



Rapport 680555001/2009

J. Jabben | B. du Pon | L.J. de Vries

Geluidoptimalisatie van luchtvaartroutes

RIVM-rapport 680555001/2009

Geluidoptimalisatie van luchtvaartroutes

J. Jabben
B. du Pon
L.J. de Vries

Contact:
J. Jabben
Laboratorium voor Milieumetingen
jan.jabben@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van VROM DG-
Ruimte/Leefomgevingskwaliteit, in het kader van Beleidsondersteuning Geluid

© RIVM 2009

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Geluidoptimalisatie van luchtvaartroutes

Het RIVM stelt een systematiek voor om geluidoverlast langs vliegroutes te beperken. Daarmee is gekeken naar mogelijkheden om enkele startroutes rondom de luchthaven Schiphol te optimaliseren.

De huidige startroutes blijken voor woningen in het gebied vlak bij de luchthaven overwegend gunstig te liggen. Echter, voor een aantal gemeenten in verder gelegen gebieden, het zogeheten buitengebied, kunnen routes verbeterd worden. Hoewel de geluidbelasting hier lager is, kunnen in dit gebied meer woningen profiteren van een verbetering.

Als onderdeel van de systematiek wordt aan elke vlucht een geluidsdosis toegekend die bij optimaal gekozen routes zo klein mogelijk blijft. Een dergelijke dosismaat geeft meer inzicht welk vliegtuig of welke maatschappij geluidoverlast veroorzaakt. Daardoor is effectiever beleid mogelijk om de geluidoverlast te beperken.

De methode is toegepast op een aantal standaarduitvliegroutes, de Standard Instrumental Departures (SIDS), rond de luchthaven Schiphol. Daarbij zijn ruimtelijke kaartbeelden gebruikt die de geluidgevoeligheid van de bebouwde omgeving aangeven. Bij elke gevlogen route is een geluidsdosis bepaald als maat voor de totale hoeveelheid geluid die het vliegtuig boven woningen veroorzaakt. Deze dosis kan specifiek voor een te onderzoeken gebied worden bepaald.

Met de voorgestelde systematiek worden routes zodanig gebundeld dat de totale geluidsdosis op alle woningen in een vliegtraject zo klein mogelijk is. Door veranderde routes kunnen woningen in enkele relatief dunbevolkte gebieden evenwel te kampen krijgen met meer geluidoverlast. Ook kan tegenover de afname in een bepaalde gemeente een toename in een andere gemeente ontstaan. Daarom is het belangrijk bij betrokken partijen draagvlak voor aangepaste routes te creëren en aanpassingen met hen af te stemmen, voordat zij worden gerealiseerd.

Trefwoorden:

geluid, dosis, luchtvaart, routeoptimalisatie, reciproque kartering, Schiphol

Abstract

Noise optimization of airport flight tracks

A method is proposed for reducing noise levels from the airport along flight tracks. The method was used to look at possibilities for optimizing a set of departure tracks from Amsterdam Airport Schiphol.

The research showed that close to the airport the tracks already are located advantageously and further improvement is hardly possible. However in a number of municipalities in the outskirt regions further away from the airport, improvement may be possible. Although here the noise levels are lower, more dwellings can profit from reducing the levels.

Part of the method consists of the introduction of a noise dose indicator, a figure for each complete flight, that is minimized by optimizing the routing of the tracks. The noise dose also can provide useful insights into which flight or aircraft carrier is responsible for the noise burden.

The method was applied on a set of Standard Instrumental Departures (SIDS) as used by Amsterdam Airport Schiphol. These were projected on spatial maps that express the noise sensitivity of the surroundings. For each flight a total noise dose was determined which gives the total noise load of the plane on all dwellings along the track. The noise dose can be determined as a total over the Netherlands, but also on smaller areas such as municipalities or the near or far outskirt region of an airport.

The proposed noise optimization in which the total noise dose of each flight is minimized leads to bundling of the tracks. For dwellings in relatively less dense built up, rural areas it is possible that noise levels are increased. Also it is possible that as opposed to a reduction of the noise dose in a certain municipality, an increase of the noise dose in another municipality occurs. In view of these aspects, before tracks are modified, careful accommodation and evaluation of interests of all stakeholders will be necessary.

Key words:

airport, noise, dose, track optimization, reciprocal maps, Schiphol

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	13
2 Systematiek geluidoptimalisatie routes	15
2.1 Geluidoptimalisatie van vliegroutes rondom Schiphol	15
2.2 Dosisbepaling per route	17
2.1.1. Relatie tussen Dosis en L_{den}	18
2.3 Resumé systematiek	18
3 Optimalisatie van Standard Instrumental Departures (SIDS)	21
3.1 Inleiding	21
3.2 Methodiek	21
3.3 Dosisbepaling	22
3.4 Resultaten geluidoptimalisatie standaarduitvliegroutes	22
3.4.1 Doses binnen zones	22
3.4.2 Dosiswaarden per gemeente	23
3.4.3 Relatie met Hinderbeleving	29
3.4.4 Conclusie Hinderbeleving	32
4 Case: vliegroutes 1 - 9 april 2008 van en naar Schiphol	33
5 Conclusies en vervolg	39
Literatuur	41
Bijlage 1 Toelichting reciprociteitsbeginsel	43
Bijlage 2 Overdrachtsmodel voor rechtstreekse bepaling van dosiswaarden	45

Samenvatting

Het onderhavige rapport is opgesteld in het kader van de beleidsondersteuning Luchtvaartgeluid van het RIVM aan het ministerie van VROM DG-Ruimte, Directie Leefomgevingskwaliteit.

Kader

Doel van het onderzoek was een verkenning van de mogelijkheden om door aanpassing van vliegroutes de geluidbelasting voor de onderliggende woonbebouwing zoveel mogelijk te beperken. Beperking van verdere overlast rondom de luchthavens, met name door optimalisatie van de vliegroutes, kan de komende tien jaar van bijzonder belang zijn in Nederland. Dit in het licht van de adviezen van de Alderstafel[1], waarbij het huidige handhavingssysteem[2] wordt verlaten en zal worden overgegaan op een meer flexibele benadering. Tussen de verschillende belanghebbende partijen zullen afspraken worden gemaakt over de omvang en resulterende overlast.

Systematiek

Dosiswaarden

De methode die in dit onderzoek wordt gehanteerd maakt gebruik van een dosismaat (D). Deze is als volgt gedefinieerd:

$$D_T = 10 \log \left(\sum_i n_i \cdot 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right)$$

Hierin is SEL het ‘Sound Energy Level’ van een vliegtuigpassage op een woonlocatie, en geeft n het aantal woningen op de locatie ter plaatse. De sommatie-index i loopt over alle woningen die een zekere mate van geluidbelasting door de betreffende vlucht ondervinden. Aan elke vlucht als geheel wordt daarmee een getal verbonden dat de mate van geluidoverlast op de onderliggende woonbebouwing tot uitdrukking brengt.

Gevoeligheidskaarten voor geluidoptimalisatie van vliegroutes

In dit onderzoek is een systematiek ontwikkeld waarbij geluidoptimale routes worden gebaseerd op reciproque geluidkartering. Volgens dit laatstgenoemde principe levert een bepaalde vliegroute de laagste geluidsdosis op, als de route zo wordt gekozen dat het vliegtuig zelf de minste geluidoverlast ondervindt indien de woningen het geluid zouden produceren. Met behulp van deze vorm van kartering zijn gevoeligheidskaarten voor de woonbebouwing opgesteld, waarmee op eenvoudige wijze een indicatie kan worden verkregen van de geluidoptimale route. In de systematiek wordt aan elke vlucht een geluidsdosis toegekend die aangeeft hoeveel geluid als totaal op de onderliggende woningen over de gehele route is veroorzaakt. De dosis kan als totaal voor Nederland worden bepaald. Daarnaast is het mogelijk om de dosis gebiedsgericht te bepalen, bijvoorbeeld per gemeente of als totaal voor het binnen- of buitengebied van een luchthaven.

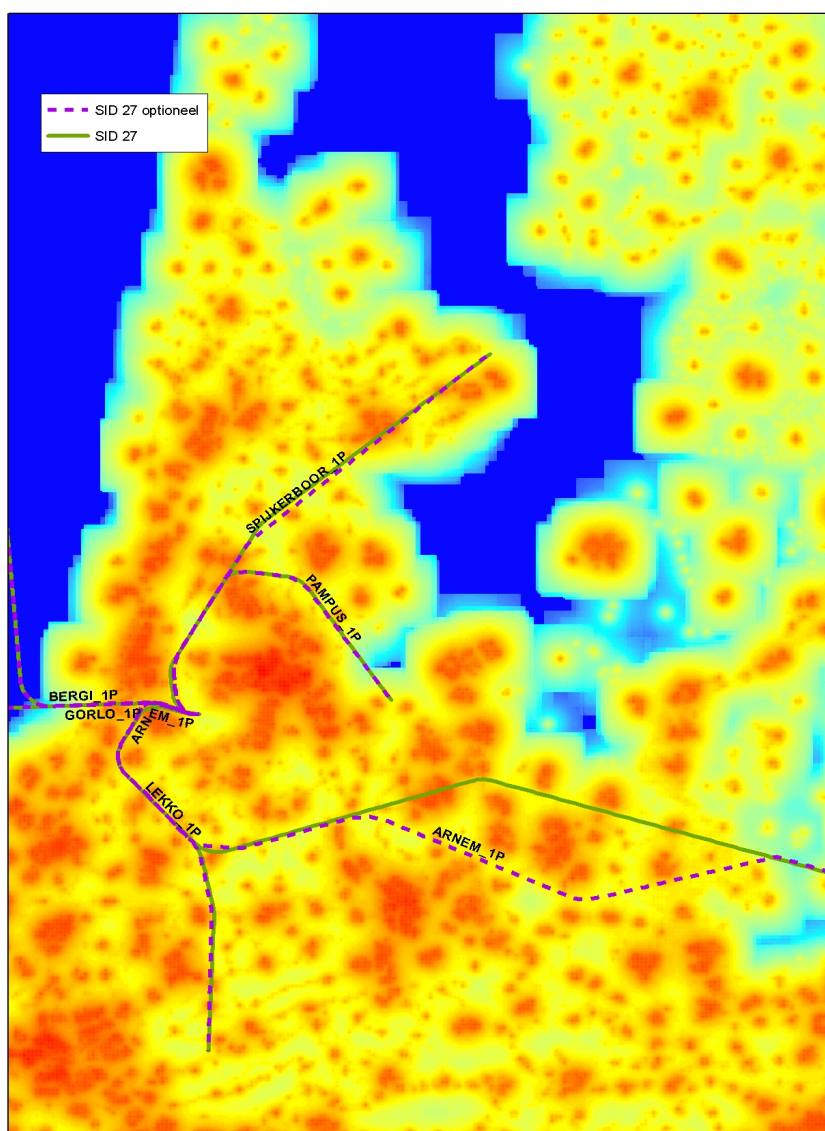
Geluidoptimalisatie van vliegroutes met behulp van gevoeligheidskaarten

reciprociteitsbeginsel uit de akoestiek[5]. Volgens dit beginsel levert een bepaalde vliegroute de laagste geluidsdosis op, als de route zo wordt gekozen dat het vliegtuig zelf de minste geluidsoverlast ondervindt indien de woningen het geluid zouden produceren. Indien nu aan de bebouwingsdichtheid van woningen een geluidemissie wordt toegekend, kan daarmee een (fictieve) geluidkaart worden opgesteld die in feite de gevoeligheid van de onderliggende bebouwing aangeeft. Routes die over gebieden lopen met de laagste gevoeligheid zullen over de gehele vlucht een relatief lage geluidsdosis opleveren. Aangenomen is dat voor deze routes daarmee ook hinder- en gezondheidseffecten, over het geheel genomen, zoveel mogelijk worden

beperkt. Figuur 1 laat een voorbeeld zien van een aantal routes die op een gevoeligheidskaart zijn geprojecteerd. De routes die over rode gebieden lopen met hoge geluidgevoeligheid leveren een relatief hoge geluidsdosis op. Deze kaarten kunnen worden gebruikt om na te gaan waarom een bepaalde route een relatief hoge geluidsdosis veroorzaakt en tevens om een indicatie te verkrijgen in hoeverre door bijstelling van de route vermindering van geluidoverlast mogelijk is. De routes zouden dan zoveel mogelijk over gebieden moeten lopen met een lage geluidgevoeligheid.

Toepassing gevoeligheidskaarten op standaarduitvliegroutes (SIDS)

Een voorbeeld van routeoptimalisatie op basis van gevoeligheidskaarten is weergegeven in Figuur 2 voor de uitvliegroutes behorend bij SID AM_27. Bij de huidige ligging komt de totale dosis over alle uitvliegroutes op 128,7 dBA en na optimalisatie op 128,1 dBA, een relatief beperkte afname. In het buitengebied blijkt echter voor de uitvliegroute 'Arnhem 1F' aanzienlijk meer winst haalbaar. Voor de gemeente Hilversum bijvoorbeeld, geeft de geoptimaliseerde route



Figuur 2 Huidige en geoptimaliseerde routes AM27.

een dosisafname van 104 naar 96 dB. In het onderzoek is een aantal van de standaardstartroutes op deze wijze aan de hand van de gevoeligheidskaart geoptimaliseerd. Het algemene beeld daarbij is dat de optimalisatie op de totale dosis niet veel oplevert, maar dat voor sommige gemeenten in het buitengebied forse reducties te behalen zijn. Overigens gaat het hier om optimalisatie van de

standaardroutes, die overwegend al vrij gunstig ten opzichte van de bebouwing zijn gekozen, en niet om de daadwerkelijk gevlogen routes. De laatste kunnen afhankelijk van omstandigheden afwijken van de standaardroutes. Optimalisatie van de standaardroutes zal dan ook alleen tot optimalisatie van de geluidssituatie leiden indien de routes in de praktijk ook gevlogen kunnen worden.

Indien de doses afzonderlijk worden vastgesteld voor het binnengebied ($L_{den} > 58$ dB), het buitengebied ($58\text{dB} \geq L_{den} > 48\text{dB}$) en het restgebied ($L_{den} < 48$ dB), dan blijkt dat de hoogste dosis over het algemeen wordt veroorzaakt in het buitengebied, daarna in het restgebied en ten slotte in het binnengebied. Dit is verassend, aangezien in het binnengebied de hoogste geluidbelasting optreedt. De verklaring hiervoor is dat het aantal woningen in het buitengebied en het restgebied veel groter is dan in het binnengebied. Voor AM 27 (start Buitenveldertbaan in westelijke richting) uit Figuur 3 bijvoorbeeld, vindt men voor het binnengebied 114 dB, het buitengebied 132 dB en het restgebied 128 dB. Dit geeft aan dat om de overlast te beperken met name het buitengebied maar ook het restgebied aandacht vragen.

Relatie met hinderbeleving

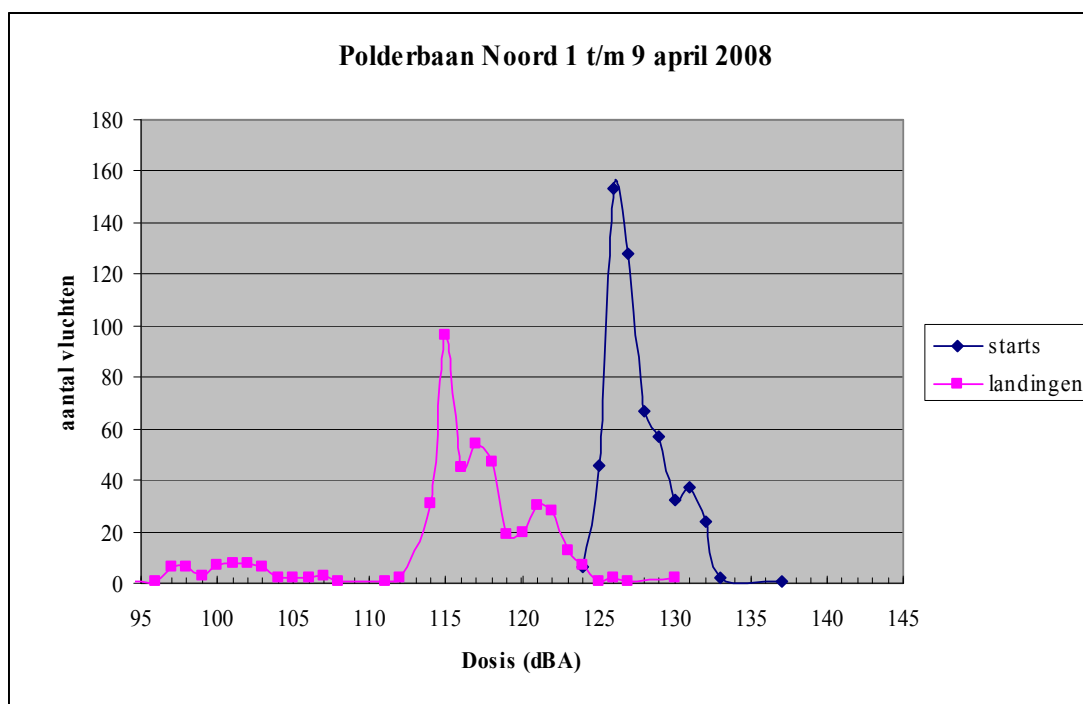
Vlakbij de luchthaven zijn er nauwelijks mogelijkheden om hindereffecten door routeoptimalisatie en lagere doses per vlucht te realiseren. In verder weg gelegen gebieden (buitengebied) zijn er meer mogelijkheden. Het gaat dan om gemeenten als Beverwijk, Muiden en Bodegraven.

In het restgebied kunnen de grootste afname in dosis worden bereikt. Hier liggen waarschijnlijk de meeste mogelijkheden om routes bij te stellen en woonbebouwing te ontzien. Een dosisafname heeft hier echter veel minder betekenis, omdat de geluidbelasting hier al snel onder de 42 dB ondergrens voor (theoretische) hinderbeleving komt te liggen. Het aantal ernstig gehinderden is dan in de aanvangssituatie al beperkt tot hooguit enkele procenten..

De beoordeling van het aspect hinderbeleving vormde echter niet het hoofdonderdeel van deze studie en de hier gegeven indicatieve beschouwing doet geen recht aan de complexiteit ervan. Indien in de uitgangssituatie voor een bepaalde gemeente een klein percentage aan (theoretische) hinder wordt geraamd is het zeker wel mogelijk dat men in deze gemeente in de praktijk toch problemen ervaart. Een voorbeeld is de gemeente Hilversum[9]. Geluidoptimalisatie van routes kan daarom ook voor gemeenten in het restgebied van betekenis zijn. Een meer gedegen oordeel zou daarom een uitgebreider studie vergen, waarbij de geluidbelasting in het buitengebied en het restgebied alsmede, de mate waarin deze door routeaanpassing kunnen worden verminderd en mogelijk ook hinderbeleving van individuele passages, nader en dieper worden onderzocht, bij voorkeur in nauwe samenwerking met betrokken partijen.

Steekproef Vluchten Schiphol 1 tot en met 9 april 2008

Via Geluidsnet is voor de periode 1 tot en met 9 april 2008 een set werkelijk gevlogen routes van en naar Schiphol beschikbaar gesteld. In combinatie met GIS-bestanden waarin de locaties en aantallen woningen zijn opgenomen is voor deze routes de resulterende geluidsdosis bepaald. Een voorbeeld van de resultaten is opgenomen in Figuur 3 voor de vluchten vanaf en naar de Polderbaan.



Figuur 3 Verdeling dosiswaarden (in dBA) voor landende en startende vliegtuigen op de Polderbaan, periode 1 tot en met 9 april 2008.

Figuur 3 laat een forse spreiding zien in de dosiswaarden die door de verschillende vluchten zijn veroorzaakt. Bij de bepaling van de dosiswaarden zijn voor de startende en landende vliegtuigen vaste geluidsbronvermogens gehanteerd (respectievelijk 145 en 135 dBA). De spreiding kan daarmee geheel worden toegeschreven aan verschillen in de routes ten opzichte van de onderliggende woonbebouwing. In Tabel 1 is de totale dosis over alle vluchten in de genoemde periode weergegeven, uitgesplitst naar de betreffende baan en startende of landende vliegtuigen.

Tabel 1 Geluidsdoses¹ (dBA) voor verschillende banen voor startende en landende vliegtuigen; Schiphol, periode 1 tot en met 9 april 2009.

Baan	Startend			Landend			Totaal		
	aantal	dosis	dosis/vl ²	aantal	dosis	dosis/vl	aantal	dosis	dosis/vl
Polder	553	151,8	124,4	453	144,6	118,1	1006	152,6	122,5
Kaag	506	150,8	123,7	181	142,6	120,0	687	151,4	123,0
Buitenveldert	7	138,3	129,9	98	143,9	124,0	105	144,9	124,7
Aalsmeer	125	146,2	125,2	77	138,7	119,8	202	146,9	123,9
Zwanenburg	890	157,3	127,8	331	143,4	118,2	1221	157,5	126,6
Totalen	2081	159,3	126,2	1140	150,0	119,5	3221	159,8	124,7

¹ Bepaald op basis van vaste bronvermogens; startend Lw = 145 dBA, landend Lw = 135 dBA.

² Dosis per vliegtuig = dosis - 10 * log(aantal).

De dosis per vlucht ligt van de startende vliegtuigen gemiddeld circa 7 dB hoger dan die van de landingen. Dit is minder dan het aangenomen verschil in bronsterkte, omdat de landende vliegtuigen een langer traject op geringere hoogte afleggen dan de startende vliegtuigen. De

relatief forse spreiding die uit Figuur 3 blijkt is een indicatie dat er door routeoptimalisatie nog mogelijkheden zijn om de geluidsdoses te verminderen.

Conclusies

Gebruik van geluidsdoses per vlucht

Het gebruik van een dosissystematiek is nuttig bij het zoeken naar optimale vliegroutes. Daarnaast zijn er mogelijk ook voordelen bij toepassing in het kader van convenanten tussen de sector en de omgeving. Het kabinet heeft aangegeven dat het huidige normstelsel onvoldoende transparant is en dat de regels voor zover mogelijk vereenvoudiging behoeven. Het bepalen van dosiswaarden per route biedt dan een aantal voordelen:

- De geluidsdoses per vlucht kunnen worden gecumuleerd, zodat eenvoudig kan worden nagegaan wat de jaar- (of maand)dosis per baan of in totaal is. Ook kunnen de doses bijvoorbeeld op jaarbasis per vliegmaatschappij worden bepaald.
- Bij elke vlucht zou kunnen worden nagegaan hoeveel deze heeft bijgedragen aan een bepaalde jaardosis, waarover afspraken kunnen worden gemaakt.
- De methode biedt een luchthaven flexibiliteit in de zin dat grenswaarden op een beperkt aantal handhavingspunten niet strikt hoeven worden nageleefd, maar dat de belasting als totaal over alle woningen maatgevend is. Dit biedt naar verwachting meer mogelijkheden om onder bepaalde omstandigheden. (bijvoorbeeld baanonderhoud, extreme weersituaties) afwijkende routes te kiezen zonder dat dit onmiddellijk tot overschrijding op handhavingspunten leidt.

Optimalisatie van vliegroutes

Verbetering van de geluidssituatie rondom de standaardstartroutes lijkt alleen mogelijk in gemeenten die verder in het buitengebied liggen. Dichtbij de luchthaven kan verbetering alleen worden bereikt door stillere vliegtuigen of beperking van het aantal vluchten. Op de totale geluidsdosis is nauwelijks reductie te bereiken door aanpassing van de startroutes. De optimalisatiemogelijkheden voor landende vliegtuigen zijn vooralsnog niet beoordeeld. Hiervoor gelden geen gestandaardiseerde routes, maar vindt de afwikkeling van het luchtverkeer plaats op basis van het verkeersaanbod en de vigerende weerscondities. Aanpassing of standaardisering van landingsroutes ligt daarom met oog op capaciteitsproblematiek en verkeersveiligheid aanzienlijk gecompliceerder dan voor de startroutes.

De hier besproken geluidsoptimalisatie leidt tot bundeling van routes. De daaruit voortvloeiende optimalisatie houdt in dat de dosis als totaal over alle woningen binnen een bepaald gebied zo klein mogelijk wordt gehouden. Men bedenke daarbij echter, dat het voor een individuele woning tot een toename van geluidbelasting kan leiden als die zich in een relatief dunbevolkt gebied bevindt. Ook komt het voor dat tegenover de afname in een bepaalde gemeente een toename in een andere gemeente ontstaat. Gelet op de grote gevoeligheden zal het daarom, voordat werkelijk tot aanpassing van routes kan worden overgegaan, nodig zijn draagvlak met betrokken partijen te ontwikkelen en aanpassingen zorgvuldig met hen af te stemmen.

1 Inleiding

De Alderstafel heeft recentelijk het kabinet geadviseerd over de wijze waarop in de toekomst met de geluidproblematiek rondom Schiphol kan worden omgegaan. Voorgesteld wordt om het huidige strikte handhavingssysteem op basis van grenswaarden op de handhavingpunten te laten vervallen en over te gaan op een nieuw systeem waarvan de contouren zijn vastgelegd in het "Convenant hinderbeperking en ontwikkeling Schiphol middellange termijn[1]". Dit betreft onder meer regels voor geluidpreferentieel baan- en routegebruik.

Voor de capaciteit van luchthaven Schiphol wordt een maximaal verkeersvolume van 510.000 vliegtuigbewegingen per jaar voorgesteld tot en met 2020, waarbij het verkeersaanbod in de nacht en vroege ochtend wordt begrensd tot maximaal 32.000 bewegingen. Ten aanzien van het mainportbeleid voor Schiphol wordt beoogd in 2020 circa 70.000 vliegtuigbewegingen per jaar, als niet mainportverkeer, op regionale luchthavens af te handelen. Hierbij wordt in de eerste plaats gedacht aan een vergroting van het aandeel burgerverkeer op de militaire luchthaven Eindhoven en aan de verdere ontwikkeling van luchthaven Lelystad.

In het licht van deze ontwikkelingen heeft het ministerie van VROM, als onderdeel van het programma Beleidsondersteuning Milieu, een aantal kennisvragen gesteld ten aanzien van de geluidbelasting door luchtvaartgeluid. Dit betreft onder andere de mogelijkheden voor geluidoptimalisatie van vliegroutes rondom de Nederlandse luchthavens, met name rondom Schiphol, en mogelijkheden tot adequate monitoring van de ontwikkeling van de geluidbelasting. Geluidoptimalisatie van vliegroutes kan de komende tien jaar van groot belang zijn om bij verdere groei van de luchtvaart op Schiphol, maar ook die van de regionale luchthavens, de overlast zoveel mogelijk te beperken.

Dit rapport geeft een aanzet tot uitwerking van het vraagstuk 'Routeoptimalisatie'. In hoofdstuk 2 wordt een dosismaat geïntroduceerd die het mogelijk maakt voor elke vlucht na te gaan hoeveel deze bijdraagt aan de totale geluidbelasting. Daarnaast wordt een methode voorgesteld waarmee kan worden nagegaan of de doses bij bepaalde routes door routeaanpassing kunnen worden gereduceerd. Deze methode berust op het opstellen van gevoeligheidskaarten voor de onderliggende woonbebouwing, waarop de routes geprojecteerd worden.

In hoofdstuk 3 wordt aan de hand van de gevoeligheidskaarten een geluidoptimalisatie toegepast voor een aantal startroutes (SIDS: Standard Instrumental Departures). Deze routes zijn aangeleverd door de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) naar aanleiding van een overleg tussen VROM, LVNL en RIVM op 21 mei 2008. Beoordeeld is het effect van kleine routeaanpassingen op geluidsdoses die gebiedsgericht zijn bepaald. Enerzijds door de doses per gemeente te bepalen, anderzijds door de doses voor drie geluidzones te bepalen: het binnengebied ($L_{den} > 58$ dB), het buitengebied ($48 < L_{den} \leq 58$ dB) en het restgebied ($L_{den} \leq 48$ dB). De doses zijn bij deze ruimtelijke indelingen zowel bij de huidige uitvliegroutes als bij de geoptimaliseerde routes bepaald. Tevens wordt ingegaan op de betekenis van dosisverlaging voor hinderbeleving.

In hoofdstuk 4 wordt een steekproef van werkelijk gevlogen routes van en naar Schiphol over de periode van 1 tot en met 9 april 2008 beoordeeld. Het gaat daarbij om een onderlinge vergelijking van doses en spreiding daarvan bij het gebruik van verschillende aankomst- en vertrekroutes. Deze routes zijn verkregen via Geluidsnet BV, dat beschikt over een aantal transponderontvangers waarmee de vluchtgegevens (plaats, hoogte) kunnen worden vastgelegd. De gegevens zijn niet volledig, in de zin dat niet alle vliegpassages binnen de genoemde periode zijn meegenomen. De steekproef is opgenomen als een voorbeeld hoe het gebruik van een dosismaat inzicht kan bieden in de mogelijkheden om routes met betrekking tot geluidsoverlast te optimaliseren.

De studie richt zich vooral op het aangeven van een aantal mogelijkheden, zonder dat sprake is van een gedegen uitwerking voor diverse praktijksituaties. Dit laatste is slechts mogelijk in gezamenlijk overleg met belanghebbende partijen en met voldoende draagvlak voor de hier voorgestelde methodieken.

2 Systematiek geluidoptimalisatie routes

2.1 Geluidoptimalisatie van vliegroutes rondom Schiphol

Optimalisatie van vliegroutes gericht op vermindering van geluidoverlast is een complex vraagstuk, dat meteen een aanvullende vraag oproept. Wat wordt voor een bepaalde vlucht, met betrekking tot geluidhinder, als een optimaal vliegpad beschouwd? Als uitgangspunt voor dit verkennende onderzoek is aangenomen dat een vliegroute geluidoptimaal is, indien de door het vliegtuig over de gehele vliegroute afgegeven geluidsdosis op de woonbebouwing (verblijfsgebieden) minimaal¹ is.

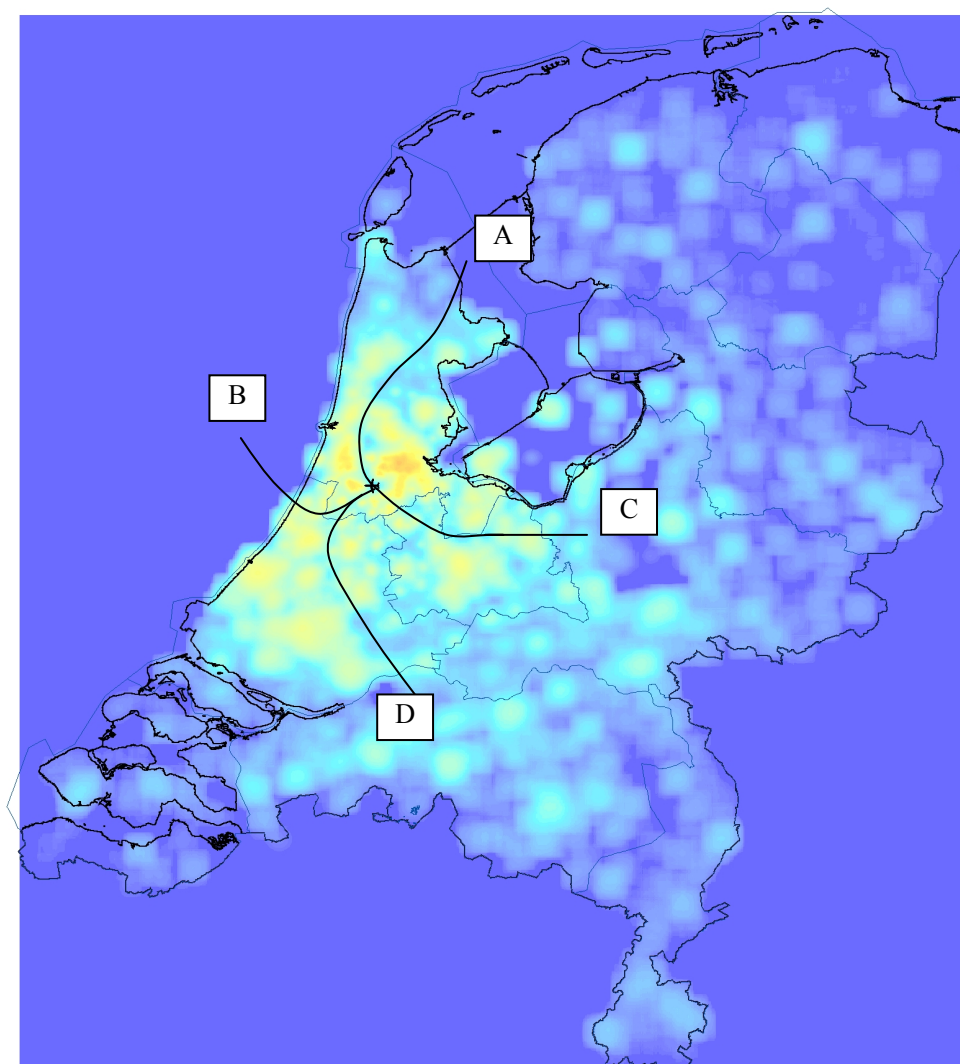
De exacte bepaling van de optimale routes volgens bovenstaand beginsel valt buiten het kader van deze verkennende studie. Daartoe zou bij voorkeur gebruik moeten worden gemaakt van de wettelijke rekenmethodieken[3], zoals die door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium in het kader van handhavingsberekeningen worden toegepast.

Teneinde een eerste indruk te verkrijgen in hoeverre de huidige vliegroutes optimaal zijn, is een benadering toegepast waarbij is gebruikgemaakt van het reciprociteitsbeginsel uit de akoestiek. Dit stelt dat bron en waarnemer van plaats kunnen wisselen, zonder dat dit invloed heeft op de overdracht en de waargenomen geluidniveaus.²

Op basis van reciprociteit geldt dat de route waarop een vliegtuig een minimale geluidbelasting voor woningen veroorzaakt, die route is waar het vliegtuig zelf gemiddeld de laagste geluidbelasting ondervindt in de situatie dat niet het vliegtuig, maar de woningen geluid uitzenden. Het principe is verder uitgewerkt in Bijlage 1. Met dit gegeven als uitgangspunt is het mogelijk aan de hand van de ligging en dichtheid van de woonbebouwing een set gevoeligheidskaarten op te stellen. Daartoe wordt aan de woningen een bepaalde geluidemissie toegekend en vervolgens wordt de resulterende (fictieve) geluidbelasting in kaart gebracht. De op deze manier opgestelde kaart zal in en rondom woonbebouwing hoge gevoeligheden laten zien die een vliegtuig op zijn route, zuiver vanuit het geluidaspect beschouwd, zo veel mogelijk zou moeten vermijden. Een voorbeeld staat in Figuur 4 voor de situatie waarbij een vast hoogteprofiel voor alle vliegtuigen – een stijg- en landingshoek van drie graden in alle richtingen – is aangenomen.

¹ Of daarmee dan ook in alle gevallen hinder- en slaapverstoringseffecten geminimaliseerd worden, zou nog wel nader onderzoek vereisen. (Hierbij speelt bijvoorbeeld ook het belang van natuur- en stiltegebieden.)

² Het reciprociteitsbeginsel is in de praktijk van de openlucht geluidoverdracht strikt genomen niet geheel juist (windinvloed, richtingsafhankelijke geluidemissie), maar het gaat hier om een eerste verkenning.



Figuur 4 Voorbeeld van een gevoeligheidskaart van Nederland voor luchtvaartverkeer van en naar Schiphol, gebaseerd op reciprociteit en gegevens woonbebouwing.

Zoals te verwachten is de gevoeligheid hoog in dichtbebouwd stedelijk gebied. (Het aantal inwoners per oppervlakte-eenheid bepaalt de sterkte van de fictieve geluidemissie van de woonbebouwing.) Op de kaart neemt de gevoeligheid van woningen voor overlast af met toenemende afstand tot de luchthaven, doordat de vlieghoogte toeneemt. Zoals te zien op de kaart van Figuur 4 is de luchthaven Schiphol beperkt in zijn keuzemogelijkheden voor optimale vliegroutes (zoveel mogelijk door blauwe zones). Ten noorden van de luchthaven (A: uitvliegroutes Zwanenburgbaan en Polderbaan) bestaat slechts een smalle, gekromde ‘corridor’ omringd door Amsterdam, de Zaanstreek, Haarlem en meer naar het noorden gemeenten als Beverwijk/Heemskerk, Castricum en Krommenie.

Ten zuidwesten van de luchthaven (B: Kaagbaan) is het nauwelijks nog mogelijk om het vliegen over geluidgevoelige zones te vermijden. De uitvliegroute vanaf de Kaagbaan naar de Noordzee ligt gunstig, in de zin dat gebruik wordt gemaakt van een corridor tussen de gemeenten Hoofddorp en Nieuw-Vennep (beide gelegen ten noorden van de route) en Aalsmeer en Roelofarendsveen (beide ten zuiden gelegen). De problemen ontstaan echter bij Leiden, waar gekozen moet worden tussen afbuigen naar zee (huidige praktijk) of verder doorvliegen naar het zuiden (tussen

Zoetermeer en Gouda). De laatste optie (D) lijkt niet erg aantrekkelijk, gelet op de ligging van Rotterdam alsmede problemen met vliegroutes van en naar Rotterdam Airport.

Ten oosten van de luchthaven (C: uitvliegroutes Kaagbaan en Buitenveldert) kunnen evenmin geluidgevoelige gebieden worden vermeden. In eerste instantie gaat het om de gemeenten Aalsmeer, Uithoorn en Mijdrecht, maar in het verder gelegen buitengebied ook Utrecht en Hilversum, hoewel tussen de laatste gemeenten nog wel een corridor aanwezig is. Buiten de provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht zijn geen grote problemen meer te verwachten, althans wat het vliegverkeer van en naar Schiphol betreft.

In het voorbeeld van Figuur 4 is te zien dat de gevoeligheid voor woongebieden afneemt, naarmate de gebieden verder van de luchthaven afliegen. Dit komt omdat de vliegtuigen zich op grotere hoogte bevinden en een lagere geluidbelasting op de grond veroorzaken. Voor de kaart in Figuur 4 is, voor zowel startende als landende vliegtuigen een vast hoogteprofiel verondersteld (3 graden stijghoek). Dit levert een gevoeligheidskaart op die bij benadering aangeeft tot waar wijziging van routes überhaupt nog zinvol is. In dit geval alleen binnen de provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht.

Als alternatief kan er ook voor worden gekozen om de gevoeligheidskaart voor een vaste hoogte op te stellen. De gevoeligheden nemen dan bij toenemende afstand van de luchthaven niet af. Dit kan ertoe leiden dat aanpassingen op basis van deze kaart op grote afstand niet meer van wezenlijk belang zijn. Aan de andere kant wordt daarmee voorkomen, dat men in het licht van onzekerheden te vroeg afziet van eventuele aanpassingen waardoor mogelijke reducties buiten beeld blijven. In hoofdstuk 3 wordt de hier beschreven zoekmethode toegepast op een aantal standaarduitvliegroutes vanaf Schiphol. In eerste instantie is daarbij gebruikgemaakt van een kaart waarbij de gevoeligheden ook op grotere afstand niet afnemen.

2.2 Dosisbepaling per route

Hiervoor is aangegeven dat voor geluidoptimalisatie van vliegroutes kan worden gebruikgemaakt van gevoeligheidskaarten die zijn gebaseerd op de onderliggende woonbebouwing en de dichtheid daarvan. Door de gebieden met hoge gevoeligheid te vermijden, kan de geluidbelasting als totaal op de onderliggende woonbebouwing worden beperkt. Om dit kwantitatief tot uitdrukking te brengen is een indicator nodig die een getalswaarde toekent aan de route als geheel. Hiertoe wordt het begrip ‘Geluidsdosis’ geïntroduceerd. Het is de (energetische) som van alle SEL³-waarden op de woningen die het vliegtuig tijdens de vlucht heeft veroorzaakt. Deze geluidsdosis wordt hier gedefinieerd als:

$$D_T = 10 \log \left(\sum_i n_i \cdot 10^{\frac{SEL_i}{10}} \right) \quad (2.1)$$

De formule wordt verder toegelicht in Bijlage 1. De dosis wordt bepaald door bij elke vliegroute de resulterende geluidbelasting in kaart te brengen en deze te combineren met geografische bestanden waarin de ligging en het aantal woningen zijn opgenomen. Doses van verschillende vluchten kunnen (energetisch) worden opgeteld⁴ om bijvoorbeeld het totaal vanaf een bepaalde baan of voor een bepaalde luchtvaartmaatschappij te bepalen. De doses kunnen ook gebiedsgericht

³ SEL-waarde: Sound Energy Level in dBA, een logaritmische geluidmaat die de totale geluidsenergie uitdrukt die een bij passage van een geluidsbron op een waarnepunt invalt.

⁴ De energetische optelling van doses D_1 en D_2 van twee vluchten verloopt volgens $D_T = 10 \log \left(10^{\frac{D_1}{10}} + 10^{\frac{D_2}{10}} \right)$

worden bepaald door alleen de woningen in het betreffende gebied in de sommatie mee te nemen (paragraaf 2.1). Voor het begrip is het van belang zich te realiseren dat niet alleen de geluidbelasting doorwerkt in de dosis maar ook het aantal woningen. Gebieden met veel woningen en een relatief lage geluidbelasting kunnen daardoor toch een hogere dosis ondervinden dan gebieden met een hoge geluidbelasting, waarin zich veel minder woningen bevinden.

2.1.1. Relatie tussen Dosis en L_{den}

Een een-op-een relatie tussen de hier gedefinieerde dosismaat en de L_{den} is niet mogelijk, omdat de L_{den} (level-day-evening-night) een maat is voor de geluidbelasting op één locatie, terwijl de dosis D betrekking heeft op alle woningen die in de invloedssfeer van een bepaalde vlucht liggen. Wel is er een verband tussen de (energetisch) gemiddelde L_{den} -waarde op alle woningen binnen een bepaald gebied en de jaardosis in dat gebied. Bij elke dosis dient men dan een straftoeslag mee te nemen voor dag-, avond-, en nachtvluchten en de doses inclusief de straftoeslag (D_s) over een heel jaar energetisch te sommeren. Men vindt dan voor het verband:

$$L_{den, gemiddeld} = D_{s, jaar} - 10 \log(N_{won}) - 10 \log(T)$$

Waarin N_{won} het totaal aantal woningen binnen het gebied aangeeft en T het aantal seconden in een jaar.

2.3 Resumé systematiek

Voor het optimaliseren van vliegroutes met het oog op geluidoverlast is het gebruik van een dosismaat, die uitdrukt hoeveel geluid een toestel voor de onderliggende woonbebouwing heeft veroorzaakt, bij elke vlucht nuttig. In de dosismaat gedefinieerd in paragraaf 2.1 wordt zowel de geluidbelasting als het aantal betrokken woningen meegenomen.

Bij geluidoptimalisatie van vliegroutes kan gebruik worden gemaakt van reciproque geluidkartering, wat resulteert in een gevoeligheidskaart voor de woonbebouwing. Door de routes zoveel mogelijk over minder gevoelige gebieden te kiezen, kan de geluidsdosis in een bepaald traject zoveel mogelijk worden beperkt.

Naast het nut van de dosissystematiek bij het zoeken naar optimale vliegroutes zijn er mogelijk voordelen in het kader van een convenant tussen betrokken partijen. Het kabinet heeft aangegeven dat het huidige normstelsel onvoldoende transparant is en dat de regels, voor zover mogelijk, vereenvoudiging behoeven. Indien aan de hiervoor beschreven methodiek de karakteristieke geluidsemissie per toestel wordt toegevoegd zou, naast een indicatie van optimale routes, de werkelijke geluidbelasting kunnen worden bepaald. Het bepalen van dosiswaarden per route biedt dan een aantal voordelen:

- De geluidsdoses per vlucht kunnen worden gecumuleerd, zodat eenvoudig kan worden nagegaan wat de jaar- (of maand) dosis, per baan of als in het totaal is.
- Bij elke vlucht zou kunnen worden nagegaan hoeveel deze heeft bijgedragen aan een bepaalde jaardosis, waarover afspraken kunnen worden gemaakt.
- De dosismethode biedt een luchthaven flexibiliteit in de zin dat grenswaarden op een beperkt aantal handhavingpunten niet strikt hoeven worden nageleefd, maar dat de belasting als totaal over alle woningen maatgevend is. Dit biedt naar verwachting meer mogelijkheden om onder bepaalde omstandigheden (bijvoorbeeld baanonderhoud, extreme weersituaties) afwijkende routes te kiezen zonder dat dit onmiddellijk tot overschrijding van de handhavingpunten leidt.

Deze rapportage heeft echter alleen als doel om enkele opties voor routeoptimalisatie aan te geven en doet geen uitspraak over de geschiktheid van een dosissystematiek bij normstelling of naleving van convenanten. Dit kan alleen worden vastgesteld via uitgebreid onderzoek en in overleg met alle betrokken partijen.

3 Optimalisatie van Standard Instrumental Departures (SIDS)

3.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk is een systematiek uiteengezet waarmee een geluidsdosis kan worden toegekend aan een route die een vliegtuig heeft afgelegd. De dosis kan per baan voor verschillende perioden worden bepaald. Bij het bepalen van de dosis worden alle woningen meegenomen waar sprake is van geluidinvloed. Door alleen woningen binnen een specifiek gebied, bijvoorbeeld een bepaalde gemeente mee te nemen, kan de dosis ook afzonderlijk voor elk gebied c.q. gemeente worden bepaald. Daarmee is het mogelijk om een indicatie te verkrijgen van de mate waarin verandering van vliegroutes voor een bepaalde gemeente gunstig, of minder gunstig uitwerkt. De aanname daarbij is steeds dat de hinderbeleving en klachten binnen een gemeente zoveel mogelijk kunnen worden beperkt door de routes zo te kiezen dat de binnen deze gemeente zo laag mogelijk wordt gehouden. De vrijheid daarin is echter beperkt, omdat een optimalisatie van routes voor een bepaalde gemeente, een verslechtering voor een naburige gemeente kan betekenen. Daarnaast gelden natuurlijk de randvoorwaarden vanuit de veiligheidsvoorschriften en -procedures binnen de luchtvaart.

Op 21 mei 2008 heeft een overleg tussen het ministerie van VROM, de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) en het RIVM plaatsgevonden over de mogelijkheden van geluidoptimalisatie van de vliegroutes aan de hand van gevoeligheidskaarten, zoals in het vorige hoofdstuk is uiteengezet. Momenteel gelden alleen voor startende vliegtuigen standaarduitvliegroutes, de zogeheten Standard Instrumental Departures (SIDS). Voor landende vliegtuigen gelden geen gestandaardiseerde routes, maar vindt de afwikkeling van het luchtverkeer plaats op basis van het verkeersaanbod en de vigerende weerscondities. De LVNL heeft daarom voorgesteld in eerste instantie een aantal van de huidige startroutes te beoordelen op geluidsdosis en de mogelijkheden om door wijzigingen een verbetering van de geluidssituatie te creëren. De SIDS zoals die nu worden gebruikt zijn op 10 juli 2008 door LVNL en RIVM besproken en worden door LVNL voor dit verkennende onderzoek beschikbaar gesteld.

3.2 Methodiek

Voor Schiphol zijn momenteel dertien SIDS in gebruik. Voor elke SID is een aantal vaste uitvliegroutes gedefinieerd. De SIDS zijn vastgelegd door 'fly-by' en een aantal 'fly-over' punten. De eerste dienen als 'richtbaken' waarlangs het vliegtuig afbuigt en over de laatste dient het vliegtuig exact te vliegen. Voor optimalisatie van deze routes is gebruikgemaakt van de gevoeligheidskaarten die via reciproque kartering zijn opgesteld. Aan de hand van deze kaarten is naast een bestaande uitvliegroute, een geoptimaliseerde route gekozen, die zoveel mogelijk over gebieden met een lage geluidgevoeligheid gaat. In deze conceptnotitie zijn vijf routes volgens deze procedure geoptimaliseerd. De beoordeelde routes zijn:

- AM_09 (Buitenveldert-Oost): Lekko_1N, Lopik_1N, Valko_1N, Bergi_2N, Arnhem_1N, Andik_1N, Gorlo_2N;
- AM_24 (Kaagbaan-Zuid-West): Bergi_1S, Lekko_1S, Andik_1S, Arnhem_1S, Spijkerboor_1S, Valko_1S, Lopik_1S;
- AM_36C (Zwanenburg Noord): Woody_1W, Grony_1W, Nyker_1W, Ogina_1W;
- AM_SUP_36L (Polderbaan Noord): Lekko_1Z, Bergi_1Z, Pampus_1Z, Gorlo_1Z, Lopik_1Z;

- AM 27 (Buitenveldert West): Gorlo 1P, Bergi 1P, Spykerboor 1P, Pampus 1P, Arnem 1P, Lekko 1P.

Bij elke uitvliegroute is een geoptimaliseerde route bepaald op basis van de gevoeligheidskaarten. De routes worden daarbij als optimaal verondersteld, indien zij gebieden met hoge gevoeligheid zoveel mogelijk vermijden.

3.3 Dosisbepaling

De definitie van de een geluidsdosis werd al gegeven in Hoofdstuk paragraaf 2.2. Voor de bepaling van de dosiswaarden bij de routes is voor een directe benadering gekozen. Daarvoor is bij elke vlucht steeds opnieuw de geluidbelasting in de omgeving bepaald door middel van geluidkartering. Het gehanteerde model is niet het wettelijke rekenmodel zoals dit wordt toegepast en beheerd wordt door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium. In dit verkennende onderzoek, waarin geen wettelijke normen worden getoetst, is doorheeft het RIVM gebruik gemaakt van een vereenvoudigde overdrachtsmodellering. De vliegtuigen worden daarbij als puntbron met een bepaald bronvermogen (L_w in dB) gemodelleerd. Voor de startende vliegtuigen is een vast, constant bronvermogen van 140 dB aangehouden. Dit is in overeenstemming met een inventarisatie van Geluidsnet BV[6] van de gemiddelde bronvermogens voor startende vliegtuigen gebaseerd op INM power-distance tabellen[7]. Bij nadere uitwerking, in breder verband kan ervoor worden gekozen de dosiswaarden met het wettelijke model te laten bepalen.

3.4 Resultaten geluidoptimalisatie standaarduitvliegroutes

3.4.1 Doses binnen zones

In Tabel 2 zijn de totale dosiswaarden van de verschillende banen uitgesplitst naar het deel dat in het binnengebied, het buitengebied en het restgebied valt

Tabel 2 Dosiswaarden bij huidige en geoptimaliseerde vliegroutes en reducties.

Baan	Binnengebied			Buitengebied			Restgebied			Totaal		
	$L_{den} > 58$ dB			$48 < L_{den} \leq 58$			$L_{den} < 48$					
	Huidig	Opt.	Red.	Huidig	Opt.	Red.	Huidig	Opt.	Red.	Huidig	Opt.	Red.
AM_09	124,2	124,2	0,0	137,5	137,5	0,0	132,2	131,7	0,5	138,8	138,7	0,1
AM_24	120,4	120,4	0,0	128,9	128,6	0,3	126,3	125,6	0,7	131,2	130,8	0,4
AM_36C	122,1	122,1	0,0	134,9	134,9	0,0	128,1	128,0	0,1	135,9	135,9	0,0
AM_27	114,0	114,0	0,0	131,9	131,1	0,8	127,7	127,6	0,2	133,4	132,8	0,6
AM SUP 36L	121,1	121,1	0,0	128,0	128,0	0,0	126,9	126,9	0,0	131,0	131,0	0,0

AM_09: Buitenvdt Oost, AM_24 Kaagbaan ZW, AM_36C Zwburg N, AM_27 Bvldt W, Sup_36L Polder N

Het blijkt dat de hoogste doses over het algemeen niet worden veroorzaakt in het binnengebied, maar in het buitengebied. Opvallend is dat ook in het restgebied hogere doses worden veroorzaakt dan in het binnengebied. Dit is verassend, aangezien in het binnengebied de hoogste geluidbelasting optreedt. Dit komt doordat het aantal woningen in het buitengebied en het restgebied veel groter is dan in het binnengebied. Het betreft hier de standaarduitvliegroutes, waarvoor een hoogteprofiel behorend bij startende vliegtuigen is aangenomen. Aangezien landende vliegtuigen zich over een langer traject op relatief geringe hoogte bevinden, kan worden verwacht dat het buitengebied en het restgebied nog verder in belang toenemen ten opzichte van het binnengebied. Dit geeft aan dat om de overlast te beperken met name het buitengebied maar

ook het restgebied aandacht vragen. Verder valt op dat aanpassing van de routes alleen in het buitengebied en het restgebied nog winst kan opleveren. Het betreft dan met name de uitvliegroutes AM_27 en AM_24.

Een verdere uitsplitsing is nog mogelijk door de doses voor de individuele SIDS afzonderlijk te bepalen. Dit is weergegeven in Tabel 3.

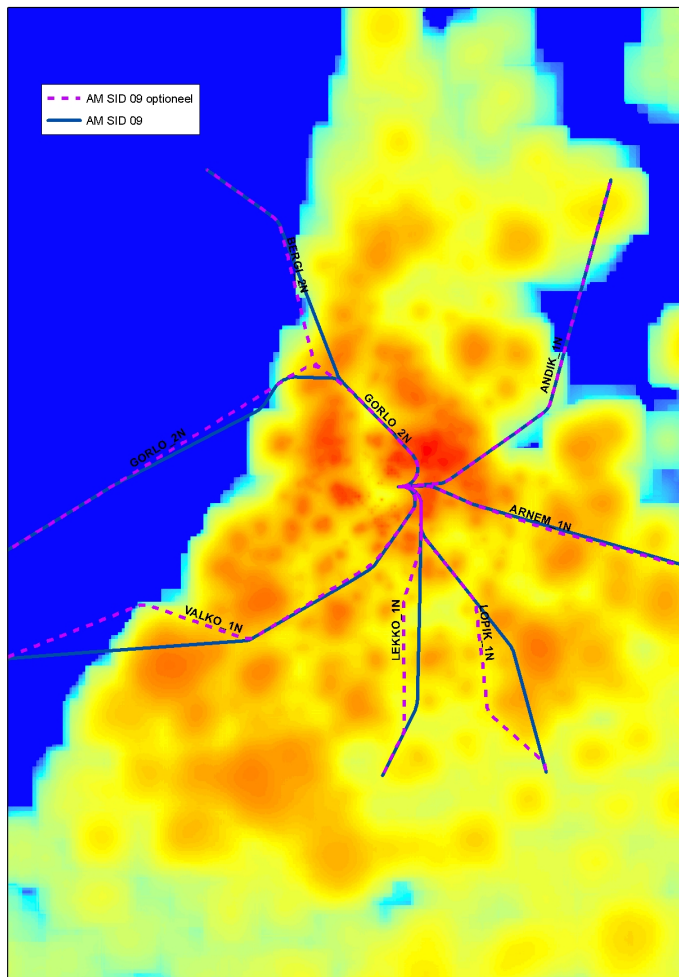
Tabel 3 Afzonderlijke dosiswaarde per SID.

Baan	SID	Huidig	Opt.	Vershil
AM_36C Zwb N	Woody 1W	131,8	131,8	–
	Grony 1W	126,3	126,1	0,2
	Nyker 1W	126,3	126,3	–
	Ogina 1W	131,8	131,8	–
AM_09 Bvdt Oost	Lekko_1N	129,4	129,4	–
	Lopik_1N	129,8	129,3	0,5
	Valko_1N	129,0	128,5	0,5
	Bergi_2N	131,4	131,3	0,1
	Arnhem_1N	130,4	130,4	–
	Andik_1N	130,8	130,8	–
	Gorlo_2N	131,3	131,3	–
AM_24 Kaagb ZW	Bergi_1S	120,7	120,6	–
	Lekko_1S	121,2	120,8	0,4
	Andik_1S	121,3	120,6	0,6
	Arnem_1S	122,0	121,2	0,8
	Spijkerboor_1S	126,3	126,3	–
	Valko_1S	123,5	122,3	1,2
	Lopik_1S	121,3	121,0	0,3
AM_SUP_36L Polder N	Lekko_1Z	125,7	125,7	–
	Bergi_1Z	122,9	122,9	–
	Pampus_1Z	121,9	121,9	–
	Gorlo_1Z	122,5	122,4	0,1
	Lopik_1Z	125,4	125,4	–
AM_27 Btvldt West	Gorlo_1P	124,0	124,0	–
	Arnem 1P	127,9	126,9	1,0
	Lekko_1P	127,8	126,9	0,8
	Pampus_1P	123,5	122,9	0,5
	Spykerboor_1P	124,0	123,5	0,5
	Bergi_1P	124,0	124,0	–

De te behalen reducties zijn relatief klein. De grootste te behalen reductie is in de orde van 1 dB, indien er duidelijk mogelijkheden zijn, vooral in het buitengebied, om dichtbebouwd gebied te vermijden. Deze reducties gelden echter als totaal over de gehele route. Bekijkt men de situatie per gemeente, dan zijn in het buitengebied voor een aantal gemeenten grotere reducties te bereiken. Dit wordt hierna toegelicht.

3.4.2 Dosiswaarden per gemeente

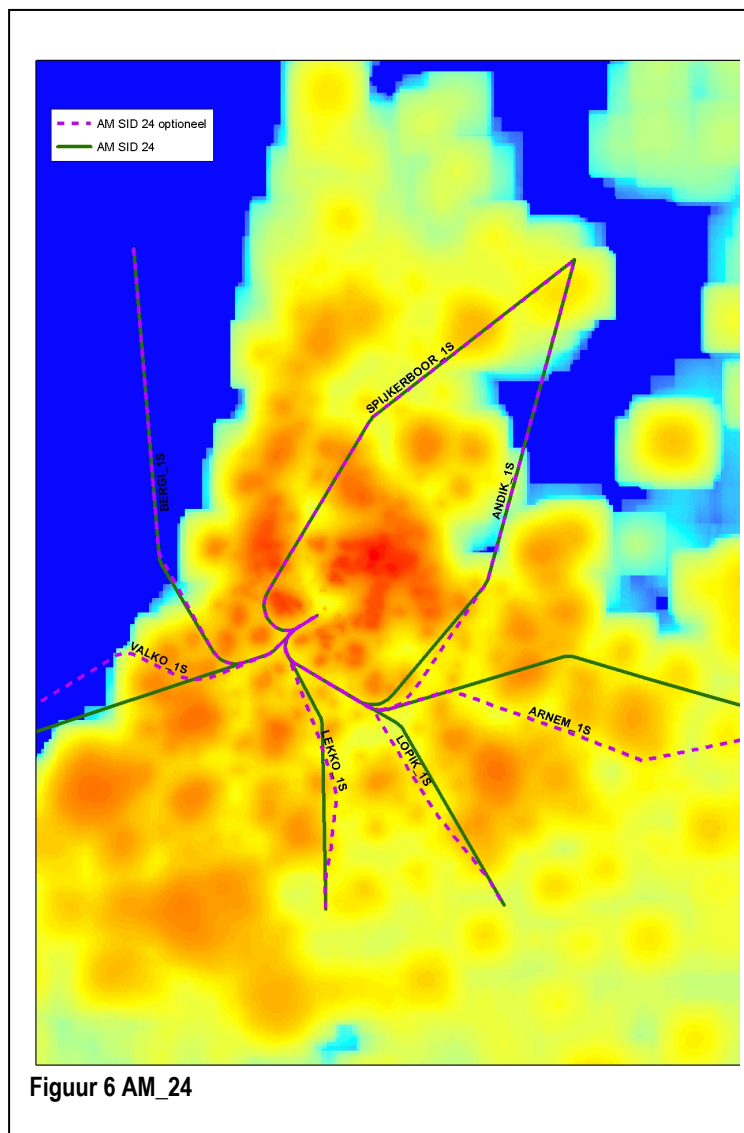
In de Figuren 5 tot en met 9 zijn de huidige startroutes weergegeven. Tevens is een geoptimaliseerde route weergegeven, die de gevoelige gebieden met dichte woonbebouwing zoveel mogelijk vermijdt. De bijgevoegde Tabellen 4 tot en met 8 geven per gemeente de dosis aan die door deze routes wordt veroorzaakt, zowel voor de huidige route als de geoptimaliseerde route. Verder is onder aan elke tabel ook de totale dosis aangegeven die de route over alle gemeenten veroorzaakt. Voor de ligging van woningen ten opzichte van de routes is een vergrid (200 × 200 m) woningenbestand voor het jaar 2005 gebruikt.



Figuur 5 AM_09

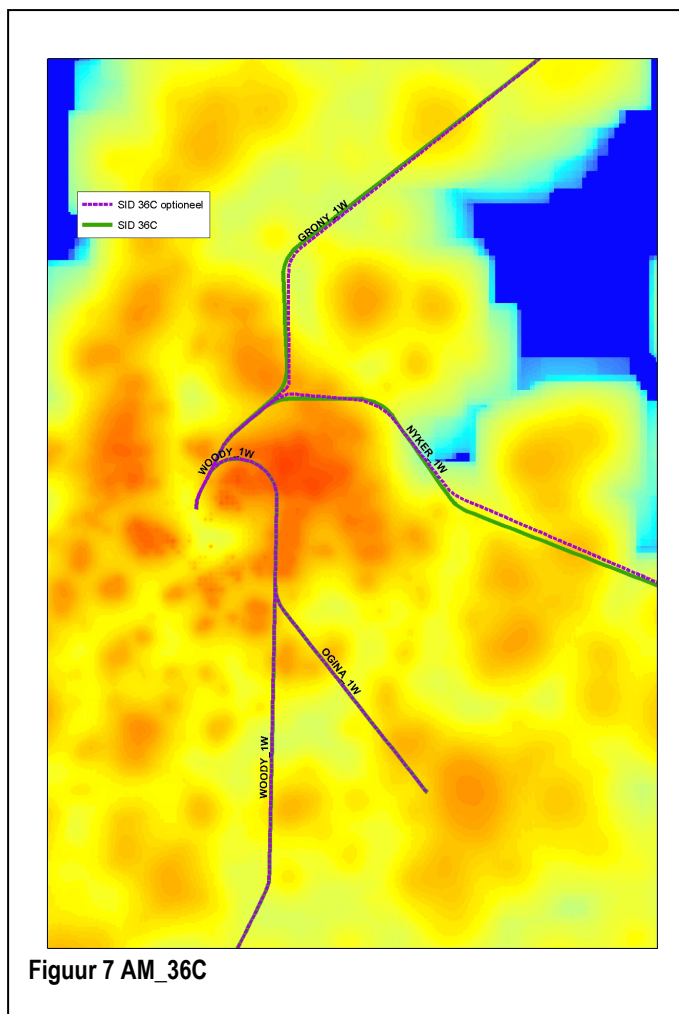
Nr.	Gemeentenaam	Huidige dosis	Dosis na	Afname	Toename(dBA)
363	Amsterdam	130,7	130,8		0,1
362	Amstelveen	128,9	128,9		
451	Uithoorn	116,2	116,4		0,2
518	't-Gravenhage	115,9	107,6	8,3	
453	Velsen	115,7	115,9		0,2
375	Beverwijk	114,7	112,5	2,2	
394	Haarlemmermeer	114,6	114,7		0,1
736	De Ronde Venen	113,8	113,2	0,6	
344	Utrecht	113,6	106,3	7,3	
384	Diemen	113,5	113,5		
437	Ouder-Amstel	113,4	113,4		
356	Nieuwegein	112,9	101,6	11,3	
358	Aalsmeer	112,7	112,7		
381	Bussum	111,0	110,8	0,2	
333	Maarssen	110,1	103,5	6,6	
402	Hilversum	109,7	111,4		1,7
569	Nieuwkoop	109,2	108,5	0,7	
1916	Leidschendam-Voorburg	108,8	104,1	4,7	
632	Woerden	108,3	106,1	2,2	
484	Alphen aan den Rijn	108,1	106,7	1,4	
396	Heemskerk	107,1	102,1	5	
546	Leiden	106,8	107,2		0,4
457	Weesp	106,8	106,1	0,7	
311	Breukelen	106,3	106,1	0,2	
393	Haarlemmerliede c.a.	106,0	106,0		
417	Laren	105,9	106,5		0,6
307	Amersfoort	105,7	106,6		0,9
645	Jacobswoude	105,4	105,7		0,3
638	Zoeterwoude	104,9	105,0		0,1
479	Zaanstad	104,7	104,6	0,1	
	overige gemeenten	116,7	117,7	0,1	
Totaal		133,8	133,7	0,1	

Tabel 4 AM_09



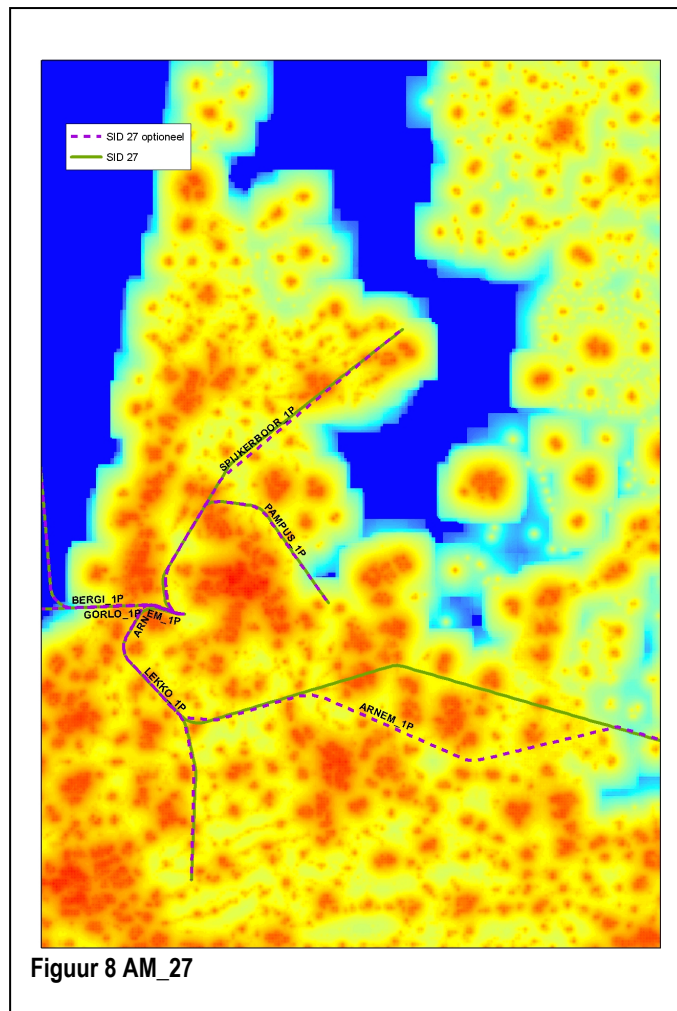
Nr.	Gemeentenaam	Huidige dosis	Dosis na routeoptimalisatie	Afname (dBA)	Toename (dBA)
394	Haarlemmermeer	125,9	126,0		0,1
392	Haarlem	119,6	120,0		0,4
1525	Teylingen	118,9	118,5	0,4	
537	Katwijk	118,4	114,3	4,1	
479	Zaanstad	118,0	118,2		0,2
358	Aalsmeer	117,8	117,7	0,1	
569	Nieuwkoop	117,8	118,0		0,2
736	De Ronde Venen	117,0	115,5	1,5	
553	Lisse	117,0	116,7	0,3	
402	Hilversum	116,5	104,8	11,7	
645	Jacobswoude	114,0	114,2		0,2
497	Bodegraven	113,7	110,8	2,9	
353	IJsselstein	112,1	111,6	0,5	
451	Uithoorn	112,0	111,8	0,2	
311	Breukelen	111,8	112,3		0,5
579	Oegstgeest	111,8	108,9	2,9	
576	Noordwijkerhout	111,5	111,4	0,1	
397	Heemstede	111,4	111,6		0,2
546	Leiden	111,4	109,8	1,6	
405	Hoorn	111,3	111,3		
457	Weesp	111,2	110,3	0,9	
356	Nieuwegein	110,9	107,9	3,0	
363	Amsterdam	110,8	108,5	2,3	
880	Wormerland	109,7	109,8		0,1
344	Utrecht	109,6	104,8	4,8	
483	Alkemade	109,4	110,0		0,6
513	Gouda	109,1	107,9	1,2	
632	Woerden	109,1	111,9		2,8
623	Vlist	108,7	109,5		0,8
1696	Wijdmeren	107,7	105,1	2,6	
307	Amersfoort	107,5	108,8		1,3
	Overige gemeenten	119,3	120,5		1,3
Totale dosis		131,2	130,8	0,3	

Tabel 5 AM_24



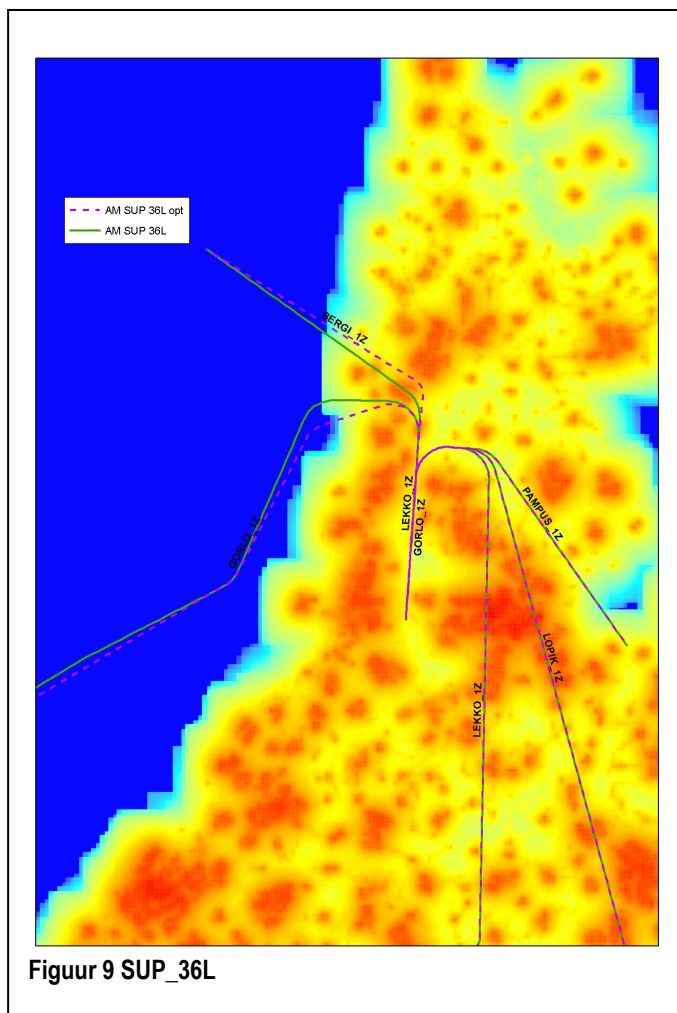
Nr.	Gemeentenaam	Huidige dosis	Dosis na	Afname (dBA)	Toename
363	Amsterdam	134,1	134,1		
362	Amstelveen	126,5	126,5		
394	Haarlemmermeer	124,4	124,4		
479	Zaanstad	122,9	122,5	0,4	
451	Uithoorn	116,0	116,0		
736	De Ronde Venen	115,4	115,4		
405	Hoorn	115,0	114,9	0,1	
393	Haarlemmerliede c.a.	114,4	114,4		
431	Oostzaan	114,2	115,4		1,2
415	Landsmeer	113,8	114,2		0,4
406	Huizen	113,5	113,3	0,2	
505	Dordrecht	112,5	112,5		
333	Maarsse	112,0	112,0		
344	Utrecht	111,0	111,0		
632	Woerden	110,9	110,9		
880	Wormerland	109,4	108,6	0,8	
311	Breukelen	109,2	109,2		
590	Papendrecht	108,6	108,6		
424	Muiden	108,1	106,5	1,6	
34	Almere	106,8	108,8		2,0
370	Beemster	106,7	107,3		0,6
425	Naarden	106,7	104,5	2,2	
642	Zwijndrecht	106,1	106,1		
358	Aalsmeer	105,8	105,8		
376	Blaricum	105,5	104,4	1,1	
569	Nieuwkoop	105,3	105,3		
498	Drechterland	105,2	105,2		
437	Ouder-Amstel	105,2	105,2		
532	Stede Broec	105,0	105,1		0,1
852	Waterland	104,9	104,4	0,5	
313	Bunschoten	104,2	103,9	0,3	
	Overige gemeenten	115,8	115,6	0,3	
	Totale dosis	135,9	135,9	0,0	

Tabel 6 AM_36C



Nr.	Gemeentenaam	Huidige dosis	Dosis na	Afname	Toename
394	Haarlemmermeer	131,5	130,6	0,9	(dBA)
479	Zaanstad	123,4	123,4		
392	Haarlem	120,8	119,9	0,9	
397	Heemstede	118,5	119,0		0,5
372	Bennebroek	117,2	117,1	0,1	
534	Hillegom	116,9	116,9		
569	Nieuwkoop	115,7	115,5	0,2	
645	Jacobsvoude	113,9	114,0		0,1
880	Wormerland	113,8	113,9		0,1
405	Hoorn	113,5	113,1	0,4	
402	Hilversum	113,0	104,4	8,6	
483	Alkemade	111,4	110,8	0,6	
377	Bloemendaal	110,5	110,4	0,1	
553	Lisse	110,4	110,3	0,1	
363	Amsterdam	110,1	110,3		0,2
439	Purmerend	109,7	109,9		0,2
497	Bodegraven	109,2	109,7		0,5
311	Breukelen	107,7	108,6		0,9
513	Gouda	107,5	108,0		0,5
393	Haarlemmerliede c.a.	107,3	107,2	0,1	
484	Alphen aan den Rijn	106,5	107,2		0,7
623	Vlist	106,4	106,4		
852	Waterland	106,2	106,2		
307	Amersfoort	105,9	105,6	0,3	
736	De Ronde Venen	105,5	104,9	0,6	
370	Beemster	105,3	106,5		1,2
1696	Wijdmeren	104,2	102,1	2,1	
498	Drechterland	103,8	103,8		
267	Nijkerk	103,7	83,4	20,3	
532	Stede Broec	103,6	103,6		
	Overige gemeenten	115,4	115,8		0,4
	Totale dosis	133,4	132,8	0,6	

Tabel 7 AM_27



Nr.	Gemeentenaam	Huidige dosis	Dosis na opt	Afname	Toename(dBA)
363	Amsterdam	125,9	125,9		
479	Zaanstad	124,2	124,2		
392	Haarlem	119,0	119,0		
450	Uitgeest	118,5	118,4	0,1	
394	Haarlemmermeer	118,2	118,2		
399	Heiloo	117,5	115,7	1,8	
383	Castricum	117,4	117,6		0,2
396	Heemskerk	116,2	116,2		
375	Beverwijk	115,7	115,7		
362	Amstelveen	113,7	113,7		
393	Haarlemmerliede c.a.	113,6	113,6		
439	Purmerend	112,8	112,8		
453	Velsen	112,6	112,6		
373	Bergen	111,9	110,1	1,8	
880	Wormerland	111,7	111,7		
344	Utrecht	111,5	111,5		
365	Graft-De Rijp	109,9	109,9		
356	Nieuwegein	109,2	109,2		
415	Landsmeer	108,6	108,6		
361	Alkmaar	108,2	113,4		5,2
431	Oostzaan	108,0	108,0		
451	Uithoorn	106,9	106,9		
384	Diemen	106,8	106,8		
333	Maarssen	106,2	106,2		
852	Waterland	105,9	105,9		
437	Ouder-Amstel	104,8	104,8		
736	De Ronde Venen	104,6	104,6		
311	Breukelen	104,5	104,5		
632	Woerden	104,5	104,5		
305	Abcoude	104,3	104,3		
	Overige gemeenten	111,5	111,6		0,0
Totale dosis		131,0	131,0	0,0	

Tabel 8 SUP_36L

Uit Tabel 2 blijkt dat de totale dosis voor alle woningen in Nederland ook na aanpassing van de routes niet of nauwelijks afneemt. Dit komt doordat de doses voor alle routes vrijwel geheel afkomstig zijn van de dichtbebouwde gebieden binnen ongeveer 10 km van de startbanen. De vliegtuigen vliegen dan nog op geringe hoogte en er zijn vlak na de start nauwelijks mogelijkheden om bebouwing te vermijden. Onderlinge vergelijking van de routes laat zien dat starts vanaf de Buitenveldertbaan (in oostelijke richting) en daarna de starts vanaf de Zwanenburgbaan in noordelijke richting het ongunstigst zijn. De starts vanaf de Polderbaan in noordelijke richting en de Kaagbaan in zuidwestelijke richting zijn aanzienlijk gunstiger en veroorzaken een lagere geluidsdosis.

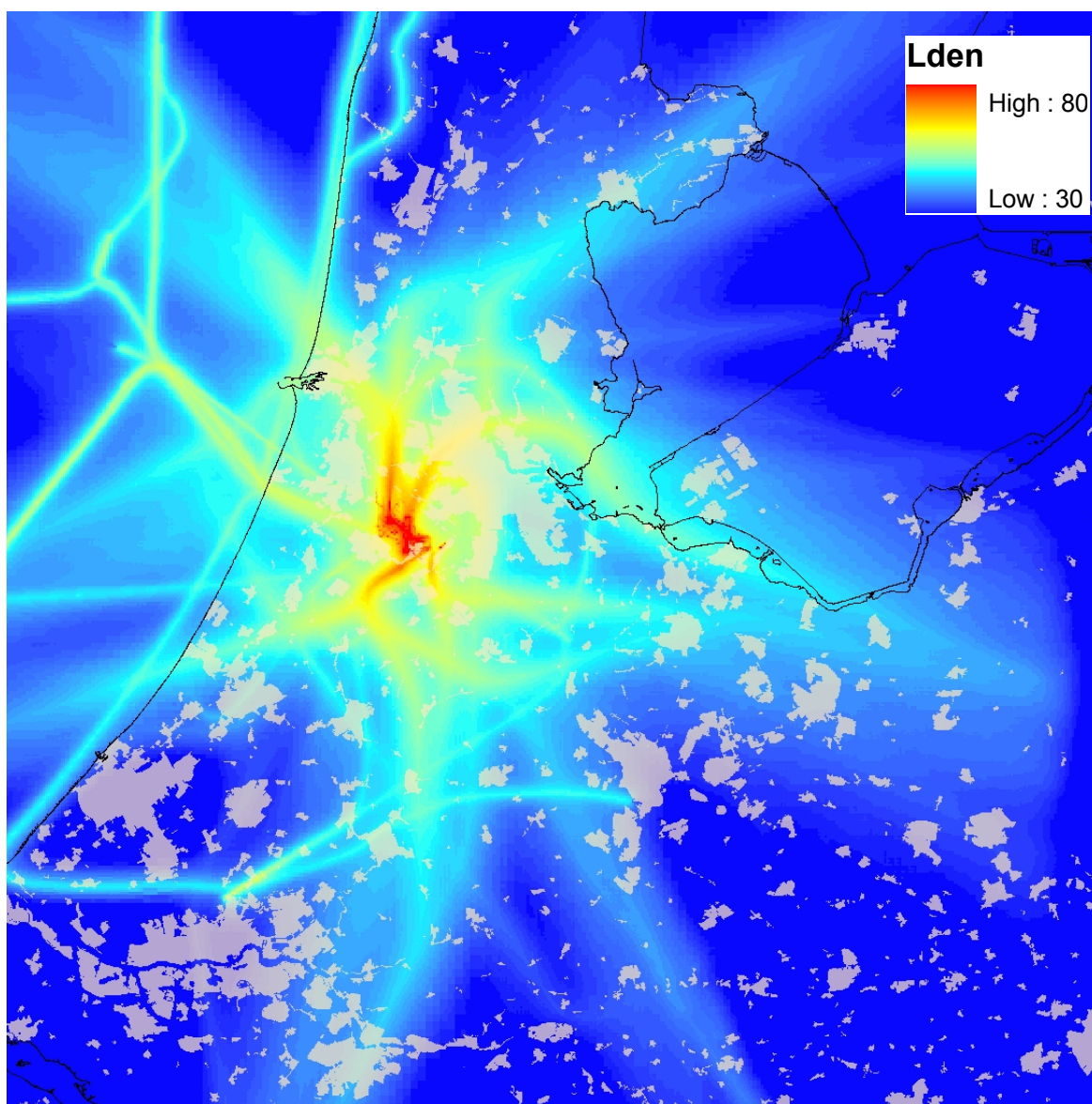
Optimalisatie door routeaanpassing is echter wel van groot belang voor woningen die verder van de luchthaven af liggen (10 tot 50 km). Dit blijkt uit de dosiswaarden in de Tabellen 4 tot en met 8 die per gemeente zijn bepaald. Het betreft vooral de regio's Leiden/Oegstgeest, Castricum/Heemskerk/Uitgeest, Mijdrecht/Hilversum. Hoewel optimalisatie geen/nauwelijks effect heeft op de dosis die als totaal voor de route is bepaald, zijn er voor bepaalde gemeenten belangrijke reducties mogelijk. In oostelijke richting lijken er mogelijkheden om gemeenten als Hilversum, Utrecht en Nieuwegein aanzienlijk te ontlasten door de routes naar het zuiden/westen te verleggen. Ook voor de gebieden ten noorden van Leiden en voor Den Haag lijken er mogelijkheden aanwezig.

3.4.3 Relatie met Hinderbeleving

Uit het voorafgaande is geconcludeerd dat er alleen een lagere dosis kan worden gerealiseerd door wijziging van de standaard uitvliegroutes in het buitengebied (L_{den} 58-48 dB) en in nog wat grotere mate in het restgebied ($L_{den} < 48$ dB). Hoewel het aspect hinderbeleving geen primair doel van deze verkennende studie is, is de vraag in hoeverre een lagere dosis werkelijk tot afname van hinder leidt hierbij zeer relevant. De dosis in een gebied wordt volgens (2.1) bepaald door de gemiddelde L_{den} -waarde en door het aantal woningen. Er is daarbij geen ondergrens voor de L_{den} gesteld, terwijl (ernstige) hinderbeleving pas vanaf een L_{den} -waarde van 42 dB optreedt. In het gebied buiten de 48 L_{den} -contour betekent dit dat dosiswaarden steeds minder relatie hebben met de hinderbeleving naarmate de afstand tot deze contour toeneemt.

Een directe relatie tussen de dosis en de L_{den} -waarde waarop de hinder is gebaseerd is niet beschikbaar (zie 2.1.1). Evenmin is er een direct verband tussen hinderbeleving en 'single events' waar de dosis een indicator voor is voorhanden. Wel is het zo dat als bij geluidoptimalisatie voor een bepaalde route en voor alle vliegtuigen consequent een bepaalde reductie in de dosis wordt gerealiseerd, deze reductie uiteindelijk ook in de jaargemiddelde geluidbelasting L_{den} wordt gerealiseerd.

Aan de hand van de dosisreducties voor de verschillende gemeenten uit Tabel 4 tot en met 5 kan daarmee een indicatie worden verkregen van het effect op hinderbeleving. De aanname daarbij is dat de jaargemiddelde L_{den} -waarde in deze gemeenten met eenzelfde reductie zal afnemen. De hinderbeleving bij een bepaalde L_{den} en het effect van een L_{den} -afname kan dan worden geschat aan de hand van de dosis-effectrelatie van Miedema[8]. Voor het buitengebied en het restgebied is per gemeente een schatting gemaakt van de gemiddelde L_{den} -waarde op basis van een steekproef aan vliegroutes van en naar Schiphol verkregen via Geluidsnet. Deze komen als case weer aan de orde in hoofdstuk 4 (Een meer gedegen uitwerking van de L_{den} -waarden in buitengebied en restgebied op basis van een meer uitgebreide set aan vluchtgegevens, bijvoorbeeld door het NLR, zou in een latere fase kunnen plaatsvinden). De L_{den} is voor de startende vluchten uit deze steekproef weergegeven in Figuur 9. De waarden zijn bepaald aan de hand met behulp van de modellering beschreven in Bijlage 2.



Figuur 9 Indicatief beeld van de L_{den} op basis van een steekproef van startende vliegtuigen vanaf Schiphol over de periode 1 t/m 9 april 2009.

Voor een meer nauwkeuriger raming eventueel in een vervolgfase verdient het de voorkeur om uit te gaan van ruimtelijk voldoende uitgebreide geluidkaarten (inclusief buitengebied en restgebied), volgens de Nederlandse Standaard en op basis van een volledig jaar aan vluchtgegevens. De raming dient hier zuiver alleen om een indruk te verkrijgen van het verband tussen dosisafname en mogelijke vermindering van hindereffecten.

De schatting van de gemiddelde L_{den} uit Figuur 9 waarde is vervolgens gebruikt om het huidige aantal ernstig gehinderden te ramen en tevens het resterende aantal ernstig gehinderden als de dosisreductie voor een bepaalde gemeente op de L_{den} in mindering wordt gebracht. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Indicatie van effecten op hinderbeleving bij afname van dosis door routeoptimalisatie

Gemeente	L _{den} gemidd.	% ernstig gehinderd	Afname L _{den} (=dosisafname)	% ernstig gehinderd na afname
Haarlemmermeer	61	20	0.9	19
Haarlemmerliede en Spaarnwoude	60	19	0.1	19
Aalsmeer	57	12	0.1	12
Uithoorn	55	11	0.2	11
Beverwijk	53	8	2.2	6
Zaanstad	53	8	0.1	8
Haarlem	52	6	0.9	5
De Ronde Venen	51	5	1	4
Bloemendaal	51	6	0.1	5
Uitgeest	51	5	0.1	5
Lisse	50	5	0.3	5
Wormerland	50	6	0.8	6
Bennebroek	49	4	0.1	4
Teylingen	49	4	0.4	4
Nieuwkoop	49	5	0.5	5
Alkemade	48	3	0.6	3
Muiden	48	3	1.6	2
Heemskerk	48	3	5	1
Bodegraven	48	4	2.9	2
Waterland	47	2	0.5	2
Huizen	47	3	0.2	3
Katwijk	46	2	4.1	0
Noordwijkerhout	46	3	0.1	3
Breukelen	46	1	0.2	1
Blaricum	46	2	1.1	1
Naarden	45	2	2.2	1
Wijdmeren	45	2	2.6	0
Gouda	45	1	1.2	1
Hilversum	44	1	10	0
Alphen aan den Rijn	44	1	1.4	0
Weesp	44	1	0.8	1
Bergen (NH.)	44	1	1.8	0
Oegstgeest	44	1	2.9	0
Bunschoten	44	1	0.3	0
Woerden	43	1	2.2	0
Hoorn	43	0	0.1	0
Leiden	42	0	1.6	0
Nijkerk	42	0	20	0
Bussum	42	0	0.2	0
Utrecht	42	0	6	0

3.4.4 Conclusie Hinderbeleving

Tabel 9 laat zien dat naar eerste indicatie er geen reductie van hindereffecten haalbaar is voor gemeenten die dicht bij de luchthaven liggen (meer dan gemiddeld 58 dB). Dit strookt met het punt dat de mogelijkheden tot geluidoptimalisatie van de startroutes hier zeer beperkt zijn en de dosis per vlucht hier niet of nauwelijks verminderd kan worden verminderd.

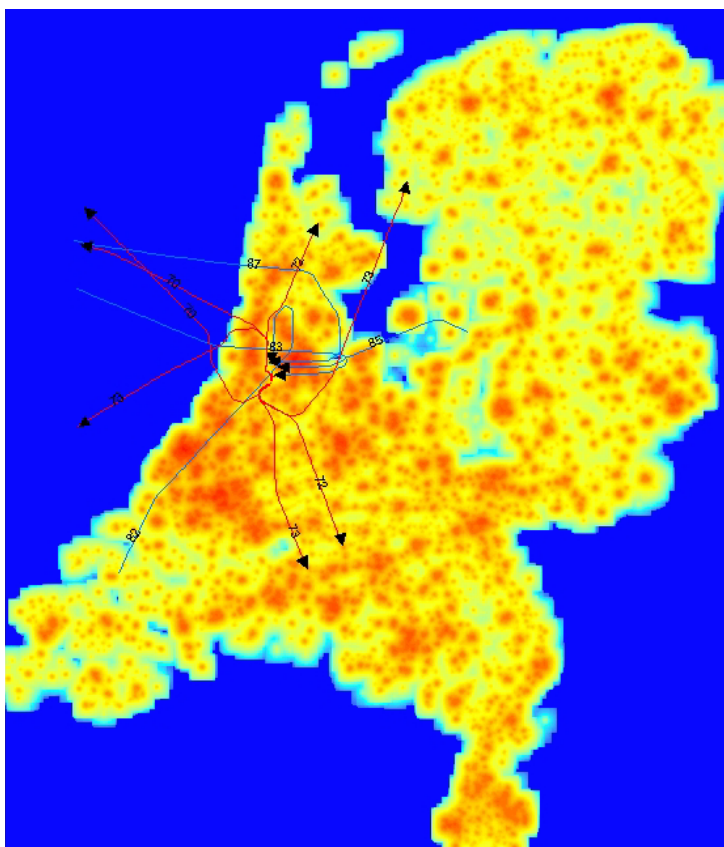
In verder weg gelegen gebieden (buitengebied) zijn er meer mogelijkheden. Het gaat dan om gemeenten als Beverwijk, Muiden en Bodegraven.

In het restgebied kunnen de grootste afname in dosis worden bereikt. Hier liggen waarschijnlijk de meeste mogelijkheden om routes bij te stellen en woonbebouwing te ontzien. Een dosisafname heeft hier echter veel minder betekenis, omdat de geluidbelasting hier al snel onder de 42 dB ondergrens voor (theoretische) hinderbeleving komt te liggen. Het aantal ernstig gehinderden is dan in de aanvangssituatie al beperkt tot hooguit enkele procenten. Wel kunnen die in veel gevallen bij geluidoptimalisatie geheel worden weggenomen, zoals bijvoorbeeld in Katwijk.

De beoordeling van het aspect hinderbeleving vormt niet het hoofdonderdeel van deze studie en de hier gegeven indicatieve beschouwing doet geen recht aan de complexiteit ervan. Indien in de uitgangssituatie voor een bepaalde gemeente een klein percentage aan (theoretische) hinder wordt geraamd is het zeker wel mogelijk dat men in deze gemeente in de praktijk toch problemen ervaart. Een voorbeeld is de gemeente Hilversum[9]. Geluidoptimalisatie van routes kan daarom ook voor gemeenten in het restgebied van betekenis zijn. Een meer gedegen oordeel zou daarom een uitgebreider studie vergen, waarbij de geluidbelasting in het buitengebied en het restgebied alsmede, de mate waarin deze door routeaanpassing kunnen worden verminderd en mogelijk ook hinderbeleving van individuele passages, nader en dieper worden onderzocht, bij voorkeur in nauwe samenwerking met betrokken partijen.

4 Case: vliegroutes 1 - 9 april 2008 van en naar Schiphol

De hiervoor geschetste systematiek, waarbij een dosis per vlucht wordt vastgesteld, is toegepast op een steekproef van werkelijk gevlogen routes in de periode 1 tot en met 9 april 2008. Deze routegegevens zijn aangeleverd door Geluidsnet BV, die de routes registreert via het transpondersignaal van de vliegtuigen. De routes bevatten trajecten van 4 km lengte, waarvoor vluchtnummer, begin- en eindcoördinaten, vliegtuigtype en gemiddelde vlieghoogte zijn gespecificeerd. Enkele routes zijn geprojecteerd op een gevoeligheidskaart als weergegeven in Figuur 10. Bij de geprojecteerde routes is tevens de geluidsdosis aangegeven die het vliegtuig over de gehele vlucht heeft veroorzaakt. Duidelijk wordt dat de vluchten over relatief lange trajecten boven dichtbebouwd gebied een aanmerkelijk hogere geluidsdosis veroorzaken dan vliegtuigen die slechts korte tijd over woonbebouwing vliegen. Een voorbeeld is het toestel dat vanuit zuidwestelijke richting over Den Haag, Leiden, Amsterdam en de Zaanstreek vliegt om vervolgens op de Polderbaan te landen. De dosis daarvan komt op 82 dBA, te vergelijken met de startende vliegtuigen die vanaf de Kaagbaan in zuidwestelijke richting vertrekken, 72 en 73 dBA. Dit geeft aan dat de ligging van de routes van grote invloed kan zijn op de resulterende geluidbelasting.

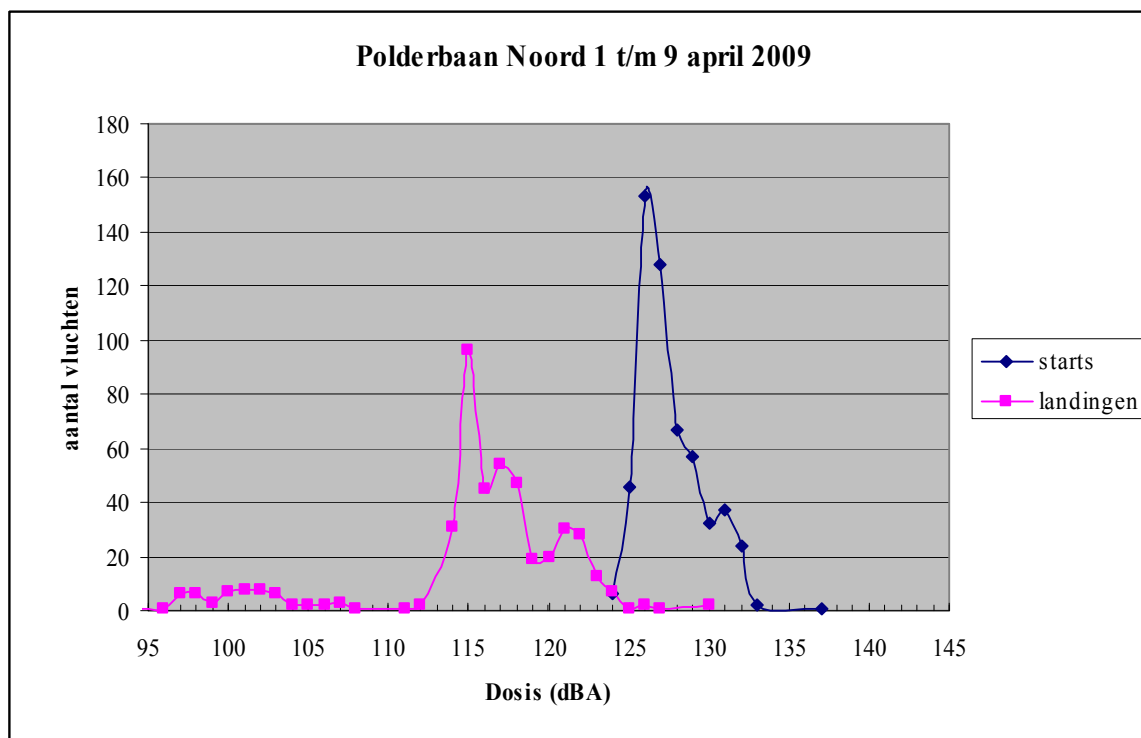


Figuur 10 Enkele werkelijk gevlogen routes in de periode 1 tot en met 9 april 2008 (bron: routegegevens Geluidsnet BV).

In Tabel 9 is een overzicht gegeven van dosiswaarden die bij de vluchtgegevens van 1 tot en met 9 april 2008 zijn bepaald voor verschillende banen. Vooral bij de landende vliegtuigen is de spreiding van de doses fors. De hoogste doses gelden voor startende vliegtuigen vanaf de Buitenveldertbaan en de Zwanenburgbaan. Landingen op de Polderbaan en de Zwanenburgbaan veroorzaken een relatief lage gemiddelde dosis. Voor de Polderbaan is de verdeling van startende en landende vliegtuigen weergegeven in Figuur 11. Tabel 10 geeft een overzicht van de totale doseswaarden en de gemiddelde doses per vlucht.

Tabel 9 Verdeling van startende en landende vliegtuigen met dosiswaarden voor verschillende banen (de vetgedrukte waarden corresponderen met de (energetisch) gemiddelde dosis per vlucht).

dosis dBA	Starts					Landingen				
	Polder	Kaagb	Bvldt	Aalsm	Zw.b	Polder	Kaagb	Bvldt	Aalsm	Zw.b
135			1							
133	1	1			12					
132					47					
131					84					
138		1								
130	1		1		84					1
129	6	2			39			1		
128	32	6	3	6	29					
127	36	20	1	10	61	1		4		
126	36	22	1	21	199	2	1	3		
125	61	50		46	199	1	3	8	1	1
124	81	60		32	81	7	4	38	2	2
123	145	133		10	39	13	23	36	1	11
122	127	104			13	28	25	2	10	16
121	25	87			3	30	19	2	13	37
120	2	18				20	12	1	15	57
119		2				19	13		16	47
118						47	13	1	3	9
117						54	10		1	6
116						45	24	1	2	4
115						96	3		2	3
114						31	2			2
113									1	1
112						2	2			
111						1				
110							1		1	2
109							1			1
108						1			1	1
107						3			1	4
106						2	1		2	5
105						2				4
104						2	1			4
103						6				10
102						8			1	5
101						8		1		17
100						7	4			13
99						3	11		1	17
98						6	2		2	17
97						6	1		1	11
96						1	4			5
95							1			7
94						1				4
93										5
92										1
91										1
Grand Total	553	506	7	125	890	453	181	98	77	331



Figuur 11 Dosiswaarden voor landende en opstijgende vliegtuigen op de Polderbaan voor de periode van 1 tot en met 9 april 2008.

Tabel 10 geeft de routedoses per baan en als totaal weer.

Tabel 10 Geluidsdoses¹ (dBA) voor verschillende banen voor startende en landende vliegtuigen; Schiphol, periode 1 tot en met 9 april 2009.

Baan	Startend			Landend			Totaal		
	aantal	dosis	dosis/vl ²	aantal	dosis	dosis/vl	aantal	dosis	dosis/vl
Polder	553	151,8	124,4	453	144,6	118,1	1006	152,6	122,5
Kaag	506	150,8	123,7	181	142,6	120,0	687	151,4	123,0
Buitenveldert	7	138,3	129,9	98	143,9	124,0	105	144,9	124,7
Aalsmeer	125	146,2	125,2	77	138,7	119,8	202	146,9	123,9
Zwanenburg	890	157,3	127,8	331	143,4	118,2	1221	157,5	126,6
Totalen	2081	159,3	126,2	1140	150,0	119,5	3221	159,8	124,7

¹ Doses zijn bepaald op basis van vaste bronvermogens; startend Lw = 145 dBA, landend Lw = 135 dBA.

² Dosis per vliegtuig = dosis - 10 * log(aantal).

De dosis per vlucht ligt van de startende vliegtuigen gemiddeld circa 7 dB hoger dan die van de landingen. Dit is minder dan het aangenomen verschil in bronsterkte, omdat de landende vliegtuigen een langer traject op geringere hoogte afleggen dan de startende vliegtuigen. De relatief forse spreiding die uit Figuur 1 blijkt is een indicatie dat er door routeoptimalisatie nog mogelijkheden zijn om de geluidsdoses te verminderen. De spreiding in dosiswaarden is voor landende vliegtuigen groter dan voor startende vliegtuigen. Dit geeft aan dat geluidoptimalisatie van routes niet alleen voor startende vliegtuigen van belang is, maar vooral ook voor landende vliegtuigen. Daarbij dient echter te worden opgemerkt dat dit vanuit logistiek oogpunt aanzienlijk gecompliceerder ligt. Voor landende vliegtuigen zijn geen vaste routes gedefinieerd, zoals deze voor de startende vliegtuigen in de vorm van de SIDS zijn vastgelegd.

5 Conclusies en vervolg

Het gebruik van een dosismaat per vlucht is een nuttig hulpmiddel om bij individuele vliegroutes rondom Nederlandse luchthavens hun relatieve bijdrage aan de totale geluidbelasting te bepalen. De dosiswaarden kunnen gebiedsgericht worden gesommeerd, om een indruk te verkrijgen van de belasting in een bepaalde gemeente en de ontwikkeling daarvan.

Door gebruik te maken van reciprociteit kunnen gevoeligheidskaarten voor de woonbebouwing rondom luchthavens worden opgesteld. Deze kaarten bieden de mogelijkheid om bij elke route na te gaan in hoeverre geluidoptimaal wordt gevlogen in de zin dat de route de onderliggende bebouwing zoveel mogelijk ontziet.

Uit een steekproef van ruim duizend starts en landingen in de periode 1 tot en met 9 april 2008 van en naar de luchthaven Schiphol blijkt dat de doses bij een bepaalde baan een forse spreiding laten zien. Dit duidt erop dat er door bundeling van vliegroutes op die routes welke de bebouwing zoveel mogelijk vermijden mogelijkheden bestaan om de totale geluidbelasting te verminderen.

Verbetering van de geluidssituatie rondom de standaardstartroutes (SIDS) vanaf Schiphol is alleen mogelijk in gemeenten die verder in het buitengebied liggen. Te denken valt aan Hilversum, Rotterdam Utrecht-West, Nieuwegein en Oegstgeest. Vlak bij de luchthaven kan verbetering alleen worden bereikt door stillere vliegtuigen of beperking van het aantal vluchten.

De hier besproken geluidoptimalisatie leidt tot bundeling van routes. De daaruit voortvloeiende optimalisatie houdt in dat de dosis als totaal over alle woningen binnen een bepaald gebied zo laag mogelijk wordt gehouden. Men bedenke daarbij echter, dat het voor individuele woningen tot een toename van de geluidbelasting kan leiden als die zich in een relatief dunbevolkt gebied bevinden. Ook komt het voor dat tegenover de afname in een bepaalde gemeente een toename in een andere gemeente ontstaat. Gezien de grote gevoeligheden, zal het daarom nodig zijn draagvlak met betrokken partijen te ontwikkelen en aanpassingen zorgvuldig met hen af te stemmen, voordat daadwerkelijk tot aanpassing van routes kan worden overgegaan.

In deze pilot is een beperkt aantal standaardroutes beoordeeld. Het onderzoek betrof voornamelijk alleen een theoretische beschouwing. Met de Luchtverkeersleiding (LVNL) is nog niet afgestemd in hoeverre bepaalde wijzigingen in routes ook werkelijk vliegbaar zijn. Een verdere en meer gedegen uitwerking van het vraagstuk routeoptimalisatie kan pas plaatsvinden na grondige afstemming met en voldoende draagvlak bij belanghebbende partijen voor de hier voorgestelde methode.

Voor landende vliegtuigen lijken er, zuiver vanuit het geluidaspect bezien, ook duidelijk optimalisatiemogelijkheden aanwezig. Hiervoor gelden geen gestandaardiseerde routes, maar vindt de afwikkeling van het luchtverkeer plaats op basis van het verkeersaanbod en de vigerende weerscondities. Aanpassing of standaardisering van landingsroutes ligt daarom met het oog op capaciteitsproblematiek en verkeersveiligheid aanzienlijk lastiger dan voor de startroutes. In de onderhavige studie heeft er voor deze categorie nog geen beoordeling plaatsgevonden. Ook hiervoor geldt dat eerst verdere afstemming met betrokken partijen nodig is.

Literatuur

- [1] Convenanten Alderstafel <http://www.crosnet.nl/index.cfm?page=Alderstafel.convenantenMLT>
- [2] Werken aan de toekomst van Schiphol en de regio, Een gezamenlijke uitgave van Schiphol Group, KLM en Luchtverkeersleiding Nederland, LVNL 2008
- [3] Voorschrift voor de berekening van de LDEN en Lnight geluidbelasting in dB(A) ten Gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol, NLR-CR-2001-372-PT-1&2 (2001).
- [4] SAE AIR 5662, Method for predicting lateral attenuation of airplane noise, (2006), supersedes SAE AIR 1751 (1981)
- [5] Acoustics. Leo L. Beranek McGraw-Hill Book Company, Inc, 1954
- [6] N. Schiliuk, Calculating SPL1m values from NLR tables- An investigation into the possibility to optimize and simplify the method to retrieve SPL1m from the NLR tables Geluidsnet/Sensornet B.V. November 2007
- [7] INM model 7.0, based on ECAC/CEAC Doc 29 Report on Standard method of computing noise contours around civil airports, European Civil Aviation Conference, second edition, July 1997
- [8] Miedema, H.M.E. en Oudshoorn, C.G.M. (2001) Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. Environmental Health Perspectives 109(4), 409-516.
- [9] Geluidnieuws, juni 2006

Bijlage 1 Toelichting reciprociteitsbeginsel

Bij modellering van vliegtuigen als omnidirectionele puntbron kan de op de woningen ingevallen geluidenergie worden benaderd door:

$$E_{ak} = \sum_k \int_{route} \frac{W}{4\pi r_k^2} \frac{e^{-\alpha r_k}}{v} ds \quad (B1.1)$$

met:

W	akoestisch geluidvermogen van het vliegtuig
r _k	afstand van het vliegtuig tot woning (k)
v	snelheid (m/s)
α	dempingsconstante voor luchtdemping
s	afstand langs de route
k	sommatie-index over alle woningen

In formule (B1.1) wordt over de gehele route geïntegreerd en over alle woningen gesommeerd. Bij de gemaakte veronderstelling (omnidirectionele geluidemissie) geldt met betrekking tot de positie van bron en waarnemer symmetrie in afstand en geluidsoverdracht. Integratie- en sommatievolgorde kunnen dan worden verwisseld, zodat formule (B1.1) ook kan worden geschreven als

$$E_{ak} = \int_{route} F(s) ds \quad (B1.2)$$

met

$$F(s) = \sum_k \frac{W}{4\pi r_k^2} \frac{e^{-\alpha r_k}}{v} \quad (B1.3)$$

De functie F(s) geeft in feite een (fictieve) geluidsintensiteit, die zou worden veroorzaakt door alle woningen gezamenlijk in de omgeving van het traject, indien het geluid niet door het vliegtuig maar door de woningen wordt veroorzaakt. De dosis wordt verkregen door deze fictieve intensiteit over de vliegroute te integreren. Deze kan dus geminimaliseerd worden door die route te kiezen waarbij de fictieve geluidintensiteit zo laag mogelijk blijft. Door fictieve geluidskaarten (i.e. reële gevoeligheidskaarten) op basis van de ligging van de woningen op te stellen, kan een indicatie worden verkregen van de vliegroutes die de laagste geluidbelasting op de woningen opleveren. De dosis (D) die bij formule (B1.1) hoort is een logaritmische maat en wordt verkregen volgens:

$$D = 10 * \log \left(\int_{route} \sum_k \frac{W}{4\pi r_k^2} \frac{e^{-\alpha r_k}}{v} ds \right) \quad (B1.4)$$

Deze wordt uitgedrukt in dB(A). De dosis die op deze manier wordt vastgesteld dient men niet te verwarren met het Sound Exposure Level (SEL). De laatstgenoemde heeft betrekking op de dosis die door een bron bij passage op één waarneempunt wordt veroorzaakt, terwijl formule (B1.4) impliciet de sommatie over alle woningen bevat.

Bijlage 2 Overdrachtsmodel voor rechtstreekse bepaling van dosiswaarden

Het luchtvaartmodel, zoals dit in wettelijk Nederlands kader wordt toegepast, is in beheer bij het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium. In dit verkennende onderzoek, waarin geen wettelijke normen worden getoetst, is door het RIVM gebruikgemaakt van een vereenvoudigde overdrachtsmodellering. De vliegtuigen worden daarbij als puntbron met een bepaald bronvermogen (L_w in dBA) gemodelleerd. Voor de startende vliegtuigen is een vast, constant bronvermogen van 145 dB aangehouden en voor landende vliegtuigen is een gemiddelde waarde van 135 dBA verondersteld. Dit is in overeenstemming met een inventarisatie van Geluidsnet BV[6] naar de gemiddelde bronvermogens voor startende en landende vliegtuigen gebaseerd op INM power-distance tabellen[7].

De basisformule van het gehanteerde model luidt:

$$SEL = E - D_{geo} - D_{lucht} - D_{lat} \quad (B2.1)$$

waarin:

E = emissiegetal van de passage; $E = L_w - 10\log(4v)$; v snelheid in m/s

SEL = sound energy level in dB

D_{geo} = demping door geometrische uitbreiding

D_{lucht} = luchtdemping

D_{lat} = demping door laterale verzwakking

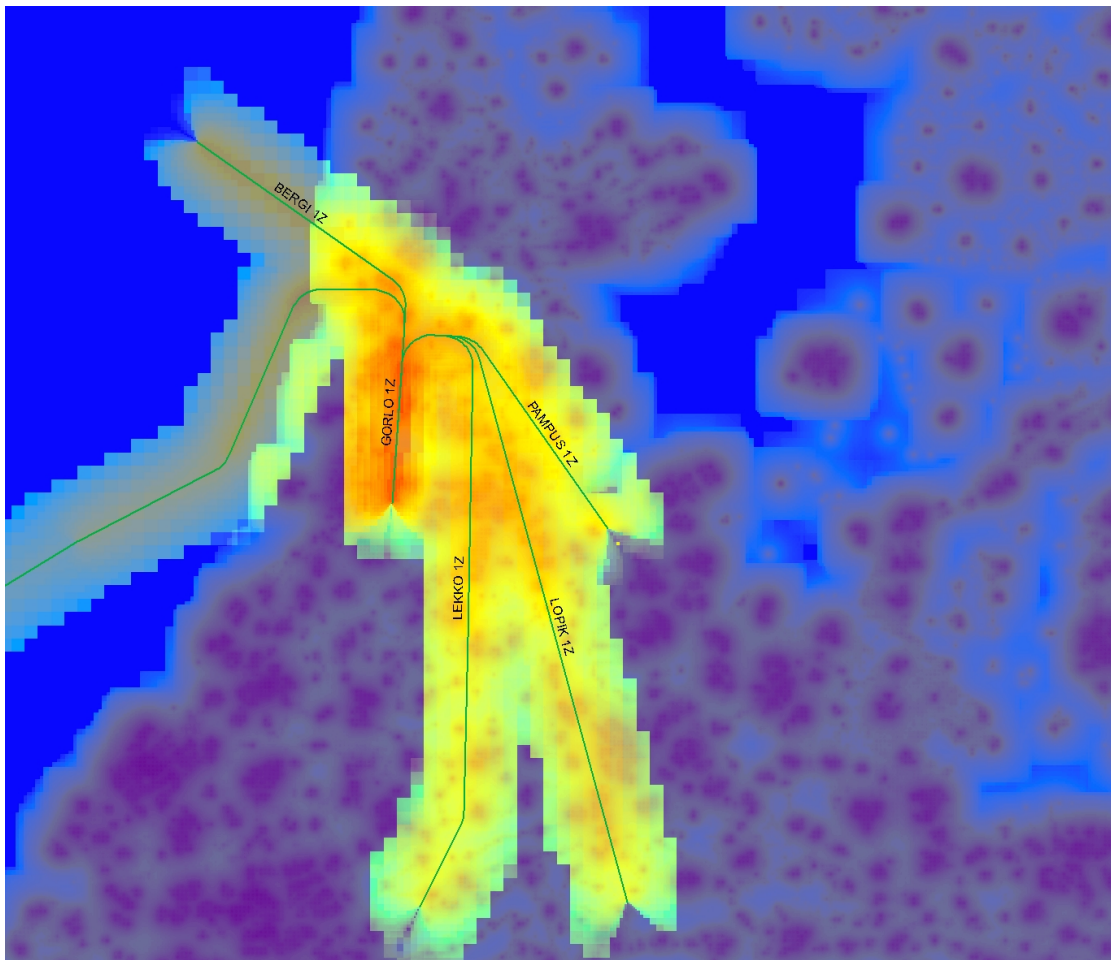
De luchtdemping is gekozen volgens

$$D_{lucht} = \exp(\log(0,015) + 0,8 \cdot \log(\text{afst}))$$

$$D_{lucht} = e^{\log(0,015) + 0,8 \log(a)}$$

en is zo gekozen om de modellering zoveel mogelijk in overeenstemming te brengen met de power-distance tabellen volgens INM[7]. De laterale verzwakking is gekozen volgens[4] SAE AIR 1751 (1981) bij kalme windomstandigheden.

De vereenvoudigde modellering wijkt dus enigszins af van de standaardmodellering, en kan daarom niet in wettelijk kader worden toegepast. Het hier gehanteerde overdrachtsmodel is alleen gebruikt om verschillen in dosiswaarden bij routeverschuiving in kaart te brengen. Figuur B1 geeft een voorbeeld van de resultaten bij uitvliegroute AM_sup36L.



Figuur B1 Resultaat van overdrachtsmodellering voor AM_sup36L. De onderliggende kaart geeft de gevoeligheden aan.

A solid yellow horizontal bar spanning the width of the page.

RIVM

Rijksinstituut
voor Volksgezondheid
en Milieu

Postbus 1
3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl