

GIS en Geluid, een klinkende combinatie

drs. J.E. Stoter¹ en H. de Kluijver²

Inleiding

Het gebruik van de functionaliteiten van een Geografisch Informatie Systeem (GIS) en het gebruik van digitale geo-gegevens spelen een steeds grotere rol bij onderzoeken naar de invloed op het milieu van grote infrastructurele projecten. GIS is bij het onderzoek naar milieueffecten de plek waar alle (geo)-informatie samenkomt: informatie over de omgeving, zoals de ligging van woon- en recreatiegebieden, maar ook informatie over het ontwerp en de bijbehorende emissies, zoals bijvoorbeeld de (toekomstige) ligging van een spoorlijn en de geluidsuitstraling. Met behulp van de functionaliteiten in GIS kunnen deze ruimtelijke gegevens worden samengevoegd en de milieueffecten zichtbaar worden gemaakt. Daarnaast kunnen de milieueffecten relatief eenvoudig worden gekwantificeerd met GIS-functionaliteiten.

Van alle milieueffecten is vooral het aspect geluid gebaat bij een uitgebreide geografische database en de rekenmogelijkheden die GIS biedt. Het beïnvloedingsgebied van geluid is namelijk groot in vergelijking met de andere milieueffecten, zoals bijvoorbeeld externe veiligheid, trillingen of sociale aspecten. Geluid heeft bovendien invloed op veel zaken waarbij de geografische ligging van belang is: mens en dier, wonen, werken en recreëren. Om geluidseffecten te kwantificeren en te visualiseren zijn een uitgebreide ruimtelijke database, ruimtelijke functies en veel rekenkracht nodig. Om die reden wordt GIS ingezet bij de huidige studies naar geluidseffecten op het milieu. De geluidsbelasting wordt bepaald in speciaal ontwikkelde simulatiemodellen en GIS wordt ingezet om op basis van de berekende belastingen de geluidseffecten te kwantificeren en te visualiseren.

Op dit moment ontbreken er in Nederland richtlijnen voor een eenduidige methodiek om de geluidseffecten te bepalen met behulp van GIS. Dit kan leiden tot grote nauwkeurigheds- en dus beoordelingsverschillen tussen verschillende geluidsstudies. Standaardisatie van het noise mapping proces - het in kaart brengen van geluid - is dientengevolge noodzakelijk.

Op basis van de studieresultaten worden belangrijke (beleids)beslissingen genomen. De vraag daarbij is "Wat is de waarde van de resultaten van een geluidseffectstudie?". De resultaten van geluidsstudies, die onder andere uitgevoerd worden voor Milieu Effect Rapportages (MER), lijken altijd erg precies. De geluidsbelasting wordt in cijfers achter de komma berekend, het aantal gehinderden tot op de persoon nauwkeurig bepaald en de contouren zijn haarscherpe lijnen op de kaart. Op de onzekerheidsmarges wordt echter niet of nauwelijks ingegaan.

Door een weloverwogen gebruik van GIS in geluidseffectstudies valt veel winst te behalen met betrekking tot efficiëntie, databeheersing, kwaliteit, (inzicht in de) nauwkeurigheid en presentatie van geluidsstudies. Dit zal de standaardisatie en eenduidigheid en daarmee de betrouwbaarheid en geloofwaardigheid van geluidseffectstudies ten goede komen.

¹ Jantien Stoter is verbonden aan de sectie GIS-Technologie, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft

² Henk de Kluijver is werkzaam als adviseur verkeerslawaai bij AEA Technology Rail bv te Utrecht

In dit hoofdstuk zal worden uitgelegd op welke wijze het gebruik van GIS in geluidseffectstudies kan leiden tot een klinkende combinatie van GIS en geluid. Eerst zal een voorbeeld worden gegeven van hoe de kwaliteit van de resultaten van geluidseffectstudies kan afhangen van de gebruikte GIS-methoden en geo-gegevens.

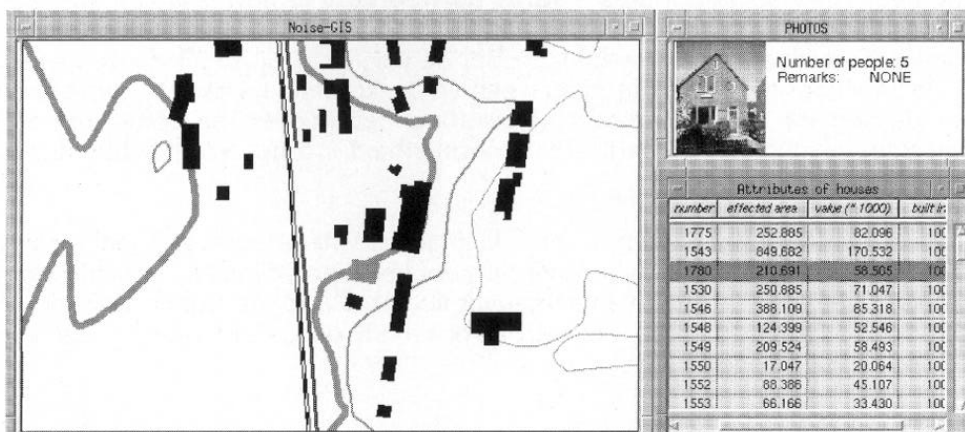
Verskillende bepalingmethoden, verschillende uitkomsten.....

Om aan te geven wat de invloed kan zijn van de bepalingmethode op het resultaat van de effectstudie volgt hier een voorbeeld van een project waaraan de auteurs van dit hoofdstuk hebben meegewerkt. Het betreft de MER-studie naar de A12 en de hoge snelheidstrein naar Frankfurt (De "HSL-oost"). Aanvankelijk zouden bij deze studie het aantal geluidsbelaste woningen en het aantal geluidsgehinderden worden bepaald door overlay van de geluidscontouren en gebieden met woning- en inwoneraantallen op basis van zescijferige postcodegebieden. Dit is een gebruikelijke methode bij MER-studies.

Bij deze studie worden geluidsklassen gebruikt met een klassenbreedte van 5 dB(A). Deze klassen worden begrensd door contouren die vlak bij de bron dichter bij elkaar liggen dan verder van de bron, omdat de geluidsbelasting met het logaritme van de afstand tot de bron afneemt. Een enkel postcodegebied in de omgeving van het spoor wordt daarom door een aantal opeenvolgende contouren doorsneden. Er kan in dat geval onmogelijk exact worden bepaald hoeveel woningen in een bepaalde geluidsklasse vallen. Bovendien overlappen de postcodegebieden de spoorzone. Op het spoor worden woningen "geteld" die daar natuurlijk niet staan.

De onderzoekers en opdrachtgevers vonden deze methode te grof en besloten om in het veld alle woningen dicht bij het spoor te inventariseren en vast te leggen in een digitaal bestand. Het betreft de eerste lijnsbebouwing in de woonkernen en de woningen op 150 meter aan weerszijden van de bronnen in het buitengebied. In totaal gaat het bij de HSL-oost studie om ongeveer 4.000 woningen.

De nauwkeurigheid van de analyse is verhoogd door uit te gaan van de exacte locaties van de woningen (zie figuur 1) en buiten het geïnventariseerde gebied de genoemde postcodegebieden te gebruiken. Zonder deze inspanning zou het aantal woningen dat nu een geluidsbelasting van meer dan 70 dB(A) ondervindt 40% te hoog zijn ingeschat. Voor de (fictieve) toekomstige situatie zonder de hoge snelheidstrein zou de fout zelfs 250% zijn geweest.



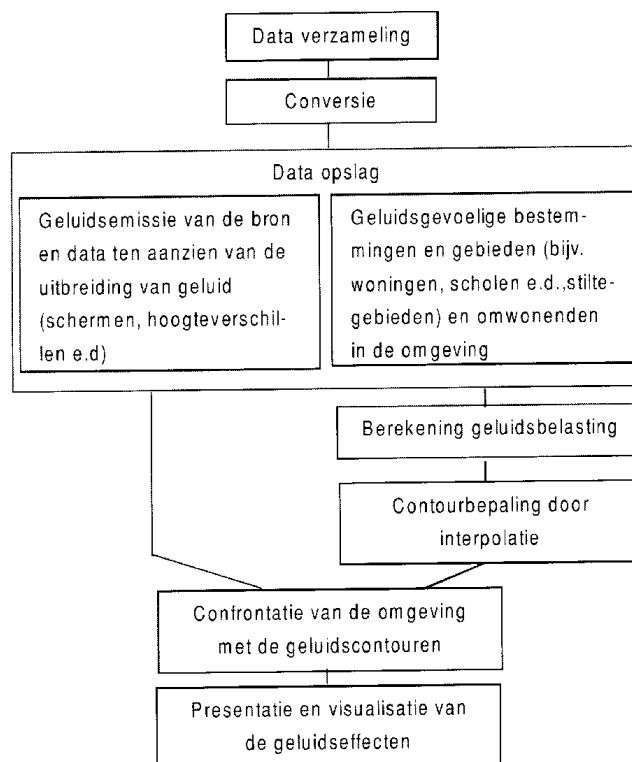
Figuur 1: Bepaling van het aantal geluidsbelaste woningen door combinatie van de geluidscontouren en de nabijgelegen woningen

Een ander voorbeeld betreft de bepaling van geluidscontouren. De geluidscontouren worden in GIS bepaald door interpolatie van de geluidsbelastingen die berekend worden op een raster van rekenpunten (zie figuur 4). Er zijn geen richtlijnen voor de dichtheid van het raster of de interpolatiemethode. Door deze "vrijheid" is de ligging van de contour van subjectieve factoren afhankelijk, terwijl grote beleidsbeslissingen en "kleine" drama's afhangen van de ligging van de contour. Neem bijvoorbeeld de subsidieregeling voor gevelisolatie rond Schiphol. Bewoners binnen een bepaalde contour ontvangen tienduizenden gulden terwijl de burens niets krijgen. Dit omdat de contour door de tussenliggende tuin (b)lijkt te lopen.

Op weg naar standaardisatie...

Uit de voorbeelden blijkt duidelijk dat eenduidigheid van de gebruikte bepalingsmethoden en inzicht in de nauwkeurigheid van de resultaten belangrijk is. Niet alleen om de juiste beleidskeuzes te kunnen maken maar ook om voor omwonenden een onomstreden instrument te hebben waarmee het geluidsbeleid kan worden uitgevoerd, uitgelegd en ondersteund.

Voor het vinden van een zinvolle, betrouwbare en ondubbelzinnige bepalingsmethode moeten we het gehele proces van "noise mapping" beschouwen (zie figuur 2). Onder "noise mapping" wordt het hele proces verstaan van het verzamelen van ruwe data, het berekenen van geluidsbelasting in geluidscomputermodellen en het opslaan en het raadplegen van deze data, tot aan de bepaling en presentatie van informatie die gerelateerd is aan de invloed van geluid op de omgeving en het aantal gehinderde personen. Deze informatie wordt verkregen en gerepresenteerd met behulp van GIS-functionaliteiten.



Figuur 2: Schematisatie van het noise mapping proces

Het is evident dat de nauwkeurigheid van het uiteindelijke resultaat afhankelijk is van de nauwkeurigheid van de gebruikte invoerdata en de methodieken die bij elke stap gehanteerd worden. Uiteindelijk moet de totale onzekerheidsmarge en daarmee het schaalniveau van het gehele proces overeenkomen met het beoogde doel en detailniveau van de studie.

Om meer waarde te kunnen hechten aan de uitkomsten van geluidseffectstudies is inzicht in de grootte van de onzekerheidsmarge onontbeerlijk en is het nodig deze ook als zodanig te presenteren. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden om naast het aantal gehinderden ook de onzekerheid van dit resultaat te bepalen en te tonen.

Een ander aspect dat aandacht behoeft is dat het detailniveau en de exactheid van de processtappen onderling in balans moeten zijn. Het heeft bijvoorbeeld weinig zin om veel energie in de nauwkeurigheid van een stap te steken terwijl een andere stap in het proces op een minder fijn detailniveau wordt uitgevoerd. Om dezelfde reden moeten ook de gebruikte methoden om geluidsbelastingen te berekenen en geluidseffecten te bepalen aangepast worden aan het detailniveau van de gebruikte gegevens en vice versa.

In het vervolg van dit artikel zal worden uitgelegd hoe de efficiëntie van het proces aanzienlijk kan worden verhoogd door de stappen van het gehele proces in samenhang met elkaar te beschouwen. Dit kan veel werk, tijd en geld besparen, terwijl het beoogde doel gericht wordt bereikt. De onderdelen van het noise mapping proces zullen worden toegelicht waarbij wordt ingegaan op de invloed van deze stappen op de beoogde kwaliteit en de tijdsduur van een geluidseffectstudie. Dit kan als aanzet dienen tot een gedachtevorming rond de standaardisatie van de bepalingsmethoden van geluidseffecten voor verschillende doeleinden.

Dataverzameling, -opslag en -conversie

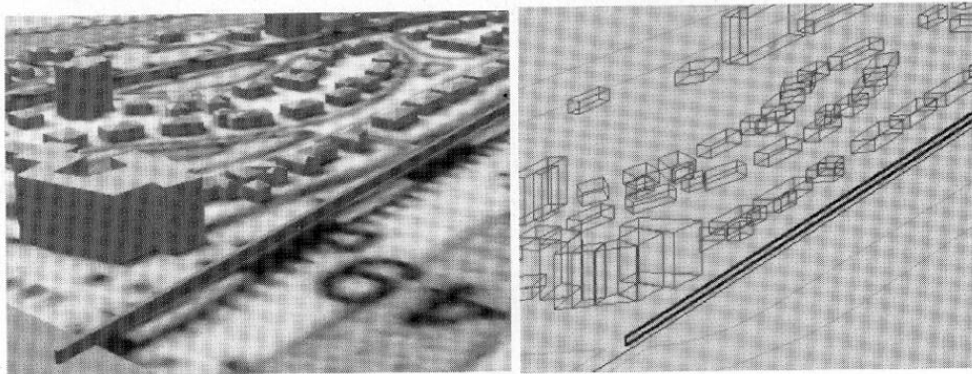
Voor een geluidseffectstudie is het noodzakelijk om een centrale database met de relevante gegevens op te bouwen voor verwerking in een GIS. Deze gegevens kunnen worden onderscheiden naar 1) de geluidsemissie van de bron en aspecten die invloed hebben op de uitbreiding van het geluid en 2) de ligging van geluidsgevoelige bestemmingen en gebieden alsmede het aantal omwonenden. Beide takken komen samen op het moment dat de geluidsc contouren worden "geconfronteerd" met de omgeving, waarbij de geluidseffecten worden bepaald. Inmiddels is in Nederland een uitgebreide verzameling van digitale geografische basisbestanden beschikbaar die voor geluidsstudies kan worden gebruikt: topografische basisbestanden (GBKN, Top10vector), intensiteiten van het spoor- en wegverkeer en het Actueel Hoogtebestand Nederland.

Voor de geluidsstudie zijn het schaal- en detailniveau van de gegevens van belang. Schaal- en detailniveau van de gegevens moeten tenminste voldoende zijn om de beoogde nauwkeurigheid van de studie te bereiken. Een te hoge informatiedichtheid moet echter worden vermeden, opdat de rekentijd en opslagcapaciteit beperkt blijven. Opslagcapaciteit wordt steeds minder een doorslaggevende factor; een te hoog detailniveau maakt de data wel moeilijk werkbaar. Bij een grote variatie van ruimtelijke gegevens is een hoge dichtheid van datapunten (waarnemingen) nodig om deze variatie afdoende te kunnen vastleggen. Voor geluidsstudies betekent dit dat een hoge informatiedichtheid nodig is op de locaties waar de geluidsbelastingen snel afnemen (dicht bij de bron) en niet noodzakelijk, of zelfs niet gewenst is daar waar de geluidsbelastingen niet of nauwelijks variëren (ver van de bron of parallel aan een lijnbron). Het detailniveau van de invoergegevens zou aangepast moeten worden aan deze richtlijn en tevens afhankelijk moeten worden van het beoogde doel van de studie. Dit is de essentie van de conversieslag die uitgevoerd dient te worden om de (beschikbare) data gereed te maken voor de geluidsstudies.

De beschikbare digitale gegevens geven (nog) niet in alle gevallen voldoende

informatie. Dit is een gevolg van verschillen in gegevensdefinitie, in schaal en/of in dataformaat. Veldwerk kan noodzakelijk blijken. Dit geldt bijvoorbeeld voor de hoogtegegevens. De hoogtegegevens zijn relevant, omdat gebouwen en andere obstakels de geluidsbron afschermen. Op dit moment worden deze gegevens in de omgeving van de geluidsbron veelal nog in het veld opgenomen. Aan de hand van kaartmateriaal en deze inventarisatie maakt een akoestisch adviseur de data gereed om als input te kunnen dienen voor een geluidsmodel. Deze conversieslag (en bijbehorende generalisatie van de data) wordt handmatig uitgevoerd.

Door het landelijk beschikbaar komen van het Actueel Hoogtebestand van Nederland zou deze "handmatige" en tijdrovende bezigheid geautomatiseerd kunnen worden (zie figuur 3). Dit verhoogt de efficiëntie en de standaardisatie. Dit laatste omdat het bewerken van data voor het geluidsmodel niet langer afhankelijk is van persoonlijke inzichten van de geluidsdeskundige.



Figuur 3: genereren van een akoestisch model uit topografische ondergronden en 3-D informatie.

Berekening geluidsbelasting

In het algemeen wordt de geluidsbelasting berekend en niet gemeten. Hierbij worden computermethoden gebruikt die gebaseerd zijn op uitgebreide metingen die in de jaren '70 en '80 zijn verricht. De rekenmethoden zijn vastgelegd in de wetgeving. Deze methoden zijn gedetailleerd en relatief exact. Overigens hoeven de aannames na dertig jaar niet meer de beleving van nu weer te geven - te denken valt aan de geluidscontouren rond Schiphol.

Het rekenen heeft in relatie tot meten een aantal voordelen. Ten eerste kan een toekomstige situatie niet worden gemeten. Ten tweede is het voor de meeste studies, gezien het benodigde aantal meetpunten, praktisch onmogelijk om aan de hand van metingen een volledig en representatief beeld te krijgen van de geluidssituatie. Tot slot is de rechtszekerheid van de betrokkenen groter, aangezien deze niet afhankelijk is van moeilijk reproduceerbare meetfouten.

Voor studies naar een definitieve tracéligging is het volgen van de voorgeschreven berekeningsmethoden noodzaak. Ze geven eenduidigheid en rechtszekerheid. We zien echter vaak dat voor MER- en beleidsstudies dezelfde regels voor berekening van de geluidsbelasting worden voorgeschreven, terwijl die nauwkeurigheid voor deze studies niet nodig is. Bovendien worden de verkregen gedetailleerde geluidsbelastingen in een latere fase van de studie veelal weer gecombineerd met minder nauwkeurige gegevens, zoals bijvoorbeeld met zescijferige postcodegebieden. Dit heeft tot gevolg dat computers soms dagen staan te rekenen, terwijl een voor die studie voldoende nauwkeurig resultaat met een eenvoudiger model al binnen enkele minuten zou kunnen worden bereikt. Door vereenvoudigde geluidsberekeningsmethoden te implementeren in GIS kan een inschatting worden gemaakt van geluidsbelastingen en geluidseffecten zonder

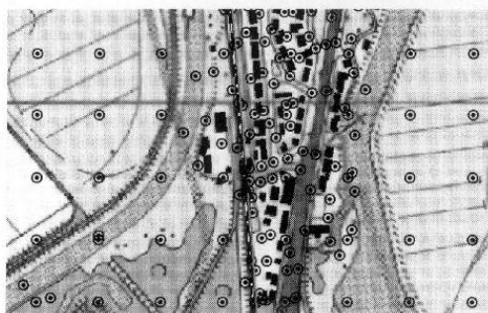
de complexe computermodellen te gebruiken. Het is belangrijk om deze mogelijkheden te gaan onderzoeken.

Contourbepaling

Zoals eerder vermeld worden de geluidscontouren bepaald door interpolatie van de geluidsbelastingen die berekend worden op een raster van rekenpunten in geluidsmodellen (zie figuur 4).

Een nauwkeurig en volledig beeld van de geluidsniveaus in de omgeving van de bron kan door interpolatie alleen worden berekend, indien de dichtheid van de rekenpunten voldoende hoog wordt gekozen. Zoals eerder vermeld moet de dichtheid nabij de bron hoog zijn en is ver van de bron of parallel aan een lijnbron een lagere dichtheid voldoende en gewenst in verband met de oplopende rekentijd (zie figuur 4). Uiteraard is de benodigde dichtheid van de rekenpunten ook afhankelijk van het gewenste schaal- en detailniveau van de studie. Dit blijft afhankelijk van het type onderzoek.

De in Nederland gangbare akoestische software heeft voor de bepaling van geluidscontouren door middel van interpolatie een regelmatig raster van rekenpunten nodig. Bij de keuze van de dichtheid van deze rasters wordt een compromis gesloten tussen rekentijd en nauwkeurigheid. Het zou beter zijn indien de dichtheid van de rekenpunten zou kunnen variëren en, zoals eerder betoogd, aangepast zou kunnen worden aan de variatie in geluidsbelasting. De rekentijd wordt hierdoor aanzienlijk beperkt, terwijl een hogere nauwkeurigheid wordt bereikt.



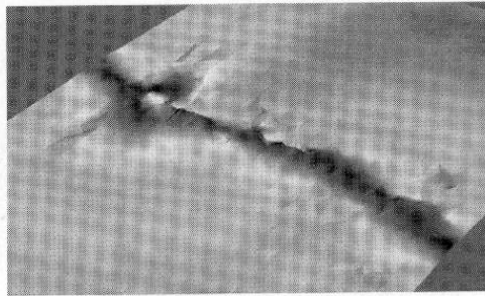
Figuur 4: dichtheid van rekenpunten afhankelijk van de te verwachten variatie in geluidsbelasting.

Bij interpolatie is GIS niet afhankelijk van een regelmatig raster van rekenpunten. Uit een pilotstudie, waarbij de geluidscontouren met behulp van GIS zijn bepaald, bleek dat 90% van rekenpunten en daarmee van de rekentijd eenvoudig kon worden bespaard. Figuur 4 toont een deel van het geluidsmodel met een variabele dichtheid van rekenpunten. Het continue geluidsbeeld van figuur 5 is berekend op basis van dit model. In totaal is gebruik gemaakt van circa 1.000 rekenpunten voor een gebied van 3 x 2 kilometer. Het betreft 600 rekenpunten in een regelmatig raster van 100 x 100 meter, aangevuld met ongeveer 400 extra rekenpunten op geselecteerde locaties. Een geschikte ligging van rekenpunten kan automatisch worden bepaald in GIS. In de gangbare akoestische software kan een vergelijkbaar resultaat voor de geluidscontouren pas worden verkregen met een raster van 25 x 25 meter van in totaal 9.600 rekenpunten. Dit zou leiden tot circa tien keer zoveel rekentijd!

Door de besparing in rekentijd kan meer effort worden gestoken in het verhogen van de kwaliteit van de geluidscontouren. Verdergaande optimalisatie is mogelijk met geavanceerdere interpolatiemethoden die in hun systematiek rekening houden met de ruimtelijke spreiding van geluid (gebaseerd op geostatistiek).

Het ontwikkelen van richtlijnen voor de dichtheid van het raster van rekenpunten

en de interpolatiemethode zou de standaardisatie van geluidseffectstudies ten goede komen.

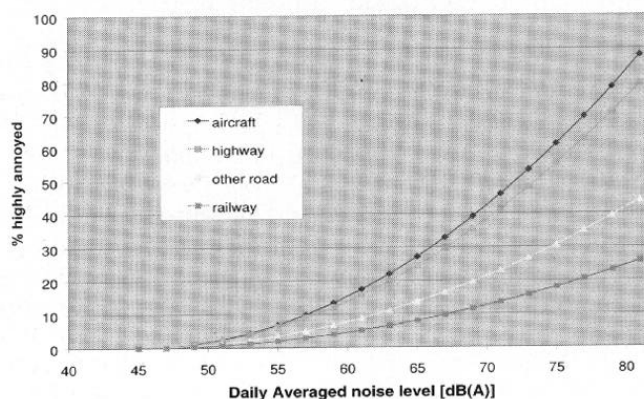


Figuur 5: continu beeld van de geluidsbelastingen na interpolatie op basis van de rekenpunten

Cumulatie van geluid

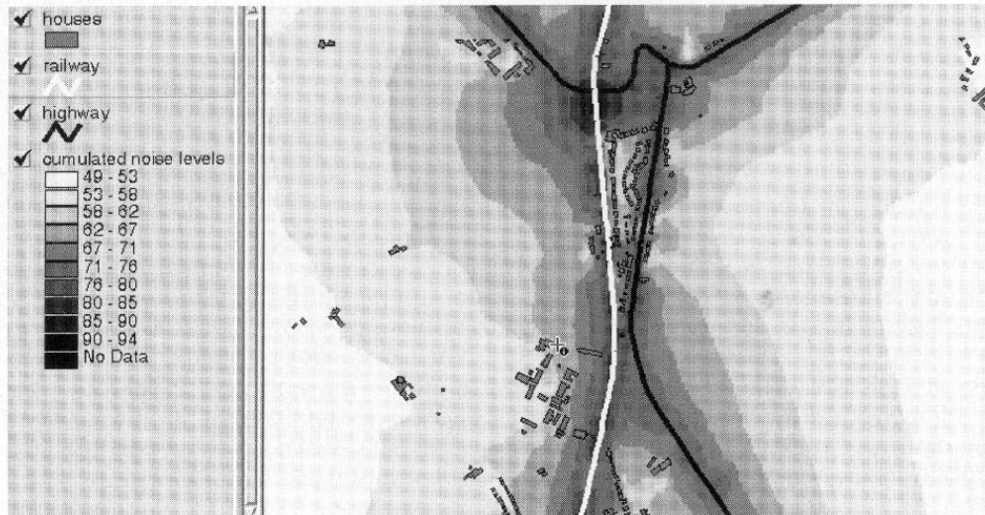
Een andere toegevoegde waarde van het gebruik van GIS in geluidsstudies is de analysemogelijkheid om geluid afkomstig van verschillende geluidsbronnen bij elkaar "op te tellen". Dit wordt cumulatie van geluid genoemd. Bij MER-studies is dit bijzonder relevant: de te verwachten toekomstige geluidseffecten ten gevolge van nieuwe infrastructuur dienen te worden vergeleken met de algehele akoestische situatie zonder de aanleg van de nieuwe infrastructuur. Bovendien zal bundeling (strak naast elkaar leggen) van bijvoorbeeld een nieuwe spoorlijn met een reeds aanwezige snelweg tot een geringere toename van het geluidsbelast oppervlak leiden dan een aanleg in een "maagdelijk" gebied waar nog geen sprake is van een hoog achtergrondniveau.

In dichtbevolkte gebieden komt het zelden voor dat mensen slechts door het geluid van één geluidsbron gehinderd worden. Doorgaans hebben ze te maken met meerdere geluidsbronnen. Dit ervaren mensen als hinderlijker dan wanneer zij slechts van één geluidsbron last hebben. De ervaren hinder is niet alleen afhankelijk van het fysisch te meten geluidsniveau maar ook van (psychologische) factoren die afhangen van het type geluid. Zo wordt bijvoorbeeld geluid afkomstig van vliegtuigen als hinderlijker ervaren dan treingeluid. Er zijn studies gedaan naar hoe mensen reageren op verschillende soorten geluid. Dit heeft geleid tot zogenaamde respons functies (zie figuur 6).



Figuur 6: het percentage ondervraagden dat ernstige hinder ondervindt bij de betreffende geluidsbelasting (dB(A)) uitgesplitst naar type geluidsbron

In GIS is het mogelijk om op basis van deze response functies de geproduceerde geluidsniveaus van twee afzonderlijke geluidsbronnen te cumuleren. Door de geluidsniveaus van alle relevante bronnen te cumuleren wordt de algehele akoestische situatie in beeld gebracht. Deze wordt uitgedrukt in de zogenaamde MKM (Milieu Kwaliteit Maat).



Figuur 7: resultaat van de cumulatie van geluid afkomstig van de snelweg en de trein

Bepaling en presentatie van de geluidseffecten

Door in GIS de omgevingsdata te confronteren met de geluidsc contouren worden de geluidseffecten bepaald. Dit kan bijvoorbeeld door een visualisatie van geluidsc contouren op een kaart of door het kwantificeren van geluidseffecten, zoals de bepaling van het aantal gehinderden.

Inmiddels zal duidelijk zijn dat de betrouwbaarheid van de resultaten afhankelijk is van de nauwkeurigheid van de gebruikte methoden en invoerdata. De presentatie van de resultaten is dan ook onvolledig zonder inzicht te geven in de nauwkeurigheid; aan de resultaten moeten onzekerheidsmarges worden gekoppeld. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden om naast het aantal gehinderden ook de onzekerheid van dit resultaat te bepalen. Het zou de voorkeur verdienen om de visualisatie van haarscherpe contourlijnen te vervangen door gelijkmatige overgangen, zoals in figuur 5, of aan te geven wat de breedte is van de onzekerheidsband van de contour.

Momenteel suggereert de presentatiewijze in geluidsstudies dat de resultaten exact zijn. Dit is echter niet het geval. Dit kan betekenen dat op basis van studieresultaten niet kan worden vastgesteld of een bepaalde ligging van een spoorlijn significant beter is dan een andere ligging. Kortom, inzicht in de nauwkeurigheid en kwaliteit moet een essentieel onderdeel gaan vormen van de presentatie en van de conclusies van geluidseffectstudies, zoals nagestreefd dient te worden in gedegen onderzoek.

Tot slot

Zoals uit het voorafgaande blijkt, kan het gebruik van GIS en het gebruik van digitale geo-gegevens een relevante bijdrage vormen in de studie naar de geluidseffecten op de omgeving. Om het verhoogde nut te kunnen waarborgen is het van belang een aantal cruciale punten in ogenschouw te nemen.

Op dit moment ontbreken er in Nederland richtlijnen voor een eenduidige methodiek om de geluidseffecten te bepalen. Dit kan leiden tot grote

beoordelingsverschillen tussen verschillende geluidsstudies. De resultaten van verschillende studies kunnen daarom moeilijk worden vergeleken of gecombineerd. Een standaardisatie van het noise mapping proces is dientengevolge noodzakelijk om de eenduidigheid van geluidseffectstudies te verhogen. Bij de standaardisatie dient veel aandacht te worden besteed aan de nauwkeurigheid. Het gaat hierbij enerzijds om de balans in de nauwkeurigheid tussen de verschillende stappen in het noise mapping proces en anderzijds om de nauwkeurigheid van het eindresultaat in relatie tot het beoogde doel van de studie.

Wanneer de presentatie van de resultaten van geluidseffectstudies niet gepaard gaat met inzicht in de nauwkeurigheid is onduidelijk wat de waarde is van de uitgevoerde geluidsstudie. Daardoor kan niet oncontroversieel worden bepaald welke keuze of beslissing wat betreft geluid significant de beste is. De cijfers en visualisaties in de huidige geluidseffectstudies geven beslissingsnemers en burgers geen inzicht in de gebruikte methoden om de geluidseffecten te bepalen en de hieraan gerelateerde onzekerheidsmarges. Aan de andere kant worden de resultaten wel beschouwd als "waar" en "exact". Inzicht in de nauwkeurigheid van de resultaten kan meer betekenis geven aan de resultaten van geluidseffectstudies, waardoor meer gefundeerde en breder ondersteunde beslissingen kunnen worden genomen.

GIS en geluid kunnen een klinkende combinatie vormen wanneer zij geïntegreerd worden op een manier waarbij wordt uitgegaan van de rekenkracht en precisie van de geluidsmodellen en de ruimtelijke analyse, opslag en presentatie capaciteiten van GIS. Bij de integratie moet gebruik worden gemaakt van de pluspunten van beide systemen. Daarbij dient gelet te worden op de balans in de nauwkeurigheid tussen en binnen de GIS- en geluidsonderdelen in het integrale systeem. Dan kan één en één, wat betreft efficiëntie en kwaliteit, meer dan twee worden.