

# GIS en geluid, een klinkende combinatie

Geografische informatie systemen (GIS) spelen een steeds grotere rol bij de onderzoeken naar de invloed van grote infrastructurele projecten. GIS is bij het onderzoek naar de milieueffecten een centrale spil, de plek waar alle 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. GIS kan deze ruimtelijke gegevens samenvoegen en de milieueffecten zichtbaar maken. Daarnaast is het door middel van GIS relatief eenvoudig om de milieueffecten te kwantificeren. Vooral het aspect geluid is 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: op mens en dier, op wonen, werken en recreëren. Om de geluidseffecten in beeld te krijgen is een uitgebreide ruimtelijke database en veel rekenkracht noodzakelijk. GIS is hierbij de uitkomst. De auteurs hebben GIS toegepast bij de bepaling van de geluidseffecten in de MER-studie (Milieu Effect-Rapportage) voor de HSL-Oost en de A12. Daarnaast hebben zij een pilot gestart waarin de verdergaande integratie van GIS en geluidsmodellen wordt onderzocht om geluidsstudies te verbeteren. In dit artikel wordt ingegaan op de ontwikkelde toepassingen en toekomstige mogelijkheden, waarbij ook aandacht wordt besteed aan problemen bij deze koppeling.

Jantien Stoter, Henk de Kluijver

Voor een MER-studie is het noodzakelijk om een database met belangrijke geografische gegevens op te bouwen. Dit is mogelijk in GIS waarin geografische objecten met hun bijbehorende gegevens kunnen worden opgeslagen, gecombineerd, geanalyseerd en gepresenteerd. Deze objecten kunnen punten, vlakken of lijnen zijn. Voorbeelden hiervan zijn de ligging van woningen, van stiltegebieden en van geluidscontouren. Ook kunnen foto's, video's en geluiden in de database worden opgenomen.

Door gebruik te maken van een centrale database wordt gegarandeerd dat iedereen die betrokken is bij het onderzoek van dezelfde en de meest actuele gegevens gebruik maakt. Problemen omtrent de betrouwbaarheid van de data kunnen met behulp van een GIS-database en een goed versiebeheer worden ondervangen.

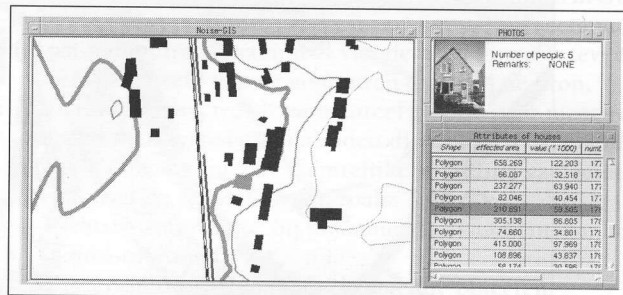
## Analyse en kwantificering van geluidseffecten

Naast het presenteren van geluidseffecten (zie afbeelding 1) worden met behulp van GIS deze effecten ge-

### Over de auteurs

#### Drs. J.E. Stoter en ir. H. de Kluijver

zijn werkzaam bij respectievelijk de sectie GIS-technologie van de subfaculteit Geodesie van de TU Delft en NS Technisch Onderzoek. Zij hebben samen gewerkt aan de studie naar de HSL-Oost en de A12. NS Technisch Onderzoek is betrokken bij alle effectstudies ten gevolge van spoorlijnen in Nederland en de sectie GIS-technologie subfaculteit Geodesie van de TU Delft is een autoriteit in de wereld van GIS.



Afbeelding 1: In de GIS-database komen het ontwerp, de effecten en de omgeving samen. In dit voorbeeld worden drie GIS-lagen: woningen, de ligging van de spoorbaan en de berekende geluidscoutouren gecombineerd.

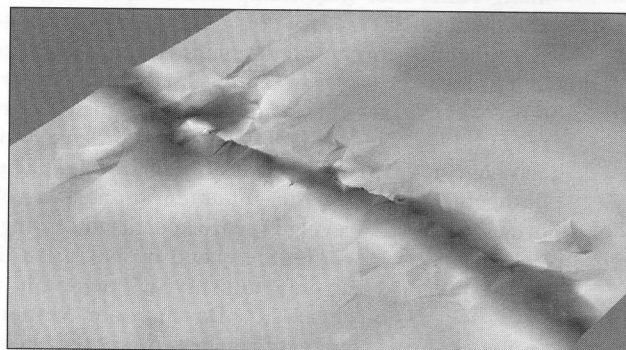
kwantificeerd zodat door vergelijking van de effecten, objectieve keuzes kunnen worden gemaakt tussen de verschillende alternatieven in een MER. Voorbeelden van deze analyseresultaten zijn: het geluidsbelaast oppervlak, het aantal gehinderden en het aantal geluidsbelaaste woningen. In principe gebeurt dit alles op basis van twee sets gegevens:

- Geluidsbelastingen op waarneempunten afkomstig uit Standaard Rekenmethode II modellen.
- Geografische ligging van geluidsgevoelige bestemmingen en gebieden met bevolkingsgegevens.

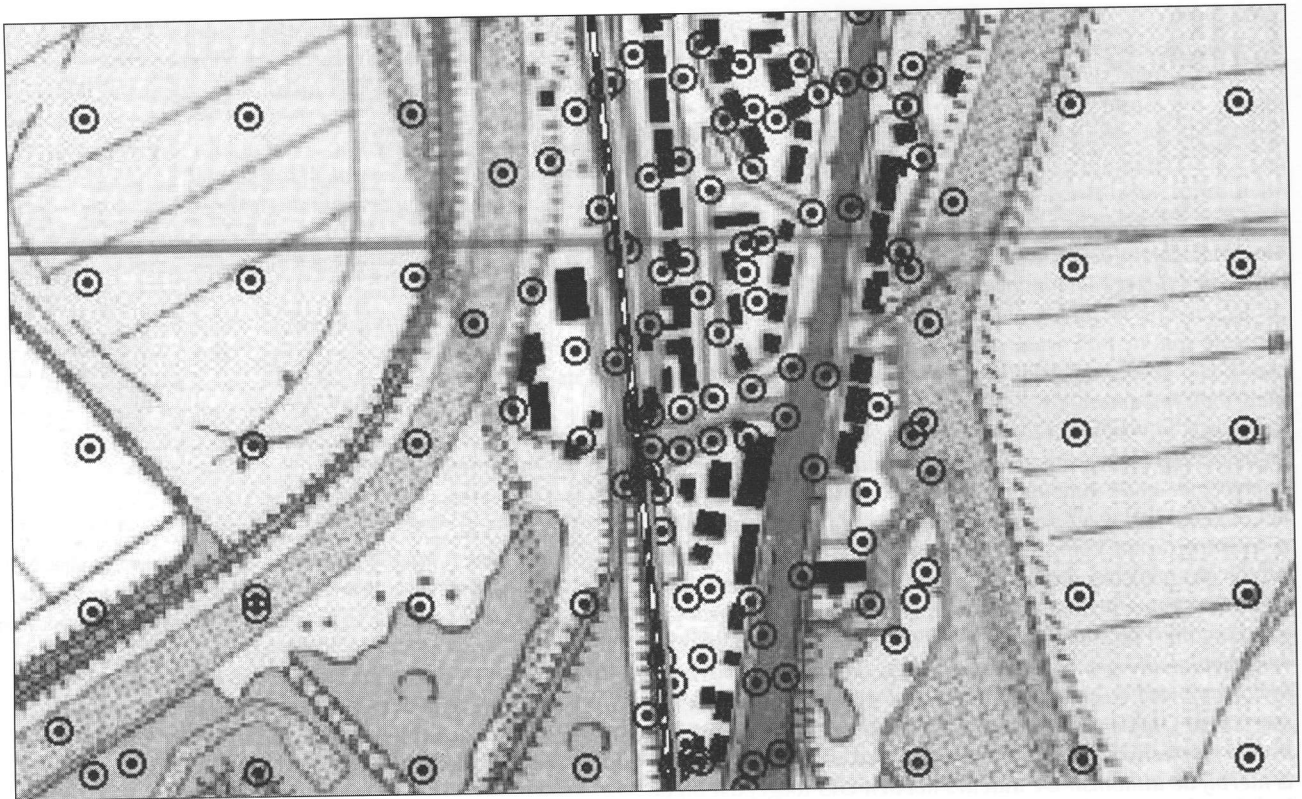
Op basis van een aantal waarneempunten is het in GIS mogelijk om door interpolatie een volledig continu beeld te krijgen van de geluidsuitbreiding naar de omgeving (zie afbeelding 2). De geluidscoutouren zijn de isolijnen die punten met een zelfde geluidsbelaasting met elkaar verbinden. Door combinatie van de geluidsbelastingen c.q. contouren en de geografische ligging van de geluidsgevoelige bestemmingen in de omgeving worden de geluidseffecten in beeld gebracht.

## Detailniveau van de invoergegevens

De nauwkeurigheid en de kwaliteit van geluidsstudies zijn afhankelijk van de schaal en het detailniveau van de invoergegevens (waarneempunten en ligging van de geluidsgevoelige bestemmingen en gebieden in de omgeving). Een nauwkeurig resultaat kan alleen worden verkregen indien de informatiedichtheid voldoende hoog is. Aan de andere kant moet een te hoog detailniveau vermeden worden zodat de rekentijd beperkt



Afbeelding 2: Continu beeld van de geluidsbelastingen door interpolatie op basis van waarneempunten.



Afbeelding 3: Dichtheid van waarneempunten afhankelijk van de te verwachten variatie in de geluidsbelasting.

blijft. Een hoge informatiedichtheid is alleen nodig op de locaties waar de geluidsbelasting snel afneemt en is niet noodzakelijk daar waar de geluidsbelasting niet of nauwelijks varieert.

De geluidsniveaus nemen 'snel' af op de volgende locaties:

- Nabij de geluidbron (afname geluidsniveau bedraagt ca. 3 tot 5 dB(A) per afstandsverdubbeling).
- Achter geluidafschermdende objecten zoals geluidschermen en gebouwen.
- Nabij veranderingen in bodemabsorptie zoals de randen van wateroppervlakken.

De geluidsniveau's nemen relatief weinig/niet af op de volgende locaties:

- Ver van de geluidbron in het vrije veld.
- Parallel aan het spoor of de weg.

### Dichtheid van de waarneempunten

Een nauwkeurig en volledig beeld van de geluidsniveaus in de omgeving van de bron (zie afbeelding 2) kan alleen worden berekend indien de dichtheid van de waarneempunten voldoende hoog wordt gekozen.

De gangbare akoestische software werkt met een regelmatig raster met waarneempunten. Bij de keuze van de dichtheid van dit raster wordt een compromis gesloten tussen rekentijd en nauwkeurigheid. Het zou beter zijn om niet gebonden te zijn aan een regelmatig raster maar om de dichtheid van de waarneempunten te kunnen variëren. De rekentijd kan dan aanzienlijk beperkt worden, terwijl toch een hoge nauwkeurigheid wordt bereikt. Bij de keuze van de ligging van de waarneempunten kunnen de volgende principes worden gevolgd (voorbeeld zie afbeelding 3):

- De contouren worden berekend op basis van lineaire interpolatie maar de geluidsniveaus nemen in werkelijkheid logaritmisch af. De hierdoor veroorzaakte onnauwkeurigheden blijven beperkt tot ten hoogste 0,1 dB bij een verschil van 2 dB(A) tussen twee waarneempunten in het vrije veld. Bij 5 dB(A) verschil is de

fout maximaal 0,4 dB(A). Omdat het geluidsniveau kwadratisch afneemt met de afstand tot de bron kan ook de dichtheid van de waarneempunten kwadratisch afnemen met de afstand tot de bron terwijl de interpolatiefout even groot blijft.

- In het vrije veld kan de dichtheid parallel aan de spoorlijn laag zijn.
  - Achter en naast afschermdende objecten is een hoge dichtheid noodzakelijk.
  - Extra waarneempunten zijn noodzakelijk in de nabijheid van bochten en bij wijzigingen van de bodemreflectie.
- Uiteraard is de benodigde dichtheid van de waarneempunten ook afhankelijk van het gewenste schaal- en detailniveau van de studie. Dit blijft afhankelijk van het type onderzoek.

Afbeelding 3 toont een deel van het geluidsmoedel van de pilotstudie waarbij voor de ligging van de waarneempunten gebruik is gemaakt van de bovenstaande richtlijnen. Het continue geluidsbeeld van afbeelding 2 is berekend op basis van dit moedel. In totaal is gebruikgemaakt van ca. 1.000 waarneempunten voor een gebied van 3 x 2 km. Het betreft 600 waarneempunten in een regelmatig raster van 100 x 100 meter, aangevuld met ca. 400 extra waarneempunten op geselecteerde locaties. Een geschikte ligging van waarneempunten kan automatisch worden bepaald in GIS.

In de gangbare akoestische software kan een vergelijkbaar resultaat pas worden verkregen met een raster van 25 x 25 meter van in totaal 9.600 waarneempunten. Dit zou leiden tot ca. tien keer zo veel rekentijd.

### Onnauwkeurigheden in de ligging van de geluidsgevoelige bestemmingen

Ook het detailniveau van de geluidsgevoelige gebieden, gebouwen en de bevolkingsdichtheden dient op de beschreven wijze te worden beschouwd. Met name onnauwkeurigheden met betrekking tot de ligging van ge-

Het aantal geluidsbelaste woningen wordt bij veel MER-onderzoeken bepaald aan de hand van postcode (woningen met dezelfde postcode). De auteurs vinden deze methode voor het gebied dicht bij de bron te grof. De afstand tussen de voor de MER-studie relevante geluidscontouren dichtbij de geluidsbron is namelijk veel kleiner dan de grootte van de genoemde postcodegebieden. Deze grofheid veroorzaakt een onnauwkeurigheid die derhalve het grootst is voor de woningen dicht bij de bron. Bovendien zijn de 'woning'vlakken zo groot dat ze de geluidsbron kunnen overlappen. Hierdoor wordt het aantal woningen met een hoge geluidsbelasting overschat. Voor de MER-studie naar de HSL-Oost en de A12 is de nauwkeurigheid verhoogd door een inventarisatie te maken van de woningen dicht bij het spoor en de weg. Het betreft de woningen op 150 meter aan weerszijde van de bronnen in het buitengebied en de eerstelijnsbebouwing in de woonkernen. In totaal zijn dit ongeveer 4000 woningen. Binnen deze bandbreedte is bij de analyse uitgegaan van de exacte woninglocaties. Daarbuiten zijn de 'woning'vlakken van 100 x 100 m. gebruikt. Uit een pilotonderzoek voor het spoor tussen Utrecht en Arnhem bleek dat zonder deze inspanning het aantal woningen met een geluidsbelasting hoger dan 70 dB(A) 40% te hoog zou zijn ingeschat. Voor de autonome situatie (de toekomstige situatie zonder de hoge-snelheidstrein) zou de fout in deze geluidsbelastingsklasse zelfs 250% zijn geweest.

luidsgevoelige bestemmingen nabij de geluidsbron kunnen tot fouten leiden. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld in het kader.

### Omgaan met onnauwkeurigheden in de data en de modellen

Op basis van de resultaten van een MER-studie worden belangrijke beslissingen genomen. De rekenresultaten gaan echter niet gepaard met inzicht in de nauwkeurigheid. De auteurs van dit artikel pleiten ervoor om hier meer aandacht aan te besteden.

De uiteindelijke resultaten zijn gebaseerd op verschillende invoerdata en diverse modelberekeningen, allemaal met hun eigen onnauwkeurigheden. Een voorbeeld is de variantie in de resultaten van de akoestische rekenmodellen (die met enige inspanning nog beperkt kan blijven tot 1 dB.<sup>1</sup> Daarnaast spelen het detailniveau van de invoergegevens en afwijkingen bij de interpolatie een belangrijke rol zoals in het voorgaande is beschreven. Ook de bekende dosis-effectrelaties voor de bepaling van het aantal gehinderden hebben hun bandbreedten. Kortom de resultaten zijn in tegenstelling tot wat zij suggereren niet exact.

GIS kan met behulp van 'fuzzy logic' inzicht geven in de onzekerheden. 'Fuzzy logic' rekent met de betrouwbaarheidsintervallen van de invoerdata. Naast het resultaat van de studie wordt ook de bijbehorende foutmarge verkregen.

In ieder geval kan worden overwogen om in MER-studies de presentatie van de 'harde' contourlijnen te vervangen door het weergeven van geluidsbelastingen in gelijkmatige overgangen zoals in afbeelding 2. Ook zou nu al in de rapporten een inschatting kunnen worden gegeven van de betrouwbaarheidsintervallen.

### Optimalisatie van de geluidscontouren

Afgezien van het pleidooi om de geluidscontouren anders te presenteren kunnen ze nog worden verbeterd. Aanvullende ruimtelijke informatie over de geluidsbelasting kan de nauwkeurigheid van de contouren verhogen. Bij de studie

naar de HSL-Oost en de A12 worden, naast het genoemde gebruik van extra waarneempunten dicht bij de geluidsbron, de volgende twee optimalisatieslagen uitgevoerd:

- De weg of het spoor zijn 'harde' lijnen waarover niet geïnterpoleerd wordt, zodat de geluidscontouren de weg en/of het spoor niet kunnen kruisen. Dit voorkomt de bekende 'geluideilandjes' rond de lijnbron.
- De geluidsbelasting nabij de as van de spoorlijn is in GIS berekend met SRM-I. Dit bespaart extra waarneempunten in de directe nabijheid van de bron en geeft tevens een goed beeld van de contouren dicht bij de bron.

Nader onderzoek wordt momenteel gedaan naar meer geavanceerde interpolatiemethoden die in hun systematiek rekening houden met de ruimtelijke spreiding van geluid (gebaseerd op geostatistiek), zoals:

- Richtingsinformatie: bij toenemende afstand neemt het geluidsniveau af.
- Discontinuïteiten rond afscherpende objecten.
- Wijzigingen in geluidsoverdracht bij veranderingen in de bodemabsorptie.

Ontwikkelingen op dit gebied kunnen in de loop der tijd uitgroeien tot een integratie van akoestische rekenmodellen en de interpolatiemethoden in GIS.

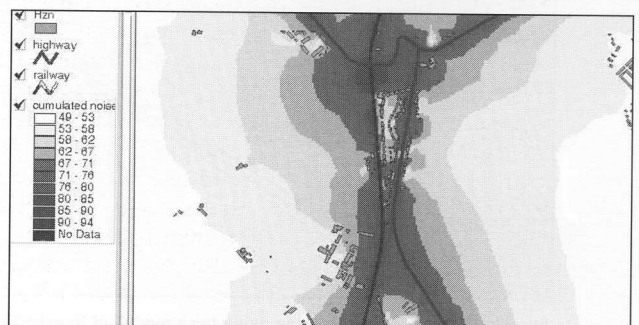
### Cumulatie van geluid

Een andere analysemogelijkheid van GIS is de cumulatie van geluid. Bij MER-studies is dit bijzonder relevant. De toekomstige geluidseffecten dienen te worden vergeleken met de algehele akoestische situatie zonder de nieuwe infrastructuur. Zo zal bundeling van 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.

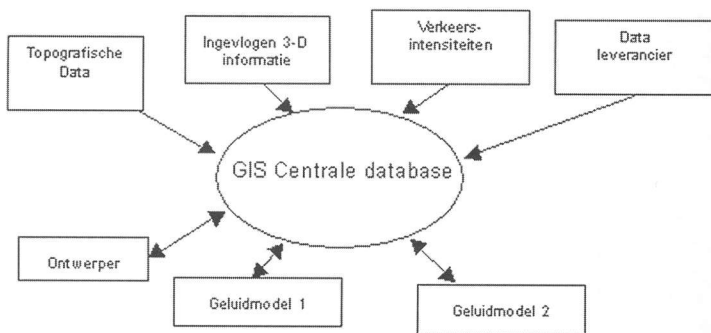
Door interpolatie tussen de waarneempunten kan in GIS een continu beeld van de geluidsniveaus worden verkregen (zie afbeelding 2). Door dit voor alle relevante geluidsbronnen te doen en vervolgens de geluidsbelastingen te cumuleren wordt de algehele akoestische situatie in beeld gebracht. Het is voor de bewerking in GIS niet noodzakelijk dat de rekenresultaten van de afzonderlijke bronnen op dezelfde waarneempunten berekend worden. Het cumulatietoetsing onderzoek is daardoor niet afhankelijk van een enkel akoestisch model van één akoestisch bureau of instantie waar alle waarneempunten voor alle geluidsbronnen op dezelfde locatie liggen.

### Toekomstige toepassingen van GIS

Hoewel veel invoerdata voor de akoestische modellen digitaal beschikbaar zijn (topografische ondergronden, het spoor- of wegontwerp etc.), wordt het geluidsmodel nog



Afbeelding 4: Cumulatie van geluid.

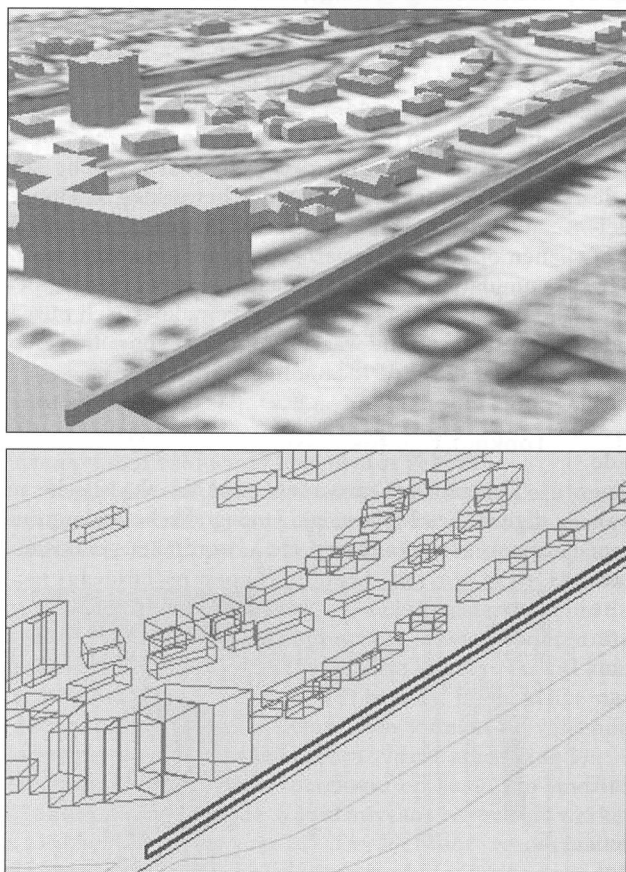


Afbeelding 5: GIS als centrale database.

gemaakt door deze handmatig te digitaliseren. Een verdergaande integratie van GIS en geluid zal het mogelijk maken om automatisch de input voor geluidsmodellen te genereren.

In GIS kunnen alle data van verschillende 'leveranciers' en diverse formaten worden samengebracht en worden geconverteerd naar een formaat dat geschikt is als input voor een geluidsmodel. Vervolgens kan dit model worden doorgerekend met de bekende akoestische rekenharten (zie afbeelding 5 en 6).

De functie van het GIS-centrum in afbeelding 5 is niet alleen een intermediair. Het centrum bevat eveneens de besproken analyse- en presentatietools. Daarnaast moet men met een 'browser' in staat zijn om de benodigde data te vinden. Een belangrijk aandachtspunt bij het genereren van geluidsmodellen is wederom het detailniveau van de data. Het detailniveau van het ontwerp en de topografische data is veel te hoog om een geluidsmodel op te baseren. Een conversieprogramma moet worden ontwikkeld waarmee het detailniveau op een akoestisch verant-



Afbeelding 6: Genereren van een akoestisch model uit topografische ondergronden en 3-D informatie (3-D GIS).

woorde wijze wordt teruggebracht. Met de centrale database in dit systeem moet het mogelijk zijn om geluidsmodellen van het ene formaat (DGMR) om te zetten naar een ander formaat (Haskoning of DHV). Het ontwikkelen van een dergelijk programma zal de standaardisatie van geluidsmodellering ten goede komen.

In het ideale geval zal in de toekomst een akoestisch model van heel Nederland in GIS zijn geïmplementeerd, waarvan iedere instantie gebruik kan maken. Dit verhoogt de effectiviteit, de kwaliteit en de rechtszekerheid en verlaagt de kosten. De Zwitsers hebben dit voor hun spoorwegennet al gerealiseerd (Lärmkataster).

Een nieuwe ontwikkeling in GIS is de 3-dimensionale visualisatie in een Virtual Reality-omgeving. Dit maakt het mogelijk om de werkelijkheid goed te benaderen zodat het makkelijk is voor te stellen hoe het ontwerp er uit gaat zien en zal klinken. Dit is belangrijk voor de beeldvorming bij de voorlichting aan omwonenden maar ook bij het ontwerp. Een koppeling met geluid zoals het geluidsdemonstratiepakket 'Sirano van NS Technisch Onderzoek' maakt de virtuele wereld compleet. Het effect van geluidsschermen kan tegelijkertijd hoorbaar en inzichtelijk worden gemaakt.

Bij de sectie GIS-technologie van de subfaculteit Geodesie van de TU Delft is een systeem ontwikkeld waarmee op basis van een GIS-database met topografische ondergronden en/of het ontwerp van de nieuwe infrastructuur een Virtual Reality-omgeving kan worden geschapen<sup>2</sup> (zie afbeelding 6). Dit kost in verhouding tot de bestaande visualisatietechnieken weinig moeite, tijd en geld. Fouten bij de modellering van de virtuele wereld worden voorkomen door gebruik te maken van de GIS-database.

## Conclusie

GIS is de centrale database waarin alle (geografische) informatie, die in grote infrastructurele projecten een rol speelt, samenkomt. In deze database kan de informatie worden opgeslagen, beheerd, gecombineerd, bewerkt, geraadpleegd en gepresenteerd. Daarnaast biedt GIS de tools om analyses uit te voeren zoals kwantificering van geluidseffecten, interpolaties en cumulatie van geluid. GIS kan de kwaliteit van de geluidsstudies aanzienlijk verbeteren. Bovendien zou GIS inzicht kunnen geven in de foutmarges rond de resultaten, iets dat momenteel nog veel te weinig gebeurt.

GIS fungeert als koppeling tussen digitale ondergronden, het ontwerp en andere databases met bijvoorbeeld informatie over de geluidsbron. GIS kan in de toekomst een automatische koppeling tussen deze data en de akoestische modellen vormen. Dit zal de standaardisatie (en uitwisselbaarheid) van geluidsmodellen in Nederland ondersteunen en de betrouwbaarheid en de beschikbaarheid van invoerdata en rekenresultaten aanzienlijk verbeteren.

Ook op het gebied van presentatie kan GIS voor geluid nog veel betekenen, bijvoorbeeld door combinatie van 3D-GIS en geluid in een Virtual Reality-wereld.

## Noten

1. Het gaat hierbij om verschillen tussen rekenmodellen dus afgezien van afwijkingen met de werkelijke geluidsbelastingen waar ook meer zicht op moet komen.
2. Het programma 'KARMA' is ontwikkeld in het kader van een LWI-project (Stichting LWI, Land Water Milieu Informatietechnologie).