

Beoordelingsmethode stiltegebieden

Scriptiebegeleiders: dhr. Dr. Ir. G.P. van den Berg
mevr. Dr. N. Karstkarel
dhr. Drs. H.A. Oosterhoff
Student: J.L. Oudelaar
St.nr. 0852988

Rijksuniversiteit Groningen, Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen
5 juli 2007

Samenvatting

Stiltegebieden zijn met het verschijnen van de Circulaire Stiltegebieden in 1979 als zodanig erkend. In de Circulaire wordt gesteld dat in een stiltegebied alleen geluid hoorbaar zou mogen zijn dat er thuishoort, oftewel “gebiedseigen”, zoals geluid veroorzaakt door wind, vegetatie, dieren maar ook door land- of bosarbeiders. Niet-natuurlijk of “gebiedsvreemd” geluid, zoals verkeerslawaai of industrielawaai, zou nauwelijks of niet hoorbaar moeten zijn. Akoestische grenswaarden voor geluidsverstoring in stiltegebieden zijn niet in de wet vastgelegd. In de praktijk wordt een gemiddeld “equivalent” geluidsniveau, van 40 dB(A) per 24 uur ($L(A)EQ_{24u}$) als grenswaarde gehanteerd. Volgens het RIVM wordt deze in een substantieel deel van de stiltegebieden overschreden, daarmee staat de akoestische kwaliteit van stille gebieden onder druk. In de EU-richtlijn Omgevingslawaai wordt voorgesteld speciale geluidsindicatoren te gebruiken naast een equivalent niveau om de akoestische kwaliteit van stille gebieden in een landelijke omgeving te beschermen, er wordt echter geen indicator voorgeschreven.

Er is een daarom een beoordelingsmethode gewenst die de akoestische kwaliteit in stille gebieden voor de verschillende soorten (gemotoriseerde) geluidsverstoringen van het natuurlijk achtergrondgeluid weergeeft. Dit onderzoek is een eerste opzet van een beoordelingsmethode waarmee op relatief eenvoudige wijze geluidsverstoringen door weg- en vliegverkeer in een stille gebieden voorspeld en ruimtelijk weergegeven kan worden. Daarbij gaat het om het kwantitatieve aspect, het niveau van een geluidverstoring en niet om de hinderlijkheid ervan. Geluidsverstoringen zijn verschillend in aard, luidheid en tijdsduur. Om geluidsverstoringen te kwantificeren kunnen indicatoren voor de hoorbaarheid van een geluidsverstoring opgesteld worden. Naast tijdsduur als een indicator voor hoorbaarheid kunnen indicatoren in een geluidsniveau uitgedrukt worden. Als indicator voor de geluidsverstoring kan het maximaal geluidsniveau $L(A)_{MAX}$ gebruikt worden in het geval van incidentele voertuigpassages, zoals de passage van een vliegtuig, en het gemiddeld “equivalent” geluidsniveau $L(A)_{EQ}$ voor meer continu verkeer, zoals bij snelwegen.

In dit verband wordt onderzocht of met bestaande akoestische rekenmodellen een geluidsimmissieniveau voor de indicatoren $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$ berekend kan worden. In de beschouwing van deze akoestische rekenmodellen wordt nader ingegaan op de relatie tussen immissie, geluidsoverdracht en emissie. Als eerste wordt de internationale standaard voor de voortplanting van geluid in het vrije veld (geluidsoverdracht), vastgelegd in ISO 9613-2, beschreven. Deze rekenmethode ISO 9613-2 is algemeen in de zin dat deze toepasbaar is op een groot aantal verschillende geluidsbronnen. In de EU-richtlijn Omgevingslawaai wordt de voorkeur voor het gebruik van een specifieke akoestische rekenmethode voor zowel wegverkeer als vliegverkeer aangegeven. Daarom worden de twee specifieke rekenmethoden voor wegverkeer en vliegverkeer, namelijk RMW2002 resp. ECAC.CEAC Doc. 29, nader bestudeerd. Vervolgens wordt gekeken naar de relatie tussen emissie, geluidsoverdracht en immissie binnen relatief stille gebieden.

Een stiltegebied is vanuit akoestisch perspectief een eenvoudige situatie. De voornaamste dempingfactoren die optreden tijdens de geluidsoverdracht zijn geometrische uitbreiding en lucht- en bodemabsorptie.

Gezien de eenvoudige omgeving kan een vereenvoudigd rekenmodel worden afgeleid waarmee het immissieniveau veroorzaakt door weg- en vliegverkeer op grote afstand kan worden berekend. De vereenvoudigde rekenmethode is geldig binnen die relatief eenvoudige omgeving. Een typisch stil landelijk gebied wordt beschouwd als een referentieomgeving voor stille gebieden.

Voor de verschillende geluidsverstoringen ten gevolge van weg- of vliegverkeer in stille gebieden kan een referentiesituatie in akoestische termen gekwantificeerd worden. Om de vereenvoudigde rekenmethode in een situatie te gebruiken die afwijkt van de referentiesituatie worden correctiefactoren afgeleid.

Het vereenvoudigd rekenmodel wordt gecontroleerd door middel van geluidsmetingen in de stille gebieden Midden-Delfland en het Reitdiepdal. De uitkomsten verkregen met de vereenvoudigde rekenmethode worden getoetst aan geluidsmetingen in het veld. Met een geluidsmeter zijn op verschillende afstanden van een provinciale weg de maximale geluidsniveaus ten gevolge van wegverkeer geregistreerd. Met het vereenvoudigd rekenmodel wordt het niveau van indicator $L(A)_{MAX}$ berekend in de situatie waarin de geluidsmetingen zijn verricht.

Het vereenvoudigd rekenmodel kan geïmplementeerd worden in een Geografisch Informatiesysteem (GIS). Het doel daarbij is het ruimtelijk weergeven van de geluidsverstoringen veroorzaakt worden door weg- en of vliegverkeer. De implementatie geschiedt aan de hand van een case. In de case wordt de vereenvoudigde methode toegepast op het stiltegebied Midden-Delfland, maar uitsluitend als voorbeeld: de getoonde geluidscontouren of -niveaus zijn geen weergave van de werkelijke akoestische situatie in Midden-Delfland. Ten slotte wordt een visie gegeven op een bredere toepassing van het vereenvoudigde rekenmodel, als zijnde een beoordelingsmethode voor relatief stille gebieden.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	5
1.1 Probleemstelling	5
1.2 Doelstelling	6
1.3 Onderzoeksvragen en toelichting.....	7
2 Akoestische rekenmodellen	10
2.1 Algemeen rekenmodel: ISO 9613-2	10
2.2 Rekenmodel wegverkeer: RMW2002.....	14
2.3 Rekenmodel vliegverkeer: ECAC.CEAC Doc. 29	17
2.4 Rekenmodellen en stille gebieden	20
3 Vereenvoudigd rekenmodel voor stille gebieden	22
3.1 Vereenvoudigde omgeving	22
3.2 Vereenvoudigd rekenmodel	23
3.3 Wegverkeer in referentiesituatie	25
3.3.1 Incidentele passage $L(A)_{MAX}$	26
3.3.2 Continu verkeer: $L(A)_{EQ}$	31
3.4 Vliegverkeer in referentiesituatie.....	34
3.4.1 incidentele passage: $L(A)_{MAX}$	35
4 Controle vereenvoudigd rekenmodel voor stille gebieden	40
4.1 Meten in stille gebieden	40
4.2 Wegverkeer in stille gebieden: incidentele passage.....	42
4.3 Vliegverkeer in stille gebieden: incidentele passage	44
5 Implementatie van vereenvoudigde rekenmethode in GIS	46
5.1 Vector- en rastermodellen.....	46
5.2 Implementatie in GIS	47
5.3 Implementatie perikelen.....	55
5.4 Gebiedsgerichte toepassing vereenvoudigd rekenmodel	57
Conclusie.....	58
Referenties	60
Symbolenlijst	64
Bijlage A Dampingfactoren	66
Bijlage B. Vliegverkeer Rotterdam Airport.....	70
Bijlage C. Midden-Delfland.....	73
Bijlage D. GIS.....	75

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Stiltegebieden zijn met het verschijnen van de Circulaire Stiltegebieden in 1979 als zodanig erkend. In de Circulaire wordt gesteld dat in een stiltegebied alleen geluid hoorbaar zou mogen zijn dat er thuishoort (“gebiedseigen”), zoals geluid veroorzaakt door de wind, vegetatie, dieren maar ook door (machines van) boeren of arbeiders in het bos. Niet-natuurlijk of “gebiedsvreemd” geluid, zoals verkeerslawaai of industrielawaai, zou nauwelijks of niet hoorbaar moeten zijn.

Het beheer van de akoestische kwaliteit in stiltegebieden is een taak van de provinciale overheid, alhoewel een gebied in eigendom en beheer kan zijn van een of meer andere partijen (privaat of publiek). Een aantal provinciale overheden hebben een verordening opgesteld ten aanzien van stiltegebieden waarin staat vermeld welke activiteiten verboden zijn, zoals het gebruik van vuurwapens, muziekinstrumenten of muziekversterkers, het beoefenen van lawaaiige sporten of het gebruik van lawaaiige voertuigen.

In de praktijk wordt onderzocht of de invloed van geluidsbronnen op een gebied, de zogenaamde geluidsbelasting, beneden een zekere grenswaarde van het equivalente (gemiddelde) geluidsniveau ligt. Echter in de geluidswetgeving wordt geen grenswaarde gesteld of normstelling in termen van geluidsmaten geformuleerd.

In een substantieel deel van deze stiltegebieden benadert of overschrijdt het equivalente A-gewogen¹ geluidsniveau voor het gehele etmaal (L(A)EQ,24u), veroorzaakt door wegverkeer en vliegverkeer, de in de praktijk gehanteerde grenswaarde van 40 dB(A) (RIVM, 2002, p.24). (Deze waarde komt overeen met de grenswaarde die gehanteerd wordt voor de geluidsbelasting overdag in rustige landelijke woongebieden). In deze berekende geluidsbelasting is de bijdrage van algemeen voorkomende geluidsbronnen als volgt: de bijdrage van vliegverkeer is binnen de geluidszones van vliegvelden aan de hand van nationale data berekend en geldt de aan het betreffende vliegveld gebonden (grote) luchtvaart; de bijdrage van rail- en wegverkeer geldt alleen voor hoofdwegen en het lawaai van de grotere industriegebieden. Nationaal zijn railverkeer en industriële bronnen relatief minder van invloed, maar lokaal kunnen ze een grote bijdrage hebben in de geluidsbelasting. Wanneer de geluidsbelasting op bovenstaande manier berekend wordt, komt in het immisseriesniveau niet de bijdrage van het lokale verkeer en van lokale industriële activiteiten, en ook niet van de op grotere afstand van een vliegveld overvliegende vliegtuigen tot uitdrukking. Daarnaast wordt er ook geen rekening gehouden met het effect van een overheersende windrichting die bepalend kan zijn voor de hoorbaarheid (fysische effecten, zoals straalbrekingeffecten, tijd binnen/buiten geluidsschaduw, blijven buiten beschouwing in deze berekening). Ook wordt er geen rekening gehouden met geluidsbronnen waarvan de hoorbaarheid afhankelijk is van het achtergrondgeluid en die onregelmatig in de tijd voorkomen oftewel discrete gebeurtenissen of continue geluiden. (Van den Berg, 2005, p.2)

¹ Maat voor de totale hoeveelheid hoorbaar geluid. Om de luidheid van het geluidsniveau uit te drukken wordt gebruikt gemaakt van de A-weging (dB(A)) welke een benadering is van de frequentiegevoeligheid van het oor.

Er bestaat geen algemeen aanvaarde grootheid die de invloed van geluidsverstoring in verband brengt met het gevolg daarvan op mensen (of dieren) in een stiltegebied. In de Europese richtlijn Omgevingslawaai (2002/49/EG) wordt daarom gesteld dat het gewenst kan zijn om speciale geluidsindicatoren (naast de equivalente geluidsniveaus gedurende de dag-, avond-, en nachtperiode) te gebruiken voor stiltegebieden in een landelijke omgeving. Een indicator wordt niet genoemd. Volgens deze Europese richtlijn Omgevingslawaai kan stilte in agglomeraties beschreven worden met een kwantitatieve definitie (bijvoorbeeld LDEN, het energetisch gemiddelde geluidniveau van dag, avond- en nachtwaarde), terwijl voor een landelijke omgeving een meer kwalitatieve definitie vereist is. ('onverstoord door wegverkeergeluid, industriële of recreatieve activiteiten') (Van den Berg, 2005).

Met betrekking tot vliegtuiglawaai worden door Miller (in: Van den Berg, 2005) twee grootheden voorgesteld, namelijk: een overschrijding van het equivalent niveau van het omgevingsgeluid ($L(A)EQ$ van de bron minus $L(A)EQ$ van het natuurlijke achtergrondniveau) of een percentage van de totale tijdsduur dat een bron hoorbaar is. De USA National Park Service heeft als doel gesteld dat binnen het Grand Canyon National Park de natuurlijke stilte in 50 procent van het grondgebied van het park moet worden teruggebracht en dat gedurende 75 tot 100 procent van de gehele dag (in: Van den Berg, 2005). In Nederland wordt tot nu toe het $L(A)EQ$ voor de gehele dag ($L(A)EQ,24u$) gebruikt als indicator voor geluidsverstoring.

De relatieve stilte staat heden ten dage onder druk in de Nederlandse stiltegebieden en een eenduidige methode waarmee de geluidsverstoring in deze gebieden omschreven dan wel beoordeeld kan worden ontbreekt. De grenswaarde die in de praktijk gehanteerd wordt, is niet vastgelegd in de wetgeving, wellicht omdat men inziet dat de akoestische kwaliteit van een stiltegebied niet met een geluidmaat alleen wordt beschermd. In de beoordeling van stiltegebieden, op de afwezigheid van lawaai, ontbreekt het aan indicatoren waarmee de verschillende vormen van geluidsverstoring uitgedrukt kunnen worden. Dit blijkt ondermeer uit de brief die de huidige staatssecretaris van milieu heeft gestuurd naar de gezondheidsraad, waarin een adviesaanvraag wordt gesteld aangaande gezondheid en stiltegebieden. Een van de vragen die zowel vanuit nationaal als vanuit EU-perspectief gesteld wordt in deze adviesaanvraag is: met welke maten en criteria kan 'stilte' geoperationaliseerd worden ten behoeve van de beoordeling van gebieden in de praktijk? (Gezondheidsraad, 2006)

Het ontbreken van duidelijke indicator(en) voor de verstoring van het achtergrondgeluid bij de beoordeling van stiltegebieden blijkt een gemis. De maatschappelijke relevantie van een beoordelingsmethode wordt aangegeven met de adviesaanvraag maar blijkt ook uit de Europese richtlijn Omgevingslawaai.

1.2 Doelstelling

Dit onderzoek is een eerste opzet in het vervaardigen van een beoordelingsmethode voor stiltegebieden. Volgens de Nederlandse Wet geluidhinder (Wgh) wordt een stil gebied niet gekenmerkt door de afwezigheid van geluid, maar door afwezigheid van lawaai. Preciezer betekent dat: afwezigheid van verstoring van natuurlijk geluid (Gezondheidsraad, 2006, p.25) Binnen stiltegebieden geldt het natuurlijke geluid als

kwaliteitsdoelstelling: ander geluid moet het liefst niet hoorbaar zijn. Daarom is de te ontwikkelen beoordelingsmethode gericht op in welke mate gemotoriseerd (niet-natuurlijk) geluid het natuurlijke niveau hoorbaar overstemt.

De doelstelling van dit onderzoek is een beoordelingsmethode te vervaardigen waarmee op een relatief eenvoudige wijze de hoorbaarheid van gemotoriseerde bronnen binnen een stiltegebied voorspeld kan worden. De beoordelingsmethode betreft het weergeven van de hoorbaarheid van gemotoriseerd geluid en is gericht op het kwantitatieve aspect (het geluidsniveau of de tijdsduur) en niet op het kwalitatieve aspect (zoals de hinderlijkheid van het geluid). Op relatief eenvoudige wijze moet de hoorbaarheid van een geluidsverstoring op basis van de afstand tot de bron voorspeld kunnen worden, gegeven de kenmerken van de bron en het gebied, zoals de snelheid van het voertuig of vliegtuig, het aantal passages per tijdseenheid per voertuigcategorie of vliegtuigklasse, het type wegdek en de mate waarin de bodem en de atmosfeer geluid absorbeert. In verband met de beschikbare tijd binnen de opdracht beperk ik me tot twee algemeen voorkomende bronnen, namelijk vliegverkeer en wegverkeer

De beoordelingsmethode moet informatie geven over de verstoring van het natuurlijk achtergrondniveau in een stiltegebied door gemotoriseerde bronnen. Een ruimtelijke weergave van de geluidsverstoring met geluidscontouren geeft een duidelijk inzicht in de akoestische situatie voor alle betrokkenen in het planproces van stiltegebieden (zoals burgers, overheden, akoestici en beleidsmakers). Een Geografisch Informatiesysteem (GIS) lijkt daarbij een geschikt instrument waarmee de ruimtelijke analyse en visualisatie verricht kan worden, zodat een kaart met de akoestische situatie van een stiltegebied verkregen wordt.

1.3 Onderzoeksvragen en toelichting

Binnen het kader van de hierboven beschreven doelstelling is de centrale vraag: hoe kan de mate van hoorbaarheid van gemotoriseerde bronnen binnen een stiltegebied weergegeven worden? Daarbij gaat het om het beantwoorden van de volgende vragen:

- Welke indicator(en) zijn geschikt voor het uitdrukken van de mate van hoorbaarheid?
- Welke rekenmethode kan toegepast worden om de waarde van de indicator(en) op grotere afstanden te berekenen?
- Kan een vereenvoudigde rekenmethode afgeleid worden, zodat implementatie in een Geografisch Informatiesysteem (GIS) mogelijk is?
- Hoe kan de vereenvoudigde rekenmethode geverifieerd worden?
- Hoe kan de vereenvoudigde methode geïmplementeerd worden in een GIS en levert de implementatie bruikbare informatie op voor planologen?

Hieronder volgt een toelichting op bovenstaande vragen.

Indicatoren en hoorbaarheid

De hoorbaarheid van een geluidsverstoring kan waargenomen worden met het menselijk gehoor door te luisteren. In de EU richtlijn Omgevingslawaai is gesteld dat het voor stille gebieden in een landelijke omgeving gewenst kan zijn om speciale geluidsindicatoren te gebruiken. Indicatoren kunnen uitgedrukt worden in geluidsniveaus, in verstoorde tijd of

in een afstand tot of een categorisering van verschillende geluidsbronnen. De tijd dat een gemotoriseerde bron hoorbaar is, kan door waarneming in het veld vastgelegd worden, bijvoorbeeld als Taud (de tijd dat een bron met het gehoor kan worden waargenomen). Maar Taud kan niet in een registratie van de geluidsmeter worden vastgesteld, aangezien deze registratie slechts een registratie is van het gemeten geluidsniveau, ongeacht de bron. Overigens wordt daarbij de geluidsmeter zo ingesteld dat het geluidsniveau met een A-filter, het A-gewogen geluidsniveau uitgedrukt in dB(A), wordt geregistreerd. Dit is een benadering van het geluidsniveau zoals waargenomen door het gehoor.

Het verschil tussen het gemiddelde geluidsniveau van de mechanische of motorische bron ($L(A)_{EQ,mech}$) en het gemiddelde geluidsniveau van de achtergrond ($L(A)_{EQ,acht}$), zoals voorgesteld door Miller (in: Van den Berg, 2005), lijkt voor min of meer continu geluid een geschikte indicator voor de verstoring van het natuurlijk niveau. In plaats van het geluidsniveau van één bron kan ook het geluidsniveau van alle gemotoriseerde bronnen samen gebruikt worden. Bij wegverkeer is een voorstelling van incidentele passages en meer continue verkeer eenvoudig; voor vliegverkeer geldt dit minder. $L(A)_{MAX,mech}$ lijkt vooralsnog een geschikte indicator voor enkele gebeurtenissen en het $L(A)_{EQ,mech}$ voor meer continue gebeurtenissen.

In het geval van afzonderlijke gebeurtenissen, zoals vliegtuigpassages, is het verschil tussen het maximale geluidsniveau van de bron ($L(A)_{MAX,mech}$) en het niveau van het achtergrondgeluid (Lacht) een mogelijke indicator voor de hoorbaarheid van de gebeurtenissen. Het is waarschijnlijk dat de precieze grootte van dat verschil minder van belang is dan de tijdsduur dat een bepaald verschil C wordt overschreden.

Een aantal indicatoren kan vervolgens geformuleerd worden:

- a) $L(A)_{EQ,mech} - L(A)_{EQ,acht}$
- b) $L(A)_{MAX,mech} - \text{Lacht}$
- c) $T(L(A)_{MAX, mech} > \text{Lacht} + C)$

Om praktische redenen wordt voor het achtergrondniveau het wettelijke referentieniveau L95 gekozen en niet het gemiddelde geluidsniveau van het achtergrondgeluid $L(A)_{EQ,acht}$. Het L95 is het geluidsniveau uitgedrukt in dB(A) dat gedurende 95% van de tijd wordt overschreden. Tijdens de meetperiode is het optredende geluidsniveau dus gedurende 5% van de tijd lager dan het vastgestelde L95-niveau. Deze statistische maat is gemakkelijker in gebruik dan het $L(A)_{EQ,acht}$ waarbij iedere motorische verstoring tijdens de meetperiode handmatig moet worden genoteerd.

Rekenmethoden, afstand en vereenvoudiging

Om een indicator voor de geluidsverstoring te berekenen kan een keuze gemaakt worden uit het bestaande aanbod van akoestische rekenmethoden. Daarbij spelen enkele overwegingen een rol. Ten eerste kunnen in stiltegebieden verre geluiden met het gehoor waargenomen worden. Op grote afstand zijn die verre geluiden meestal hoorbaar als geluiden met een lage frequentie, omdat de hogere geluidsfrequenties onderweg gedempt worden, zoals hoorbaar bij geluid van snelwegen op grote afstand (1 à 2 km). Rekenmethoden die geen rekening houden met dit verschil in demping (per octaafband) zijn daarom niet interessant in dit onderzoek.

Op grotere afstanden is de hoorbaarheid ingewikkelder door het effect van maskering. Hoorbaarheid hangt af van vele andere factoren. De opbouw van de atmosfeer, temperatuur gradiënt en verticale windstroming hebben invloed op de

hoorbaarheid van een geluidsbron. (Van den Berg, 2005). In de bestaande rekenmethoden wordt voor een deel rekening gehouden met deze problematiek. Een mogelijke oplossing, die passend is voor een eerste opzet, is het toepassen van vereenvoudiging op basis van veronderstellingen en zodoende een zekere onnauwkeurigheid te accepteren (binnen bepaalde grenzen).

Een rekenmethode bestaat uit een beschrijving van de relatie tussen emissie (bronsterkte), geluidsoverdracht (geluidsvoortplanting) en immiszie (invallend geluid). Om een vereenvoudigde rekenmethode af te leiden zal op deze relatie nader worden ingegaan.

Daarnaast heeft een akoestische rekenmethode een bepaald toepassingsbereik. Er wordt bijvoorbeeld een geometrische situatie gedefinieerd en/of aanvullende voorwaarden beschreven waarbinnen een rekenmethode gebruikt kan worden. Door de rekenmethoden in een beperkter bereik toe te passen is een vereenvoudiging van de berekening waarschijnlijk mogelijk.

Vereenvoudigde rekenmethoden; implementatie in GIS

Met een afgeleide vereenvoudigde rekenmethode komt de vraag naar voren of er niet teveel concessies gedaan zijn om de vereenvoudiging te bereiken. Dit kan gecontroleerd worden door de berekende waarden uit de vereenvoudigde methode te vergelijken met geluidsmetingen in het veld.

Een duidelijk inzicht wordt verkregen door een ruimtelijke presentatie van de indicatoren waarmee de geluidsverstoring uitgedrukt wordt. In een GIS is informatie ruimtelijk inzichtelijk te maken. Een vereenvoudigde rekenmethode voor het berekenen van een indicator is aantrekkelijk, omdat het de berekening op zich minder omslachtig maakt. Het is verstandig bij de af te leiden vereenvoudiging rekening te houden met de mogelijkheid tot implementatie in een GIS. Daarbij geldt dat de vereenvoudiging niet alleen in één specifieke situatie toepasbaar moet zijn, maar bij meerdere omstandigheden. De implementatie zal moeten leiden tot bruikbare informatie voor bijvoorbeeld planologen, die gewend zijn met contouren te werken en informatie gepresenteerd op deze wijze goed kunnen hanteren.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden drie bestaande akoestische rekenmethoden bestudeerd. Als eerste een meer algemeen rekenmodel waarin de geluidsvoortplanting in het vrije veld is vastgelegd die voldoet aan de internationale standaard norm (ISO). Vervolgens de Nederlandse standaardrekenmethode voor wegverkeer (SRMII) en daarna de International Civil Aviation Organisation (ICAO) rekenmethode voor vliegverkeer ECAC.CEAC Doc. 29. In hoofdstuk 3 wordt ingegaan op de uitwerking van een vereenvoudigde rekenmethode waarmee indicatoren voor geluidsverstoring ten gevolge van weg- en vliegverkeer berekend kunnen worden. In hoofdstuk 4 wordt de waarde van een indicator die berekend is aan de hand van een vereenvoudigde methode geverifieerd door geluidsmetingen in het veld. In hoofdstuk 5 wordt beschreven hoe de vereenvoudigde rekenmethode geïmplementeerd kan worden in een GIS aan de hand van een case.

2 Akoestische rekenmodellen

In de toelichting op de onderzoeksvragen (paragraaf 1.3) zijn indicatoren voor de hoorbaarheid van een geluidsverstoring geformuleerd en uitgedrukt in tijd en/of geluidsniveau. In die formulering worden twee geluidsniveaus gebruikt, namelijk een maximaal geluidsniveau $L(A)_{MAX}$ en een equivalent (gemiddeld) geluidsniveau $L(A)_{EQ}$. Als indicator voor de geluidsverstoring is voorgesteld dat in het geval van incidentele voertuigpassages, zoals de passage van een vliegtuig, het $L(A)_{MAX}$ gebruikt kan worden, en het $L(A)_{EQ}$ voor meer continu verkeer, zoals bij snelwegen.

In dit hoofdstuk wordt onderzocht met welke bestaande akoestische rekenmodellen een geluidsniveau voor de indicatoren van een geluidsverstoring $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$ berekend kan worden. In de beschouwing van deze akoestische rekenmodellen wordt nader ingegaan op de relatie tussen immissie (invalende geluidsniveau), geluidsoverdracht (geluidsvoortplanting) en emissie (bronsterkte). Als eerste wordt de internationale standaard voor de voortplanting van geluid in het vrije veld, zoals vastgelegd in ISO 9613-2, beschreven. Deze rekenmethode is algemeen in de zin dat deze toepasbaar is op verschillende geluidsbronnen. In de EU-richtlijn Omgevingslawaaai is een voorkeur voor het gebruik van een specifieke akoestische rekenmethode voor zowel wegverkeer als vliegverkeer. Daarom worden de twee specifieke rekenmethoden voor wegverkeer en vliegverkeer, namelijk RMW2002 resp. ECAC.CEAC Doc. 29, nader bestudeerd. Vervolgens wordt gekeken naar de relatie tussen emissie, geluidsoverdracht en immissie speciaal met het oog op relatief stille gebieden.

2.1 Algemeen rekenmodel: ISO 9613-2

Een internationale standaard of norm voor de voortplanting van geluid is vastgelegd in het ISO² document 9613-2:1996(E). De verschillende ISO 9613 uitgaven zijn gericht op standaardisatie van normen en specificeren methoden waarmee de voortplanting van geluid in het 'vrije veld' beschreven wordt. De rekenmethode beschreven in ISO 9613 is algemeen in de zin dat deze toegepast kan worden op een grote verscheidenheid aan geluidsbronnen en beschrijft daarbij de belangrijkste dempingfactoren. De methode maakt gebruik van een octaafband algoritme (met nominale middenband frequenties van 63 Hz tot 8 kHz) voor de berekening van geluid geproduceerd door een puntbron of een verzameling van puntbronnen.

² De International Organization for Standardization (ISO) is een internationale organisatie die normen vaststelt.

Uitgangspunt is de basisvergelijking³:

$$L_I = L_E - \sum D \quad [1]$$

L_I	het invallende equivalente geluidsdrukkniveau per octaafband op een waarneempunt in een punt benedenwinds van de geluidsbron
L_E	het emissieniveau per octaafband, geproduceerd door een puntbron
$\sum D$	de demping per octaafband, in decibel, die optreedt tijdens de geluidsoverdracht van de puntbron naar de waarnemer ten gevolge van verschillende dempingfactoren.

$$\sum D = L_{GU} + L_L + L_B + L_{SW} + L_{Div} \quad [2]$$

Waarbij

L_{GU}	demping ten gevolge van geometrische uitbreiding
L_L	demping veroorzaakt door absorptie in de atmosfeer
L_B	demping ten gevolge van het optreden van de bodemabsorptie
L_{SW}	demping die optreedt vanwege een scherm of andere barrière
L_{Div}	demping die optreedt wegens diverse effecten (zoals vegetatie, industriële installaties, en woongebieden)

De rekenmethoden voor het berekenen van de termen in vergelijking [2] worden hier nader toegelicht.

Het equivalent geluidsdrukkniveau in een punt benedenwinds van de bron kan worden verkregen door het sommeren van alle bijdragen van over de tijd gemiddelde gekwadrateerde geluidsdrukkniveaus, berekend volgens de vergelijkingen [1] en [2] voor iedere puntbron en per octaafband:

$$L_I = 10 * \log \left\{ \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^8 10^{0.1[L_i(j)]} \right\} \right\} \text{ dB} \quad [3]$$

Waarbij

n	is het aantal bijdragen i (geluidsbronnen);
j	is een index die de acht standaard octaafband middenband frequenties weergeeft van 63 Hz tot 8 kHz;
L_E	het emissieniveau per octaafband, geproduceerd door een puntbron
L_I	het invallende equivalent geluidsdrukkniveau per octaafband op een waarneempunt in een punt benedenwinds van de bron

³ Volledigheidshalve vgl. [1] in ISO 9613-2: $L_I = L_E + D_C - \sum D$, waarbij D_C staat voor de richtingcorrectie, in decibel, de mate waarin een puntbron in een specifieke richting straalt, een term die in dit onderzoek verondersteld wordt niks te zijn (de bron straalt dan in alle richtingen gelijkmatig) Aan vergelijking [1] kan een meteocorrectie M_c toegevoegd worden zodat bij de berekening van een langdurig gemiddeld immissieniveau rekening gehouden kan worden met de windrichting. Deze meteocorrectie wordt in dit onderzoek verondersteld niks te zijn op een waarneempunt benedenwinds van de bron.

Hieronder volgt een beschrijving van de dempingstermen uit vergelijking [2]. De demping wordt per octaafband berekend.

Geometrische uitbreiding (L_{GU})

De geometrische uitbreiding (L_{GU}) beschrijft de demping door sferische uitbreiding van geluid voor een puntbron in het vrije veld:

$$L_{GU} = 20 \log (r/r_0) + 11 \text{ dB} \quad [4]$$

waarbij

r de afstand van bron tot waarnemer

r_0 de referentieafstand (= 1m)

Luchtabsorptie (L_L)

De demping veroorzaakt door absorptie in de atmosfeer L_L tijdens de voortplanting van geluid over een afstand r , in meters, wordt weergegeven door:

$$L_L = \delta * r \quad [5]$$

waarbij δ de atmosferische dempingcoëfficiënt is en $[\delta] = \text{dB/m}$

Bodemabsorptie (L_B)

De bodemabsorptie is hoofdzakelijk het resultaat van het geluid dat reflecteert tegen het bodemoppervlak en interfereert met de rechtstreekse geluidsoverdracht tussen bron en waarnemer. Het naar beneden afbuigen van het geluidspad tijdens de geluidsoverdracht (meewind) zorgt ervoor dat deze demping hoofdzakelijk wordt bepaald door het bodemoppervlak nabij de bron en naast de ontvanger. Het berekenen van de bodemabsorptie is alleen toepasbaar wanneer bij benadering de bodem vlak is, horizontaal dan wel met een constante helling. Er worden drie verschillende gebieden voor bodemdemping gespecificeerd:

- a) het gebied nabij de bron: dit strekt zich uit over een afstand vanaf de bron (in de richting van de waarnemer) met $30h_b$, met een maximale afstand r_p (h_b is de bronhoogte, en r_p de afstand van bron tot ontvanger, geprojecteerd op het horizontale vlak);
- b) het gebied nabij de waarnemer: dit strekt zich uit over een afstand vanaf de waarnemer (in de richting van de bron) met $30h_w$, met een maximale afstand van r_p (h_w is de hoogte van de waarnemer);
- c) het middengebied: dit strekt zich uit tussen het gebied rondom de bron en het gebied rondom de waarnemer. Als $r_p < (30h_b + 30h_w)$, dan zullen het gebied rond de bron en het gebied rond de waarnemer elkaar overlappen en is er geen middengebied.

De akoestische eigenschappen van de bodemgebieden worden in de berekening meegenomen door de bodemfactor G . Er worden drie categorieën van reflecterende bodemoppervlakten als volgt gespecificeerd.

- Harde bodem: bestrating, water, ijs, beton en alle andere bodemoppervlakken met een lage porositeit. In het geval van een harde bodem geldt $G = 0$.
- Poreuze bodem: bodem bedekt met gras, bomen, of andere vegetatie en alle andere bodemoppervlakken geschikt voor plantengroei, zoals akkerland. In het geval van poreuze grond geldt $G = 1$.
- Gemengde bodem: als de bodem bestaat uit een deels harde en een deels poreuze bodem, dan neemt G een waarde aan variërend tussen 0 en 1, een waarde die overeenkomt met het deel van het gebied dat poreus is.

Om de bodemabsorptie voor een specifieke octaafband te berekenen, wordt eerst de dempingscomponent A_b voor het brongebied berekend met behulp van de bodemfactor G_b (voor het betreffende gebied), vervolgens hetzelfde voor A_w voor het gebied nabij de waarnemer met behulp van bodemfactor G_w en nogmaals voor A_m voor het middengebied met behulp van bodemfactor G_m . De totale bodemdemping voor één octaafband wordt verkregen door:

$$L_B = A_b + A_w + A_m \quad [6]$$

Een beschrijving met formules voor de bodemabsorptie voor de afzonderlijke termen A_b , A_w en A_m staat in bijlage A.

Afscherming (L_{SW})

Een object wordt meegenomen als afschermend obstakel als het aan de volgende eisen voldoet:

- oppervlaktedichtheid is op zijn minst 10 kg/m^2
- het object heeft een gesloten oppervlak zonder grote gaten of scheuren (proces installaties van chemische fabrieken bijvoorbeeld worden genegeerd)
- de horizontale afmeting van het object loodrecht op de afstand tussen bron-waarnemer is groter dan de akoestische golflengte λ in de nominale middenband frequentie voor de betreffende octaafband.

Voor verdere beschouwing en bepaling van afscherming en reflectie wordt verwezen naar bijlage A. Verondersteld wordt dat schermwerking en reflectie in de buurt van stiltegebieden geen rol speelt (zie 2.4).

Diverse effecten (L_{DIV})

Deze laatste term (L_{DIV}) in de geluidsoverdracht vanwege gebladerte, industrie- en woongebieden wordt niet gebruikt in dit onderzoek, omdat aannemelijk is dat geluidsdemping ten gevolge van woongebieden en industriële installaties zich binnen stiltegebieden niet voordoet. Met geluidsdemping vanwege vegetatie wordt bedoeld de demping ten gevolge van een bladerdek met hoge dichtheid en een bomenrij van minimale afmeting loodrecht op het pad van de geluidsvoortplanting. De dichtheid van het bladerdek wordt verondersteld visueel, door de waarnemer, te worden vastgesteld en kan daardoor onderwerp worden van discussie. Bovendien is deze term maar enkele maanden (minder dan 5) per jaar uitgaande van het Nederlandse klimaat toepasbaar. Daarbij komt dat deze term niet overal toepasbaar is maar afhankelijk van de

aanwezigheid van een (loof)bomenrij van voldoende afmeting (ongeveer 100 meter) tussen geluidsbron en waarnemer. Om deze redenen wordt demping vanwege vegetatie niet in dit onderzoek uitgewerkt.

2.2 Rekenmodel wegverkeer: RMW2002

In de aanbeveling van de commissie van 6 augustus 2003 betreffende “richtsnoeren inzake de herziene voorlopige berekeningsmethode voor industrielawaai, wegverkeerslawaai en spoorweglawaai en desbetreffende emissiegegevens”, overeenkomstig richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement (C(2003) 2807) worden voorlopige berekeningsmethoden aanbevolen voor de bepaling van LDEN en Lnight (het equivalent geluidniveau over de nachtperiode) voor lidstaten die nog niet over een nationale berekeningsmethode beschikken. Voor het wegverkeerslawaai wordt de Franse berekeningsmethode ‘NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)’ of “XPS 31-133” aanbevolen.

Nederland hanteert echter een nationale berekeningsmethode (Reken en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaai 2002), als bedoeld in artikel 102 van de Wet geluidhinder. In dit onderzoek wordt dan ook het Nederlandse Reken en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaai 2002 onder de loep wordt genomen.

Het RMW2002 bestaat uit het Standaard Rekenmethode II (SRM-II) en SRM-I. In SRM-II wordt de berekening van het geluidsniveau bepaald over de verschillende octaafbanden in tegenstelling tot het SRM-I. Het equivalente geluidsniveau $L_{(A)EQ}$ in dB(A) wordt gevonden uit de sommatie over de verschillende octaafbanden. In het RMW2002 wordt gebruikgemaakt van een segmentatietechniek, (sectorindeling) bij de geometrische modellering van de werkelijkheid. Een sector is het wegdeel (rijlijn) gezien vanuit de waarnemer tussen twee sectorvlakken. De rijlijn geeft de plaats van de geluidsafstraling weer, dat wil zeggen het midden van een rijstrook, op 75 cm boven het wegdek. Een sectorvlak is het verticale vlak door het waarneempunt en een punt op de rijlijn. Op deze manier kan een wegdeel (rijlijn) opgedeeld worden in sectoren (segmenten). Deze sectorindeling dient qua geometrie en de verkeerssituatie zo goed mogelijk overeen te komen met de ruimtelijke werkelijkheid. Een sectorhoek, dat wil zeggen de hoek tussen twee sectorvlakken, kan worden begrensd door uit te gaan van een vaste of een variabele openingshoek bij het waarneempunt. De totale openingshoek is een som van de verschillende sectorhoeken.

De hoofdformule, het equivalente geluidsniveau in dB(A), het $L_{(A)EQ}$, wordt als volgt berekend:

$$L_{(A)EQ} = 10 * \log \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N \sum_{m=lv}^{ZV} 10^{L_{(A)EQ, i, j, n, m} / 10} \quad [7]$$

Waarbij $L_{(A)EQ, i, j, n, m}$ de bijdrage is aan het $L_{(A)EQ}$ in één octaaf (index i), van één sector (index j), van één bronpunt (index n) en van één voertuigcategorie (index m)

Het aantal bronpunten N binnen één sector wordt bepaald door het aantal malen dat het betreffende sectorvlak een rijlijn (segment) snijdt. De sommatie aangegeven met de index m vindt plaats over drie te onderscheiden voertuigcategorieën namelijk: lichte (m = lv), middelzware (m = mv) en zware (m = zv) voertuigen. Daarnaast kunnen ook andere voertuigen, zoals brommers en motoren, meegenomen worden, mochten deze een relevante bijdrage leveren.

Er wordt gesommeerd over de octaafbanden met indices i = 1 tot en met i = 8 met middenfrequenties van respectievelijk 63, 125, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz.

$L_{(A)EQ,i,j,n,m}$ wordt berekend volgens:

$$L_{(A)EQ,i,j,n,m} = L_E + \Delta L_{GU} + \Delta L_{OPTREK} - \Delta L_L - \Delta L_B - C_M - \Delta L_{SW} - \Delta L_R - 58,6 \quad [7a]$$

Waarbij

$L_{(A)EQ}$	gelijk is aan het invallende geluidsniveau (immissieniveau)
L_E	het emissieniveau
L_{OPTREK}	de optrektoeslag (indien van toepassing)
L_{GU}	geometrische uitbreidingsterm
L_L	luchtabsorptie
L_B	bodemabsorptie
C_M	de meteocorrectieterm
L_{SW}	de schermwerking (indien van toepassing)
L_R	de niveaureductie ten gevolge van reflecties (indien van toepassing)
58,6	een niet nader in het RMW2002 gespecificeerde constante

Het gebruik van de verschillende termen voor de berekening van de demping is afhankelijk van de werkelijke situatie. In de formule [7a] is de basisvergelijking [1] $L_i = L_E - \sum D$ herkenbaar.

Emissieterm

Bronkenmerken worden beschreven in de emissieterm:

$$L_E = 10 * \text{Log} (Q/v) + \alpha + \beta * \text{Log} (v/ v_0) + C_W + C_H \quad [7b]$$

Waarbij

Q	gemiddelde voertuigintensiteit van de betreffende voertuigcategorie in aantal voertuigen per uur
v	gemiddelde snelheid van de betreffende voertuigcategorie in km/u
v_0	de referentiesnelheid van de betreffende voertuigcategorie in km/u, 80 km/u voor lichte motorvoertuigen (m = lv) en 70 km/u voor middelzware en zware motorvoertuigen (m = mv, resp. m = zv)
C_W	de wegdekcorrectie in dB(A)
C_H	de hellingcorrectie in dB(A)
α	emissiekental voor de betreffende voertuigcategorie en referentiesnelheid
β	emissiekental voor de betreffende voertuigcategorie en referentiesnelheid

Waarin het equivalente bronvermogensniveau van de betreffende voertuigcategorie:

$$\alpha + \beta * \log (v/v_0) \quad [7c]$$

Wegdekcorrectie C_w

Bij de berekening van het immissieniveau wordt voor een wegdektype dat afwijkt van een DAB-wegdek (referentiewegdek) een correctie toegepast op het bronvermogen. De wegdekcorrectie is het verschil tussen het emissiegetal van het referentiewegdek en het emissiegetal van het afwijkende wegdektype. Daarnaast is de wegdekcorrectie afhankelijk van de snelheid en de verkeerssamenstelling. De onderstaande term beschrijft dit verband:

$$C_{w_i,m} = \Delta L_{m,i} + b_m * \text{Log} (v_m/v_{0m}) \quad [8]$$

Waarbij

- v_0 de referentiesnelheid van de betreffende voertuigcategorie in km/u
 $L_{m,i}$ verschil in wegdekcorrectie bij de referentiesnelheid v_0
 b_m snelheidsindex per decade snelheidstoename

De actuele wegdekcorrectiefactoren, $L_{m,i}$ en b_m , zijn gegeven op de website www.stillerverkeer.nl voor een groot aantal wegdekken.

De hellingcorrectie C_H

Wanneer een rijbaan een stijgend deel bevat met een helling P van tenminste 3% over een hoogteverschil van minstens 6 m, dan wordt een hellingcorrectie toegepast en wel als volgt:

$$\text{Voor de categorie lichtverkeer: } C_H = 0,25 P - 0,75 \quad [9a]$$

$$\text{en voor de overige categorieën resp. mv en zv: } C_H = 0,75 - 1,5 \quad [9b]$$

De geometrische uitbreidingsterm L_{GU}

Voor de berekening van de geometrische uitbreidingsterm zijn de volgende gegevens nodig:

- r_0 kortste afstand tussen bron- en waarneempunt, waarbij het bronpunt overeenkomt met het snijpunt van een sectorvlak en rijlijnsegment
 φ hoek die het sectorvlak maakt met het rijlijnsegment (in graden)
 θ openingshoek van de sector (in graden)

De berekening van L_{GU} is:

$$\Delta L_{GU} = 10 * \log (\varphi / r_0 * \sin(\theta)) \quad [10]$$

Als voorwaarde voor de berekening van de geometrische uitbreidingsterm geldt dat de hoek die het sectorvlak maakt met het rijlijnsegment niet kleiner is dan de openingshoek van de overeenkomstige sector.

Luchtabsorptie LL en bodemabsorptie LB

Luchtabsorptie en bodemabsorptie komen sterk overeen met ISO 9613-2 rekenmethode. De verschillen in de syntax van de formules zijn gering. Enkele constanten verschillen onderling wel. Om een vergelijking met ISO 9613-2 mogelijk te maken zijn de luchtdemping en bodemdemping zoals gebruikt in RMW2002 opgenomen in bijlage A.

2.3 Rekenmodel vliegverkeer: ECAC.CEAC Doc. 29

Voor het vliegverkeer wordt in richtlijn 2002/49/EG van het Europees Parlement de voorkeur gegeven aan: ECAC.CEAC Doc. 29 „Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports”, 1997. Van de verschillende methoden voor de modellering van vliegroutes wordt weer een segmentatietechniek gekozen (uiteengezet in deel 7.5 van ECAC.CEAC Doc. 29). Met segmentatietechniek wordt bedoeld dat de vliegroute in segmenten wordt opgedeeld.

In dit document worden twee geluidsmaten gehanteerd waarmee de hoeveelheid geluid op een waarneempunt aangegeven wordt voor een enkele gebeurtenis (bijvoorbeeld de passage van één vliegtuig) of voor de totale hoeveelheid geluid over een bepaalde tijd. Deze twee algemeen gebruikte maten voor afzonderlijke gebeurtenissen zijn: het maximale geluidsniveau gedurende een gebeurtenis of de geluidsdosis of Sound Exposure Level (SEL) van de gehele gebeurtenis in tijd T.

Het maximale geluidsniveau $L(A)_{MAX}$ is eenvoudig de grootste van de segmentwaarden $L(A)_{MAX,SEG}$

$$L(A)_{MAX} = \max(L(A)_{MAX,SEG}) \quad [11]$$

De geluidsdosis L_{SEL} wordt berekend als de logaritmische som van de bijdragen van $L_{SEL,SEG}$ van ieder geluidssignificant segment van het vliegpad.

$$L_{SEL} = 10 \cdot \log \left(\sum 10^{L_{SEL,SEG}/10} \right) \quad [12]$$

Voor ieder vliegpadssegment wordt een maximaal geluidsniveau $L(A)_{MAX}$ of een waarde voor de geluidsdosis SEL bepaald voor het betreffende vliegtuig aan de hand van de Noise Performance Distance (NPD) datatabel waarin motorvermogen P en afstand d zijn uitgezet.

De international Aircraft Noise and Performance (ANP) database is gevuld met gegevens over vliegtuiggeluid³. Hierin staan $L(A)_{MAX}$ en L_{SEL} getabuleerd als functie van de afstand d voor verschillende vliegtuigtypen, variaties in type, vluchtconfiguratie (landing, vertrek, flapstanden) en instellingen van het motorvermogen P. Deze geluidsniveaus zijn voor een enkele gebeurtenis (vliegtuigpassage) getabuleerd als

³ In Nederland beheert het Nationaal Lucht- en Ruimtevaart laboratorium de geluidsprestatiegegevens van vliegtuigen.

functie van de afstand d voor een referentiesituatie. In de referentiesituatie is de afstand d gelijk aan die (verticaal onder het vliegtuig in een “non-banked” vlucht) loodrecht onder een perfect horizontaal rechtlijnige route die het toestel volgt met de referentiesnelheid (V_0), in een referentie atmosfeer (ISA⁴). Omdat de getabuleerde data vast is gelegd voor de referentiesituatie is rekening gehouden met geluidsdempende effecten die veroorzaakt worden door sferische uitbreiding en atmosferische absorptie.

Met het opzoeken van de input-waarden P en d worden output-waarden verkregen voor de niveaus van $L(A)_{MAX}(P,d)$ en/of $LSEL(P,d)$ (toepasbaar bij een oneindig recht vliegpad). Tenzij waarden voor P en/of d exact getabuleerd zijn, is het noodzakelijk om de vereiste geluidsniveaus voor een gebeurtenis met behulp van interpolatie te benaderen. Lineaire interpolatie wordt gebruikt bij getabuleerde verschillende instellingen van het motorvermogen en bij afstanden wordt een logaritmische interpolatie tussen tabelwaarden gebruikt.

De NPD-data geven geluidsniveaus weer als een functie van vermogen en afstand in de referentiesituatie. Voor een vliegptuigpassage die afwijkt van de referentiesituatie zal daarom gecorrigeerd moeten worden. Er kan gecorrigeerd worden voor afwijkingen en optredende effecten die verschillen ten opzichte van de referentiesituatie, zoals snelheid, motor installatie effecten (horizontale richting), laterale demping, eindige segment lengte en longitudinale richting bij de startrol tijdens de start. Op dit laatste effect wordt niet ingegaan, omdat deze alleen optreedt bij de start. De overige effecten worden nader toegelicht.

Het maximale geluidsniveau van een vluchtpad-segment $L(A)_{MAX,SEG}$ wordt gegeven met:

$$L(A)_{MAX,SEG} = L(A)_{MAX}(P,d) + \Delta I - \Lambda(\beta, l) \quad [13a]$$

en de bijdrage van een vluchtpad-segment aan de geluidsdosis $LSEL$ met:

$$LSEL_{,SEG} = LSEL(P,d) + \Delta V + \Delta I - \Lambda(\beta, l) + \Delta F \quad [13b]$$

waarbij

- β de elevatie hoek is ten opzichte van het grondvlak
- l (loodrechte) afstand van een waarneempunt tot het geprojecteerde vliegpad op het (horizontale) grondvlak

De correctie termen in vergelijking [13] beschrijven de volgende effecten:

Duur correctie: ΔV

Deze correctie is alleen van belang wanneer een geluidsdosis berekend wordt vergelijking [13b]. De NPD-data zijn gegeven bij een referentie vluchtsnelheid. Voor niet-referentie snelheden dient de geluidsdosis opnieuw bepaald te worden uit de NPD-data.

⁴ ISA, Internationale Standaard Atmosfeer. ISA op zeeniveau: luchtdruk 1013 hPa, luchtdichtheid 1,225 kg/m³, temperatuur 15°, relatieve vochtigheid 70%.

Segment correctie: ΔF

De Segment correctie beschrijft een eindige lengte van het segment dat duidelijk minder aan de geluidsdosis bijdraagt dan een oneindig segment. Daarom wordt deze correctie alleen toegepast bij geluidsdosismaten (SEL).

Installatie effect: ΔI

Met het installatie effect wordt gecorrigeerd voor het effect van geluidsverdichting dat optreedt in horizontale richting ten gevolge van schermwerking, refractie en reflectie die veroorzaakt worden door de afmetingen van het vliegtuig, positie van motoren en luchtstromingen.

Het installatie effect treedt met name op wanneer vanuit zijaanzicht op het (“non-banked”) oneindig rechte vliegp pad de elevatie hoek β tussen de 0 en 30 graden bedraagt, met β tussen de 60 en de 90 graden is dit effect bijna niet aanwezig.

Het installatie effect kan alleen toegepast worden voor vliegtuigen met een staartmotor en/of met motoren onder de vleugels. Wanneer een toestel niet voldoet aan deze vliegtuigconfiguratie, wordt het gebruik van het installatie effect sterk vereenvoudigd. In het geval van propellervliegtuigen is dit effect verwaarloosbaar en wordt daarom niet bij propellervliegtuigen gebruikt.

Laterale demping: $\Lambda(\beta, l)$

Laterale demping is van belang in een situatie met een kleine elevatiehoek, $\beta < 50$ graden. Laterale demping is een reflectie-effect dat optreedt als gevolg van interferentie tussen direct geluid en via het bodemoppervlak reflecterend geluid (grondeffect). Dit kan leiden tot een sterke verlaging van het immissieniveau.

$$\Lambda(\beta, l) = T(l) * \Lambda(\beta) \quad [14]$$

$$T(l) = 1.089 * ((1 - \exp(-0.00274 * l)) \quad 0 \leq l \leq 914 \text{ m} \quad [14a]$$

$$T(l) = 1 \quad l \geq 914 \text{ m}$$

$$\Lambda(\beta) = 1.137 - 0.0229 * \beta + 9.72 * \exp(-0.142 * \beta) \quad 0^\circ \leq \beta \leq 50^\circ \quad [14b]$$

$$\Lambda(\beta) = 0 \quad 50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$$

Daarnaast wordt laterale demping beïnvloed door atmosferische refractie en turbulentie, die afhankelijk zijn van de temperatuur- en windgradiënt. Refractie en turbulentie breken geluidsgolven wanneer die zich zijwaarts vanaf het vliegp pad voortplanten richting de waarnemer. Deze effecten treden op bij een niet-uniforme atmosfeer en bodemoppervlak en worden voornamelijk veroorzaakt door de aard van het bodemoppervlak.

Het effect van laterale demping is bruikbaar voor - vanuit akoestisch perspectief - zachte bodems en niet voor harde oppervlakten, zoals beton en water. Het effect van laterale demping voor harde oppervlakten wordt momenteel nog onderzocht.

2.4 Rekenmodellen en stille gebieden

Uit de beschrijving van voorgaande akoestische rekenmodellen blijkt dat geluidverstoringen veroorzaakt door weg- of vliegverkeer berekend kan worden. Deze immissieniveaus worden gebruikt om verschillende geluidverstoringen met de indicatoren L(A)MAX en/ of L(A)EQ weer te geven. Om het niveau van de indicatoren te bepalen zullen de rekenmodellen daarom toegepast moeten worden binnen stille gebieden. In tabel 2.4.1 wordt een overzicht gegeven van de rekenmodellen en welke indicator berekend kan worden en tot welke afstand het rekenmodel toegepast kan worden.

Rekenmodel	L(A)MAX	L(A)EQ	Afstand
ISO 9613-2	Ja	Ja	tot 1000 m (± 3 dB)
RMW2002	Nee	Ja	tot 500 m
ECAC.CEAC Doc. 29	Ja	Ja	tot 6000 m

Tabel 2.4.1: Overzicht van rekenmodellen waarbij aangegeven is of, en tot welke afstand een maximaal geluidsniveau L(A)MAX of equivalent geluidsniveau L(A)EQ bepaald kan worden

De keuze voor een rekenmodel is afhankelijk van het type bron dat de geluidsverstoring veroorzaakt en de afstand waarbinnen het rekenmodel toegepast kan worden. Vervolgens moet na de keuze voor een rekenmodel rekening gehouden worden met allerlei factoren die meegenomen worden in de berekening van het immissieniveau.

Ten eerste zijn er emissie gerelateerde factoren. In de rekenmodellen voor weg- en vliegverkeer wordt rekening gehouden met bronkenmerken die van invloed zijn op het emissieniveau, zoals voertuigsnelheid, hellingspercentage van het wegdek en het vliegtuigtype. Dit in tegenstelling tot het ISO 9613-2 rekenmodel waarvoor alleen een emissieniveau of bronsterkte noodzakelijk is.

Daarnaast wordt in de akoestische rekenmodellen rekening gehouden met factoren van invloed op de geluidsoverdracht. Omgevingskenmerken, ruimtelijke kenmerken en atmosferische omstandigheden van invloed op de geluidsoverdracht worden beschreven met de verschillende dempingfactoren, zoals demping aan de atmosfeer en schermwerking. Overigens verschillen per rekenmodel de dempingfactoren die de geluidsoverdracht verklaren. In een drukke ruimtelijke omgeving, zoals het centrum van een stad, zal relatief vaker rekening gehouden moeten worden met de complexe dempingfactoren schermwerking en reflectie dan in een natuurlijke omgeving. Binnen stille gebieden gelegen in een natuurlijke omgeving zal tenminste rekening gehouden moet worden met drie dempingfactoren, namelijk geometrische uitbreiding, lucht- en bodemabsorptie. Vanuit akoestisch perspectief is dit een eenvoudige situatie. Deze eenvoudige situatie wordt in ISO 9613-2 beschreven met vergelijking: [2]

$$\Sigma D = LGU + LL + LB$$

Om de verschillende geluidsverstoringen in stille gebieden ten gevolge van twee algemeen voorkomende gemotoriseerde bronnen weer te geven, namelijk weg- en vliegverkeer weer te geven zijn verschillende akoestische rekenmodellen nodig. Het berekenen van de geluidsverstoring voor stille gebieden met behulp van twee of drie verschillende rekenmodellen is een ingewikkelde en tijdsintensieve opgave. Daarom wordt in hoofdstuk 3 onderzocht of de berekening van de geluidsverstoring eenvoudiger kan.

3 Vereenvoudigd rekenmodel voor stille gebieden

In dit hoofdstuk wordt een vereenvoudigd rekenmodel afgeleid waarmee geluidsverstoringen veroorzaakt op relatief grote afstand door weg- of vliegverkeer in stille gebieden kan worden gekwantificeerd.

Dit vereenvoudigd rekenmodel is toepasbaar binnen een relatief eenvoudige omgeving, een typisch stil landelijk gebied. Deze relatief eenvoudige omgeving geldt als een referentieomgeving voor stille gebieden. In deze referentieomgeving worden twee indicatoren voor het uitdrukken van de mate van hoorbaarheid van een geluidsverstoring gebruikt, namelijk $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$. Indicator $L(A)_{MAX}$ wordt gebruikt om een geluidsverstoring veroorzaakt door de passage van een afzonderlijk voertuig uit te drukken en met indicator $L(A)_{EQ}$ wordt gebruikt om een geluidsverstoring veroorzaakt door een continue passage van voertuigen weer te geven.

Om het immissieniveau van deze indicatoren met het vereenvoudigd rekenmodel te bepalen wordt eerst een referentiesituatie in akoestische termen opgesteld. Aan de hand van deze akoestische gekwantificeerde referentiesituatie wordt het vereenvoudigd rekenmodel afgeleid waarbij het ISO 9613-2 rekenmodel als leidraad dient.

De toepasbaarheid van het vereenvoudigd rekenmodel wordt vergroot wanneer het vereenvoudigd rekenmodel in een situatie kan worden gebruikt die afwijkt van de referentiesituaties. Om dit mogelijk te maken worden voor afwijkende situaties correctiefactoren afgeleid.

3.1 Vereenvoudigde omgeving

Op het Nederlandse platteland kan een verstoring van het omgevingsgeluid een bron op grote afstand zijn, bijvoorbeeld een vliegtuig. Maar meer lokale bronnen zijn ook hoorbaar, zoals een langsrijdende auto. De ligging van relatief stille gebieden wordt gekenmerkt door een relatief grote afstand tot lawaaiige activiteiten, zoals grote industriegebieden, (inter)nationale luchthavens of sterk verstedelijkte omgevingen. Stille gebieden komen daarom relatief vaker voor in een landelijke omgeving. De overheersende bestemming in stille gebieden bestaat veelal uit natuur, landbouw of een combinatie van die twee. Tot de bestemming natuur kan ook een waterrijke omgeving van plassen, meren en brede watergangen gerekend worden en tevens zijn stille gebieden toegankelijk voor extensieve recreatie.

Een typisch stil gebied is een relatief eenvoudige landelijke omgeving die voldoet aan de volgende beschrijving:

- Een overwegend vlak landschap buiten de bebouwde kom, zonder overheersende bebouwing (met hoge dichtheid);
- De volgende bodemoppervlakken komen voor: natte of waterrijke bodems, zoals plassen en meren, en droge bodems al dan niet bedekt met vegetatie;
- In een windmee situatie zijn geluidsbronnen op relatief grote afstand hoorbaar;
- Wegen bevinden zich op dezelfde hoogte als het maaiveld;

- Vliegverkeer wordt gespreid en relatief hoog in de lucht waargenomen op een constante hoogte en lijkt een oneindig rechte baan te beschrijven. Deze relatief eenvoudige landelijke omgeving wordt aangeduid met referentieomgeving.

3.2 Vereenvoudigd rekenmodel

De referentieomgeving voor stille gebieden is vanuit akoestisch perspectief een eenvoudige situatie. Gezien de eenvoudige omgeving kan een vereenvoudigd rekenmodel opgesteld worden waarmee de indicatoren $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$ berekend kunnen worden om de verschillende geluidsverstoringen weer te geven. Daarbij dient het ISO 9613-2 rekenmodel als leidraad. Het uitgangspunt van het vereenvoudigd rekenmodel is gelijk aan het ISO 9613-2 rekenmodel namelijk vergelijking [1] : $L_I = L_E - \Sigma D$. De dempingfactoren ΣD die optreden binnen de referentieomgeving zijn geometrische uitbreiding en lucht- en bodemabsorptie.

Er wordt een referentiesituatie opgesteld voor zowel weg- als vliegverkeer waarbinnen het vereenvoudigd model toepasbaar is. Overigens dient de referentiesituatie ook om correctiefactoren af te leiden, waarmee geluidsverstoringen in situaties die afwijken van de referentiesituatie berekend kunnen worden.

In het ISO 9613-2 rekenmodel wordt vermeld dat de rekenmethode niet geschikt is om geluidsverstoring veroorzaakt door vliegverkeer te berekenen. Desondanks wordt in paragraaf 3.4 onderzocht of het ISO 9613-2 rekenmodel bruikbaar is om een het niveau van indicator $L(A)_{MAX}$ te berekenen die de geluidsverstoring door de passage van een afzonderlijk vliegtuig weergeeft.

Om indicator $L(A)_{EQ}$ te berekenen voor een geluidsverstoring ten gevolg van wegverkeer wordt gebruik gemaakt van indicator $L(A)_{MAX}$.

Emissie

In het ISO 9613-2 rekenmodel wordt in vergelijking [1] het emissieniveau L_E van een puntbron per octaafband ingevoerd.

In het geval van vliegverkeer is het emissieniveau per octaafband van een vliegtuigtype niet voorhanden. Daarom wordt het emissieniveau bepaald aan de hand van referentiespectra. Ook zal er gekeken worden of er gebruik kan worden gemaakt van de geluidprestatie gegevens van het Nederlands Lucht- Ruimtevaartlaboratorium (NLR), vastgelegd in NLR contract rapport. CR 96650L. Versie 8 Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting. Geluidsniveaus, prestatiegegevens en indeling naar categorie (Jong, R. de, Vogel, P.1996)

Bij geluidsverstoringen door wegverkeer wordt het emissieniveau afgeleid uit de emissie-term [7] voor het wegverkeer gegeven in het RMW2002. Deze term kan niet direct gebruikt worden om een emissieniveau te bepalen, omdat in de emissie-term verschillende factoren worden meegenomen, zoals de intensiteit van het wegverkeer, wegdektype en een hellingcorrectie.

Geluidsoverdracht ΣD

In de referentieomgeving van stille gebieden wordt verondersteld dat de demping tijdens de geluidsoverdracht bestaat uit: geometrische uitbreiding L_{GU} , bodemdemping L_B en

absorptie aan de atmosfeer LL. De geluidsoverdracht in het ISO 9613-2 rekenmodel wordt weergegeven met vergelijking [2]: $\Sigma D = LGU + LB + LL$

De demping als gevolg van geometrisch uitbreiding wordt in het ISO 9613-2 rekenmodel gegeven met vergelijking [4]: $LGU = 20 * \log (r/r_0) + 11$ voor iedere octaafband waarbij wordt uitgegaan van een situatie waarin het bronvermogen van een puntbron wordt ingevoerd. De syntax van de vergelijking is te schrijven als $LGU = A * \log (r/r_0) + C$.

In het ISO 9613-2 rekenmodel wordt de demping als gevolg van luchtabsorptie gegeven met vergelijking [5] $LL = \delta * r$. De luchtabsorptie verhoudt zich lineair met de afstand en is te schrijven als $LL = B * r$. De grootte van de luchtabsorptie verschilt per octaafband. De waarde van de luchtabsorptiecoëfficiënt is afhankelijk van het percentage luchtvochtigheid en de temperatuur in graden Celsius. In het vereenvoudigd rekenmodel wordt voor B een gemiddelde waarde voor de luchtabsorptiecoëfficiënt afgeleid waarvan de grootte afhankelijk is van de atmosferische omstandigheden vastgelegd in de referentiesituatie.

De bodemabsorptie wordt in de rekenmodellen RMW2002 en ISO 9613-2 met complexe formules beschreven. Bij de berekening van die bodemdemping worden in de lagere octaafbanden constante waarden gebruikt en in de hogere octaafbanden complexe machten. Uit de formules is af te leiden dat op grote afstand tussen bron en waarnemer de bodemdemping een constante waarde benadert. Daarom wordt verondersteld dat de grond demping op grote afstanden benaderd kan worden met een constante C (zie figuur A.2).

Vereenvoudigd rekenmodel

Een vereenvoudigd rekenmodel kan op basis van vergelijking [1]: $LI = LE - \Sigma D$ en vergelijking [2]: $\Sigma D = LGU + LB + LL$ uit het ISO 9613-2 rekenmodel als volgt beschreven worden.

$$[1] \text{ en } [2] \quad \Rightarrow \quad LI = LE + A * \log (r/r_0) + B * r + \Sigma C \quad [15]$$

Waarin

LI	L(A)MAX
A, B	dempingcoëfficiënten in de geluidsoverdracht
r	is de kortste afstand tussen bron en waarnemer
r ₀	referentie afstand is gelijk aan 1 meter
LE	emissieniveau
ΣC	som van constante C

De dempingcoëfficiënten A, B en C bepalen de mate van demping tijdens de geluidsoverdracht. De coëfficiënten dient voor indicator L(A)MAX bepaald te worden. Dit kan door de coëfficiënten A, B en C zodanig aan te passen totdat de immissiewaarde van het vereenvoudigd rekenmodel met de berekende immissiewaarden van het ISO 9613-2 rekenmodel overeenkomen. Daarbij wordt de situatie, waarin de geluidsverstoring zich voordoet, in akoestische termen gekwantificeerd en in het ISO 9613-2 rekenmodel

ingevoerd. Vervolgens worden, door middel van de kleinste kwadratenmethode, de coëfficiënten A, B en C uit het vereenvoudigd rekenmodel bepaald.

Referentiesituatie en correctiefactoren

Om voor verschillende geluidsverstoringen binnen de referentieomgeving voor stille gebieden niet telkens weer opnieuw de dempingcoëfficiënten A, B en C af te leiden, wordt een referentiesituatie opgesteld. Met een referentiesituatie wordt een geluidsverstoring in akoestische termen gekwantificeerd zoals die zich werkelijkheid veelal voordoet binnen de referentieomgeving voor stille gebieden. De dempingcoëfficiënten A, B en C veranderen niet binnen deze referentiesituatie, de referentiesituaties van wegverkeer(3.3) en vliegverkeer(3.4). verschillen onderling wel.

Met behulp van een referentiesituatie kan eenvoudig het immissieniveau van indicator $L(A)_{MAX}$ in andere situaties berekend worden. Het immissieniveau van de indicator in de nieuwe situatie kan worden berekend door deze nieuwe situatie in het ISO 9613-2 rekenmodel in te voeren. Het verschil tussen het immissieniveau in de referentiesituatie L_{ref} en het immissieniveau L_I in de nieuwe situatie kan met een correctiefactor C_k weergegeven worden. Voor enkele niet-referentiesituaties zijn correctiefactoren berekend en opgenomen in een Tabel 3.3.1.3. Op deze manier kan rekening gehouden met factoren die de geluidsoverdracht beïnvloeden, zoals bronkenmerken en gebiedskenmerken.

3.3 Wegverkeer in referentiesituatie

De verschillende geluidsverstoringen ten gevolge van wegverkeer binnen een referentieomgeving voor stille gebieden kunnen met het vereenvoudigd rekenmodel uitgedrukt worden in de indicatoren $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$. Om een waarde voor een indicator te berekenen dient daarvoor eerst een referentiesituatie voor wegverkeer opgesteld te worden. In de referentiesituatie worden enkele aannames in akoestische termen gekwantificeerd.

- het voertuig verplaatst zich langs een oneindig rechte lijn op een hoogte van 0,75 meter boven het maaiveld
- snelheid van het voertuig is constant en gelijk aan de ter plaatse geldende maximum snelheid
- de kortste afstand tussen bron en waarnemer is de afstand r , $r > 100$ meter
- met waarneemhoogte op 1,80 meter boven het maaiveld
- het voertuig behoort tot de categorie lichte voertuigen (lv)
- het wegdektype is standaard open asfaltbeton (DAB)
- hellingspercentage van het wegdek is kleiner dan 3%
- de openingshoek, is de hoek in het waarneempunt tussen het begin- en eindpunt van een wegdeel

Uitgaande van het gemiddelde Nederlandse weer in de zomermaanden en rekening houdend met de referentieomgeving voor stille gebieden, worden de volgende atmosferische omstandigheden en gebiedskenmerken verondersteld.

- 15 graden Celsius en luchtvochtigheid van 80%
- verharde weg en zachte bodem met vegetatie

Het vereenvoudigd rekenmodel in de referentiesituatie voor wegverkeer wordt gegeven met:

$$L_{Iref} = LE + A * \log (r/r_0) + B * r + \Sigma C \quad [15]$$

3.3.1 Incidentele passage L(A)MAX

De indicator L(A)MAX wordt gebruikt voor de passage van een afzonderlijk voertuig en gedurende de passage is een maximaal geluidsniveau waar te nemen. Om het maximale geluidsniveau op een afstand r van de bron te bepalen zal een emissieniveau LE ingevoerd moeten worden en een waarde voor de coëfficiënten A, B en C.

Emissie

Geluidsverstoring door wegverkeer bestaat uit een geluidemissie veroorzaakt door verschillende typen motorvoertuigen. Het Nederlandse rekenmodel voor wegverkeer, het RMW 2002, onderscheidt drie categorieën motorvoertuigen voor de berekening van de geluidsemmissie, namelijk lichte, middelzware en zware motorvoertuigen. Voor iedere voertuigcategorie kan met behulp van de emissie-term [7c] uit het RMW2002 voor verschillende snelheden een emissieniveau berekend worden. De emissiekentallen α , β en de referentiesnelheid v_0 zijn per motorvoertuigcategorie gegeven.

$$LE = \alpha + \beta * \log (v/v_0) \quad [7c]$$

Met het RMW2002 kan het gemiddelde geluidsniveau veroorzaakt door wegverkeer berekend worden. Het emissiekental α in [7c] representeert in RMW2002 het equivalent bronvermogen, van de desbetreffende voertuigcategorie en bijbehorende referentiesnelheid, per kilometer.

Een controle van het emissieniveau per voertuigcategorie volgt uit bestudering van de geluidmonitor uitgebracht door het RIVM. In dit rapport wordt de gemiddelde geluidemissie per voertuig van het verkeer in dB(A), bij een meetpost langs de rijksweg A2 bij Breukelen bepaald (J. Jabben, Geluidsmonitor 2004). Met gegevens uit dit rapport (zie tabel 3.3.1.1 en 3.3.1.2) en de formule voor het emissieniveau [7c] uit het RMW2002

		2000	2001	2002	2003			2000	2001	2002	2003
licht verkeer	Dag	106,7	106,9	107,1	107,5	licht	Dag	102	102	106	104
	Nacht	107,5	108,0	108,3	108,6		Avond	110	111	114	114
	24-uur	106,7	107,0	107,0	107,3		Nacht	112	114	117	116
vrachtverkeer	Dag	109,5	109,3	108,7	107,8	vracht	Dag	84	84	86	84
	Nacht	111,5	111,0	111,3	111,4		Avond	89	90	91	89
	24-uur	110,3	110,0	110,1	110,4		Nacht	89	92	91	90

Tabel 3.3.1.2: Geluidemissies van het verkeer in dB(A), Rijksweg A2 Breukelen (bron: RIVM 2004)

Tabel 3.3.1.1: Snelheidsgegevens A2 verkeer Breukelen voor de jaren 2000-2003 (bron: RIVM 2004)

Vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden

kan een bronvermogen α voor twee motorvoertuigcategorieën afgeleid worden, namelijk voor de categorie lichte en de categorie zware motorvoertuigen.

α emissiekental per voertuigcategorie per octaafband i (RMW2002)

β emissiekental per voertuigcategorie per octaafband i (RMW2002)

v snelheid van het voertuig in Km/uur (tabel 3.3.1.1)

v_0 referentiesnelheid categorie lichte voertuigen 80 Km/uur

$\Sigma L_{E_{ref}}$ emissieniveau volgens [7c] uit RMW2002

Voor de categorie lichte motorvoertuigen is het bronvermogen $\Sigma L_{E_{ref}}$ gelijk aan:

$\Sigma L_{E_{ref}} = \Sigma_{i=8} \alpha_i + \beta_i * \log(104/80)$ met als uitkomst $\Sigma L_{E_{ref}} = 106,7$

Komt overeen met emissieniveau $L_E = 107,0$ dB(A) uit tabel 3.3.1.2.

Op dezelfde manier kan het emissieniveau voor de categorie zware motorvoertuigen berekend worden, namelijk $\Sigma L_{E_{ref}} = 111.4$ dB(A).

Geluidsoverdracht

Een maximaal geluidsniveau ten gevolge van een incidentele passage kan met de vereenvoudigde formule berekend worden, wanneer de afstand r , de emissie L_E en de dempingcoëfficiënten bekend zijn. In het vereenvoudigd rekenmodel wordt rekening gehouden met demping gedurende de geluidsoverdracht als gevolg van geometrische uitbreiding, luchtabsorptie en bodemabsorptie. Coëfficiënten A, B en C verklaren de mate van geluidsdemping tussen bron en waarnemer in de referentiesituatie.

Afleiden dempingcoëfficiënten

De referentiesituatie ingevoerd in het ISO 9613-2 rekenmodel kan worden benaderd met de vereenvoudigde rekenmethode door de waarden van dempingcoëfficiënten A, B en C, door middel van de kleinste kwadratenmethode, aan te passen. Hieruit volgt de waarde voor de dempingcoëfficiënten A, B en C.

ISO 9613-2: $L_I = L_E + L_{GU} + L_L + L_B$ [1] en [2]

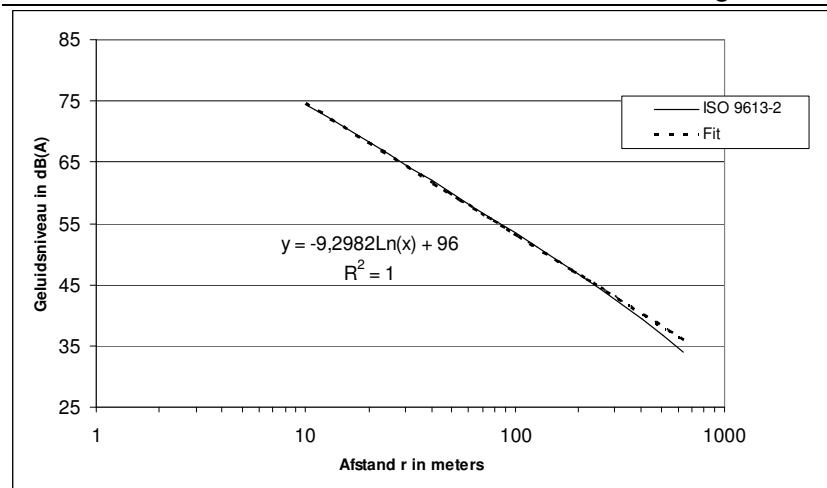
Vereenvoudigd rekenmodel: $L_{Iref} = L_E + A * \log(r/r_0) + B * r + \Sigma C$ [15]

De dempingcoëfficiënten A en B worden zodanig aangepast zodat de lijn FIT zo nauwkeurig mogelijk samenvalt met de ISO 9613-2 lijn (zie Figuur:3.3.1.1).

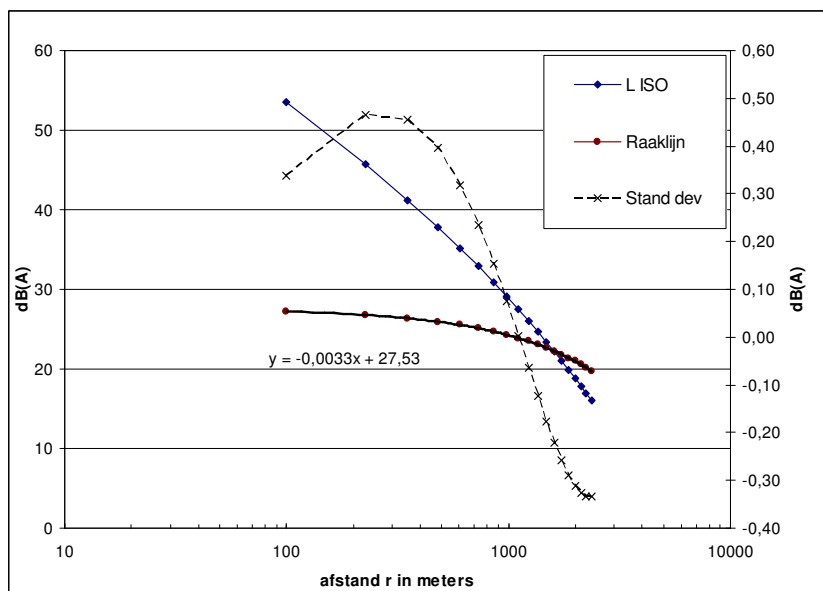
Dempingcoëfficiënt A geeft (deels) de demping als gevolg van de geometrische uitbreiding weer. Op relatief korte afstand van de bron wordt de demping met name bepaald door de geometrisch uitbreiding. Daarom wordt coëfficiënt A afgeleid op de eerste 250 meter vanaf de bron. De andere dempingfactoren, zoals luchtdemping en bodemdemping, zijn van invloed op relatief grotere afstand van de bron.

Dempingcoëfficiënt A kan uit figuur 3.3.1.1 worden bepaald, $A = -21.41 \log(r/r_0)$. Ook kan uit deze figuur de constante C afgeleid worden. Het emissieniveau L_E is te berekenen in de referentiesituatie met vergelijking [7c] dat geeft $\Sigma L_{E_i} = 104.15$. De constante C wordt vervolgens gevonden door $C = \Sigma L_{E_i} - 96$ met als uitkomst $C = 8.15$ en referentieniveau $L_0 = 96$.

Vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden



Figuur 3.3.1.1: Relatie tussen geluidsniveau en afstand weergegeven met ISO 9613-2. Met de gestippelde lijn "Fit" wordt een benadering van het ISO rekenmodel weergegeven. Voor de benadering is gebruik gemaakt van een logaritmische trendlijn met R-kwadratenwaarde $R^2 = 1$



Figuur 3.3.1.2: Het immissieniveau van indicator L(A)MAX in de referentiesituatie voor wegverkeer is weergegeven met de lijn "L ISO". Lijn "stand dev" geeft de afwijking weer van de dempingcoëfficiënt B, die overeenkomt met de richtingcoëfficiënt van de raaklijn aan "L ISO", uitgedrukt in de dB(A). Van de raaklijn is de vergelijking weergegeven. standaarddeviatie en weergegeven in figuur 3.3.1.2 met de lijn standaarddeviatie.

De dempingcoëfficiënt kan als volgt worden bepaald. Wederom geldt [1]: $L_i = L_E - D$
Invullen geeft: $L_{ref} + A \cdot \log(r/r_0) = L_E + B \cdot r + \Sigma C$ voor $r = [100; 2250]$

$$L(A)MAX + 21,41 \cdot \log(r/r_0) = L_0 + B \cdot r$$

Dit geeft dempingcoëfficiënt $B = 0,0033$

Uit figuur 3.3.1.1 blijkt dat bij ongeveer 250 meter de lijnen elkaar niet meer overlappen. Door een waarde voor dempingcoëfficiënt B af te leiden kan voor dit verschil gecorrigeerd worden. Het bereik van de waarde afstand r wordt vergroot, zodat dempingcoëfficiënt B kan worden afgeleid. Er vinden geen wijzingen plaats aan de referentiesituatie.

In figuur 3.3.1.2 is de relatie tussen het geluidsniveau in de referentiesituatie (L ISO) en de afstand r uitgezet voor een afstand van 100 tot 2250 meter. De waarde van richtingcoëfficiënt van de gegeven raaklijn komt overeen met dempingcoëfficiënt B. Van dempingcoëfficiënt B is de afwijking uitgedrukt in een

De dempingcoëfficiënten zijn bekend nu is de vereenvoudigde formule in te vullen:

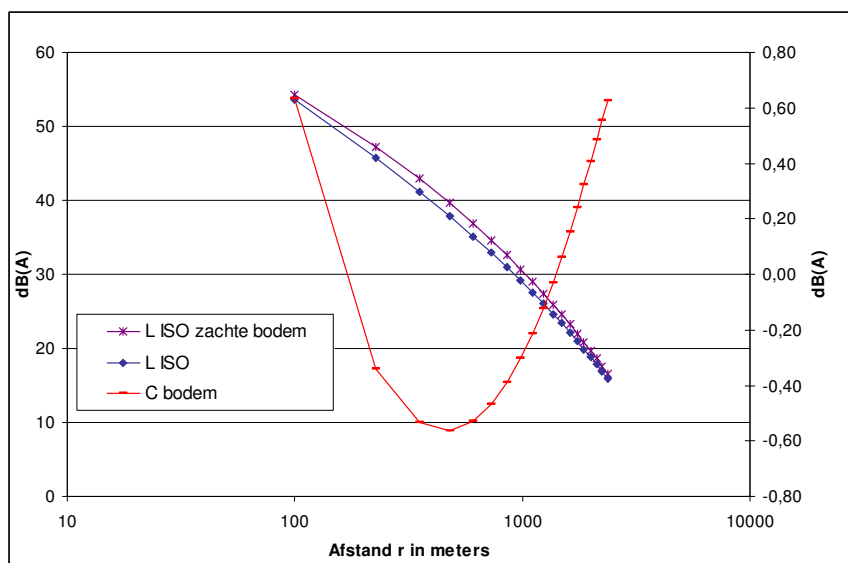
$$L_{Iref} = LE + A * \log (r/r_0) + B * r + \Sigma C \quad [15]$$

$$= 104.15 - 21.41 * \log (r/r_0) - 0.0033 * r - 8.15 + C$$

$$L(A)_{MAX} = 96 - 21.41 * \log (r/r_0) - 0.0033 * r \quad [15c]$$

Correctiefactoren

Correctiefactoren worden in het vereenvoudigd rekenmodel gebruikt om indicator L(A)MAX in een andere situatie te berekenen dan de referentiesituatie. Er zal voor een afwijkende situatie gecorrigeerd moeten worden ten opzichte van de referentiesituatie (Figuur 3.3.1.3.) Met een correctiefactor kan voor een aantal factoren gecorrigeerd



Figuur 3.3.1.3: Relatie tussen afstand en immissieniveau gegeven voor de referentiesituatie “L ISO” en voor een afwijkende situatie waarin de bodemabsorptie sterker is “L ISO zachte bodem”. Met “Cbodem” wordt de standaarddeviatie van de correctiefactor Cbodem weergegeven.

worden die het emissieniveau of de geluidsoverdracht beïnvloeden, zoals een verandering in snelheid of een ander wegdektype. Een correctiefactor wordt aangegeven met de term C_K , deze wordt aan vergelijking [15] toegevoegd. Er is geen correctiefactor bepaald voor een situatie waarin er meer dan één maximaal niveau

ten gevolge van een geluidsverstoring waarneembaar is. Indicator L(A)MAX kan daarom niet in situatie gebruikt worden wanneer er meer dan één afzonderlijke passage van een voertuig waarneembaar is.

De correctiefactoren zijn bepaald door een afwijkende situatie in het ISO 9613-2 rekenmodel in te voeren ten opzichte van een ingevoerde referentiesituatie in het vereenvoudigd rekenmodel. Door een factor in één van beide van de twee modellen te wijzigen ontstaat een verschil tussen het immissieniveau van het ISO rekenmodel en dat van het vereenvoudigd rekenmodel. De waarde van dit verschil is gelijk aan het niveau van de correctiefactor die hoort bij de ingevoerde afwijkende situatie.

Er zijn correctiefactoren die van invloed zijn op de geluidsoverdracht D en er zijn emissie gerelateerde correctiefactoren. De correctiefactoren die het emissieniveau beïnvloeden zijn, snelheid van het voertuig, hellingspercentage van de weg waarop het voertuig zich begeeft en het soort wegdek. Deze correctiefactoren kunnen elkaar

verzwakken of versterken. Het resultaat van hun invloed op het emissieniveau wordt verkregen door ze te sommeren.

De demping tijdens de geluidsoverdracht wordt beïnvloed door de atmosferische omstandigheden en eigenschappen van het bodemoppervlak. De correctiefactor voor wijzingen in atmosferische omstandigheden ten opzichte van de referentiesituatie is C_1 en voor afwijkende bodemeigenschappen C_b . Een combinatie van deze twee correctiefactoren (C_b en C_1) kan tot gevolg hebben dat met indicator $L(A)_{MAX}$ berekende waarden afwijken ten opzichte van die berekend met het ISO 9613-2 rekenmodel in dezelfde situatie. Een verklaring voor deze afwijking is gelegen in het feit dat de atmosferische demping een lineair karakter heeft en de mate van demping daarom mede bepaald wordt door de waarde van dempingcoëfficiënt B . Een tweede verklaring is dat de correctiefactor voor bodemdemping met een constante waarde benaderd wordt.

Een combinatie van verschillende correctiefactoren is doorgerekend voor twee situaties, namelijk de referentiesituatie (15 C en 80 %) en bij 20 C en 70 % luchtvochtigheid. In een situatie met 30 C en 70 % luchtvochtigheid is de standaard deviatie van de correctiefactor relatief groot. Een combinatie met andere correctiefactoren kan deze afwijking versterken waardoor de berekende waarde meer dan 1,5 dB(A) afwijkt. Een manier om de afwijking die optreedt door gebruik van de correctiefactor bij deze atmosferische omstandigheden te reduceren, is het opnieuw afleiden van dempingcoëfficiënt B met deze atmosferische omstandigheden.

In de overige situaties waarbij de atmosferische omstandigheden verschillen ten opzichte van de referentiesituatie, is de standaarddeviatie relatief klein. Een combinatie met andere correctiefactoren waarbij een afwijking in de berekening optreedt die groter is dan 1,5 dB(A) ten opzichte van de berekening met het ISO-9613-2 rekenmodel is daarom niet waarschijnlijk.

Met de gegeven correctiefactoren in tabel kan het maximale imissieniveau berekend worden tot 20 dB(A) op 1,5 dB(A) nauwkeurig ten opzichte van het ISO 9613-2 rekenmodel. In Tabel 3.3.1.3 zijn de correctiefactoren gegeven die horen bij indicator $L(A)_{MAX}$ voor wegverkeer met de standaarddeviatie tussen haakjes.

Vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden

Ck	temperatuur in graden C / luchtvochtigheid in %				
	15/80	20/70	30/70	10/70	15/50
Cl	0 (0,15)	-0,5 (0,64)	-2,98 (1,47)	0,27 (0,18)	-0,32 (0,19)
Cb	verharde weg(vw);onverharde weg(ow);zachte bodem(zb);harde bodem(hb)				
vw zb	0	0			
ow zb	-3,9 (0,67)	-3,9 (1,18)			
vw hb	5,2 (0,7)	5,2 (0,45)			
Cs	snelheid voertuig in km/u				
80	0	0			
70	-1,43 (0,16)	-1,43 (0,63)			
60	-3,15 (0,16)	-3,15 (0,61)			
100	2,49 (0,14)	2,49 (0,63)			
Cwd	Dab: standaard open asfaltbeton; zoab 2l: tweelaags zoab				
Dab	0	0			
ZOAB 2L	-4,77 (0,1)	-4,77 (0,4)			
Ch	Hellingspercentage wegdek (%)				
3 ≤	0	0			
4	0,25 (0,1)	0,25 (0,6)			
5	0,5 (0,1)	0,5 (0,6)			
6	0,75 (0,1)	0,75 (0,62)			
Czv	zwaarverkeer				
zw	0,9 (0,34)	0,9 (0,26)			

Tabel 3.3.1.3: Correctiefactoren voor indicator L(A)MAX wegverkeer en standaarddeviatie tussen ()

Cl: atmosferische omstandigheden: temperatuur in graden C/luchtvochtigheid in %

Cb: bodemeigenschappen: verharde weg (vw); onverharde weg (ow); zachte bodem(zb); harde bodem(hb)

Cs: snelheid voertuig in km/u

Cwd: wegdektype: standaard open asfaltbeton (Dab); tweelaags zoab (zoab 2L)

Ch: hellings-% wegdek in %

Czv: zwaarverkeer

3.3.2 Continu verkeer: L(A)EQ

De indicator L(A)EQ wordt gebruikt voor een continue passage van voertuigen en tijdens de continue passage is een gemiddeld geluidsniveau waar te nemen. Om het gemiddelde geluidsniveau op een afstand r van de bron te bepalen wordt gebruik gemaakt van indicator L(A)MAX (zie 3.3.1)

Met de vereenvoudigde rekenmethode kan het niveau voor indicator L(A)MAX worden berekend. In de referentiesituatie van indicator L(A)MAX is aangenomen dat het maximale geluidsniveau wordt waargenomen op de kortste afstand tussen het voertuig en de waarnemer. Met het kleiner worden van de afstand r neemt het niveau van indicator L(A)MAX toe en met het groter worden van de afstand af. In het geval er geen sprake is van incidentele passages van voertuigen maar van een continue passage, dan is een

gemiddeld geluidsniveau waarneembaar. Een moment (met bepaalde tijdsduur t) uit de continue passage van voertuigen kan worden voorgesteld als stilstaande voertuigen op een wegdeel. Wanneer het wegdeel een lengte heeft van 1 km en de voertuigen dezelfde snelheid v en gelijke onderlinge afstand s hanteren, zijn de voertuigen gelijkmatig, binnen het beschouwde moment, over 1 km lengte verdeeld.

Het $L(A)EQ$ kan berekend worden door indicator $L(A)MAX$ (ten opzichte van een waarneempunt) voor de afzonderlijke voertuigen, bijdragen b , te berekenen en vervolgens alle bijdragen logaritmisch te sommeren. Het aantal i bijdragen b kan beperkt worden door bijdragen die 10 dB(A) kleiner zijn ten opzichte van de hoogste waarde (kortste afstand r) van het $L(A)MAX$ niet mee te nemen in de berekening.

$$L(A)EQ_t = 10 * \log \sum_{b=i} (10^{L(A)MAX/10}) \quad [16]$$

Waarbij i gelijk is aan het aantal bijdragen b en tijdsduur t

Het berekende $L(A)EQ_t$ geldt bij de verkeerintensiteit Q , het aantal voertuigen per uur, op het beschouwde wegdeel van 1 km lengte. De verkeersintensiteit in voertuigen per uur wordt berekend door het wegdeel van 1 km lengte te delen door onderlinge afstand s (in meters) tussen de afzonderlijke voertuigen en daarna te vermenigvuldigen met de snelheid van de voertuigen in km/u.

$$Q = (1 \text{ km/s}) * v \quad [17]$$

De bijdrage van één voertuig aan het totale $L(A)EQ$ van het beschouwde wegdeel wordt gevonden door te corrigeren voor het aantal i bijdragen b . Het $L(A)EQ$ van één voertuig wordt berekend door:

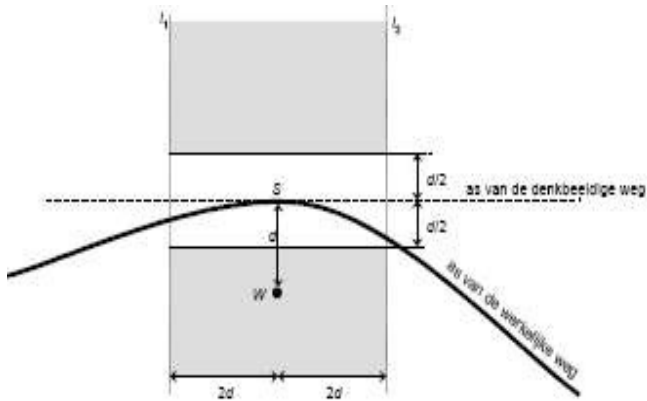
$$L(A)EQ - 10 * \log (b) = L(A)EQ_{b=1} \quad [18]$$

Openingshoek

De openingshoek is de hoek van het invallende geluidsniveau ter bepaling van het immissieniveau van indicator $L(A)EQ$ in het waarneempunt. De grootte van de openingshoek is afhankelijk van de positie van het waarneempunt ten opzichte van het wegdeel waarop de geluidsverstoring plaatsvindt. In figuur 3.3.2.1. is de openingshoek de hoek, in waarneempunt w , tussen begin- en eindpunt (gemarkeerd met $L1$ en $L2$) van het wegdeel. In het vereenvoudigd rekenmodel wordt op andere wijze gebruikt gemaakt van een openingshoek dan in de Standaard Rekenmethode I voor wegverkeer uit 1981 (SRM I, 1981).

In het rekenmodel SRM I 1981 wordt met de openingshoek het invallend geluidsniveau meegenomen dat er toe doet in de bepaling van het equivalente geluidsniveau. In dit rekenmodel voor wegverkeer, SRM I 1981, zijn de toepassingsvoorwaarden met figuur 3.3.2.1 geometrisch gedefinieerd (SRM I 1981, p11). De openingshoek in figuur 3.3.2.1 is de hoek tussen begin- en eindpunt (gemarkeerd met $L1$ en $L2$) van een wegdeel in waarneempunt w . Overigens kan uit figuur 3.3.2.1 worden afgeleid dat in het SRM I een maximale openingshoek van 127 graden wordt gehanteerd.

In het vereenvoudigd rekenmodel is het niveau van indicator $L(A)EQ$ afhankelijk van het aantal bijdragen b dat zich binnen de openingshoek op een wegdeel bevindt.



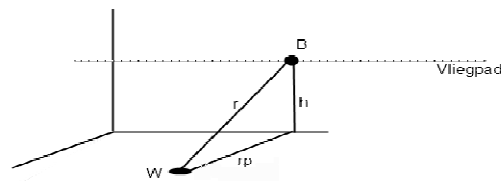
Figuur 3.3.2.1: Geometrische definitie t.b.v. de toepassingsvoorwaarden van SRM I, waarin w waarnemer, s voertuig en d is gelijk aan afstand r . (Bron:SRMI p.11)

In het vereenvoudigd rekenmodel kan het niveau van indicator $L(A)EQ$ als gevolg van een wegdeel bepaald worden wanneer de verkeersintensiteit en de positie van het waarneempunt en het wegdeel bekend is. Met deze gegevens kan het aantal bijdragen b op het wegdeel binnen de openingshoek berekend worden. Met vergelijking [18] kan vervolgens een waarde voor indicator $L(A)EQ$ worden berekend.

3.4 Vliegverkeer in referentiesituatie

Geluidsverstoring ten gevolge van vliegverkeer binnen een referentieomgeving voor stille gebieden kan met het vereenvoudigd rekenmodel uitgedrukt worden in indicator $L(A)_{MAX}$. Om een waarde voor een indicator te berekenen dient daarvoor eerst een referentiesituatie voor vliegverkeer opgesteld te worden. In de referentiesituatie worden enkele aannames in akoestische termen gekwantificeerd.

- het vliegtuig verplaatst zich met een constante snelheid (kruissnelheid) langs een horizontale rechte lijn (vliegpad)
- het vliegpad beschrijft een constante hoogte ten opzichte van het maaiveld
- de kortste afstand tussen bron en waarnemer is afstand r "slant range" ($r > 500$ m)
- de waarnemer bevindt zich binnen $50 \leq \beta \leq 90$ graden onder het vliegpad
- waarnemhoogte op 1,20 m boven het maaiveld
- referentiesnelheid (instelling van het motorvermogen) gelijk aan kruissnelheid (v_0)
- het emissieniveau van een Boeing 737-300 akoestisch representatief voor grote straalvliegtuigen



Figuur 3.4.1: Geometrische verklaring referentiesituatie. Geluidsbron: B; kortste afstand = r ; Waarneempunt W; horizontale afstand tot vliegpad r_p ; hoogte h ; hoek β : hoek in W tussen r en r_p

Uitgaande van het gemiddelde Nederlandse weer in de zomermaanden en rekening houdend met de referentieomgeving voor stille gebieden, worden de volgende atmosferische omstandigheden en gebiedskenmerken verondersteld.

- luchtabsorptie: 15 graden Celsius en luchtvochtigheid van 80%
- bodemabsorptie: er is sprake van een zachte bodem bedekt met vegetatie

Het vereenvoudigd rekenmodel in de referentiesituatie voor vliegverkeer is als volgt:

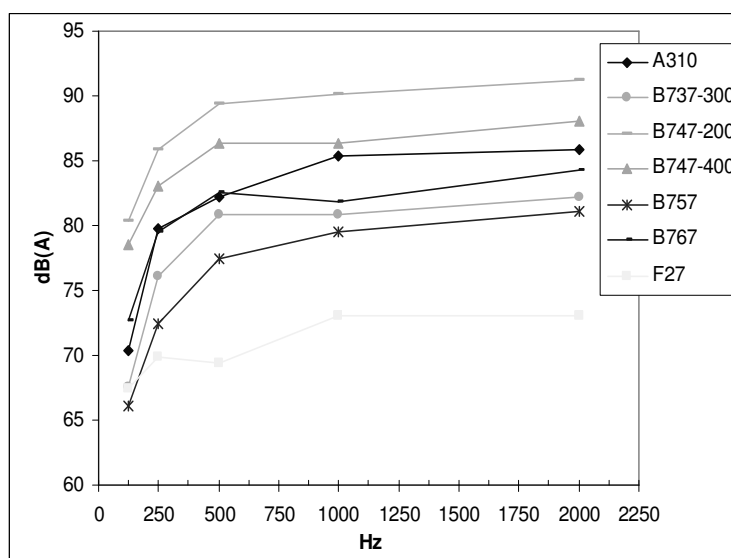
$$L_{Iref} = LE_{type} + A * \text{Log} (r/r_0) + B * r + \Sigma C \quad [19]$$

3.4.1 incidentele passage: L(A)MAX

De indicator L(A)MAX wordt gebruikt voor de passage van één vliegtuig en gedurende de passage is een maximaal geluidsniveau waar te nemen. Daarbij wordt uitgegaan dat een waarnemer recht onder het vliegpad bevindt (zie referentiesituatie). Om het niveau van indicator L(A)MAX te bepalen moeten de dempingcoëfficiënten A, B en C van het vereenvoudigd rekenmodel afgeleid worden, waarmee de relatie tussen het maximale niveau van een geluidsverstoring en de afstand wordt gegeven. Met het ISO 9613-2 rekenmodel kan een maximaal geluidsniveau op een afstand r van de bron berekend worden, daarvoor is een emissieniveau van het vliegtuig nodig.

Emissieniveau

De ISO 9613-2 rekenmethode vereist dat de bronsterkte per octaafband wordt ingevoerd. Van enkele vliegtuigtypen zijn de referentiespectra in octaafbanden bekend (figuur



Figuur: 3.4.1.1: Referentiespectra in octaafbanden (middenfrequenties: 125, 500, 1000 en 2000 Hz) en geluidsniveaus voor slant range (R = 316 meter) bij startvluchten van verschillende vliegtuigtypen: Airbus (A), Boeing (B) en

3.4.1.1). Deze zijn op verschillende afstanden tussen waarnemer en vliegtuig tijdens startvluchten gemeten, waarbij het waarneempunt zich recht onder het vliegpad bevindt. Omdat de afstand r (gelijk aan de hoogte) bekend is tussen vliegtuig en waarnemer in een gegeven referentiesituatie kan de totale demping in de geluidsoverdracht ΣD uitgerekend worden. Hiermee kan het emissieniveau of bronnspectra van vliegtuigtypen uit de

referentiespectra berekend worden met behulp van vergelijking [1]: $L_I = L_E - \Sigma D$. De geluidsoverdracht ΣD wordt gegeven met vergelijking [2]: $\Sigma D = L_{GU} + L_L + L_B$. De referentiespectra (L_{Iref}) van een Boeing 737-300 zijn gegeven bij afstand r = 316 meter.

Vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden

Het bronnspectrum (L_{Eref}) wordt gewijzigd totdat de referentiespectra (L_{Iref}) met de berekende spectra overeenstemmen in vergelijking [20] en weergegeven met tabel 3.4.1.1.

$$\sum_{i=5} L_{Eref} = \sum_{i=5} L_{Iref} + \sum_{i=5} D \quad [20]$$

Over i octaafbanden, 125, 250, 500, 1000 en 2000Hz

	L_{Eref}	ΣD	L_i	L_{Iref}
125 Hz	136,6	58,1	78,5	78,5
250 Hz	141,5	58,3	83,2	83,1
500 Hz	145,3	58,8	86,6	86,3
1000 Hz	145,7	59,3	86,4	86,4
2000 Hz	150,2	62,1	88,0	88,1
som	152,9			92,5

Tabel 3.4.1.1: Berekening van L_{Eref} met vergelijking [22] uit gegeven L_{Iref} ($r = 316$ m) van een B737-300

Geluidprestatie gegevens NLR

Naast de boven genoemde methode om het emissieniveau van vliegtuigtypen te bepalen, kan er gebruik gemaakt worden van geluidprestatie gegevens om een vereenvoudigde rekenmethode af te leiden. Er wordt gebruik gemaakt van de geluidprestatie gegevens die zijn vastgelegd in NLR contract rapport. CR 96650L Versie 8 (Jong, R. de, Vogel, P, 1996), hierna verwezen als geluidprestatie gegevens van het NLR. De geluidsprestatie gegevens van het NLR zijn voor een groot aantal verschillende vliegtuigcategorieën weergegeven in tabellen en prestatieschema's, daarin zijn het motorvermogen, afstand, vliegroute en geluidsniveau opgenomen (zie figuur en figuur). In de geluidsvermogen tabellen is de relatie in vergelijking [1] $L_I = L_E - \Sigma D$ vastgelegd voor een referentiesituatie. Ook in deze referentiesituatie bevindt het waarneempunt zich recht onder het vliegp pad bij startvluchten, het vliegtuig vliegt dus rechtover de waarnemer. Bovendien wordt een zachte bodem onder het vliegp pad verondersteld en geldt de International Standaard Atmosfeer.

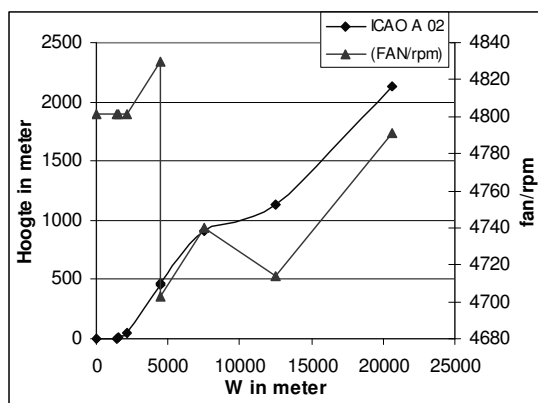
Uit de figuur 3.4.1.2 blijkt dat in het begin van de startprocedure veel vermogen nodig is om op te stijgen. Op grotere afstand (W) is het motorvermogen voor een langere afstand constant. Er wordt daarom verondersteld dat het gevoerde motorvermogen in het laatste segment overeenkomt met het motorvermogen op kruissnelheid bij constante hoogte.

Vergelijking NLR geluidprestatie gegevens en ISO 9613-2 rekenmodel

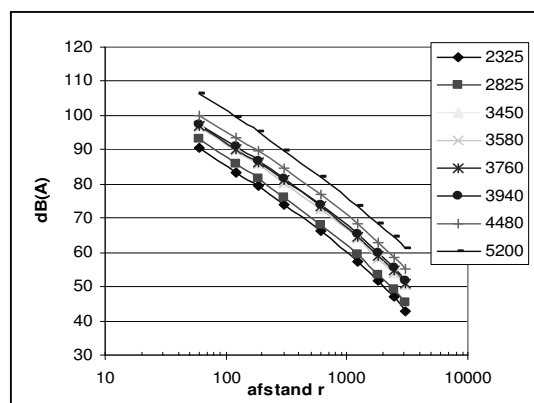
Er kan gecontroleerd worden of de berekende immissieniveaus met het ISO 9613-2 rekenmodel overeenkomen met de geluidprestatie gegevens van het NLR in een referentiesituatie. Om dit te bewijzen worden de berekende bron spectra (LE_{ref}) van een Boeing 737-300 ingevoerd in het ISO 9613-2 rekenmodel. Dit geeft de maximale immissieniveaus op verschillende afstanden r bij constante hoogte h (1000 m) en $r_p = 1$ meter, op grote afstanden r is hoek β niet in overeenkomst met de referentiesituatie (figuur 3.4.1).

Uit de geluidprestatie gegevens van het NLR wordt het immissieniveau, voor een waarneempunt onder het vliegp pad in de referentiesituatie, berekend door op een afstand (W) de hoogte af te lezen en het motorvermogen (figuur 3.4.1.2). Met behulp van deze hoogte en de positie van het waarneempunt kan de afstand r berekend worden. Uit figuur 3.4.1.3 kan vervolgens het bijbehorende geluidsniveau afgelezen worden voor de afstand r . Dit geeft het maximale geluidsniveau in het waarneempunt. Om het immissieniveau in het waarneempunt te berekenen wanneer het vliegtuig zich heeft verplaatst langs het vliegp pad met constante hoogte h waarbij $r_p = 1$ m en hoogte h niet gelijk is aan afstand r dient de invloed van de laterale demping met vergelijking [14] in de berekening meegenomen te worden.

De berekende maximale geluidsniveaus op verschillende afstanden r verkregen met de ISO 9613-2 rekenmethode en de geluidprestatie gegevens van het NLR zijn uitgezet in figuur 3.4.1.4. Uit vergelijking blijkt dat er tussen de uitkomsten een constant verschil bestaat. De waarde van dit verschil is gemiddeld 2,0 en standaard deviatie gelijk aan 0.55. Er kan voor dit verschil gecorrigeerd worden door bij het immissieniveau van het ISO



Figuur 3.4.1.2: Prestatiegegevens van een B737-300 bij een ICAO A startprocedure, waarbij het motorvermogen (fan/rpm) en het hoogte uitgezet zijn per segment met horizontale afstand (W).



Figuur 3.4.1.3: Geluidsniveau van een B737-300 bij geleverd motorvermogen uitgedrukt in fan/rpm uitgezet tegen de afstand r .

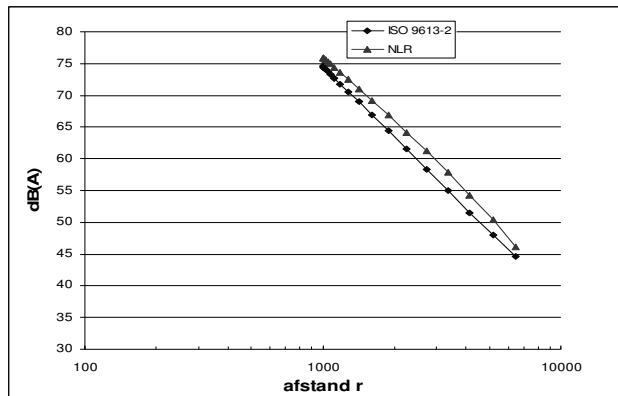
9613-2 rekenmodel een constante waarde (= 1.6) op te tellen. Dit geeft voor afstand r en hoek $50 < \beta < 90$ een afwijking van het ISO 9613-2 rekenmodel ten opzichte van de NLR geluidprestatie gegevens kleiner dan 1 dB(A). De afwijking tussen de rekenmodellen wordt waarschijnlijk verklaard door de latere demping in rekening gebracht met vergelijking [14] voor de NLR geluidprestatie gegevens.

Afleiden dempingcoëfficiënten met ISO 9613-2

Er wordt gekozen om de dempingcoëfficiënten af te leiden met behulp van de ISO 9613-2 rekenmodel gegevens. Een reden is dat de geluidprestatie gegevens van het NLR vastgelegd zijn tot vlieghoogten van 2 km (of lager) voor verschillende vliegroutes, dit komt voor de meeste vliegtuigtypen overeen met maximale immissieniveaus groter dan 60 dB(A). Om het immissieniveau op afstanden te berekenen die niet binnen deze vliegroute of -hoogte valt, zal er geïnterpoleerd of geëxtrapoleerd moeten worden voor de gegevens in de geluidstabel. Met het ISO 9613-2 rekenmodel zijn geluidverstoringen die niet voldoen aan de situaties vastgelegd met de NLR geluidprestatie gegevens eenvoudiger te berekenen. Een nadeel is dat de beschikbaarheid van emissiegegevens van verschillende vliegtuigtypen gespecificeerd in octaafbanden schaars zijn.

Met de bekende bron spectra worden de maximale immissieniveaus in de referentiesituatie berekend van een B737-300 op kruissnelheid en constante hoogte waarbij de waarnemer zicht bevindt binnen $50 \leq \beta \leq 90$ graden onder het vliegpad. Daarbij is verondersteld dat een vliegtuig met kruissnelheid vliegt en constant motorvermogen. Het motorvermogen op kruissnelheid is gelijk verondersteld aan het motorvermogen dat bereikt wordt in het laatste vliegpadssegment van een ICAO A startprocedure.

Vervolgens worden de maximale immissieniveaus uitgezet tegen de afstand r die met het vereenvoudigd rekenmodel benaderd wordt. Hierbij wordt dezelfde procedure



Figuur 3.4.1.4: Maximale geluidsniveaus ten gevolge van B737-300 in referentiesituatie berekend met ISO 9613-2 en geluidprestatie gegevens van het NLR.

toegepast als in paragraaf 3.3.1. De dempingcoëfficiënten A, B en C worden zodanig aangepast, zodat deze de relatie weergegeven tussen maximaal immissieniveau en afstand r .

Incidentele passage: $L_{(A)MAX}$

In de referentiesituatie kan met indicator $L_{(A)MAX}$ een geluidsverstoring ten gevolge van een incidentele passage van een Boeing 737-300, akoestisch representatief voor grote straalvliegtuigen (NLR

vliegtuigcategorie 469) berekend worden tot op 1,5dB(A) nauwkeurig, vergelijking [21].

$$L_{Iref} = L_{EB737-300} + A * \text{Log}(r/r_0) + B * r + \Sigma C \quad [21]$$

$$L_{(A)MAX} = 147 - 23.6 * \text{Log}(r/r_0) - 0,0012 * r - 0$$

Waarbij $500 < r < 8000$ en $50 \leq \beta \leq 90$

Correctiefactoren

Het niveau van Indicator $L_{(A)MAX}$ kan hierdoor in situaties berekend worden die afwijken van de referentiesituatie. Voor een situatie die afwijkt van de referentiesituatie wordt een correctiefactor toegevoegd aan vergelijking [21].

Voor andere vliegtuigtypen waarvan de bronspectra bekend zijn (figuur: 3.4.1.1), kan een correctiefactor afgeleid worden voor het emissieniveau, door het verschil in emissieniveau ten opzichte van een B737-300 te berekenen. Voor de uitvoering van het bepalen van correctiefactoren wordt verwezen naar paragraaf 3.3.1.

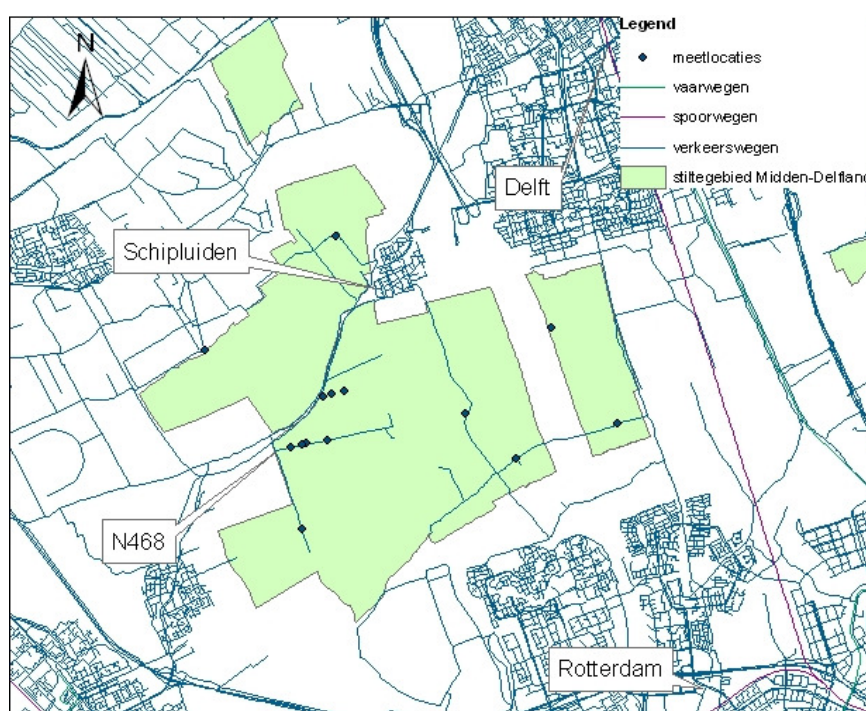
4 Controle vereenvoudigd rekenmodel voor stille gebieden

In dit hoofdstuk wordt de vereenvoudigde berekening getoetst aan geluidsmetingen in het veld. Deze toetsing is van toepassing op geluidverstoring ten gevolge van incidentele passages. Er wordt een vergelijking gemaakt tussen gemeten geluidniveaus van een geluidsverstoring door weg- en vliegverkeer en de geluidniveaus die berekend zijn met indicator L(A)MAX uit het vereenvoudigd rekenmodel. Geluidsverstoring door continue passages van weg- en vliegverkeer worden buiten beschouwing gelaten, aangezien de meetinspanning en analyse van de gegevens te veel tijd in beslag nemen.

De geluidsmetingen zijn verricht in gebieden die voldoen aan de referentie omgeving voor stille gebieden. Eerst wordt ingegaan op de vergelijking tussen gemeten geluidverstoringsen ten gevolge van wegverkeer en de berekende niveaus met indicator L(A)MAX voor wegverkeer.

4.1 Meten in stille gebieden

Er is op drie dagen in het stiltegebied Midden-Delfland (Zuid-Holland) (figuur 4.1.1) gemeten. In samenspraak met Herman Feberwee van de provincie Zuid-Holland is gekozen voor het stiltegebied Midden-Delfland. Een overweging in de keuze voor dit gebied is geweest: een herhaling van de in 2001 verrichte geluidsmeting in het



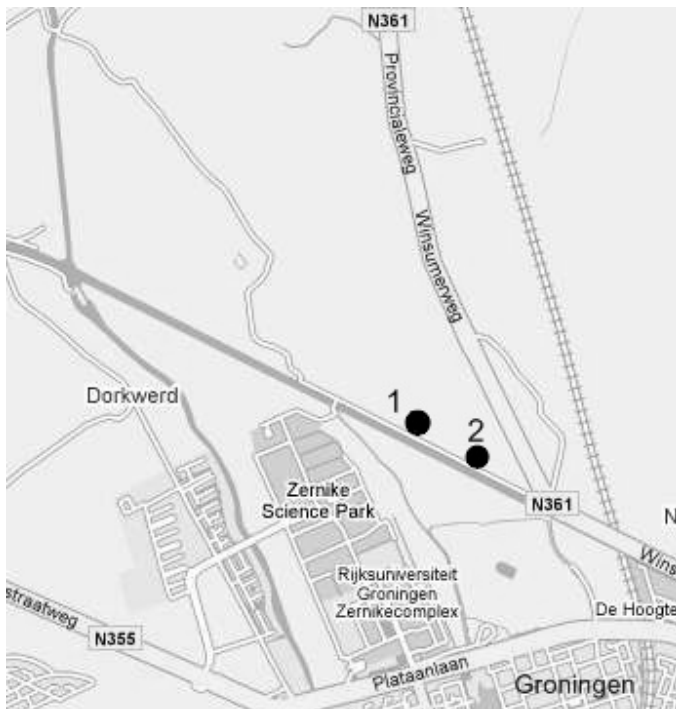
Figuur 4.1.1: Geografische ligging stiltegebied Midden-Delfland. (bron: provincie Zuid-Holland)

stiltegebied Midden-Delfland, onderdeel van het project “Stilte in de randstad” uitgevoerd door de natuurkundewinkel in opdracht van Stichting Natuur en Milieu (SNM). (referentie). De nadruk van dit onderzoek is in de tijd verschoven naar het berekenen van niveaus van geluidverstoring en minder in het meten ervan, zodat er van een herhaling van geluidsmetingen zoals in eerder onderzoek in opdracht van SNM geen sprake is.

Overwegingen in het kader van dit onderzoek, het opzetten van een beoordelingsmethode, zijn geweest:

- voldoende afstand tot grote lawaaibronnen
- voldoende omvang van het stiltegebied
- buiten de bebouwde kom gelegen
- van belang en toegankelijk voor rustige recreatie
- voldoen aan de referentieomgeving voor stille gebieden

In het Reitdiepdal ten noordwesten van de stad Groningen zijn geluidsmetingen verricht langs de provinciale weg N361 gelegen tussen de stad Groningen en Winsum. Er is voor deze locatie gekozen vanwege de relatieve nabijheid van het gebied en daarnaast voldoet het gebied aan de referentieomgeving voor stille gebieden.



Figuur 4.1.2: Geografische ligging Reitdiepdal ten noordwesten van de stad Groningen en met meetlocaties (1,2) langs de provincialeweg N361 tussen Groningen en Winsum. (bron: Google maps, 2007)

Geluidsmeting

Tijdens de geluidsmeting in het veld zijn een aantal grootheden vastgelegd. Ten eerste de tijd in seconden waarin een geluid met het oor waargenomen kan worden: T audible (Taud). Taud is vastgelegd voor geluidsverstoringen en ten gevolge van weg- en vliegverkeer. Ten tweede zijn een aantal geluidsmaten vastgelegd met behulp van een SLS geluidsmeter van het merk 01dB. Een hiervan is het maximale geluidsniveau dat veroorzaakt is door weg- of vliegverkeer. Daarom is het van belang geluidsverstoringen in het veld door middel van waarneming vast te leggen. Een derde geluidmaat die uit de registratie van de geluidsmeter en door middel van synchronisatie met de waarneming in het veld

bepaald kan worden is het gemiddelde geluidsniveau voor een geluidsverstoring. Over de gehele meting kunnen statistische geluidsmaten berekend worden evenals het equivalente geluidsniveau. Naderhand kan met behulp van speciale software voor verschillende tijdsperioden deze geluidsmaten uit de registratie bepaald worden. Door bewerking en analyse van de meetgegevens wordt een logaritmisch maximaal geluidsniveau per bron bepaald.

4.2 Wegverkeer in stille gebieden: incidentele passage

Midden-Delfland

In het stiltegebied Midden-Delfland zijn op woensdag 13 juli 2005 geluidsmetingen verricht op verschillende afstanden van de N468. Per meetlocatie is gedurende 30 minuten het maximale geluidsniveau van afzonderlijke voertuigpassages vastgelegd. Locatie a op een afstand van 80 meter, locatie b op 175 m, locatie c op 350 m, locatie d op 280 m, locatie e op 330m en locatie f op 495 m. Er is gemeten bij een maximaal uurgemiddelde windsnelheid van 4.0 m/s (3 Bft) en een noordelijke (356 graden) overheersende windrichting, volgens het KNMI weerstation Rotterdam.

- atmosferische omstandigheden: 24.1 graden Celsius en 85% luchtvochtigheid,
- voertuigen verplaatsen zich over een verharde weg, het gebied tussen voertuigen op de verharde weg en het waarneempunt en het gebied rondom het waarneempunt bestaat uit overwegend grasland,
- wegdektype; dicht asfalt beton (DAB),
- verkeersgegevens; vigerende maximale snelheid 60 km/u,
- hellingspercentage; in het veld is geconstateerd dat het hellingspercentage van het wegdek kleiner is dan 3%.

De gemeten maximale geluidsniveaus zijn in de analyse verwerkt tot één gemiddeld logaritmisch geluidsniveau per meting ten gevolge van geluidsverstoringen door de categorie lichtverkeer (zie figuur 4.2.1.1).

Het niveau van indicator L(A)MAX kan berekend worden met vergelijking [15] daarbij dient rekening gehouden te worden met de situatie waarin de geluidsmetingen verricht zijn. Ten opzichte van de referentiesituatie voor wegverkeer uit paragraaf 3.3.1 dient er een correctiefactor uit tabel 3.3.1.3 voor snelheid ($C_s = -3.15$) gebruikt te worden.

Reitdiepdal

Op donderdag 15 juni 2006 zijn op verschillende afstanden van de provinciale weg (N361) tussen Winsum en Groningen geluidsmetingen verricht. Per meetlocatie is gedurende 20 minuten het maximale geluidsniveau van afzonderlijke voertuigpassages vastgelegd. Er is op twee locaties langs de provinciale weg N361 gemeten. De afstand van de locaties tot provinciale weg N361 bedraagt 100 meter en resp. 130 meter. De volgende meetomstandigheden zijn vastgelegd door het KNMI weerstation Eelde op 15 juni 2006. Er is gemeten bij een maximaal uurgemiddelde windsnelheid van 4.0 m/s (3 Bft) en een noordelijke (356 graden) overheersende windrichting.

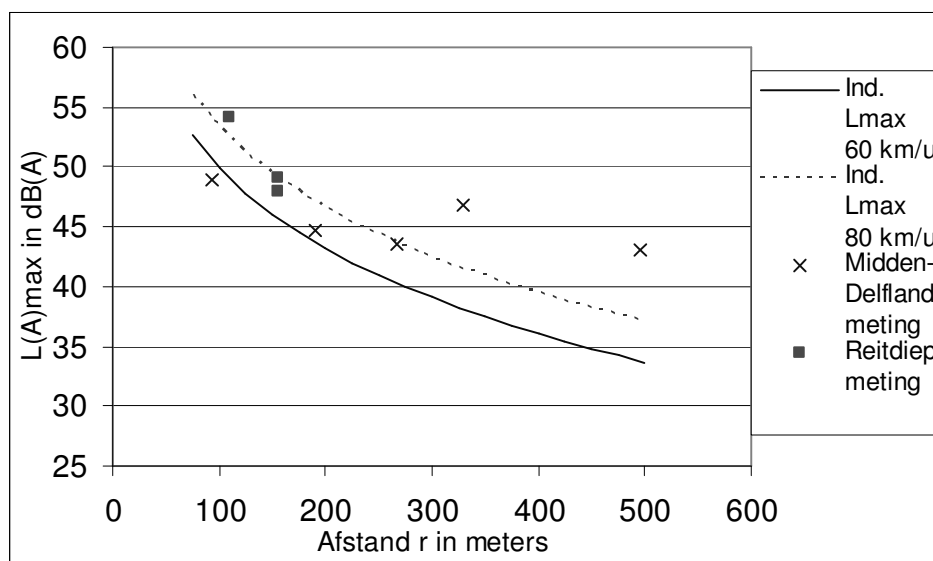
- atmosferische omstandigheden: 17.7 graden Celsius en 90% luchtvochtigheid,
- voertuigen verplaatsen zich over een verharde weg, het gebied tussen voertuigen op de verharde weg en het waarneempunt en in het gebied rondom het waarneempunt bestaat uit overwegend grasland,
- wegdektype: zeer open asfalt beton (ZOAB),
- verkeersgegevens; vigerende maximale snelheid 80 km/u,
- hellingspercentage; in het veld is geconstateerd dat het hellingspercentage van het wegdek kleiner is dan 3%.

Controle vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden

De gemeten maximale geluidniveaus zijn in de analyse verwerkt tot één gemiddeld logaritmisches geluidsniveau per meting ten gevolge van geluidsverstoringen door de categorie lichtverkeer (zie figuur 4.2.1.1).

Het niveau van indicator L(A)MAX kan met vergelijking [15] berekend worden voor de afstand r tot de N361 uitgezet worden in figuur 4.2.1.1

In Figuur 4.2.1.1 zijn de gemeten maximale geluidsniveaus in dB(A) van de geluidsmetingen in het Reitdiepdal en Midden-Delfland uitgezet tegen de afstand r in meters voor de categorie lichtverkeer. Tevens zijn de berekende geluidsniveaus voor indicator L(A)MAX in overeenstemming met de situatie in het Reitdiepdal en Midden-Delfland weergegeven.



Figuur 4.2.1.1: Het logaritmisches gemiddelde maximale geluidsniveau ten gevolge van voertuigen behorend tot de categorie lichtverkeer op verschillende afstanden van de provinciale wegen in Midden-Delfland (N468) en in het Reitdiepdal (N361). Tevens zijn de berekende waarden met het vereenvoudigd rekenmodel gegeven voor indicator L(A)MAX (Ind. Lmax).

Discussie

Uit figuur 4.2.1.1 is af te lezen dat de spreiding van de gemeten maximale niveaus ten opzichte van het niveau van indicator L(A)MAX toeneemt met de afstand.

Tijdens de waarneming in het veld is geconstateerd dat afzonderlijke passages dichtbij de weg duidelijker met het gehoor zijn te onderscheiden zijn dan passages op grote afstand. Op grotere afstand tot de weg zijn afzonderlijke passages door gericht te luisteren te onderscheiden.

Uit analyse van de meetregistratie blijkt dat op grotere afstand een maximaal niveau ten gevolge van een passage duidelijk afgelezen kan worden als de verkeersintensiteit laag is. Bij een hogere verkeersintensiteit zijn op grote afstand afzonderlijke passages minder duidelijk te onderscheiden, er is dan sprake van een meer gemiddeld geluidsniveau ten gevolge van opeenvolgende passages. Verder blijkt dat op

grotere afstand het aantal geregistreerde passages kleiner is. Dit heeft ook maken met het herkennen van de geluidsniveaus in de geluidsregistratie.

Vastgesteld kan worden dat de in figuur 4.2.1.1 de gemeten maximale geluidsniveaus op relatief grote afstand geen waarden zijn die een maximaal niveau weergeven maar een gemiddeld geluidsniveau.

4.3 Vliegverkeer in stille gebieden: incidentele passage

In het stiltegebied Midden-Delfland zijn op zondag 3 juli en op woensdag 13 juli 2005 geluidsmetingen verricht. Er zijn in het stiltegebied Midden-Delfland geluidverstoringen waargenomen door overkomende civiele vliegtuigen. Er zijn geen militaire toestellen waargenomen. De overkomende vliegtuigen kende een grote variatie in vliegtuigtypen en in vlieghoogte. In vliegtuigtypen kan onderscheid gemaakt worden naar aandrijving: propeller en straalvliegtuig. Er zijn vliegtuigen waargenomen met duidelijk de bestemming of herkomst Rotterdam Airport. Daarnaast zijn er vliegtuigbewegingen waargenomen die vermoedelijk vertrek of aankomst Schiphol kenden, deze vliegtuigen vlogen waarneembaar hoger dan vliegtuigen met aankomst of bestemming Rotterdam Airport. Daarnaast zijn kleine één-motorige propeller vliegtuigen waargenomen. Deze categorie onderscheidt zich van de andere, omdat ze niet gebonden leken aan vliegroute en/of vlieghoogte.

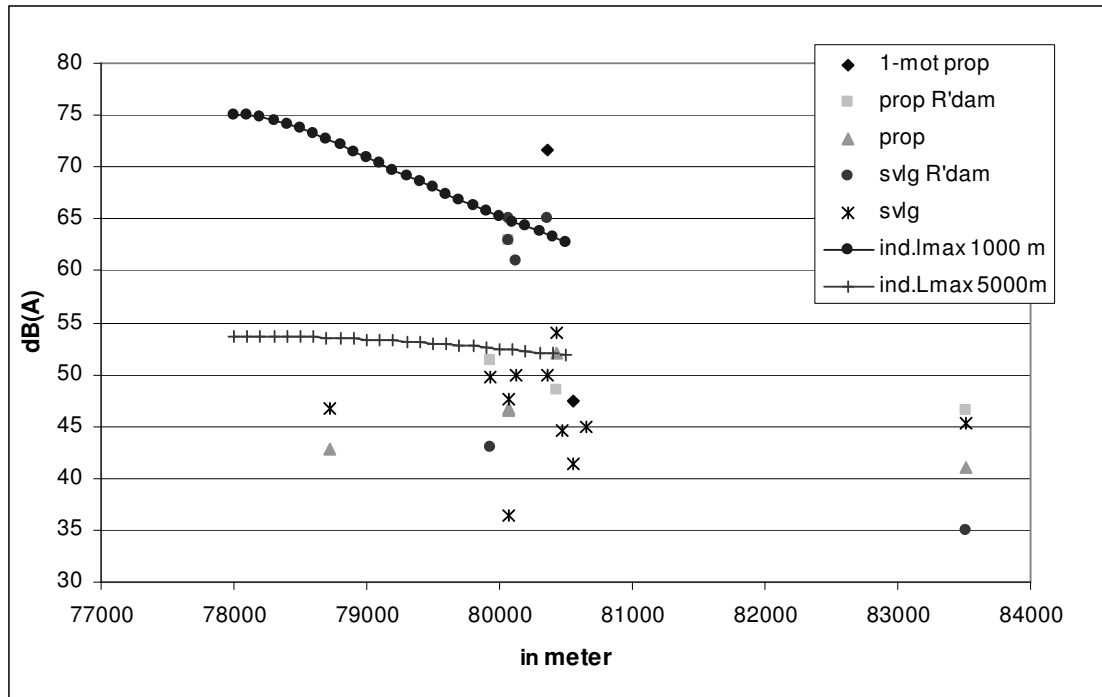
Meetresultaten

In de onderstaande figuur 4.3.1 staan de logaritmisches gemiddelde maximale geluidsniveaus die zijn bepaald uit de geregistreerde geluidsverstoringen door vliegverkeer op verschillende locaties in het stiltegebied Midden-Delfland. Weergegeven zijn straalvliegtuigen en propellervliegtuigen met een herkomst of bestemming Rotterdam Airport (prop R'dam en svlg R'dam). Daarnaast zijn straalvliegtuigen (svlg) en propellervliegtuigen (prop) opgenomen die op grotere vlieghoogte zijn waargenomen dan die met herkomst en bestemming Rotterdam Airport. De één-motorige propellervliegtuigen zijn apart opgenomen.

De vlieghoogte en -route van verschillende vliegtuigtypen met aankomst en bestemming Airport Rotterdam zijn voor een gemiddelde zomerse dag gegeven in bijlage B. Op basis van de gegevens in de bijlage wordt voor vliegtuigen met herkomst en bestemming Rotterdam Airport uitgegaan van een gemiddelde vlieghoogte van 1000 m. Voor overvliegende vliegtuigen zonder herkomst of bestemming Rotterdam Airport wordt een vlieghoogte van 5000 m verondersteld. (www.vliegalseenvogel.nl)

In figuur 4.3.1 is indicator L(A)MAX weergegeven voor een waarnemer die zich bevindt op x-coördinaat 78000. Het niveau van indicator L(A)MAX is berekend voor een Boeing 737-300 op kruissnelheid met een constante vlieghoogte van 1000 m resp. 5000 m.

Controle vereenvoudigd rekenmodel stille gebieden



Figuur 4.3.1: Logaritmisch gemiddelde maximale geluidsniveaus voor overkomende vliegtuigen uitgezet tegen de afstand in meters (x-coördinaat Rijksdriehoekstelsel van het meetpunt).

5 Implementatie van vereenvoudigde rekenmethode in GIS

In dit hoofdstuk wordt de implementatie van de vereenvoudigd rekenmodel (zie paragraaf 3.2) in een Geografisch Informatiesysteem (GIS) behandeld. Het doel daarbij is het ruimtelijk weergeven van de geluidsverstoring, die veroorzaakt wordt door weg- en of vliegverkeer. De implementatie geschiedt aan de hand van een case. In de case wordt de geïmplementeerde vereenvoudigde methode toegepast op het stiltegebied Midden-Delfland. Enkele overwegingen in de keuze voor dit gebied zijn gegeven in paragraaf 4.1. Het stiltegebied Midden-Delfland dient uitsluitend als voorbeeld, de getoonde geluidscontouren of –niveaus zijn geen weergave van de werkelijke akoestische situatie in Midden-Delfland.

5.1 Vector- en rastermodellen

Een GIS kan als volgt gedefinieerd worden: “Een geografisch informatiesysteem is een computersysteem dat hulpmiddelen biedt om aan elkaar gekoppelde ruimtelijke en niet-ruimtelijke gegevens te structureren, op te slaan, te bewerken, te beheren, op te vragen, te analyseren en weer te geven, zodanig dat die gegevens nuttige informatie opleveren voor het beantwoorden van een gegeven beleid- of onderzoeksvraag” (Hendriks et al, 1997, p.9). Een GIS wordt specifiek gebruikt voor het weergeven van kaarten, waarbij de data in verschillende lagen is opgeslagen waarmee onderzoek en ruimtelijke analyses verricht kunnen worden.

De keuze om de vereenvoudigde rekenmethode te implementeren in GIS is gebaseerd op de ruimtelijke analysemogelijkheden die een GIS biedt. Met het voltooien van de implementatie kan binnen GIS de geluidsverstoring in contouren weergegeven worden. Daarmee wordt de impact van deze verstoring op andere functies en activiteiten in de ruimtelijke werkelijkheid direct zichtbaar. Alleen binnen een GIS is een dergelijke ruimtelijke analyse mogelijk.

De ruimtelijke werkelijkheid wordt in akoestische rekenmethoden vereenvoudigd weergegeven met punten, lijnen en vlakken. Objecten (geografische verschijnselen) in de ruimtelijke werkelijkheid worden weergegeven als lijnen, zoals wegen en als een punt(bron), zoals een auto. Een GIS benadert de ruimtelijke werkelijkheid op ongeveer dezelfde wijze. In een GIS worden datamodellen gebruikt voor het weergeven van de ruimtelijke werkelijkheid. De twee bekendste zijn het vectormodel en het rastermodel.

Vectormodellen zijn bruikbaar voor het weergeven en opslaan van geografische verschijnselen of objecten in de ruimtelijke werkelijkheid met discrete kenmerken, zoals boerderijen, wegen en stiltegebieden. Het vectormodel geeft geografische verschijnselen weer met punten (bijvoorbeeld Martinoren), lijnen (bijvoorbeeld snelweg A7) en polygonen (bijvoorbeeld gemeentegrens). Alle drie kunnen uitgedrukt worden met een coördinatenpaar (x, y) of een verzameling van coördinatenparen. Ook kan er gebruik gemaakt worden van een derde coördinaat (z) in een coördinatenpaar (x, y, z) waarbij z

bijvoorbeeld de hoogte weergeeft. Eigenschappen van of informatie over objecten worden beschreven met zogenoemde attributen en opgeslagen in datatabellen. (ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help)

Een rastermodel is een weergave van de ruimtelijke werkelijkheid opgedeeld in een regelmatig raster van cellen. Rastermodellen of grids zijn geschikt voor het weergeven en opslaan van continue variabelen, bijvoorbeeld hoogtekaarten, verspreidingsmodellen van geur en geluid, een satellietfoto. Een rastercel is de kleinste eenheid die informatie bevat in een raster of grid. Op een kaart geeft iedere cel een deel van de ruimtelijke werkelijkheid weer, bijvoorbeeld een vierkante meter of kilometer. Aan een cel is meestal een attribuutwaarde gekoppeld, bijvoorbeeld type bodem of de concentratie chemische stof (ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help). Rastercellen zijn meestal vierkant en de celdichtheid in verhouding tot de afmeting (extent) van het raster, de zogenoemde resolutie, bepaalt het detailniveau waarmee de werkelijkheid in kaart wordt gebracht. De geometrie van een raster is afhankelijk van de ligging van de oorsprong, gekozen celgrootte en de richting van de x-as en y-as. De afmetingen van een raster worden bepaald door de hoogste en laagste coördinaatwaarden. (Hendriks et al, 1997)

Vector- en rastermodellen worden in een GIS dus gebruikt als vereenvoudiging van de ruimtelijke werkelijkheid. Informatie over die ruimtelijke werkelijkheid wordt binnen vector- of rastermodellen in verschillende (kaart)lagen (bestanden) opgeslagen. Een kaart in een GIS bestaat meestal uit meerdere lagen. Een analyse van ruimtelijke informatie kan plaatsvinden door (kaart)lagen die onderwerp van analyse zijn, te activeren, als het ware over elkaar te leggen en selecties te maken.

5.2 Implementatie in GIS

Het doel is het weergeven van indicatoren voor de geluidsverstoring uit hoofdstuk 3 in een GIS. Dit is mogelijk door het geluidsniveau veroorzaakt door weg- en of vliegverkeer door middel van geluidscontouren te visualiseren. Daarvoor zal de vereenvoudigde rekenmethode, waarmee het maximale geluidsniveau ($L(A)_{MAX}$) en het gemiddelde geluidsniveau ($L(A)_{EQ}$) in hoofdstuk 3 berekend wordt, binnen GIS moeten functioneren. Vervolgens kunnen de berekende geluidsniveaus door middel van geluidscontouren zichtbaar gemaakt worden. Aan de hand van een concrete situatie, het stiltegebied Midden-Delfland, wordt de implementatie toegelicht. De implementatie wordt uitgevoerd in ArcGis 9.1 een softwarepakket van Environmental Systems Research Institute (ESRI). Om het hoofd te bieden aan repeterende bewerkingen in het implementatieproces wordt Modelbuilder gebruikt. ModelBuilder is een visuele programmeertoepassing binnen ArcGis 9.1 waarmee de werkprocessen kunnen worden vastgelegd en uitgevoerd (zie figuren in Bijlage E).

Voordat daadwerkelijk de implementatie van start kan gaan, zal eerst de benodigde data verkregen moeten worden. Vanzelfsprekend kan daarbij gedacht worden aan een of meer bestanden met daarin de ligging van wegen, vliegroutes en stiltegebieden. Naast de ligging van de infrastructuur voor wegverkeer kunnen akoestische eigenschappen of kenmerken, in de vereenvoudigde rekenmethode

beschreven met zogenoemde correctiefactoren (zie hoofdstuk 3), verzameld worden, bijvoorbeeld maximale snelheid, wegdektype en hellingspercentage van het wegdeel.

De dataverzameling kan beperkt worden door het onderzoeksgebied, het stiltegebied Midden-Delfland, af te bakenen. In hoofdstuk 1 is verondersteld dat het niveau van het achtergrondgeluid voornamelijk bepaald wordt door het gebiedseigen geluid in een stiltegebied. Geluid veroorzaakt aan de rand van het stiltegebied kan echter ook van invloed zijn op het achtergrondniveau. Daarom wordt bij de begrenzing van het onderzoeksgebied uitgegaan van een afstand van 875 meter. Op deze afstand is het maximale geluidsniveau berekend met de vereenvoudigde rekenmethode voor een enkele autopassage in de referentiesituatie gelijk aan 30 dB(A). Uit onderzoek blijkt dat het achtergrondniveau (L95) in stiltegebieden binnen Nederland ongeveer rond de 30 dB(A) ligt bij een relatief lage windsnelheid (Van den Berg, 2006, p.4). Wanneer het achtergrondniveau en het niveau van de geluidsverstoring ongeveer gelijk zijn, is deze in de praktijk niet of nauwelijks waarneembaar.

Uit de verzamelde data blijkt waar vliegverkeer en wegverkeer rondom en in het stiltegebied Midden-Delfland voorkomen. De ligging van vliegroutes en wegen is namelijk bekend. De ligging van de geluidscontouren kunnen ongeveer evenwijdig aan de ligging van wegen en vliegroutes voorgesteld worden. Om de exacte ligging van de geluidscontouren te bepalen wordt de vereenvoudigde rekenmethode uit hoofdstuk 3 gebruikt. In hoofdstuk 3 wordt nader ingegaan op het verband tussen immissieniveau en afstand voor weg- en vliegverkeer. Daaruit blijkt dat als de afstand tussen bron (auto of vliegtuig) en waarnemer bekend is, het immissieniveau berekend kan worden in een bepaalde situatie. Bij de implementatie van de vereenvoudigde rekenmethode is daarom het bepalen van de afstand (r) tussen bron en waarnemer belangrijk. Met andere woorden de afstand (r) tussen bron en waarnemer is een variabele waarvoor met behulp van GIS een waarde moet worden gevonden. Een geluidscontour verbindt punten van gelijke niveaus (afstand) en daarom worden per bron meerdere niveaus (afstanden) tussen bron en waarnemer bepaald.

Ook in stiltegebieden komt het voor dat het achtergrondniveau verstoord wordt door de passage van meer dan één auto of vliegtuig of een combinatie hiervan. In de implementatie wordt daarmee als volgt rekening gehouden. Geluidsverstoringen veroorzaakt door enkele passages van voertuigen of vliegtuigen worden met het maximale geluidsniveau weergegeven (zie 3.3.1). Wanneer twee of meer van deze geluidsverstoringen tegelijkertijd optreden, wordt het maximale geluidsniveau weergegeven dat hoort bij de meest luide passage. Wanneer bijvoorbeeld de passage van een vliegtuig en de passage van een auto in de tijd samenvallen, waarbij het vliegtuig veel meer lawaai maakt dan de auto, wordt het maximale geluidsniveau van het vliegtuig weergegeven. Op deze manier wordt altijd het maximale geluidsniveau weergegeven ongeacht de locatie van de bron, tijdstip of het type bron. Een geluidsverstoring veroorzaakt door de passage van meerdere voertuigen wordt met het gemiddelde geluidsniveau weergegeven (zie 3.3.2). Wanneer twee of meer van deze gebeurtenissen tegelijkertijd optreden, zal het gemiddelde geluidsniveau opnieuw berekend moeten worden. Daarvoor is een logaritmische sommatie van geluidsdrukniveaus of een rekenkundige sommatie van geluidsiteitsniveaus noodzakelijk.

Op basis van bovenstaande voorwaarden en argumenten kan de implementatie van indicatoren voor de verstoring van het natuurlijk achtergrondniveau door weg- en vliegverkeer binnen ArcGis 9.1 worden uitgevoerd. De uitvoering van de implementatie wordt in delen uitgewerkt. Het is hierbij niet de bedoeling in detail in te gaan op het gebruik van de verschillende opdrachten of een [commando]. Eenvoudige opdrachten of commando's, zoals [add field] en [calculate], worden alleen toegelicht indien strikt noodzakelijk. In bijlage E zijn de gebruikte processen schematisch weergegeven. Hieronder volgt in stappen de beschrijving van het implementatieproces:

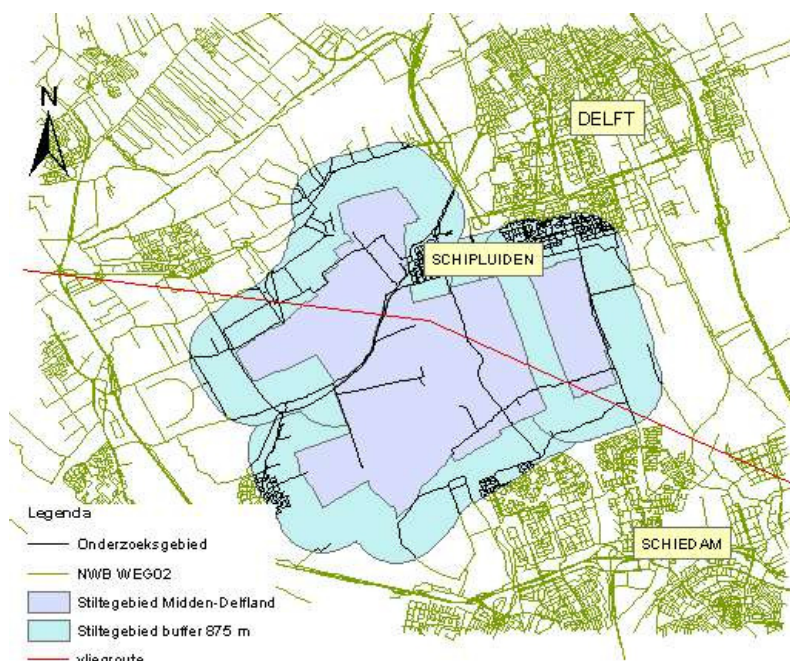
- 1 Het afbakenen van het onderzoeksgebied
- 2 Het aanpassen van de infrastructuur
- 3 Het bepalen van de afstand (r) tussen bron en waarnemer
- 4 Het berekenen van het $L(A)EQ$ en $L(A)MAX$ voor de verschillende bronnen
- 5 Het weergeven van de geluidscontouren voor het $L(A)EQ$ en $L(A)MAX$

1 Het afbakenen van het onderzoeksgebied

Vliegverkeer en wegverkeer binnen en rondom het stiltegebied Midden-Delfland zijn van invloed op het achtergrondniveau. De wegen en vliegroutes die van invloed zijn op dit geluidsniveau worden gerekend tot het onderzoeksgebied (fig. 5.2.1). Als selectiecriteria voor het bepalen van de omvang van het onderzoeksgebied is in deze case gekozen voor de afstand waarop een enkele autopassage een maximaal geluidsniveau produceert van 30 dB(A).

Toepassing van de vereenvoudigde rekenmethode voor het $L(A)MAX$ voor een enkele autopassage in de referentiesituatie (zie Hoofdstuk 3) laat zien dat een afstand van 875 meter overeenkomt met

een maximaal geluidsniveau van 30 dB(A). Het onderzoeksgebied kan aangegeven worden door een bufferzone op een afstand van 875 m rondom het stiltegebied te trekken. Met behulp van twee bestanden, namelijk het bestand met de ligging van het stiltegebied en het bestand met daarin de ligging van de wegen, kunnen de relevante wegen in het onderzoeksgebied geselecteerd worden.



Figuur 5.2.1: Presentatie van het stiltegebied Midden-Delfland in ArcGis. In de Legenda staan de gebruikte kaartlagen. NWB Weg 02 staat voor Nationaal Wegenbestand Weeverkeer 2002

Het bestand met de bufferzone van 875 meter en het bestand met de ligging van de wegen dienen als invoer voor de bewerking. Het resultaat is een bestand met wegen waarvan de geluidsbelasting van invloed kan zijn op het geluidsniveau in het onderzoeksgebied. In Bijlage D figuur D.1 wordt de procedure in ArcGis 9.1 schematisch weergegeven met daarbij de gebruikte commando's, bestanden en ingevoerde variabelen.

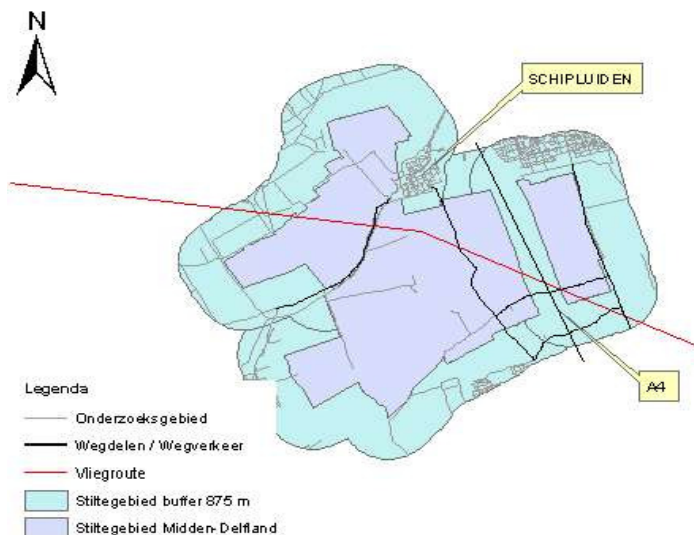
2 Het aanpassen van de infrastructuur

De vereenvoudigde rekenmethode is toepasbaar op wegen of vliegroutes met een rechtlijnig verloop. Om het immissieniveau in andere situaties dan de referentiesituatie te berekenen zijn correctiefactoren afgeleid (zie paragraaf 3.3). De correctiefactoren zijn van invloed op het emissieniveau van een bron en kunnen per locatie (wegdeel, vliegroute) verschillen, daarom kunnen correctiefactoren als akoestische eigenschap aan de infrastructuur toegekend worden. Daarvoor is een bewerking en aanpassing van de infrastructuur in het onderzoeksgebied nodig. Hierbij wordt een scheiding gemaakt tussen vlieg- en wegverkeer.

Eerst wordt het bestand met de ligging van de wegen bewerkt. De bewerking bestaat uit een selectie en aanpassing op basis van akoestische eigenschappen van de wegdelen. Bij de selectie worden alleen die wegdelen meegenomen waarop wegverkeer normaliter voorkomt; wegen waar wegverkeer mag rijden en waarbij sprake is van uitzonderlijke of minder gangbare situaties, zoals fiets-, doodlopende- en ventwegen, worden niet meegenomen (fig. 5.2.2). Ook wegverkeer binnen de bebouwde kom wordt niet meegenomen, omdat de vereenvoudigde rekenmethode hierop niet van toepassing is (zie paragraaf 3.3). Hierna worden de geselecteerde wegdelen opgesplitst in rechte stukken, zodat er geen (scherpe) bochten voorkomen in een wegdeel. Vervolgens kan aan de overgebleven selectie van wegen of wegdelen akoestische eigenschappen toegekend worden (zie stap 4). Deze akoestische eigenschappen komen overeen met de correctiefactoren die afgeleid zijn in hoofdstuk 3. Een akoestische eigenschap voor een wegdeel is bijvoorbeeld de maximum snelheid. De overeenkomende correctiefactor (Cs) kan aan dat wegdeel toegevoegd worden.

De werkwijze voor het aanpassen van de infrastructuur voor het wegverkeer is als volgt. Het bestand met de ligging van wegen bestaat uit een verzameling wegen, die per wegdeel verschillende eigenschappen (attributen) bezitten, bijvoorbeeld straatnaam, wegdektype, maximum snelheid. Een wegdeel kan aangepast worden met de editorfunctie van ArcGis 9.1. De wegen of wegdelen kunnen opgedeeld 'split' of samengesteld 'union' worden waarbij rekening gehouden dient te worden met de akoestische eigenschappen van het wegdeel. De verkregen (akoestisch relevante) wegdelen worden na (alle) bewerking(en) geselecteerd en weergegeven in aparte kaartlagen en vervolgens opgeslagen als aparte bestanden. Van de aangepaste wegdelen moeten de begin- en eindcoördinaten opnieuw berekend worden, deze worden later (in stap 4) gebruikt voor het bepalen van de openingshoek die nodig is voor de berekening van een gemiddeld geluidsniveau (zie hoofdstuk 3)

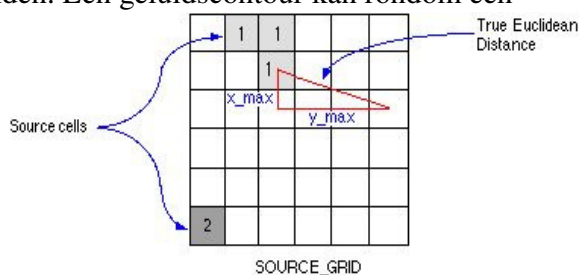
Na de bewerking van de infrastructuur voor wegverkeer kan een bestand (kaartlaag) aangemaakt worden met daarin de ligging van de vliegroute over het stiltegebied Midden-Delfland (fig. 5.2.2). Hiervoor wordt een andere methode toegepast namelijk een benadering van de werkelijke vliegroute door het “tekenen van lijnstukken” met behulp van de editorfunctie aanwezig in ArcGis 9.1. Op deze manier kan een route voor vliegverkeer aangemaakt worden, deze methode kan ook toegepast worden voor het toevoegen van een wegdeel, zoals gebeurd is voor de verlenging van de A4 tussen Delft en Schiedam (fig. 5.2.2). De ligging van de vliegroute is afgeleid uit de radartracks weergegeven in de figuur 1 in bijlage B.



Figuur 5.2.2: Stiltegebied Midden-Delfland, de kaartlaag “wegdelen / wegverkeer” geeft de geselecteerde wegen weer die op basis van akoestische eigenschappen bewerkt worden.

3 Het bepalen van de afstand (r) tussen bron en waarnemer

In de vorige stap zijn correctiefactoren, in overeenstemming met de akoestische eigenschappen, aan een wegdeel of vliegroute toegekend en vervolgens zijn de aparte delen opgeslagen in afzonderlijke bestanden. Een geluidscontour kan rondom een wegdeel of vliegroute getrokken worden als de afstand (r) tussen bron en waarnemer bekend is. De afstand (r) tussen weg of route en een willekeurig punt binnen het onderzoeksgebied is een variabele waarvoor met behulp van GIS een waarde moet worden gevonden. Omdat deze afstand binnen de omvang (grenzen) van het onderzoeksgebied continue variabel is, wordt het rastermodel gebruikt.

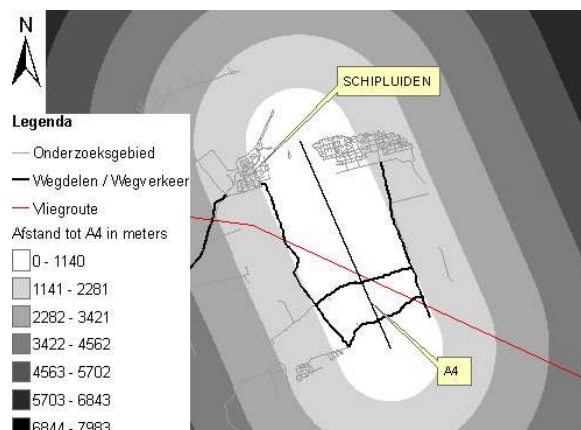


Figuur 5.2.3: Berekening van de Euclidische afstand (bron: ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help).

Binnen ArcGis 9.1 kan met één opdracht in een raster de euclidische richting en afstand ten opzichte objecten met geometrische kenmerken in het vectormodel (zoals wegen en vliegroutes) berekend en opgeslagen worden.

Met het bepalen van de euclidische richting wordt in een raster het azimut, de kompasrichting, van iedere cel ten opzichte van een wegdeel of vliegroute vastgelegd⁵. Het azimut geeft de richting in graden gemeten vanaf het noorden (360 graden) (ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help).

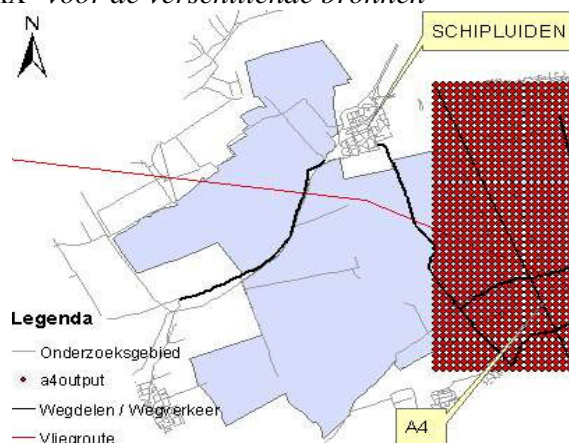
Met het bepalen van de euclidische afstand wordt de afstand van een rastercel tot een wegdeel of route berekend en opgeslagen in een raster. Als de originele data een vectormodel betreft wordt deze eerst intern geconverteerd tot een raster voordat de euclidische analyse wordt toegepast. Binnen ArcGis 9.1 wordt standaard de resolutie van het raster ingesteld door de kleinste dimensie van de omvang (hoogte of breedte) van de vectorkaart te nemen en te delen door 250. Optioneel kan de resolutie ingesteld worden door een waarde op te geven voor de celgrootte van het raster waarin de afstanden opgeslagen worden. Voor iedere cel binnen het raster wordt de maximale afstand over de x-as en over de y-as gezocht tot de broncel, daarbij wordt uitgegaan van het middelpunt van de rastercellen. Op basis van deze afstanden wordt de hypotenusus berekend (fig. 5.2.3). Deze berekening levert de ware euclidische (niet de cel) afstand op (ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help). Het resultaat van de bewerking euclidische afstand is een raster waarin de afstand tot een wegdeel of vliegroute bekend is (fig.5.2.4).



Figuur 5.2.4: Weergave van het raster “Afstand tot A4 in meters”, omvang (extent) van het raster is gelijk aan de omvang van het onderzoeksgebied.

4 Het berekenen van het $L(A)_{EQ}$ en $L(A)_{MAX}$ voor de verschillende bronnen

Nu de afstand (r) binnen GIS berekend is, kan de omzetting naar geluidsniveaus uitgevoerd worden. Daarvoor zal de data in het rastermodel, namelijk de afstand (r) tussen een wegdeel of vliegroute en een willekeurige positie binnen het onderzoeksgebied, toegevoegd moeten worden aan de data in de vectorkaart, namelijk de ligging van de wegen en vliegroutes met bijbehorende akoestische eigenschappen (attributen). Om de data uit het rastermodel over te brengen, wordt



Figuur 5.2.5: Het vectorbestand a4output is een resultaat van het procesmodel 1.2 uit bijlage E.

⁵ Met het opslaan van de kompasrichting kan rekening gehouden worden met de invloed van de windrichting bij akoestische berekeningen. Nader onderzoek zal de bruikbaarheid hiervan moeten uitwijzen.

het raster met de afstanden tot een wegdeel of vliegroute omgezet naar een vectormodel. Het middelpunt van een rastercel wordt in het vectormodel weergegeven als een punt. Zo ontstaat een regelmatig gespreid puntenpatroon (zie fig 5.2.5: kaartlaag a4output en fig. 5.2.6: bijbehorende attribuuttabel). Om de toevoeging van de afstand (r) te voltooien moet een koppeling gecreëerd worden tussen het omgezette vectormodel. Waarin de afstand (r) een eigenschap (attribuut) is van afzonderlijke punten. En het vectormodel met de ligging van een wegdeel of vliegroute. Deze koppeling wordt uitgevoerd met de opdracht [join] in het procesmodel (Bijlage D. figuur D.2).

Voordat het L(A)EQ berekend kan worden (alleen bij wegverkeer) is het noodzakelijk een openingshoek in graden (Fig. 5.2.6: inv_cos) te berekenen (zie hoofdstuk 3). De openingshoek is de hoek waaruit een waarnemer een wegdeel of vliegroute ziet. Met de cosinus formule (Fig. 5.2.6: cosinus) kan de grootte van deze hoek berekend worden. Daarvoor zijn gegevens nodig van de begin- en eindpunten van een wegdeel en de positie van een waarnemer. In het vectormodel zijn deze punten opgeslagen als xy-coördinaten (Fig. 5.2.6: pointx en pointy). De begin- en eindpunten van een wegdeel (Fig. 5.2.6: startx, starty, endx en endy) zijn te achterhalen door een kleine berekening in het vectormodel toe te passen⁶. De daadwerkelijke berekening voor

ID	Shape	pointx	pointy	startx	starty	endx	endy	Richting	Afstand	Leq	Lmax	Cb	Cl	Cw	Ch	Ck	cosinus	inv_cos
0	Point	81591,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0,892228	28,83297
1	Point	81591,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0,654916	49,08673
2	Point	81781,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	270	100	0	0	0	2	3	0	0	0,493069	60,45753
3	Point	81891,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	270	200	0	0	0	2	3	0	0	0,396417	66,52079
4	Point	81991,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	225	282	0	0	0	2	3	0	0	0,320897	71,27680
5	Point	82091,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	236	360	0	0	0	2	3	0	0	0,249421	75,55682
6	Point	82191,0	443320,4	81591,0	443351,0	82400,3	441720,4	243	447	0	0	0	2	3	0	0	0,180052	79,62729

Figuur 5.2.6: Weergave van de attribuuttabel van het vectorbestand "A4output", zie ook figuur 5.5. Eindresultaat van procesmodel 1.2 Bijlage

de openingshoek is ondergebracht in (sub)model geometrie (zie Bijlage D figuur D.2). Voor de berekening van het L(A)MAX (zie Bijlage D figuur D.3) is het berekenen van een openingshoek niet nodig (zie ook Hoofdstuk 3).

Tijdens de uitvoering van de opdracht [join] hernoemt ArcGis 9.1 de kolomnamen automatisch volgens een standaard intern protocol. In het (sub)model "hernoem veldnamen" worden de kolomnamen van de kolommen in het bestand aangepast, zodat de attribuuttabel van het bestand weer overzichtelijk wordt. In het (sub)model "niveau en Cf" worden kolommen voor L(A)MAX, L(A)EQ en de correctiefactoren voor bodem (Cb) atmosfeer (Cl) wegdektype (Cw) en hellingspercentage (Cw) toegevoegd aan de attribuuttabel van de afzonderlijke bestanden waarin de ligging van een wegdeel of vliegroute is opgeslagen (zie stap 2). Vervolgens kan de waarde van de correctiefactoren in de kolommen worden ingevuld.

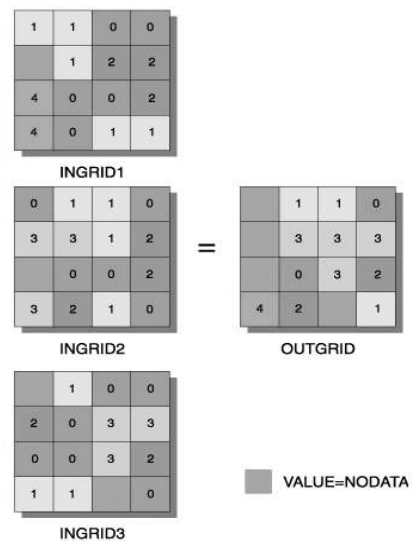
Nu de afstand (r) berekend is, de openingshoek bekend is en de correctiefactoren ingevuld zijn kan het L(A)EQ en het L(A)MAX daadwerkelijk berekend worden. Het berekenen van een waarde voor het L(A)EQ en het L(A)MAX in de attribuuttabel (fig. 5.2.6) voltrekt zich in procesmodel L(A)EQ (Bijlage D figuur D.4) en procesmodel L(A)MAX (Bijlage D figuur D.3). Het resultaat van deze procesmodellen zijn rasters waarin de rastercellen een waarde weergeven voor het berekende geluidsniveau. In de

⁶de expressie hiervoor is te vinden op <http://www.ian-ko.com>.

volgende stap worden de rastercellen met gelijke waarden verbonden, zodat geluidscontouren getoond kunnen worden.

5 Het weergeven van de geluidscontouren voor het L(A)EQ en L(A)MAX

In stap 4 zijn de afstanden tot wegdelen of vliegroutes omgezet naar geluidsniveaus. De geluidscontouren kunnen weergegeven worden door punten met gelijke niveaus te verbinden. Wanneer rekening gehouden wordt met de verstoring van het achtergrondniveau door de passage van meer dan één (vracht)auto of vliegtuig of een combinatie hiervan (zie 5.2) is een extra bewerking nodig. Als invoer wordt daarbij gebruik gemaakt van de rasterbestanden met geluidsniveaus uit stap 4. Om vervolgens gelijke niveaus voor het L(A)EQ en L(A)MAX door middel van contouren weer te geven is een statistische bewerking (L(A)MAX) of een sommatie (L(A)EQ) nodig. Voor de verschillende rasters met de maximale geluidsniveaus ten gevolge van één wegdeel- of vliegroute is een statistische bewerking nodig om de hoogste waarde van in locatie overeenkomende rastercellen van de betreffende rasters weer te geven. Daarom wordt een zogenaamde “overlay statistic” toegepast en wordt gekozen voor de statistische bewerking “maximum”. Daarmee wordt van in locatie overeenkomende rastercellen, liggend in aparte rasters met gelijke geometrie, de hoogste waarde geselecteerd en opgeslagen in een nieuw raster (fig. 5.2.7). Hierna kunnen de geluidscontouren weergegeven worden, optioneel kan hierbij een interval opgegeven worden (Bijlage D fig. D.5).

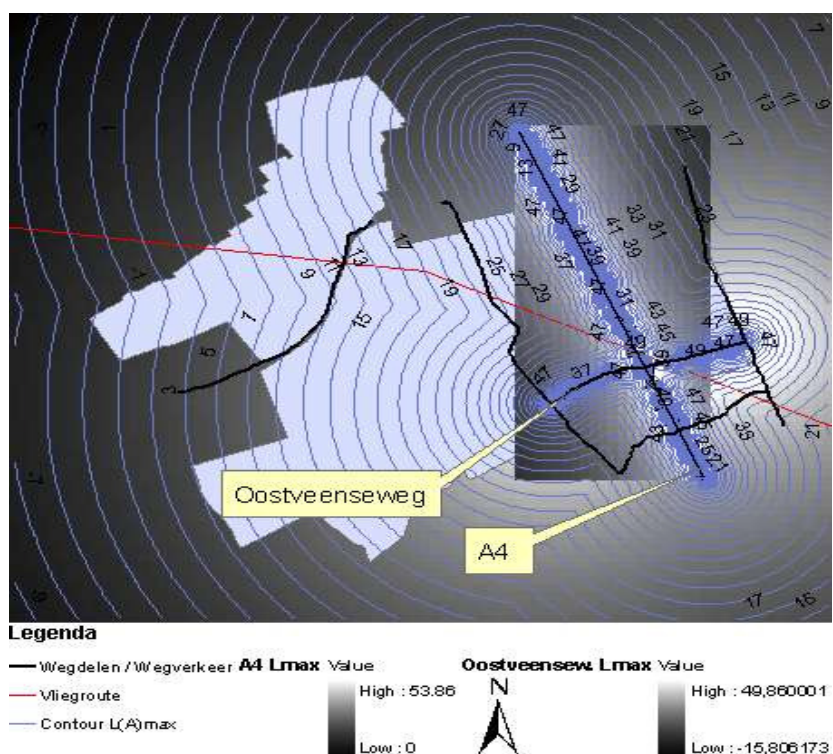


Expression: MAX(INGRID1, INGRID2, INGRID3)

Figuur 5.2.7: Overlay statistic met opdracht maximum, analoog de opdracht sum. (bron: ESRI, 2005, ArcGis Desktop Help)

Het presenteren van geluidscontouren op basis van een L(A)EQ vraagt om een extra bewerking. Een gemiddeld geluidsniveau veroorzaakt door een combinatie van weg- of vliegverkeer wordt berekend door de betreffende rasters logaritmischesommen. Op deze manier wordt het gemiddelde geluidsniveau veroorzaakt door alle bronnen in één raster weergegeven. Binnen ArcGis 9.1 is logaritmischesommen over verschillende rasters mogelijk door middel van het invoeren een expressie in de rastercalculator. De expressie in de rastercalculator moet bij iedere sommatie opnieuw ingevoerd worden. Omwille van het gebruikersgemak wordt daarom een vereenvoudigde uitwerking toegepast. Binnen het vectormodel wordt het geluidsniveau omgezet naar geluidsintensiteit alvorens de uitvoer naar een raster plaatsvindt (Bijlage D fig. D.4). Daarna worden van in locatie overeenkomende rastercellen, liggend in aparte rasters met gelijke geometrie, de geluidsintensiteiten rekenkundig gesommeerd (figuur 5.2.7) en het totaal van de som omgezet naar een gemiddeld geluidsniveau. Hierna kan met [contour] een interval opgegeven worden voor de geluidscontouren (Bijlage D fig. D.6).

In figuur 5.2.8 wordt als voorbeeld een resultaat getoond na het toepassen van stap 5 met betrekking tot de geluidcontouren voor het L(A)MAX . Deze figuur laat twee



Figuur 5.2.8: Geluidscontour L(A)MAX voor de A4 en de Oostveenseweg als gevolg van een enkele voertuigpassage.

rasters zien met verschillende omvang, namelijk een raster met L(A)MAX ten gevolge van de A4 en een raster met L(A)MAX ten gevolge van de Oostveenseweg. De geluidscontouren zijn een resultaat van een “overlay statistic” met opdracht “maximum” (fig. 5.2.7).

Met het doorlopen van de stappen 1 tot en met 5 is het implementatieproces voltooid. Om voor een stiltegebied geluidscontouren ten gevolge van wegverkeer en vliegverkeer te presenteren, moet voor ieder wegdeel of vliegroute stap 2 tot en met 4 doorlopen worden. Per wegdeel of vliegroute wordt er een kaartlaag (bestand) aangemaakt waarin de akoestische eigenschappen van dat wegdeel of vliegroute worden opgeslagen. Daarna wordt per wegdeel of vliegroute de geluidsverstoring uitgedrukt in een L(A)MAX en een L(A)EQ en in afzonderlijke kaartlagen (bestanden) opgeslagen. Uiteindelijk volgt dan uit stap 5 de presentatie van de geluidscontouren, door per indicator voor de geluidsverstoring alle kaartlagen over elkaar te leggen en de contouren op basis van een statistische bewerking (ruimtelijke analyse) te tekenen.

5.3 Implementatie perikelen

Het doel van de implementatie is het weergeven van indicatoren voor geluidsverstoring namelijk L(A)EQ en L(A)MAX . Het implementeren van de vereenvoudigde rekenmethode

waarmee een waarde voor de indicatoren berekend kan worden is redelijk complex. Een reden hiervoor is de structuur van de vereenvoudigde rekenmethode. Met deze rekenmethode wordt een logaritmisch verband tussen afstand en immissieniveau beschreven in combinatie met discrete correctiefactoren. Met andere woorden continue data (afstand of geluidsniveau) en discrete data (correctiefactoren) worden binnen één formule gebruikt. In paragraaf 5.1 wordt beschreven dat het vectormodel geschikt is voor discrete data en het rastermodel voor continue data. De uitwisseling van data tussen het vector- en rastermodel maakt deze implementatie complex.

In de tweede stap wordt namelijk de discrete data toegekend aan het vectormodel: de correctiefactoren worden gekoppeld aan de wegdelen of vliegroutes. In stap 3 wordt met behulp van het rastermodel de afstand (r) tot het wegdeel of vliegroute bepaald en in een raster opgeslagen. Daarna volgt een koppeling tussen het raster- en vector model, zodat de afstand (r) toegevoegd wordt aan het vectormodel. Binnen het vectormodel wordt de vereenvoudigde rekenmethode uitgevoerd: een vermenigvuldiging en somming van meerdere (discrete) attribuutdata. Met het uitvoeren van deze koppeling is afstand omgezet van continue variabele naar een discrete variabele. Het resultaat, de attributtabel met afstand (r) en correctiefactoren, wordt getoond in figuur 5.7.

Omdat de tweede stap het toekennen van de correctiefactoren en het aanpassen van infrastructuur bewerkelijk is, ontstaat de behoefte om taken te vereenvoudigen. In stap 2 worden twee werkwijzen gebruikt. De ene betreft het zogenaamde “tekenen van lijnstukken” in ArcEditor. De ander gaat uit van het aanpassen van een bestaand bestand waarin kenmerken van de infrastructuur zijn vastgelegd. Voor het implementeren van de vereenvoudigde rekenmethode maakt het niet uit welke werkwijze gevolgd wordt. Wel is direct duidelijk dat de eerste werkwijze minder arbeidsintensief is. Een vergelijking tussen de twee werkwijzen zal moeten uitwijzen of er verschillen bestaan in de uiteindelijk verkregen ligging van de geluidscontouren.

De resolutie van de rasters heeft ook invloed op de ligging van de geluidscontouren. In Stap 3 wordt met behulp van het rastermodel de euclidische afstand berekend (fig. 5.2.3). Optioneel kan bij die bewerking gekozen worden om de celgrootte van het uitvoerraster op te geven. Wanneer voor relatief grote rastercellen, lage resolutie, gekozen wordt zal de afwijking in de euclidische afstand groter zijn ten opzichte van een uitvoerraster met hoge resolutie. Een nadeel van het werken met rastermodellen met een relatief hoge resolutie is de rekenkracht(tijd) die van de computer gevraagd wordt.

Ondanks de opmerkingen over het redelijk complexe implementatieproces en de bewerkelijke en tijdrovende uitvoering kan gesteld worden dat de implementatie van de vereenvoudigde rekenmethode binnen GIS werkt. Wanneer eenmaal de ligging van een Stillegebied in relatie tot het wegverkeer en vliegverkeer op basis van het beschreven implementatieproces in GIS is ingevoerd, kunnen aanpassingen eenvoudig worden aangebracht. Een aanpassing kan nodig zijn om toekomstige ontwikkelingen in kaart te brengen, bijvoorbeeld de aanleg van de A4, het verleggen van een vliegroute, het aanbrengen van een nieuw wegdek (correctiefactor C_w) of het weergeven van het effect van het aanpassen van de maximale snelheid (correctiefactor C_s) op een wegdeel. Daarvoor hoeft alleen een klein deel van stap 4 (bijlage D fig. D.3 en D.4) en stap 5 opnieuw doorlopen te worden.

Vliegverkeer en wegverkeer zijn niet de enige bronnen van geluidsverstoring in stillegebieden. Met dit implementatieproces kunnen ook andere geluidbronnen, waarvan

de geluidsverstoring uit te drukken is met een $L(A)EQ$ of een $L(A)MAX$, zoals treinverkeer en pleziervaart, of meer algemene statische bronnen, zoals steden, in kaart gebracht worden.

5.4 Gebiedsgerichte toepassing vereenvoudigd rekenmodel

Een GIS systeem wordt gebruikt voor ruimtelijke analyse. Doordat het vereenvoudigd rekenmodel in GIS is geïmplementeerd kan het gebruikt worden bij het uitvoeren van een ruimtelijke analyse. Een simpele ruimtelijke analyse kan geschieden door een lagen benadering van de ruimtelijke werkelijkheid. Met die benadering kan het landschap als drager van de ruimtelijke structuur opgedeeld worden in lagen, bijvoorbeeld een netwerk laag (wegen en water-), bodem laag (bodemgesteldheid en bodem structuur) en een occupatie laag (stedelijke omgeving of natuurlijke). Bestemming en functie van het landschap wordt per laag inzichtelijk gemaakt en de relatie tussen de lagen onderling wordt duidelijk.

De lagenbenadering maakt op eenvoudige wijze duidelijk hoe een gebied in elkaar steekt. Voor een gebied kan bepaalde visie opgesteld worden, die richtinggevend is voor toekomstige ontwikkelingen. Deze visie geeft een wenselijke ontwikkeling van de kwaliteit van het gebied weer. De kwaliteit van een gebied kan gedifferentieerd worden in gebiedstypen. Daardoor verschillen gebiedstypen onderling in omgevingskwaliteit. De omgevingskwaliteit van een gebiedstype wordt bepaald door de aanwezige gebiedskenmerken. Gebiedskenmerken in een natuurlijke omgeving worden daarbij anders beoordeeld en van andere eisen voorzien dan in een stedelijke omgeving. Omgevingsgeluid kan gezien worden als een gebiedskenmerk en dus een kwaliteit van het gebied.

Binnen deze gebiedsgerichte benadering is het vereenvoudigd rekenmodel toepasbaar op stille gebieden. Stille gebieden zoals omschreven met de referentiesituatie in (3.1) kunnen meerdere gebiedstypen omvatten. Binnen deze gebiedstypen kan de geluidsverstoring door weg- en vliegverkeer met de opgestelde indicatoren $L(A)MAX$ en $L(A)EQ$ in kaart gebracht worden. Deze indicatoren brengen (gedeeltelijk) de kwaliteit van het omgevingsgeluid in kaart. Binnen verschillende gebiedstypen is de kwaliteit van het omgevingsgeluid een belangrijk gebiedskenmerk. Het vereenvoudigd rekenmodel in GIS kan daarom gebruikt worden voor ontwikkelen, monitoren, sturen, beheersen, analyseren van het gebiedskenmerk omgevingsgeluid binnen een gebiedstype.

Conclusie

Stiltegebieden zijn sinds 1979 in de wetgeving vastgelegd. Het beheer van de akoestische kwaliteit van stiltegebieden is tegenwoordig een taak van de provinciale overheid. De daarvoor in de praktijk gehanteerde grenswaarde is niet in de wetgeving vastgelegd. Deze grenswaarde wordt in een substantieel deel van stiltegebieden benaderd of overschreden door geluid veroorzaakt door weg- en of vliegverkeer. De akoestische kwaliteit van stiltegebieden staat daarmee onder druk. Een beoordelingsmethode gericht op geluidsverstoring in stiltegebieden ontbreekt. Om geluidsverstoringen te kwantificeren kunnen indicatoren voor de hoorbaarheid van geluidsverstoring opgesteld worden. Naast tijdsduur als indicator voor hoorbaarheid kunnen indicatoren met een geluidsniveau uitgedrukt worden. Een maximaal geluidsniveau wordt gebruikt voor incidentele voertuigpassages en een equivalent (gemiddeld geluidsniveau) voor continu verkeer. Met bestaande rekenmodellen voor weg- en vliegverkeer kunnen indicatoren, $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$, in stiltegebieden berekend worden, een tijdverslindende en ingewikkelde opgave. Het ISO rekenmodel kan voor beide indicatoren $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$ gebruikt worden. In de ISO 9613-2 rekenmethode wordt gemeld dat de methode niet geschikt is om geluid veroorzaakt door vliegverkeer te berekenen.

Relatief stille gebieden, waartoe stiltegebieden in de regel tot gerekend worden, worden gekenmerkt door een grote afstand tot lawaaiige activiteiten. Daarom komen deze gebieden relatief vaak voor in een landelijke gebied. Een typisch landelijk gebied zoals die in werkelijkheid veelal voorkomt, is een relatief eenvoudige omgeving. Deze relatief eenvoudige omgeving wordt aangeduid als een referentiesituatie voor stille gebieden.

Veronderstellingen onderliggend aan het vereenvoudigd rekenmodel kunnen worden gecontroleerd met geluidsmetingen in het veld. Uit de controle van indicator $L(A)_{MAX}$ voor incidentele voertuigpassages van wegverkeer blijkt dat de indicator $L(A)_{MAX}$ alleen geldig is wanneer de afzonderlijke voertuigpassages elkaar niet overlappen. De controle van indicator van $L(A)_{EQ}$ is in dit onderzoek niet uitgevoerd vanwege de te grote meetinspanning.

Uit de controle van indicator $L(A)_{MAX}$ voor incidentele vliegtuigpassages lijkt indicator $L(A)_{MAX}$ een geluidsverstoring door vliegverkeer binnen de referentiesituatie weer te kunnen geven.

Het vereenvoudigd rekenmodel wordt geïmplementeerd in een geografisch informatiesysteem (GIS) met als doel de indicatoren voor de geluidsverstoring ruimtelijk (geluidscouturen) weer te geven. Doordat het vereenvoudigd rekenmodel in GIS is geïmplementeerd kan het gebruikt worden bij het uitvoeren van ruimtelijke analyse. Binnen een gebiedsgerichte benadering is het vereenvoudigd rekenmodel toepasbaar op stille gebieden. Stille gebieden die voldoen aan de referentiesituatie kunnen meerdere gebiedstypen omvatten. Binnen deze gebiedstypen kan de geluidsverstoring door weg- en vliegverkeer met de opgestelde indicatoren $L(A)_{MAX}$ en $L(A)_{EQ}$ in kaart gebracht worden. Deze indicatoren brengen (gedeeltelijk) de kwaliteit van het omgevingsgeluid in kaart. Binnen verschillende gebiedstypen is de kwaliteit van het omgevingsgeluid een

belangrijk gebiedskenmerk. Het vereenvoudigd rekenmodel in GIS kan daarom gebruikt worden voor het ontwikkelen, monitoren, sturen, beheersen, analyseren van het omgevingsgeluid als gebiedskenmerk van een gebiedstype.

Op basis van deze eerste opzet van een beoordelingsmethode voor stille gebieden is het wellicht interessant om ook naar andere geluidsbronnen te kijken die met dezelfde indicatoren voor geluidsverstoring weergegeven kunnen worden. Een onderzoek naar geluidverstoring door bijvoorbeeld treinverkeer zou in het kader van dit onderzoek ook interessant zijn.

Maar vooral het aspect tijd verdient nader onderzoek. Tijdsduur als indicator van de hoorbaarheid van geluidsverstoringen wordt hier niet behandeld. Tijd kan in combinatie met de indicator $L(A)_{MAX}$ gebruikt worden om geluidsverstoringen beter weer te geven: met name geluidsverstoringen veroorzaakt door niet continue bronnen.

Referenties

- C(2003) 2807. Aanbeveling van de Commissie. In: *Publicatieblad van de Europese Unie*.
- Europees Parlement en de Europese Unie (2002). *Richtlijn 2002/49/EG inzake de evaluatie en de beheersing van omgevingslawaai*. Brussel: Europese Unie, PbEg L 189.
- Berg van den, G.P, (2005) *Prevalence and level of transport sounds in Dutch quiet areas*. In: Applied Acoustics, Special edition on quiet areas.Groningen: Rijksuniversiteit Groningen, natuurkundewinkel.
- Deventer, F.W.J. van (2003). *Basiskennis Geluidzonering*.
http://www2.vlieghinder.nl/knipsels_pmach/pdfs/Basiskennis_Geluidzonering_Luchtvaart.pdf. (07-01-2007)
- ECAC.CEAC Doc.29: 2005. *3rd Edition Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports Volume 2: Technical Guide*.
- ESRI (1994).*ARC/INFO Data Management. Concepts, data models, database design, and storage*.USA.
- ESRI (1996) *ArcView GIS. The Geographic Information System for Everyone*.USA.
- ESRI. (1996) *ArcView Spatial Analyst. Advanced Spatial Analyses Using Raster and Vector Data*. USA.
- ESRI (2005). ArcGis Desktop Help
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.1/index.cfm?TopicName=welcome>.(07-01-2007)
- ESRI (2005) ArcGIS 9.1/ ArcView 9.1 and ArcGIS Extensions. Evaluation Edition. USA: ESRI.
- Gezondheidsraad (2006). *Stille gebieden en gezondheid*. Den Haag: Gezondheidsraad, publicatie nr 2006/12.
- Harris,C.M. (1979). *NOT - Handbook of Noise Control*, second edition. McGraw-Hill, Inc.

-
- Hendriks, P & Ottens, H.(1997). *Geografische Informatie Systemen in ruimtelijk onderzoek*. Assen: Van Gorcum
 - Heywood, I. Cornelius, S. Carver, S. (1998). *An Introduction to Geographical information systems*. New York: Pearson Education Limited
 - ISO 9613-2: 1996. *Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation*.
 - Jabben, J., Dassen, A.G.M., Potma, C.J.M.e.a. (2001). *Geluidmonitor 2001. Trend- en validatiemetingen omgevingsgeluid*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapportnummer 725201205.
 - Jabben, J., Dassen, A.G.M., Potma, C.J.M.e.a. (2003). *Geluidmonitor 2003. Trend- en validatiemetingen omgevingsgeluid*. Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, RIVM rapportnummer 500028002/2004.
 - Jong, F de, Marseille, M. Smits, G. e.a.(1982) *Stilte, een kwestie van luisteren. De ontwikkeling van een methode voor het inventariseren van stiltegebieden*. Milieukundig Studiecentrum Groningen, RuG.
 - Jong, R. de & Vogel, P. (1996). *NLR contract rapport. CR 96650L. Versie 8 Appendices van de voorschriften voor de berekening van de geluidsbelasting. Geluidsniveaus, prestatiegegevens en indeling naar categorie*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, RB-RLD-LI 5.2, 1996
 - Lanting, C.P. & Berg, G.P. van den (2003). *Op zoek naar stilte – indicatoren van stilte in De Wieden/De Weerribben, NP Utrechtse Heuvelrug en de Zak van Zuid-Beveland*. Groningen: Natuurkundewinkel Rijksuniversiteit Groningen (RuG), uitgavenummer NWU-114.
 - Miller, N.P. (1999). The effects of aircraft overflights on visitors to U.S. National Parks. *Noise Control Engineering Journal* 1999; 47 (3) p.112-117
 - Miller, N.P. Harris Miller, Miller & Hanson (z.j.). *Transportation Noise and the Value of Natural Quiet*. <http://www.georgewright.org/0330miller.pdf> (07-01-2007)
 - Ministerie van VROM (1981). *Reken- en Meetvoorschrift Verkeerslawaaï*. Den Haag: Staatsuitgeverij.
 - Ministerie van VROM (2002). *Reken- en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaaï*
-

- 2002 (RMW2002) . Den Haag.
- Oudelaar, J.L. & Berg, G.P. van den (2006). *Op zoek naar stilte – indicatoren van stilte in stiltegebieden in Friesland*. Groningen: Natuurkundewinkel Rijksuniversiteit Groningen (RuG), uitgavenummer NWU-119.
 - Staalduinen, L. van, Tukker, J.C., Hoogeland, G.D. e.a. (1977). *Ontwikkeling van een methode voor de inventarisatie van relatief stille gebieden*. Delft: Technische Fysische Dienst TNO-TH, rapportnummer VL–HR-15-01.
 - Wal, H.M.M. van der, Vogel, P., Wubben, F.J.M. (2001). *Voorschrift voor de berekening van de Lden en Lnight geluidbelasting in dB(A) ten gevolge van vliegverkeer van en naar de luchthaven Schiphol. Part 1: Berekeningsvoorschrift*. NLR, NLR-CR-2001-372-PT-1
 - *Wegdekcorrectiefactoren voor gebruik in het Reken- en Meetvoorschrift Wegverkeerslawaa*. <http://www.stillerverkeer.nl/stillewegdekken> (07-01-2007).
 - Informatie over indeling van het luchtruim. <http://www.vliegalseenvogel.nl> (07-01-2007)

Symbolenlijst

A-gewogen dB(A)	een benadering voor de frequentiegevoeligheid van het gehoor A-gewogen geluidsdrukkniveau in decibel
L(A)MAX	maximaal A-gewogen geluidsdrukkniveau
L(A)EQ, T	Gemiddeld “equivalent” A-gewogen geluidsdrukkniveau gedurende tijdsduur (T)
T	tijd in seconden T(s), uur T(u)
TAUD	tijd (in seconden) dat een geluid met het menselijk gehoor kan worden waargenomen
LEQ, MECH	het equivalente geluidsniveau veroorzaakt door een mechanisch, gemotoriseerde bron
Lacht	geluidsniveau van het achtergrondgeluid: “het geluidniveau dat bij heersende omstandigheden van nature aanwezig is en dat door windgeruis en een veelheid van onbestemde, zachte geluiden van veraf wordt bepaald. Daarnaast kunnen ook meer nabije en luidere natuurgeluiden, zoals van vogels, aanwezig zijn”(Lanting 2003, p26).
LEQ, acht	het equivalente niveau van het achtergrondgeluid
LMECH	het geluidsniveau veroorzaakt door een mechanisch gemotoriseerde bron
L95	het referentieniveau voor achtergrondgeluid in de Nederlandse wet- en regelgeving. Het geluidsniveau uitgedrukt in dB(A) dat gedurende 95% van de tijd wordt overschreden. Tijdens de meetperiode is het optredende geluidsniveau dus gedurende 5% van de tijd lager dan het vastgestelde L95-niveau (statische geluidsmaat).
LETM	geeft de maximale waarde van de drie equivalente geluidsniveaus: het geluidniveau overdag (7.00-19.00), het gemiddelde niveau 's avonds +5 dB(A) (19.00-23.00) en het gemiddelde niveau 's nachts +10 dB(A) (23.00-7.00).
LDEN	het energetisch gemiddelde geluidniveau van dag, avond- en nachtwaarde. Ook geldt een verhoging (straffactor) voor avondniveau +5 dB(A), en nachtniveau +10 dB(A).
Lnight	het equivalent geluidniveau over de nachtperiode
LMAX,MECH	het maximaal geluidsniveau veroorzaakt door een mechanisch gemotoriseerde bron.
T(LMAX,MECH > Lacht+C)	de tijdsduur dat het maximaal geluidsniveau veroorzaakt door een mechanisch, gemotoriseerde bron (hoorbaar) hoger is dan het heersende achtergrondniveau plus een factor C.
Omgevingsgeluid	het geluidsniveau van de omgeving dat bestaat uit de bijdrage van alle aanwezige bronnen.
LI	immissieniveau, invallende of waargenomen geluidsniveau
LE	emissieniveau, bronsterkte of geproduceerde geluidsniveau

L_{GU}	geometrische uitbreidingsterm
L_L	luchtabsorptie, luchtdemping
L_B	bodemdemping
L_{SW}	schermwerking
L_R	niveaureductie ten gevolge van reflecties
ΣD	totale geluidsoverdracht als sommatie van dempingfactoren
Mc	meteocorrectieterm
L_{OPTREK}	optrektoeslag
LW	bronvermogen, bronsterkte in watt
L_{ref}	geluidsniveau weergegeven per octaafband ten opzichte van een referentieniveau
α	emissiekental per octaafband, bronvermogen, bronsterkte, afhankelijk van referentiesnelheid en voertuigcategorie
β	emissiekental per octaafband afhankelijk van voertuigcategorie
v	snelheid (in km/u)
v_0	referentie snelheid (in km/u)
A	dempingcoëfficiënt A uit vereenvoudigd rekenmodel
B	dempingcoëfficiënt B uit vereenvoudigd rekenmodel
ΣC	totale som van constanten
ref	referentiesituatie
r	kortste afstand tussen bron en waarnemer (in meter)
r_0	referentie afstand 1 meter
r_p	horizontale afstand tussen bron en waarnemer (in meter)
r_p	kortste afstand tot rijbaan/rijlijn (in meter)
h	hoogte boven het maaiveld (in meter)
Indicator $L(A)_{MAX}$	passage van een afzonderlijk voertuig en gedurende de passage is een maximaal geluidsniveau waar te nemen
Indicator $L(A)_{EQ}$	continue passage van voertuigen en tijdens de continue passage is een gemiddeld geluidsniveau waar te nemen
s	horizontale afstand tussen bijdragen b
b	bijdrage niet nader gespecificeerde geluidsbron
Slant range	kortste afstand r tussen bron en waarnemer in meter
Openingshoek	horizontale hoek waaronder een weg wordt beschouwd vanuit de positie van een waarnemer
GIS	Geografisch Informatie Systeem
ESRI	Environmental Systems Research Institute
ICAO	International Civil Aviation Organisation
EASA	European Aviation Safety Agency
ISA	International Standard Atmosphere
NLR	Nationaal Lucht- en Ruimtevaart laboratorium
NPD	Noise Power Distance

Bijlage A. Dempingfactoren

Figuur A.1. Formules gebruikt voor het berekenen van de gronddeemping A_b ($= A_s$), A_w ($= A_r$) en A_m per octaafband (bron: ISO 9613-2).

Table 3 — Expressions to be used for calculating ground attenuation contributions A_s , A_r and A_m in octave bands

Nominal midband frequency Hz	A_s or A_r ¹⁾ dB	A_m dB
63	- 1,5	- 3 q ²⁾
125	- 1,5 + $G \times a'(h)$	- 3 $q(1 - G_m)$
250	- 1,5 + $G \times b'(h)$	
500	- 1,5 + $G \times c'(h)$	
1 000	- 1,5 + $G \times d'(h)$	
2 000	- 1,5(1 - G)	
4 000	- 1,5(1 - G)	
8 000	- 1,5(1 - G)	

NOTES

$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2})$

$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$

$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$

$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$

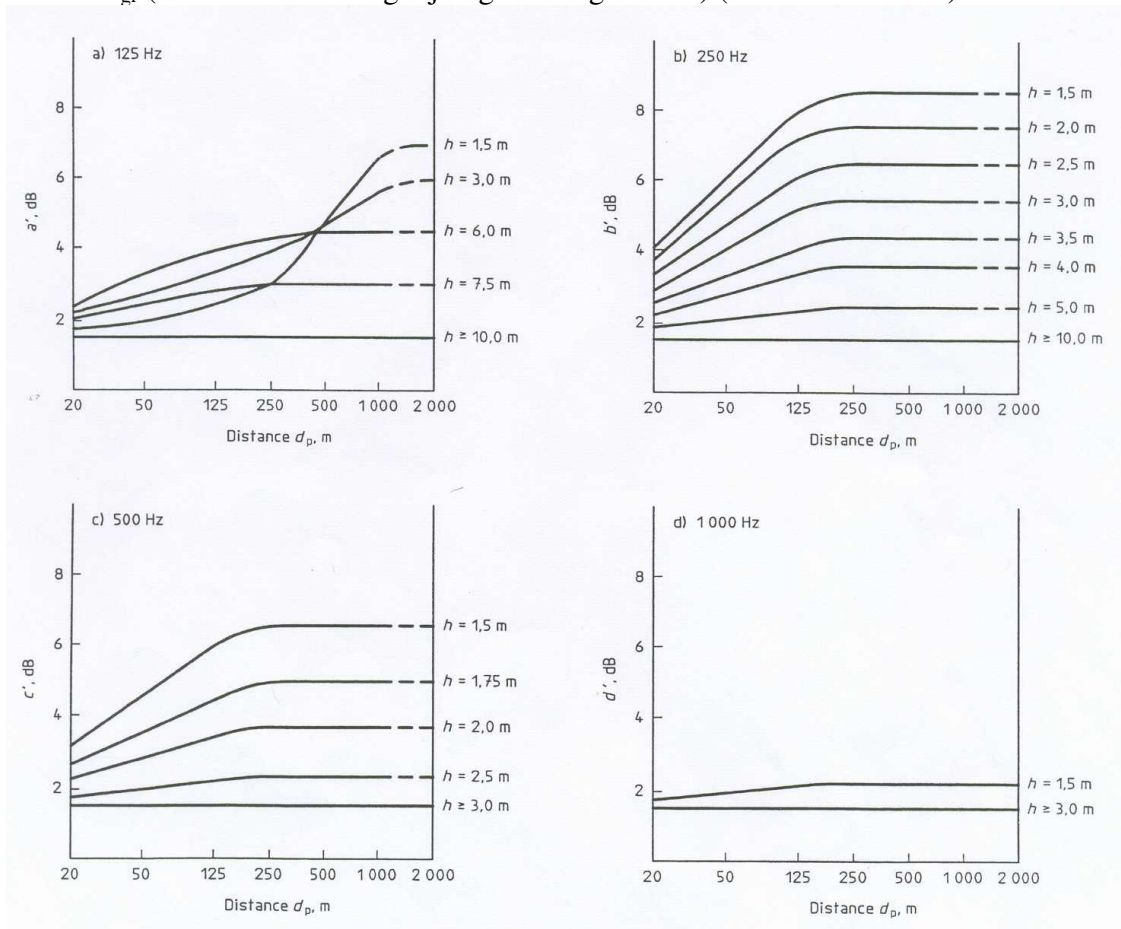
1) For calculating A_s , take $G = G_s$ and $h = h_s$. For calculating A_r , take $G = G_r$ and $h = h_r$. See 7.3.1 for values of G for various ground surfaces.

2) $q = 0$ when $d_p \leq 30(h_s + h_r)$

$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$ when $d_p > 30(h_s + h_r)$

where d_p is the source-to-receiver distance, in metres, projected onto the ground planes.

Figuur A.2 Functies a' , b' , c' en d' geven de invloed van de bron tot waarnemer afstand d_p weer en de bron of waarnemer hoogte h , respectievelijk, voor de gronddeemping A_{gr} (berekend voor vergelijkingen in Figuur A.1) (bron: ISO 9613-2)



A.3

De schermdeemping D_z in decibel wordt berekend voor dit pad met vergelijking [9]

$$D_z = 10 \log(3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_{\text{met}}) \text{ dB} \quad [9]$$

Waarbij

C_2 gelijk is aan 20, en rekening houdt met het effect van grond reflecties

Λ gelijk is aan 1 voor een enkele diffractie

C_3 is de golflengte van het geluid van de nominale middenband frequentie van de octaafband, in meters

z is het verschil tussen de lengte van het pad tussen het directe en het gebogen geluid berekend met vergelijking [] in meters

K_{met} is een correctiefactor voor meteorologische effecten gegeven met vergelijking []

A.4 Schermdeemping

Ieder object dat aan deze eisen voldoet wordt weergegeven door een barrière met verticale randen. De bovenste rand van het scherm is een rechte lijn met een hellingshoek

In overeenstemming met het doeleinde van dit deel van ISO 9613-2, wordt de schermdeemping A_{bar} verklaard door insertie verlies. Diffractie aan de bovenste rand en rond de verticale randen van een scherm kunnen allebei belangrijk zijn. Voor geluidsvoortplanting in meewind situaties, kan het effect van diffractie (in decibel) aan de bovenste rand berekend worden met behulp van

$$A_{\text{bar}} = D_z - A_{\text{gr}} > 0 \quad [8]$$

En voor diffractie rond de verticale randen van een scherm door

$$A_{\text{bar}} = D_z > 0 \quad [9]$$

Waarbij

D_z is de schermdeemping voor iedere octaafband (vergelijking [9] bijlage A.1)

A_{gr} is de gronddeemping bij afwezigheid van de barrière (in de situatie waarin het scherm verwijderd is)

Om de schermdeemping D_z te berekenen wordt verondersteld dat de geluidsoverdracht uit een enkel significant pad bestaat tussen de geluidsbron en de waarnemer. Als deze veronderstelling niet voldoet, dan zijn gescheiden berekeningen vereist voor andere voortplantingspaden en wordt de bijdrage van de verschillende paden bij de waarnemer tot een gekwadraterde geluidsdruk gesommeerd.

A.5 Bodemdemping RMW2002

De formules voor bodemdemping gebruikt in het RMW2002 kennen een gelijke syntax en als die uit het ISO 9613-2 rekenmodel.

Figuur A.5.1: Bepaling van de bodemdemping in het RMW2002. h_w voor hoogte waarnemer, resp. h_b bronhoogte. Met B bodemfactor (b bron en w waarnemer).

Tabel 2.6 De formules voor de bepaling van bodemdemping D_B als functie van de octaafband i . De cursief gedrukte symbolen vormen de waarden die voor de variabelen x en y moeten worden gesubstitueerd in de functie $\gamma(x, y)$.

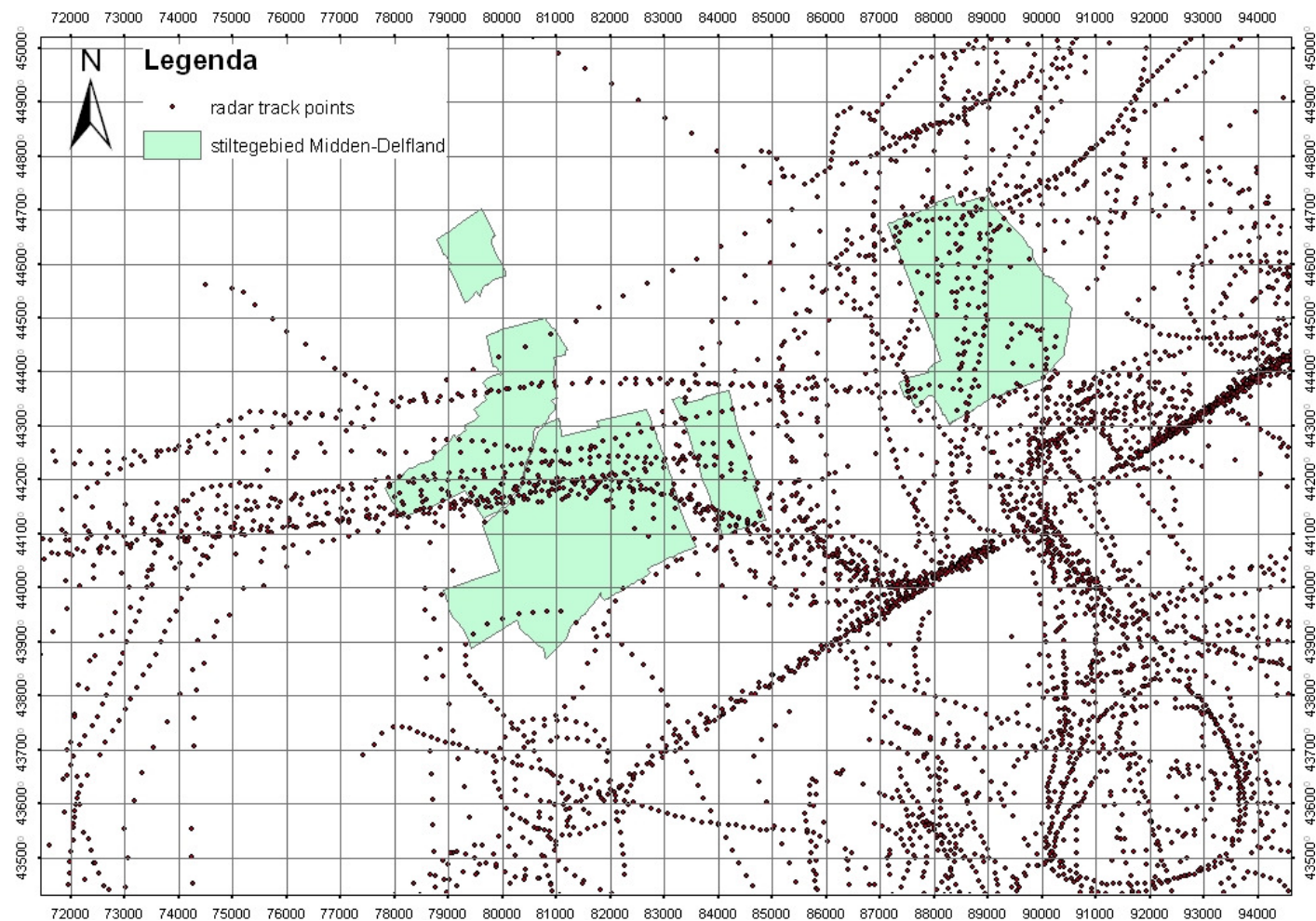
Octaafband i		Bodemdemping L_B [dB]		
1		$-3 \gamma_o(h_b + h_w, R)$		-6
2	$[S_b \gamma_1(h_b, R) + 1] B_b$	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ [S_w \gamma_1(h_w, R) + 1] B_w$	-2
3	$[S_b \gamma_2(h_b, R) + 1] B_b$	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ [S_w \gamma_2(h_w, R) + 1] B_w$	-2
4	$[S_b \gamma_3(h_b, R) + 1] B_b$	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ [S_w \gamma_3(h_w, R) + 1] B_w$	-2
5	$[S_b \gamma_4(h_b, R) + 1] B_b$	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ [S_w \gamma_4(h_w, R) + 1] B_w$	-2
6	B_b	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ B_w$	-2
7	B_b	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ B_w$	-2
8	B_b	$-3[1-B_m] \gamma_o(h_b + h_w, R)$	$+ B_w$	-2

Figuur A.5.2: Bepaling van de bodemdemping in het RMW2002.

De functie γ worden als volgt gedefinieerd:

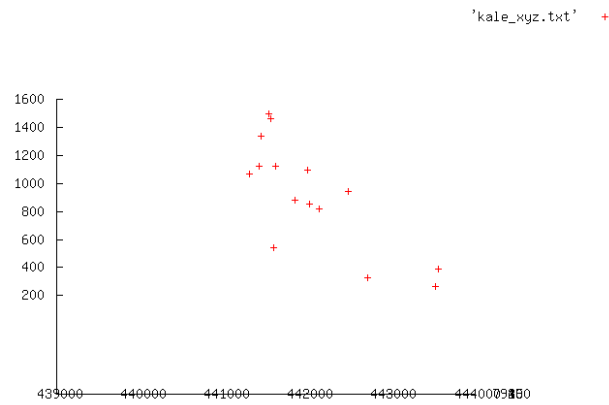
$\gamma_o(x, y) = 1 - 30 x/y$	voor $y \geq 30x$	
$\gamma_o(x, y) = 0$	voor $y < 30x$	2.14a
$\gamma_1(x, y) = 3,0[1 - \exp(-0,02y)] \exp[-0,12(x-5)^2]$		
$+ 5,7[1 - \exp(-2,8 \cdot 10^{-6}y^2)] \exp(-0,09 x^2)$		2.17b
$\gamma_2(x, y) = 8,6[1 - \exp(-0,02y)] \exp(-0,09 x^2)$		2.17c
$\gamma_3(x, y) = 14,0[1 - \exp(-0,02y)] \exp[-0,46 x^2]$		2.17d
$\gamma_4(x, y) = 5,0[1 - \exp(-0,02y)] \exp[-0,9 x^2]$		2.17e

Voor de variabelen x en y moeten de waarden van de grootheden worden gesubstitueerd die tussen haakjes in cursieven achter de overeenkomstige functies γ uit de formules als gegeven in Tabel 2.6 zijn geplaatst.

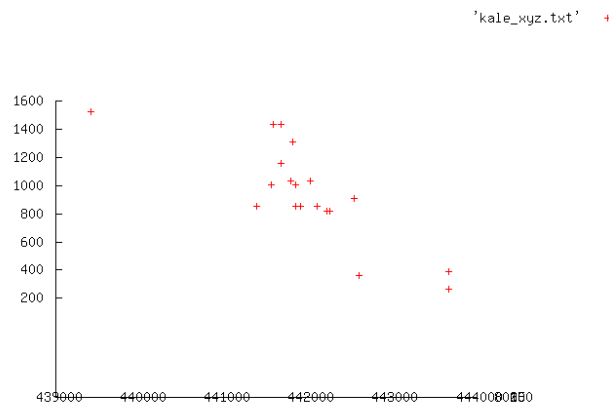
Bijlage B. Vliegverkeer Rotterdam Airport.

Figuur B.1: Radartracks van verschillende vliegtuigtypen met herkomst of bestemming Rotterdam Airport, op een gemiddeld drukke dag in het zomerseizoen.

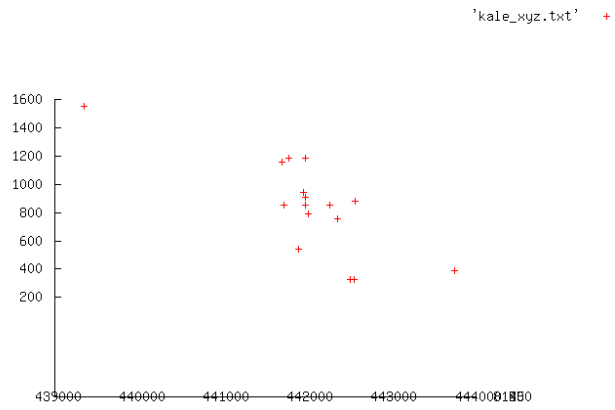
Figuren B.2 tot en met B.5 geven het hoogteprofiel van de radartracks uit figuur B.1 weer.



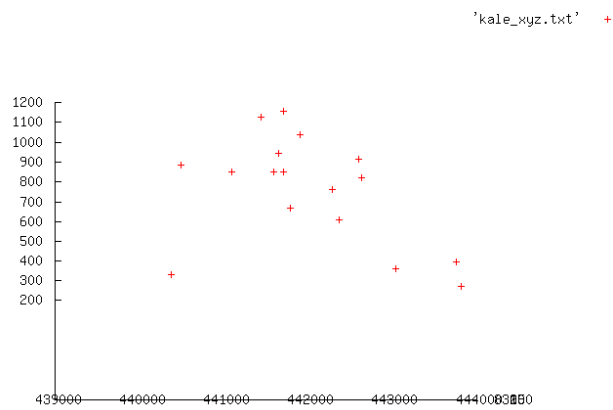
Figuur B.2: Hoogteprofiel ter hoogte van coördinaat 79000



Figuur B.3: Hoogteprofiel ter hoogte van coördinaat 80000



Figuur B.4: Hoogteprofiel ter hoogte van coördinaat 81000



Figuur B.5: Hoogteprofiel ter hoogte van coördinaat 83000

Bijlage C. Midden-Delfland

Omstandigheden en meetlocaties

C.1 Inleiding Midden-Delfland

Het stiltegebied Midden-Delfland is gelegen in de driehoek tussen de steden Delft, Schiedam en het kassencomplex van het Westland. Het stiltegebied behoort tot de gemeente Midden-Delfland met als grootste kern Schipluiden gelegen net boven het midden van het gebied met ten zuiden daarvan het gehucht Negenhuizen. De provinciale weg de N468 doorsnijdt het noordelijk deel van het stiltegebied, daarnaast zijn er nog enkele regionale wegen. De Abstwoudeweg tussen Delft en Schiedam en de Zouteveenseweg van Schipluiden richting Schiedam. Ten oosten van Midden-Delfland loopt de spoorweg evenals de snelweg A13 tussen Rotterdam en Delft. Rotterdam Airport ligt tegen de noordelijke gemeentegrens van Rotterdam. Een vertrekroute vanaf Rotterdam Airport ligt net ten zuiden van Schipluiden, een start- en landingsroute tegen de grens van Schiedam. Het gebied kent ook enkele vaarwegen waarvan de Vlaardingervaart de grootste vaarroute is, deze verbindt Midden-Delfland met Schiedam.

C.2 Selectie naar omstandigheden

Het niveau van het natuurlijk achtergrondgeluid is afhankelijk van het weer. De windkracht en windrichting bepalen het geluidsniveau. Bij een hogere windsnelheid zal het natuurlijke omgevingsgeluid hoger zijn waardoor zachtere geluiden niet gehoord zullen worden. Het omgevingsgeluid in een gebied kan sterk variëren in de loop der tijd, de tijd van de dag, dag van de week, en het seizoen. Om een representatieve indruk te krijgen van het gebied moet daarom in principe op zoveel mogelijk tijdstippen worden gemeten dat alle variaties aan bod komen. Om dat onder alle omstandigheden te doen vergt een aanzienlijke meetinspanning. Er moet daarom in de praktijk gekozen worden voor een zekere selectie van omstandigheden. In dit onderzoek wordt geselecteerd op

- windsterkt: hooguit matige wind (windkracht 4, hooguit 3)
- zomerseizoen
- tussen 1100 en 1900u
- werkdag of een zondag

Regen zal eveneens voor een hoger geluidsniveau zorgen. Als voorwaarden voor meting wordt gesteld, dat de windkracht niet hoger mag zijn dan 4 Bft of 8 m/s en het mag niet voortdurend regenen

Overige variaties waarmee in mindere mate wordt rekening gehouden zijn tijdstip op de dag, middag en avond en verschillende windrichtingen. Geluidsbronnen op grote afstand worden beter waargenomen in een windmee situatie en minder of helemaal niet bij tegenwind. In dit onderzoek wordt van bovenstaande variaties melding gemaakt mocht deze van invloed zijn op de meetresultaten. Overigens bij geluidsmetingen ten aanzien van vliegtuigen is altijd maar de vraag wat de atmosferische omstandigheden, in de hogere luchtlagen, zijn.

Werkdagen verschillen ten opzichte van de dagen in het weekend. De zondag wordt in onze huidige maatschappij nog steeds als rustdag beleefd en onderscheidt zich daarmee

duidelijk van de werkdag. Voor de zaterdag ligt dit anders en deze lijkt meer op een combinatie van rust- en werkdag. Op werkdagen is er in het algemeen meer verkeer en menselijke bedrijvigheid. Op zon- en feestdagen wordt juist in recreatiegebieden meer mensen verwacht. Uit eerder onderzoek is gebleken dat er op een zondag of feestdag in stiltegebieden in de Randstad vaker gemotoriseerde bronnen hoorbaar waren dan op een werkdag. (FvdB 2, dec 2003)

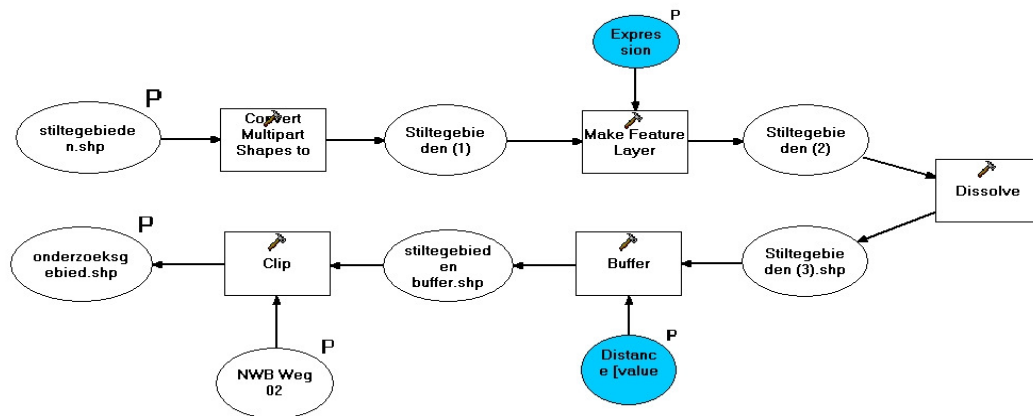
C.3 Meetperiode en duur

In het stiltegebied Midden-Delfland is op drie dagen gemeten. De eerste verkenning van het stiltegebied Midden-Delfland is afgelegd op donderdag 12 mei 2005. De bedoeling van het eerste bezoek aan Midden-Delfland is een indruk te krijgen van het gebied in brede zin, daarom zijn er op die dag minder geluidsmetingen verricht dan op de andere dagen. De eerste geluidsmetingen kunnen daarom gezien worden als een proefmeting. Er zijn drie metingen van 30 minuten op drie verschillende locaties in het gebied gedaan. De totale meettijd gedurende de dag is anderhalf uur. Een voorwaarde bij de keuze voor een meetlocatie is dat de recreant ook op deze plaats kan verblijven. Alle geluidsmetingen hebben tussen 13.30u en 18.00u plaatsgevonden.

Bijlage D. GIS

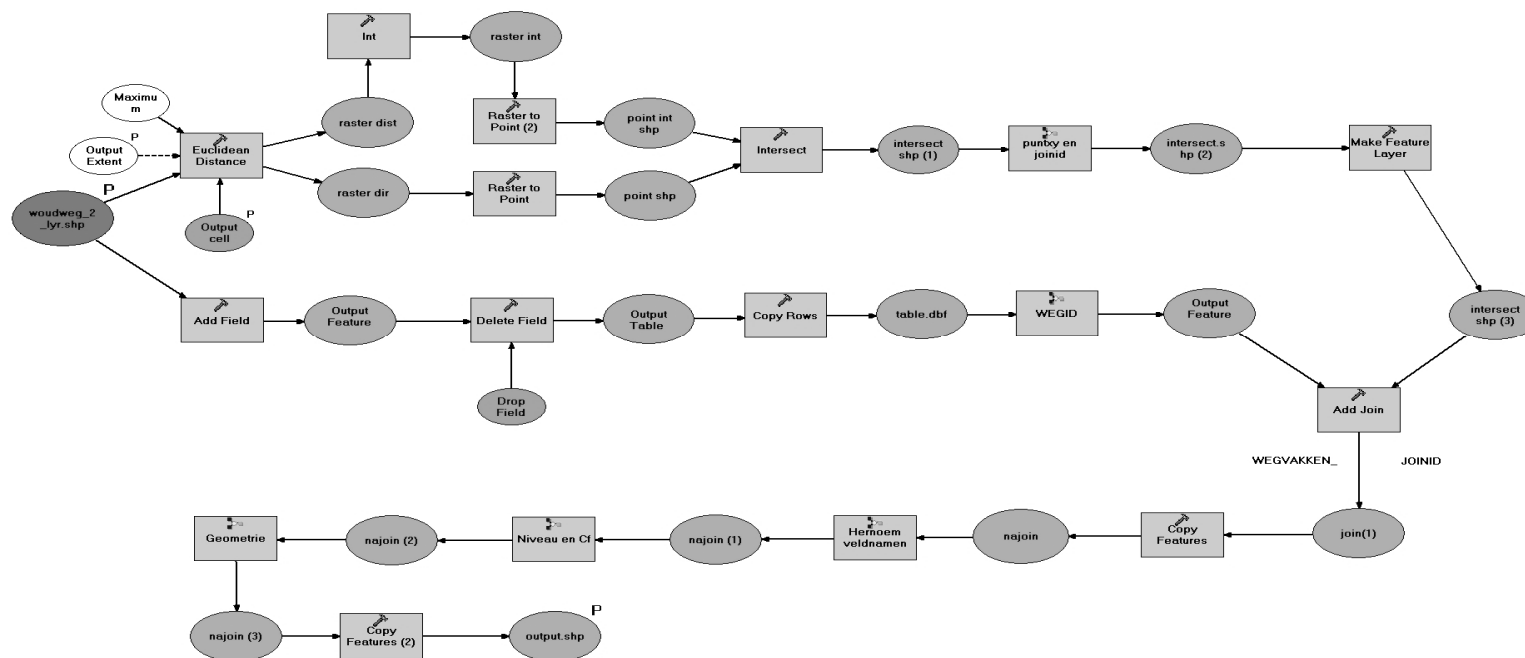
De figuren weergegeven in deze bijlage zijn gemaakt met modelbuilder, een applicatie binnen ArcGis 9.1. ModelBuilder is een visuele programmeertoepassing waarmee de werkprocessen kunnen worden vastgelegd en uitgevoerd. Met een rechthoek wordt een bewerking of opdracht in een proces weergegeven. Een Ellips geeft de invoer (input) of uitvoer (output) weer die behoort bij de bewerking. De invoer en uitvoer kunnen bestaan uit bestanden die behoren tot het vectormodel of rastermodel afhankelijk van de bewerking. Een variabele kan ook dienen als invoer bij een bewerking, bijvoorbeeld een formule (expression). Een p staat voor parameter (variabele) binnen het procesmodel.

Figuur D.1: Stap 1 in het implementatieproces



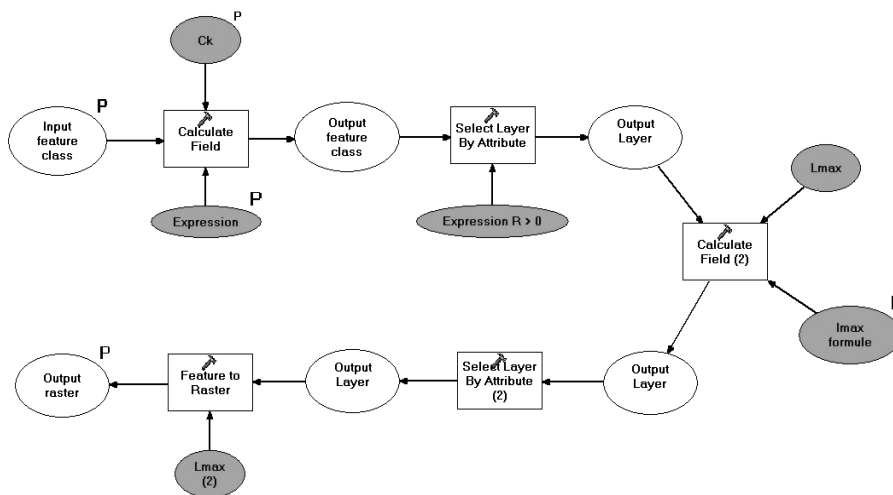
Figuur D.1: Afbakenen van het onderzoeksgebied.

Bijlage D. Figuur D.2: Stap 3 en 4 in het implementatieproces

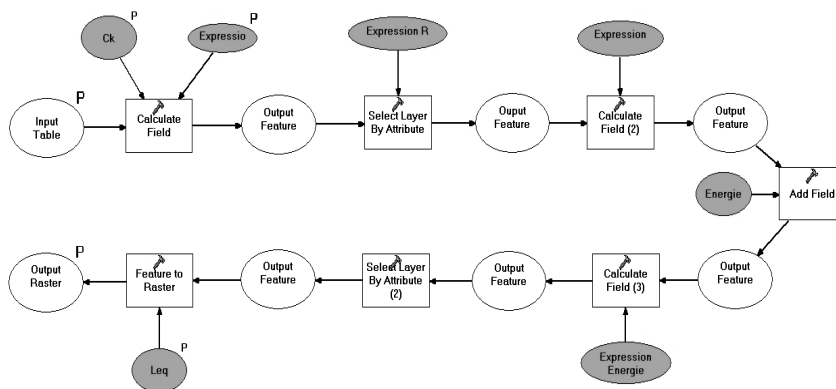


Figuur D.2: Stap 3 en 4 in het implementatieproces. Het bepalen van de afstand (r) met het rastermodel. Vervolgens omzetting naar en koppeling met het vectormodel. De (sub)modellen “geometrie”, “niveau en cf” en “hernoem veldnamen” volgen na de bewerking [join], de koppeling tussen vector- en rasterdata.

Bijlage D. Figuur D.3 en Figuur D.4: Stap 4 in het implementatieproces

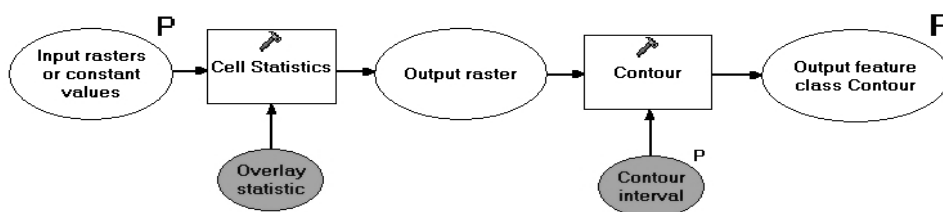


Figuur D.3: Berekening van het L(A)MAX . Bij “Lmax formule” wordt de vereenvoudigde berekening uit Hoofdstuk 3 uitgevoerd.

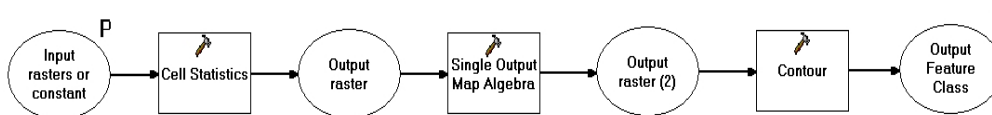


Figuur D.4: Berekening van het L(A)EQ. Bij expression “energie” wordt het geluidsniveau omgezet naar geluidintensiteitsniveau, zodat er over verschillende rasters rekenkundig gesommeerd kan worden.

Bijlage D. Figuur D.5 en Figuur D.6: Stap 5 in het implementatieproces



Figuur D.5: Berekenen van contouren op basis van het maximale geluidsniveau, met als overlay statistic maximum.



Figuur D.6: Berekenen van contouren op basis van het gemiddelde geluidsniveau, bij cell statistics wordt gekozen voor de overlay statistic sum. Bij de bewerking [single output map algebra] wordt het gesommeerde intensiteitsniveau omgezet naar geluidsdrukniveau.