden hergedefinieerd. Door het midden van alle verbindinglijnstukken die reesteren wordt een vloeiende kromme (B-spline, orde 4, knoofafstand 300 m, zie ook § 8.1.2 van de toelichting en Ref. 4) bepaald, het gemiddelde grondpad. Op vergelijkbare wijze worden de overige grondpaden bepaald.



Figuur 8. Vegen van verbindinglijnen

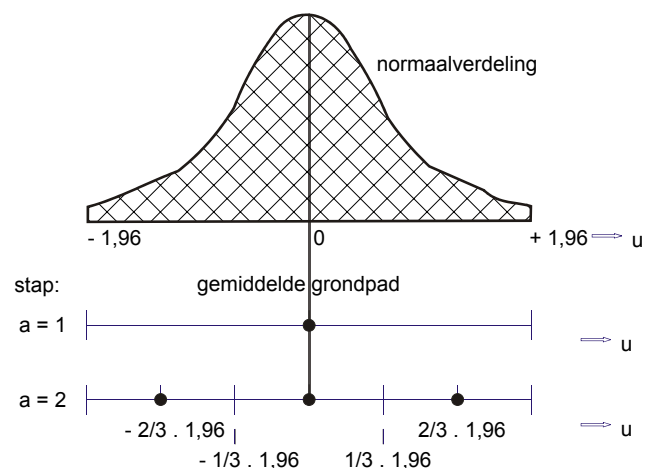
Ten aanzien van de verdeling van het verkeer binnen het spreidingsgebied wordt verondersteld dat deze gelijk is aan een standaard normaalverdeling. Om te voorkomen dat oneindig brede spreidingsgebieden gedefinieerd moeten worden, wordt de standaard normaalverdeling begrensd bij een standaarddeviatie van  $-1,96\sigma$  en  $+1,96\sigma$  ( $\sigma$  = de standaarddeviatie). Deze begrenzing correspondeert derhalve met de linker- respectievelijk rechter-spreidingsgrens van het spreidingsgebied. De normaalverdeling wordt dan gegeven door de functie:

$$f(u) = \frac{1}{0,95} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} \quad [8.2.2.1]$$

met

$u$  = afstand tot het gemiddelde grondpad (de mediaan), uitgedrukt in  $\sigma$ .  
 $1/0,95$  = correctiefactor, waarmee binnen het spreidingsgebied, van  $+1,96\sigma$  tot  $-1,96\sigma$ , 100 % van het verkeer in rekening wordt gebracht.

Deze normaalverdeling is op de in figuur 9 afgebeelde wijze gekoppeld aan het spreidings-gebied. Een eerste benadering van de verkeersverdeling, behorende bij een bepaalde procedure, wordt verkregen door al het verkeer over het gemiddelde grondpad af te wikkelen. Met behulp van het gemiddelde grondpad en de breedte van het spreidingsgebied wordt stapsgewijs een steeds groter aantal grondpaden gegenereerd binnen het spreidingsgebied. Aan ieder grondpad wordt een bepaalde fractie van het verkeer toegewezen, zodanig dat de eerdergenoemde normaalverdeling



Figuur 10. Positie van de grondpaden en de integraalgrenzen per stap a

wordt benaderd. Per spreidingsgebied  $v$  is zodoende een waaier van grondpaden bepaald. In figuur 10 is aangegeven op welke wijze het aantal grondpaden en de posities van deze grondpaden worden bepaald.

Voor de eerste stap  $a = 1$  bevindt al het verkeer van de betreffende vertrek- of aankomstprocedure zich op het gemiddelde grondpad.

Voor een willekeurige stap  $a$  wordt het aantal grondpaden:

$$n = 3^{(a-1)} \quad [8.2.2.2]$$

waar  $a = 1, 2, \dots, 6$ . De positie  $d$ , uitgedrukt in  $u$ , van een grondpad is:

$$d = \frac{2c}{n} \cdot 1,96 \quad [8.2.2.3]$$

waarbij  $c$  een geheel getal is tussen:

$$\frac{-(n-1)}{2}, \dots, \frac{+(n-1)}{2} \quad [8.2.2.4]$$

De verkeersfractie  $FC_j$  per grondpad wordt bepaald door de normaalverdeling te integreren over het, bij het betreffende grondpad behorende, interval  $y$  (uitgedrukt in  $u$ ), waarvoor geldt:

$$y = \left[ \frac{(2c-1) \cdot 1,96}{n}, \frac{(2c+1) \cdot 1,96}{n} \right] \quad [8.2.2.5]$$

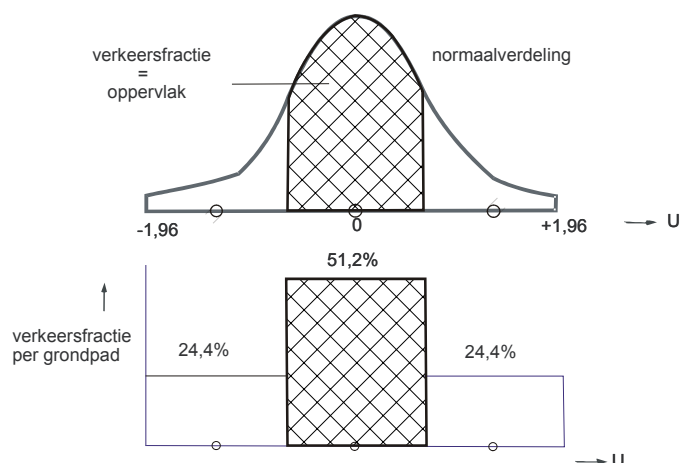
Voor iedere interval  $y$  behorend bij een grondpad  $j$  met positie  $d$ , wordt de bezettingsgraad van het betreffende grondpad (= de verkeersfractie) als volgt bepaald:

$$FC_j = \int_y f(u) du \quad [8.2.2.6]$$

met

- $FC_j$  = de verkeersfractie behorend bij grondpad  $j$  binnen een spreidingsgebied.  
 $f(u)$  = functie waarmee de verdeling van het verkeer binnen het spreidingsgebied wordt gedefinieerd, zie formule 8.2.2.1.  
 $y$  = interval behorende bij een grondpad  $j$ .

Oplossen van de integraal over het interval  $y$  levert de verkeersfractie per grondpad. In figuur 11 is het resultaat van dit proces weergegeven voor een situatie waarin drie grondpaden



Figuur 11. De verkeersfractie per grondpad

binnen het spreidingsgebied zijn gedefinieerd.

### 8.3 Globale beschrijving berekeningsmethodiek 2

De berekeningswijze is globaal, voor zowel geregistreerde als gemodelleerde grondpaden, als volgt te beschrijven:

- Het luchtvaartterrein en de omgeving, alsmede de vliegbanen worden geprojecteerd in een plat vlak. In dit zogenoemde referentievlak wordt een studiegebied gedefinieerd waarin een netwerk van punten wordt gelegd. Vervolgens wordt in de netwerkpunten de geluidsbelasting berekend.
- Voor één vliegtuigpassage  $p$ , langs een grondpad  $j$ , wordt voor een groot aantal punten op de vliegbaan het geluidsniveau in een netwerkpunt bepaald, gecorrigeerd voor de laterale geluidverzwakking.
- Met behulp van deze geluidsniveaus wordt door middel van een iteratie-procedure het maximum geluidsniveau bepaald dat in een netwerkpunt optreedt ten gevolge van één vliegtuigpassage  $p$  langs het grondpad  $j$ .
- Door het bijbehorende aantal passages langs het grondpad  $j$  in rekening te brengen, rekening houdend met de bijbehorende nachtstraffactoren, wordt de betreffende hindersombijdrage bepaald.
- Op overeenkomstige wijze worden de overige grondpaden  $j$  verwerkt. Door sommatie van alle hindersombijdragen in het netwerkpunt is de geluidsbelasting in het netwerkpunt ten gevolge van het vliegverkeer te berekenen.
- Geluidsbelastingcontouren worden bepaald door interpolatie tussen de in de netwerkpunten berekende geluidsbelastingwaarden.

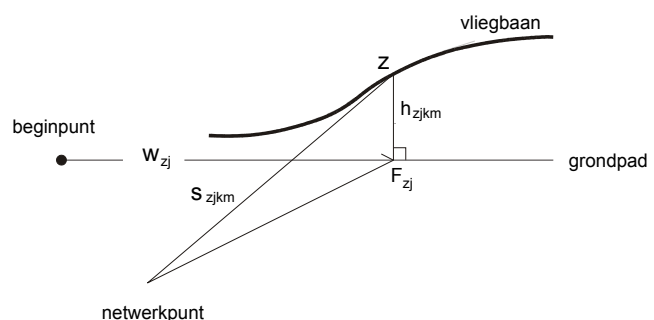
### 8.4 Berekeningswijze

Voor zowel de geregistreerde als de gemodelleerde grondpaden is het in deze paragraaf weergegevene van toepassing.

#### 8.4.1 Berekening van het geluidsniveau

Wanneer een vliegtuig, behorende tot categorie  $k$ , vliegprocedure  $m$  en grondpad  $j$  zich bevindt in een punt  $Z$  van de vliegbaan wordt het geluidsniveau,  $L_{zjkm}$ , in een netwerkpunt als volgt berekend:

- Bepaal het snijpunt  $F_{zj}$  van het grondpad en een in een verticaal vlak gelegen loodlijn vanuit  $Z$  op het grondpad (zie figuur 12). De afstand vanaf het begin van het grondpad tot dit punt en



Figuur 12. Afstandsbepaling netwerkpunt - vliegbaan

gemeten langs het grondpad wordt  $w_{zj}$  genoemd; de afstand van het netwerkpunt tot  $F_{zj}$  wordt  $sh_{zj}$  genoemd.

- 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 de APPENDICES vermeld zijn.
- c) Bepaal de afstand  $s_{zjkm}$  tussen het netwerkpunt en Z, overeenkomstig de volgende formule:

$$s_{zjkm} = \sqrt{(sh_{zj})^2 + (h_{zjkm})^2} \quad [8.4.1.1]$$

- d) Bepaal het geluidsniveau  $L'_{zjkm}$  geldend voor  $s_{zjkm}$  en voor  $TI_{zjkm}$ , uitgaande van de geluidgegevens die in de APPENDICES met betrekking tot categorie k vermeld zijn.
- e) Corrigeer deze waarde van  $L'_{zjkm}$  als volgt voor de laterale geluidverzwakking:

$$L_{zjkm} = L'_{zjkm} - LGV_{zjkm} \quad [8.4.1.2]$$

waarbij

$LGV_{zjkm}$  = de laterale geluidverzwakking voor een vliegtuig behorend tot de verzameling km, boven grondpad j en welke zich bevindt in punt Z van de vliegbaan.

$L'_{zjkm}$  = geluidsniveau, dat optreedt indien een vliegtuig behorend tot een verzameling km zich bevindt in punt Z boven een grondpad j zonder inachtneming van de laterale geluidverzwakking.

$L_{zjkm}$  = geluidsniveau, dat optreedt indien een vliegtuig behorend tot een verzameling km zich bevindt in punt Z boven een grondpad j met inachtneming van de laterale geluidverzwakking.

De laterale geluidverzwakking,  $LGV_{zjkm}$ , is afhankelijk gesteld van de afstand  $s_{zjkm}$ , de elevatiehoek  $\beta_{zjkm}$  en de afschermende werking van vliegtuigdelen:

- 1) De elevatiehoek  $\beta_{zjkm}$  wordt als volgt bepaald:

$$\beta_{zjkm} = \arctan \left( \frac{h_{zjkm}}{sh_{zj}} \right) \quad [8.4.1.3]$$

N.B.: arctan in radialen.

- 2) De afschermingsfactor q brengt de afschermende 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  $\Delta L$  is afhankelijk gesteld van de afstand s:

Tabel 4. Het verband tussen de bodemverzwakking en de afstand.

| s (m)               | $\Delta L$ (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

$$LGV = \Delta L (5,471 \beta^2 - 4,774 \beta + 1) + 3q (1 - \sqrt{\sin \beta}) \quad [8.4.1.4]$$

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

$$LGV = 3q (1 - \sqrt{\sin \beta}) \quad [8.4.1.5]$$

#### 8.4.2 Berekening van het maximale geluidsniveau

Het maximale geluidsniveau,  $L_{\max_{jkm}}$ , dat in een netwerkpunt optreedt ten gevolge van één vliegtuigpassage, behorende tot de verzameling  $km$  en langs grondpad  $j$ , wordt als volgt bepaald:

- a) Voor een vliegtuigpassage  $p$  wordt om de 1000 meter van de afgelegde weg langs het grondpad, een punt  $Z$  per hoogteprofiel-segment gedefinieerd. Tevens wordt voor het begin- en eindpunt van ieder hoogteprofiel-segment een punt  $Z$  op de vliegbaan gedefinieerd.  
Indien de motorstuwkracht is beschreven door middel van motorstuwkracht-indices verandert de motorstuwkrachtwaarde stapsgewijs. Bij de overgang van het ene hoogteprofiel-segment naar het volgende, worden dan twee punten  $Z$  bepaald. Eén punt  $Z$  met de motorstuwkrachtindex behorend bij het ene segment en één met de motorstuwkrachtindex behorend bij het andere segment.
- b) Bereken, overeenkomstig de methode beschreven in § 8.4.1, voor elk punt  $Z$  van de vliegbaan het geluidsniveau  $L_{zjkm}$  dat in het netwerkpunt optreedt.
- c) Bepaal het punt  $Z$  waarvoor de hoogste waarde van  $L_{zjkm}$  optreedt. Zet voor dit punt en de punten  $Z$  aan weerszijden hiervan, het geluidsniveau uit als functie van de afgelegde weg  $w_{zj}$  langs het grondpad.

Indien de motorstuwkracht is aangegeven met behulp van motorstuwkracht-indices en het punt  $Z$ , waarvoor het hoogste geluidsniveau optreedt, gelegen is op de overgang van het ene hoogteprofiel-segment naar het andere, wordt de parabool bepaald met behulp van dit punt  $z$  met het hoogste geluidsniveau en twee punten  $Z$  binnen hetzelfde hoogteprofiel-segment. De twee overige punten liggen in dit geval dus niet aan weerszijden van het punt  $Z$  met het hoogste geluidsniveau.

- d) Leidt de afgelegde weg langs het grondpad af, waarvoor het maximum van de parabool optreedt. Bereken voor deze nieuwe positie  $Z$  het geluidsniveau dat in het netwerkpunt optreedt (§ 8.4.1) ten gevolge van de vliegtuigpassage langs het grondpad  $j$ ,  $L_{zjkm}$ , en bepaal door dit punt en de twee punten  $Z$  aan weerszijden hiervan opnieuw een parabool.  
Herhaal dit proces totdat ofwel het maximum aantal iteraties (= 20) heeft plaatsgevonden ofwel totdat het verschil in  $L_{zjkm}$  in twee opeenvolgende stappen kleiner of gelijk is aan 0,02 dB(A).

De laatst bepaalde waarde  $L_{zjkm}$  geeft het maximale geluidsniveau,  $L_{\max_{jkm}}$  dat ten gevolge van een vliegtuigpassage, behorende tot de verzameling  $km$  en langs grondpad  $j$  in het netwerkpunt optreedt.

### 8.4.3 Berekening van de geluidsbelasting

#### 8.4.3.1 Geregistreerde grondpaden

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

$$H_{jkm} = N_{jkm} \cdot 10^{\frac{L_{max,jkm}}{15}} \quad [8.4.3.1.1]$$

hierin is:

$$N_{jkm} = \sum_t n_{tp} \cdot N_{jkmt} \quad [8.4.3.1.2]$$

waarbij:

- $H_{jkm}$  = de hindersombijdrage van de vliegtuigen  $km$ , die een grondpad  $j$  volgen.
- $N_{jkm}$  = het aantal vliegtuigpassages in één jaar van de verzameling vliegtuigen  $km$ , behorende bij een grondpad  $j$ .
- $N_{jkmt}$  = het aantal vliegtuigpassages  $N_{jkm}$  binnen de dagperiode  $t$ . Per definitie gelijk aan 1 voor geregistreerde grondpaden.
- $n_{tp}$  = de nachtstraffactor; weegfactor, die afhankelijk is van de dagperiode  $t$  waarin de vliegtuigpassage  $p$  plaatsvindt (zie tabel 5).

Tabel 5. De nachtstraffactor per dagdeel.

| Dagperiode $t$ |       | Nachtstraffactor $n_{tp}$ |
|----------------|-------|---------------------------|
| van            | tot   |                           |
| 0              | 6 uur | 10                        |
| 6              | 7 "   | 8                         |
| 7              | 8 "   | 4                         |
| 8              | 18 "  | 1                         |
| 18             | 19 "  | 2                         |
| 19             | 20 "  | 3                         |
| 20             | 21 "  | 4                         |
| 21             | 22 "  | 6                         |
| 22             | 23 "  | 8                         |
| 23             | 24 "  | 10                        |

De totale hindersom in een netwerkpunt is te bepalen door de hindersombijdragen voor alle combinaties van vliegtuigcategorieën  $k$ , procedures  $m$  en grondpaden  $j$  te sommeren:

$$H = \sum_j \sum_k \sum_m H_{jkm} \quad [8.4.3.1.3]$$

De geluidsbelasting ten gevolge van het vliegverkeer in een netwerkpunt volgt dan uit:

$$B = 20 \cdot^{10} \log(H) - 157 \quad [8.4.3.1.4]$$

Voor alle netwerkpunten wordt de geluidsbelasting op de hier beschreven wijze berekend.

#### 8.4.3.2 Gemodelleerde grondpaden



In het geval van modelmatig gegenereerde vliegbanen is er een waaier van grondpaden per spreidingsgebied  $v$  bepaald. De index  $j$  voor een grondpad duidt dan alleen nog die grondpaden aan, die bij het spreidingsgebied  $v$  behoren.

Voor een ieder van de grondpaden  $j$ , behorend bij het spreidingsgebied  $v$ , kan het maximale geluidsniveau volgens de in § 8.4.2 beschreven methode, worden bepaald. Na berekening van de verkeersfractie  $FC_j$  per grondpad (§ 8.2.2) wordt het gewogen maximale geluidsniveau, ten gevolge van één vliegtuigpassage binnen het spreidingsgebied  $v$ , als volgt bepaald:

$$Lmax_{vkm-a}^l = 15 \cdot 10 \log \left( \sum_{j=1}^n FC_j \cdot 10^{\frac{Lmax_{jvkm}}{15}} \right) \quad [8.4.3.2.1]$$

hierin is:

- $Lmax_{vkm-a}^1$  = het gewogen maximale geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van één vliegtuigpassage uit de verzameling  $km$  en als bepaald voor  $3^{(a-1)}$  grondpaden binnen het spreidingsgebied  $v$  en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking.
- $Lmax_{jvkm}$  = het maximum geluidsniveau ten gevolge van één vliegtuigpassage behorend tot de verzameling  $km$  en langs grondpad  $j$  uit spreidingsgebied  $v$ .
- $FC_j$  = de fractie van één vliegtuigpassage behorend bij het grondpad  $j$ .
- $n$  = het totaal aantal grondpaden in het spreidingsgebied  $v$ ,  $n = 3^{(a-1)}$ .

Het aantal grondpaden  $j$  dat per spreidingsgebied  $v$  wordt bepaald is afhankelijk van de relatieve nauwkeurigheid waarmee het gewogen maximale geluidsniveau wordt berekend. Indien de vereiste relatieve nauwkeurigheid niet wordt bereikt, wordt het aantal grondpaden binnen het spreidingsgebied  $v$  verhoogd (zie § 8.2.2,  $a$  wordt met 1 verhoogd). Het verschil in het gewogen maximale geluidsniveau ten gevolge van één vliegtuigpassage moet voldoen aan het nauwkeurigheidscriterium:

$$|Lmax_{vkm-a}^l - Lmax_{vkm-a-1}^l| < crit \quad [8.4.3.2.2]$$

met

$$crit = maximum(0,1 ; 0,002 \cdot Lmax_{vkm-a-1}^l) \quad [8.4.3.2.3]$$

Dit houdt in dat het verschil in het gewogen maximale geluidsniveau tussen stap  $a-1$  en de daaropvolgende stap  $a$ , respectievelijk met  $n = 3^{(a-2)}$  en  $n = 3^{(a-1)}$  grondpaden, kleiner moet zijn dan het maximum dat volgt uit het genoemde criterium.

Dit proces wordt herhaald totdat ofwel het maximum aantal grondpaden, te weten  $n = 243$  voor  $a = 6$ , is gegenereerd, ofwel het verschil tussen twee opeenvolgend bepaalde, gewogen maximale geluidsniveaus kleiner is dan de hierboven aangegeven waarde.

De hindersombijdrage in een netwerkpunt ten gevolge van het aantal vliegtuigen  $km$  (categorie  $k$ , procedure  $m$ ), die een spreidingsgebied  $v$  volgen, bedraagt:

$$H_{vkm} = N_{vkm} \cdot 10^{\frac{Lmax_{vkm-a}^l}{15}} \quad [8.4.3.2.4]$$

hierin is:

$$N_{vkm} = \sum_t n_{tp} \cdot N_{vkm_t} \quad [8.4.3.2.5]$$

waarbij:

- $H_{vkm}$  = de hindersombijdrage in een netwerkpunt van de vliegtuigen  $km$ , die een spreidingsgebied  $v$  volgen.
- $N_{vkm}$  = het aantal vliegtuigpassages in één jaar van de verzameling vliegtuigen

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
| $L_{\max}^1_{vkm} _a$ | = | km, behorende bij een spreidingsgebied v.<br>het gewogen maximale geluidsniveau in een netwerkpunt ten gevolge van één vliegtuigpassage uit de verzameling km en als bepaald voor $3^{(a-1)}$ grondpaden binnen het spreidingsgebied v en met inachtneming van de laterale geluidverzwakking. |
| $N_{vkm}$             | = | het aantal vliegtuigpassages $N_{vkm}$ binnen de dagperiode t.  |
| $n_{tp}$              | = | de nachtstraffactor; weegfactor, die afhankelijk is van de dagperiode t waarin de vliegtuigpassage p plaatsvindt (zie tabel 5, § 8.4.3.1).  |

De totale hindersom in het netwerkpunt is te bepalen door de hindersombijdragen voor alle combinaties van vliegtuigcategorieën k, procedures m en spreidings-gebieden v te sommeren:

$$H = \sum_v \sum_k \sum_m H_{vkm} \quad [8.4.3.2.6]$$

De geluidsbelasting ten gevolge van het vliegverkeer in een netwerkpunt volgt dan uit:

$$B = 20 \cdot^{10} \log(H) - 157 \quad [8.4.3.2.7]$$

Voor alle netwerkpunten wordt de geluidsbelasting op de hier beschreven wijze berekend.

## 9 PRESENTATIE VAN DE BEREKENINGSRESULTATEN

Het resultaat van de berekening, de geluidsbelasting in de netwerkpunten, is aldus bepaald. Ten behoeve van het vaststellen van de geluidsbelasting rondom luchtvaartterreinen worden veelal geluidsbelastingcontouren gehanteerd. Uitgaande van de in de netwerkpunten berekende geluidsbelastingwaarden worden deze contouren bepaald door middel van interpolatie, conform de in appendix A, aangegeven methode.

## 10 REFERENTIES

1. "Geluid vanwege het taxiën van vliegtuigen op de Luchthaven Schiphol", ML-306-1, Adviesbureau Peutz & Associates B.V., mei 1993.
2. Scheeper, P., Poutsma, H.J. en Rozema, D.J., "Voorschrift voor de berekening van de geluidsbelasting door vliegtuigen", LL-HR-20-01, november 1980.
3. Bekebrede, G. en Rozema, D.J., "Geluidsniveaus en hoogteprofielen voor diverse categorieën civiele vliegtuigen", NLR memorandum VG-76-030 L, augustus 1976.
4. Renes, J.J., "On the use of splines and collocation in a trajectory optimization algorithm based on mathematical programming", NLR TR 78016 U, februari 1978.

## APPENDIX A DE BEPALING VAN GELUIDSBELASTINGCONTOUREN

## A.1 Inleiding

De in deze appendix beschreven rekenmethode ter bepaling van geluidsbelastingscontouren is eenduidig. Uitgegaan wordt van de berekende geluidsbelastingwaarden 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 vier keer zo kleine maaswijdte en met dezelfde buitenrand. Uitgaande van de berekende geluidsbelastingwaarden in de oorspronkelijke netwerkpunten worden in de punten van het verfijnde netwerk door middel van een interpolatiemethode benaderde geluidsbelastingwaarden berekend. Deze interpolatiemethode is als volgt.

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

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

met

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

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

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

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 netwerk vierkant in te vullen in formule A.2.3.
- De partiële afgeleide  $\delta f / \delta x$  gelijk te stellen aan de waarde van de nog nader te definiëren functie  $f_x$  in de hoekpunten.
- De partiële afgeleide  $\delta f / \delta y$  gelijk te stellen aan de waarde van de nog nader te definiëren functie  $f_y$  in de hoekpunten.
- De 2<sup>e</sup> orde partiële afgeleide  $\delta^2 f / \delta x \delta y$  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<sup>e</sup> 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:

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

waarbij de gewichtsfactoren eveneens gelijk 1 gemaakt worden als de noemer nul zou zijn. Voor de 2<sup>e</sup> 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 geluidsbelastingwaarden 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

geluidsbelastingwaarde 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 geluidsbelastingwaarden 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 netwerkwijden 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 verbindingslijnen (p en q) getrokken naar de punten P en Q en een verbindingslijn (r) naar het voorlaatst 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:

$$t_1 = 0 \quad [A.4.1]$$

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

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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> graads polynomen (basic splines) zijn positief in het interval  $[\tau_i, \tau_{i+3}]$  en nul daarbuiten,  $i = -2, \dots, n$ :

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

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  $x(t)$ :

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

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  $w_j$ :



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

Het minimaliseren van S gebeurt door te stellen

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

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 10 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          BEREKENINGSMETHODIEK PER LUCHTVAARTTERREIN

## B.1      Berekeningsmethodiek 1

De luchtvaartterreinen waarvoor berekeningsmethodiek 1 geldt, zijn:

1.      Luchtvaartterrein Budel
2.      Luchtvaartterrein Deelen
3.      Luchtvaartterrein De Kooy
4.      Luchtvaartterrein De Peel
5.      Luchtvaartterrein Eindhoven
6.      Luchtvaartterrein Gilze-Rijen
7.      Luchtvaartterrein Leeuwarden
8.      Luchtvaartterrein Soesterberg
9.      Luchtvaartterrein Texel
10.     Luchtvaartterrein Twenthe
11.     Luchtvaartterrein Valkenburg
12.     Luchtvaartterrein Volkel
13.     Luchtvaartterrein Woensdrecht

## B.2      Berekeningsmethodiek 2

De luchtvaartterreinen waarvoor berekeningsmethodiek 2 geldt, zijn:

1.      Luchtvaartterrein Eelde
2.      Luchtvaartterrein Lelystad
3.      Luchtvaartterrein Maastricht
4.      Luchtvaartterrein Rotterdam