

# 3D-inputgegevens voor g gegenereerd uit landsdek

Geluid is een groot probleem in stedelijk gebied. Om geluids-overlast te verminderen, voeren vele overheidsorganisaties op allerlei niveaus geluidstudies uit. Geluidssimulatie is hierin een belangrijk onderdeel. De rekenmethode voor de simulatie van geluid is in Nederland gestandaardiseerd. Maar de benodigde 3D-inputgegevens worden voor iedere geluidstudie opnieuw gecreëerd. Dit is niet efficiënt, maar evenzo belangrijk is dat verschillen in inputgegevens kunnen leiden tot verschillen in de uitkomsten. Daarom bekijken we in een samenwerking van RIVM, Rijkswaterstaat, het Kadaster, IPO en de TU Delft hoe de benodigde inputgegevens over de fysieke ruimte automatisch kunnen worden gegenereerd uit landsdekkende gegevensbronnen zoals de BGT, de BAG en het AHN en voor overheden beschikbaar kan worden gesteld.

*Door Ravi Peters, Tom Commandeur, Balázs Dukai en Jantien Stoter*

Bij geluidssimulatie wordt de geluidsbelasting berekend op rekenpunten op basis van informatie over de 3D-ligging van de geluidbron enerzijds (voor de simulatie van de geluidsemissie) en de 3D-ligging van terrein en omgevingsobjecten anderzijds (voor de simulatie van geluidoverdracht). Deze gegevens worden momenteel door verschillende partijen gegenereerd (zie bijvoorbeeld De Kluijver en Van

Tilburg, 2018). Naast de verschillen in opbouw, kwaliteit en actualiteit van de data en daarmee resulterende verschillen in uitkomsten, is het niet efficiënt dat er tijd en geld wordt geïnvesteerd om de 3D-inputgegevens van dezelfde gebieden meerdere malen te reconstrueren. Dat is de aanleiding van dit initiatief, zie kader. In ons project genereren we gegevens over de fysieke omgeving die nodig zijn om geluidsover-

## Aanleiding van deze samenwerking

In het kader van de Wet Milieubeheer en de Wet Geluidhinder, die beide zullen opgaan in de nieuwe Omgevingswet, moeten overheden op verschillende niveaus (Rijkswaterstaat, maar ook gemeenten, waterschappen, provincies en ProRail) regelmatig geluidstudies uitvoeren bij wijziging of aanleg van wegen en spoorwegen of ten behoeve van bouwplannen. Daarnaast voeren RWS en ProRail ook nog eens geluidstudies uit voor het monitoren van de geluidproductie van hoofdinfrastructuur om, indien nodig, maatregelen te kunnen nemen ter beperking van geluidbelasting. Met de komst van de Omgevingswet zal die systematiek van deze geluidproductieplafonds (SWUNG<sup>1</sup>) worden uitgebreid met provinciale wegen (SWUNG<sup>2</sup>). Geluidstudies, en daarmee geluidssimulaties, zullen daarbij steeds talrijker worden.

Het doel van het initiatief (beschreven in dit artikel) is om de benodigde inputgegevens voor geluidssimulaties met een adequate kwaliteit te standaardiseren en op basis van landsdekkende, beschikbare gegevens te genereren en beschikbaar te stellen voor overheden.

De meewerkende partijen hebben hierin verschillende rollen. Arnaud Kok (RIVM) participeert als geluidsexpert. RIVM is in Nederland de overheidsinstantie die verantwoordelijk is voor het beheer van het reken- en meetvoorschrift geluid. Daarnaast is RIVM betrokken bij de benodigde informatieproducten die ontwikkeld moeten worden voor de Omgevingswet. Geluidsexperts van RWS (Richard Jonker

en Renez Nota) zijn betrokken in hun rol als overheidsinstantie die de taak heeft om zelf geluidstudies uit te voeren en om geluidproductie te monitoren langs rijkswegen. Maar RWS (Niels Kinneging) kijkt ook mee als medefinancierder van de AHN, omdat dit project een belangrijke toepassing van de AHN-data is en inzicht geeft in gewenste toekomstige ontwikkelingen ervan. Frank Ijpelaar, van de provincie Groningen, is ook als geluidsexpert betrokken en vertegenwoordigt daarbij de werkgroep geluid van het InterProvinciaal Overleg (IPO). De 3D-Geoinformation-onderzoeksgroep van de TU Delft (waar de auteurs van dit artikel werkzaam zijn) ontwikkelt de (open source) methodes om de inputgegevens te genereren op basis van advies van de geluidsexperts van RWS, IPO en RIVM. Kadaster zal als geo-data voorziner de ontwikkelde methodes opschalen naar heel Nederland en de 3D-inputgegevens in een volgende versie landsdekkend genereren. Het Kadaster gebruikt deze case ook om ervaring op te doen met het genereren en beschikbare stellen van gebruikers specifieke 3D-gegevens voor andere domeinen, denk aan energie, bouw, luchtkwaliteit etc. Betrokken personen van het Kadaster zijn: Marc Post, Ben Bruns, Steven Mekking en Jantien Stoter. Een eerste resultaat van de gegenereerde 3D-inputgegevens voor geluidssimulaties zal in samenspraak met het werkveld worden verbeterd. Aanvullend zal worden onderzocht op welke manier de voorziening die deze data beschikbaar zal stellen het beste vormgegeven kan worden.

# geluidssimulaties kende datasets



Resultaat automatisch gegenereerde inputgegevens voor geluidssimulaties gevisualiseerd in GeoMilieu.

dracht te berekenen zoals voorgeschreven in de 'Standaard Rekenmethode II van de RMG 2012' voor wegen en spoorwegen. Deze voorschriften zijn geldig voor de meeste geluidstudies, zoals bij de aanleg van nieuwe infrastructuur of de uitbreiding ervan. Informatie over de geluidsbron, zoals verkeersintensiteit, laten we hierbij buiten beschouwing, omdat deze informatie doorgaans beter aanwezig is bij de overheidsinstantie die de geluidstudie laat uitvoeren. De door ons gegenereerde gegevens kunnen direct als input worden gebruikt in softwaresystemen die op basis van Standaard Rekenmethode II van de RMG 2012 (SRM2) geluidsbelasting berekenen, zoals GeoMilieu en WinHavik.

## Inputgegevens voor geluidssimulatie

De inputgegevens die nodig zijn om geluidsoverdracht in simulatiesoftware te berekenen bestaan uit verschillende lagen:

- gebouwen;
- bodemvlakken met bodemfactor voor geluidabsorptie/reflectie;
- hoogtebeschrijving van het terrein;
- bruggen;
- geluidschermen.

Voor ieder van deze laag beschrijven we welke functie deze heeft in geluidssimulatie (zie kader) en hoe we de betreffende laag reconstrueren (zie onder). We sluiten af met eerste resultaten en onze vervolplannen.

## Gebouwen

We genereren de benodigde blokmodellen (d.w.z. LoD1) met onze 3D-BAG-service, welke is gebaseerd op de software 3dfier. Details

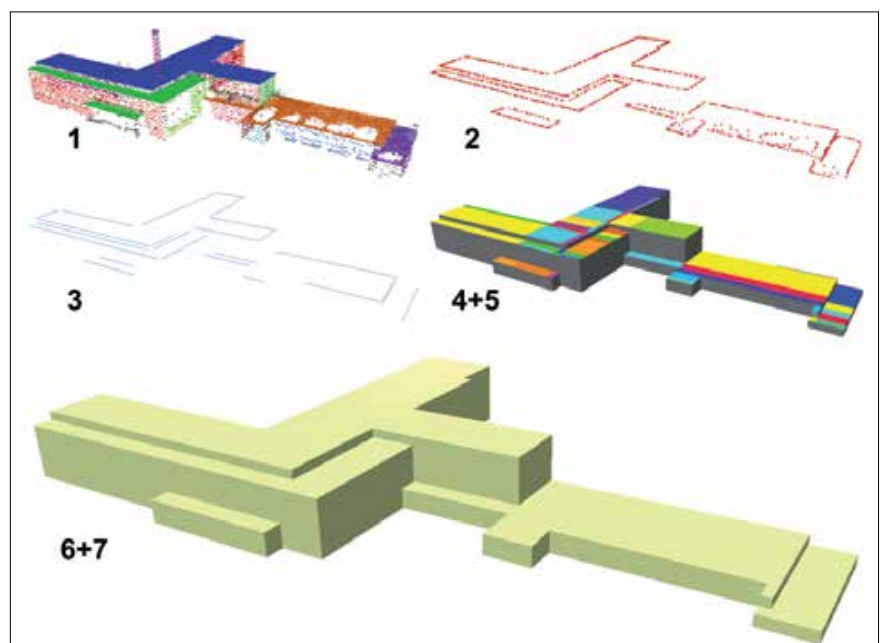
hierover staan beschreven in Dukai et al (2018, GeoInfo 5). Deze 3D-BAG-service standaardiseert mogelijke LoD1-varianties van waaruit de gebruiker de optimale referentiehoogte kan kiezen om een BAG-pand op te trekken. De referentiehoogtes worden gegenereerd op basis van statistische berekeningen (percentielen) en worden maandelijks geactualiseerd voor heel Nederland. Tegelijkertijd geeft de service inzicht in de kwaliteit per gegenereerd 3D-BAG-pand. Dit is belangrijk om een gebruiker de mogelijkheid te bieden om gegevens gericht te verbeteren alvorens deze voor een

studie te gebruiken, bijvoorbeeld wanneer een pand nieuwer is dan de gebruikte hoogtedata. Voor geluid generaliseren we 2D-gebouwpolygonen ook nog met een lijnsimplificatie-algoritme, omdat de geluidreflectie bij te korte gevelsegmenten niet goed kan worden berekend.

Soms heeft een gebouw een hoogtesprong, bijvoorbeeld een kerk met een toren of een huis met een aanliggende, uitpandige garage. Het is niet voor iedere studie voldoende om in deze situaties ieder BAG-pand slechts één referentiehoogte te geven. Soms is er meer detail nodig, bijvoorbeeld in de nabije locatie van de geluidbron. Daarom geven we een significante hoogtesprong binnen één pand aan met een boolean attribuut en modelleren we deze als zodanig. Een gebruiker kan vervolgens kiezen deze zogenaamde LoD1.3 representatie te gebruiken.

De LoD1.3 van ieder gebouw reconstrueren we uit een puntenwolk op de volgende manier (zie figuur 1):

1. de puntenwolk wordt uitgesneden op de gebouw-polygonen;
2. per gebouw wordt de puntenwolk gesegmenteerd in vlakken;



Figuur 1 - De stappen in de methode om LoD1.3 gebouwen te genereren.

## Functie van de inputgegevens voor geluidssimulatie

De inputgegevens om de overdracht van geluid te simuleren bestaan uit de volgende lagen:

### Gebouwen

Gebouwen worden in geluidssimulaties gebruikt om zowel geluidsreflectie te modelleren aan de voorkant als het geluidafschermende effect achter gebouwen. Voor de simulatie zijn blokrepresentaties van gebouwen nodig: de zogeheten LoD1-modellen. De rekenregels van SRM2 voorzien alleen in volledig verticale objecten, waardoor de hellende daken (LoD2) niet relevant zijn. De rekenvoorschriften geven aan hoe de impact van afscherming kan worden berekend, maar niet hoe je de hoogte van afschermende objecten moet bepalen. Zoals beschreven in Dukai et al (2018) kunnen vooral de door diverse partijen automatisch gegenereerde LoD1-modellen van elkaar verschillen, omdat gebruikte referentiehoogtes verschillen, evenals de onderliggende statistische berekeningen: is de hoogte van een blok het hoogste punt van een dak? Telt een schoorsteen (per ongeluk) mee? Of is (daarom) de gemiddelde hoogte of de medi-

aan van de punten die binnen een polygoon vallen beter? Deze verschillen leiden mogelijk tot verschillen in uitkomsten van geluidssimulaties, welke wij in ons project trachten te standaardiseren.

### Bodemvlakken

De absorberende en reflecterende eigenschappen van het terrein worden in de geluidssimulatie gemodelleerd als 1 (akoestisch absorberend), 0 (hard, reflecterend) of 0.5 (half reflecterend voor ZOAB). In de huidige praktijk worden hiervoor verschillende bronnen gebruikt, zoals TOP10NL, CBS Landgebruik of de BGT.

### Terreinhoogte

De hoogte van het terrein wordt in de geluidssimulatie gebruikt om de mate van geluidabsorptie/reflectie van de bodemvlakken te simuleren. Hoogteverschillen in het terrein kunnen daarnaast ook een afschermend effect hebben. Tenslotte vormt de terreinhoogte bij geluidmodellen vaak de basis om objecten zoals wegen en spoorwegen, van hoogte-informatie te voorzien. De input voor de hoogtebeschrijving van het terrein

zijn 3D-lijnen, eventueel aangevuld met losse hoogtepunten. De simulatiesoftware genereert op basis van deze input dwarsdoornedes tussen geluidbron en rekenpunt alsmede een TIN om de genoemde effecten te simuleren.

### Bruggen

Bruggen nemen een aparte positie in bij de hoogtebeschrijving van het terrein. Ten eerste omdat de hoogte moeilijke te reconstrueren is vanwege ontbrekende hoogtepunten onder bruggen. En ten tweede omdat bruggen nog maar beperkt worden ondersteund in gangbare software. Bruggen lijken het beste te kunnen worden gemodelleerd als zwevende vlakken die aansluiten op aangrenzende wegdelen.

### Geluidschermen

Geluidschermen worden in een geluidssimulatie geïmporteerd als 3D-lijnen met een hoogte per vertex. De lijnen, die de bovenkant van de schermen representeren, worden omgezet naar schermrepresentaties, waarbij de onderkant oneindig doorloopt naar beneden.

- de significante randpunten van de vlakken worden gedetecteerd met behulp van *alpha-shapes*;
- door de gedetecteerde randpunten worden lijnen gefit;
- de lijnen worden 'geregulariseerd': bijna-parallelle lijnen worden helemaal parallel gemaakt en lijnen die heel dicht op elkaar liggen worden samengevoegd;
- de resulterende lijnen worden gebruikt voor een decompositie van het 2D gebouw-polygoon;
- de decompositie wordt vereenvoudigd, bijvoorbeeld door aangrenzende cellen met dezelfde hoogte samen te voegen;
- iedere overgebleven cel wordt opgetrokken tot de beoogde referentiehoogte, bijvoorbeeld met behulp van de mediaan of een percentiel van alle hoogtes binnen de cel.

In de methode is het mogelijk de mate van decompositie te sturen door een minimale hoogtesprong op te geven. Hierdoor kunnen voor ieder pand verschillende detail-niveaus gegenereerd worden op basis van verschillende opgegeven minimale hoogtesprongen. In ons project hebben we geëxperimenteerd met verschillende minimale hoogtesprongen (1, 2, 3 of 4 meter) en deze vergeleken met de niet-gegeneraliseerde LoD1 gebouw-modellen. De optimale waarden voor minimale hoogtesprongen - evenals de optimale drempelwaarde voor

de 2D-generalisatie (1, 1.5 of 2 meter) - zullen verder worden gefinetuned met het werkveld.

### Bodemvlakken

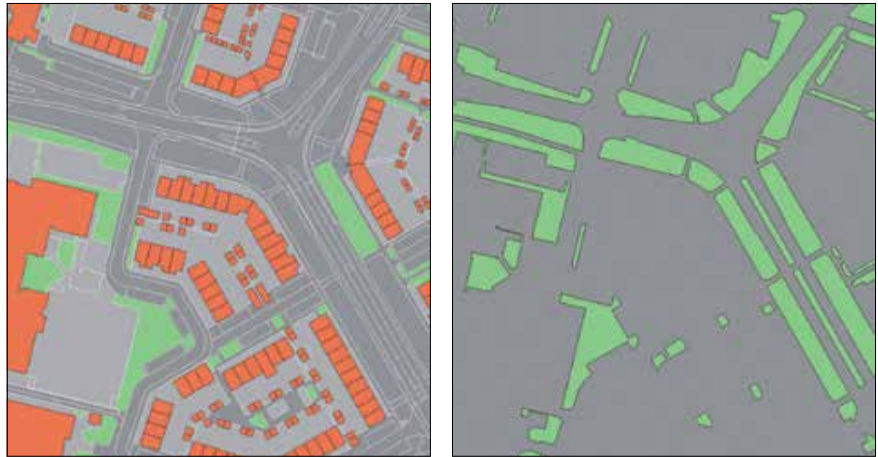
Voor de bodemvlakken gebruiken we de BGT als basis, omdat deze het meest nauwkeurig, het meest actueel en landsdekkend beschikbaar is. Samen met de geluidexperts hebben we een omzettingstabel gemaakt van de verschillende BGT-classes naar geluidreflectie/absorptiewaarden (zie tabel 1).

Idealiter zou er ook nog een waarde 0.5 zijn voor (tweelaags) ZOAB. Maar dit verhardingstype

BGT klasse	Classificatie 'hardheid voor geluid'
Waterdeel (alles)	Hard
OndersteunendWaterdeel (alles)	Zacht
OnbegrœidTerreindeel (erf, gesloten verharding, open verharding, half verhard)	Hard
OnbegrœidTerreindeel (onverhard, zand)	Zacht
BegrœidTerreindeel	Zacht
Pand (alles)	Hard
Scheiding (alles)	Hard
Kunstwerkdeel (alles)	Hard
OverigBouwwerk (alles)	Hard
Overbruggingsdeel (alles)	Hard
Wegdeel (anders dan ruitpad en onverhard)	Hard
Wegdeel= (ruitpad, onverhard)	Zacht
Wegdeel (ZOAB, dit staat niet in de bgt attributen)	Demping 0.5
OndersteunendWegdeel (verkeerseiland, gesloten verharding, open verharding, half verhard)	Hard
OndersteunendWegdeel (berm, onverhard, groenvoorziening)	Zacht

Tabel 1 - BGT-classes en overeenkomstige classificatie van hardheid voor geluid.

wordt niet in de BGT geïdentificeerd en valt daarom nu buiten de scope van ons project. Na het omzetten van de BGT-objecten naar bodemvlakken met bodemfactor, aggregeren we de aan elkaar grenzende vlakken met dezelfde bodemfactoren. De resulterende gegevens bevat nog te veel detail voor de geluidssimulatie in relatie tot de (optimale) rekentijd versus de nauwkeurigheid van de simulaties. Daarom passen we ook hier nog een generalisatie toe waarbij een minimale, voor geluidssimulatie relevante oppervlakte (6, 12 of 18 m<sup>2</sup>) als criterium wordt gebruikt. Daarnaast worden ook hier onnodige details verwijderd door de lijnen te generaliseren, zie figuur 2.



Figuur 2 - BGT vlakken (links) en resulterende bodemvlakken met bodemfactor voor geluid (rechts).

### Terreinhoogte

Voor de beschrijving van de terreinhoogte zijn 3D-polylijnen nodig die de hoogte van het terrein met zo min mogelijk lijnen beschrijven. In de huidige praktijk worden deze lijnen meestal semi-interactief bepaald op basis van beschikbare hoogtegegevens. Hierbij wordt dichtbij de geluidbron de hoogte in meer detail weergegeven dan verder weg van de bron. Omdat de rekentijd van geluidssimulaties oploopt met het aantal 3D-polylijnen in het model, proberen ook wij niet-significante hoogtegegevens zo veel mogelijk te verwijderen. Hiervoor maken we gebruik van informatie die in de BGT zit. We veronderstellen een hoogteverschil op de grenslijnen tussen verschillende object-typen zoals weg-water, weg-vegetatie etc. Daarnaast maken we gebruik van de talud informatie die in de BGT zit: *“Taluds zijn BGT-inhoud als het hoogteverschil minimaal 1 meter is en de steilheid 1:4 of meer bedraagt. Het kenmerk voor het voorkomen van een talud is een attribuut bij weg-, ondersteunend weg- en terreindelen. Als er meer dan een objecttype op een talud ligt, bevat alleen het hoogstgelegen object een kruinlijn geometrie. Een object dat op een talud ligt is altijd een afzonderlijk begrensd object ten*

*opzichte van een aangrenzend identiek object dat niet op een talud ligt.”*

De 3D-lijnen die het terrein beschrijven (zie figuur 3) genereren we als volgt:

- BGT-objecten met een oppervlakte kleiner dan 1 m<sup>2</sup> worden verwijderd (omdat deze volgens de geluidexperts niet relevant zijn).
- Alle BGT-buurobjecten van dezelfde klasse worden geaggregeerd, rekening houdend met BGT-talud lijnen. Deze laatste behouden we.
- De geselecteerde BGT-lijnen worden op hoogte gelegd met behulp van een puntenwolk zoals het AHN.
- Vervolgens wordt onnodig detail geëlimineerd. Met de 3D-lijnen wordt een TIN opgebouwd en per lijn getest wat er gebeurt als de hoogtelijn wordt weggeleaten. Indien de resulterende hoogtefout in de TIN verwaarloosbaar is, wordt de lijn permanent verwijderd.
- Tot slot worden de overgebleven lijnen in 3D gesimplificeerd zodat het aantal vertices per lijn tot het minimum beperkt wordt.

Uit een analyse van de hoogteverschillen binnen de resulterende vlakken, bleek helaas dat in de BGT op enkele locaties de *Talud*-lijnen missen daar waar deze volgens de BGT-definitie wel aanwezig hadden moeten zijn. Op deze locaties met BGT-omissies zouden we de terreinbeschrijving eventueel nauwkeuriger kunnen maken door extra punten toe te voegen.

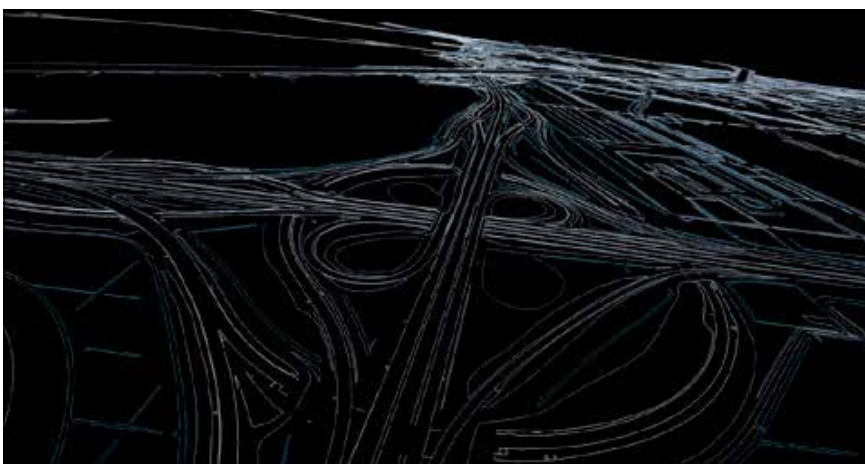
### Bruggen

We hebben flink wat tijd gestoken in het automatisch reconstrueren van bruggen op basis van de BGT en hoogtepunten. Dit was niet eenvoudig vanwege missende hoogtepunten onder de bruggen. Maar ook bleken bruggdelen in de BGT topologisch vaak niet correct gemodelleerd (duidelijke inwinrichtlijnen ontbreken echter). Hierdoor zitten er gaten en overlap tussen wegdelen en de aanliggende (doorlopende!) bruggdelen. Deze foutjes zijn niet of nauwelijks zichtbaar, maar automatische reconstructie van bruggen en ongelijkvloerse kruisingen is daarmee een bijna onmogelijke opgave.

We hebben een methode ontwikkeld die voor de meeste bruggen wel goed werkt, zie figuur 4. Door gebruik te maken van een iteratieve 3D-vlak segmentatie in de puntenwolken rondom bruggdelen wordt de meest plausibele 3D topologische verbinding berekend. Met deze verbinding koppelen we de juiste hoogteliggingen met de omliggende vlakken en kunnen de benodigde zwevende bruggen worden gegenereerd. Een verbeterde modellering van bruggen in de BGT zou het succes van deze methode aanzienlijk kunnen vergroten.

### Geluidschermen

Informatie over geluidschermen zit in de BGT, ‘klasse scheiding’ met fysiek voorkomen ‘geluidsscherm’. Voor het Rijkswaterstaat areaal zit informatie, zoals nodig in de geluidssimu-



Figuur 3 - Gegeneerde lijnen voor de beschrijving van de terreinhoogte.

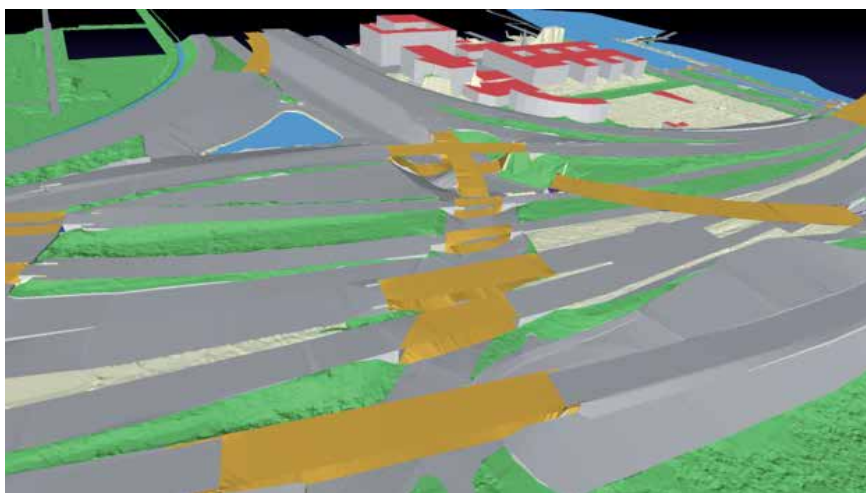
laties, ook in de Geluid Werende Voorziening database (GWV) van RWS. Vanwege verschillende doeleinden van beide datasets verschillen de geluidschermen in beide bronnen zowel qua ligging, geometrie als populatie (zie figuur 5).

De lijnen in de BGT geven de locatie aan waar het geluidscherm het maaiveld raakt. Dit valt niet altijd samen met de bovenkant van een scherm zoals nodig in geluidssimulatie, denk aan een hellend scherm. De lijnen in de GWV zijn ingewonnen voor geluidssimulaties en representeren wel de bovenkant van de schermen. Ze zijn daarom in principe het meest geschikt. De hoogte hiervan is terrestrisch ingemeten of is bekend via het ontwerp van de schermen. Niet relevante details, zoals achterliggende staanders, worden, in tegenstelling tot de BGT, niet mee gemodelleerd. Voor een compleet beeld moeten deze gegevens worden aangevuld met schermen van regionale en lokale wegen.

De voorkeur is om informatie over geluidschermen (met geluidreflectiewaarde en hoogte) uiteindelijk goed, compleet en zoals benodigd in geluidstudies, in één dataset (de BGT?) te beheren.

#### Validatie van de resultaten

Om de kwaliteit en toepasbaarheid van de gegenereerde gegevens te testen, heeft DGMR (de softwareleverancier van GeoMilieu) deze gegevens getest in een geluidstudie die zij in 2017 uitvoerde voor Rijkswaterstaat.



Figuur 4 - Automatisch gegenereerde bruggdelen (bruin).

Hiertoe heeft DGMR begin van dit jaar voor een focusgebied de door hen gebruikte data vervangen met onze projectdata en de verschillen berekend tussen de twee berekende geluidsbelastingen op ongeveer duizend rekenpunten. Het gemiddelde verschil bedroeg 0,1 dB met een standaardafwijking van 0,7 dB. De berekende afwijkingen zijn daarmee al vergelijkbaar met de verschillen die ontstaan in de huidige praktijk wanneer twee partijen verschillende modellen maken. Onze recente resultaten voor bruggen en LoD1.3-gebouwen waren hierbij nog niet meegenomen.

#### En nu

In en vervolproject bekijken we de verschillen nader om onze methode te verbeteren. Daarnaast is er meer uitdunning nodig voor het verbeteren van de rekentijd (zoals selectie en simplificatie) en willen we een volgende versie mede baseren op suggesties en ervaringen van het werkveld. Daarom stellen we een 0.2 versie van een testgebied beschikbaar. Daarnaast doen we aanbevelingen om informatie beter landsdekkend en gestandaardiseerd beschikbaar te hebben (in de BGT?) ten behoeve van geluidstudies, zoals het compleet en voor geluidstudies geschikt modelleren van geluidschermen, het opnemen van alle taluds, het topologisch correct modelleren van bruggen en het landsdekkend modelleren van verhardingstype 'TL)ZOAB'.

Tenslotte kijken we naar de actualiteit. De BGT en BAG hebben al een hoge actualiteit. Voor actuellere puntenwolken bekijken we de mogelijkheid om hoogtepunten gegenereerd uit luchtfoto's te gebruiken. In groter verband wordt ook gekeken naar ontsluiting, beheer en actueel houden van de gegenereerde bestanden. De ervaringen in ons project bieden de input hiervoor.

#### Referenties

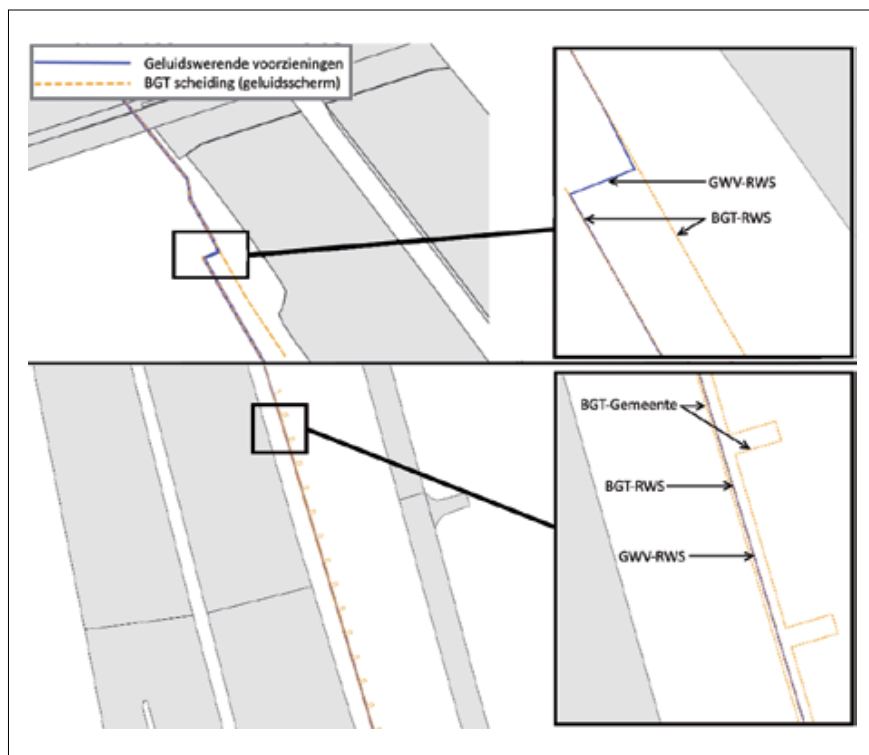
- Henk de Kluijver en Tom van Tilburg, 2018, landelijk 3D-model voor geluidstudies, GeoInfo (2), pp. 12-15
- Balázs Dukai, Hugo Ledoux and Jantien Stoter. 2018. 3D-BAG: actueel en landsdekkend. Geo-Info 15 (5) pp. 38-42

Ravi Peters, postdoc. 3D Geoinformation, TU Delft, R.Y.Peters@tudelft.nl

Tom Commandeur, scientific software developer, 3D Geoinformation, TU Delft, t.j.f.commandeur@tudelft.nl

Balázs Dukai, scientific software developer, 3D Geoinformation, TU Delft, B.Dukai@tudelft.nl

Jantien Stoter, hoogleraar 3D Geoinformation, TU Delft, tevens werkzaam bij Kadaster en Geonovum, J.E.Stoter@tudelft.nl



Figuur 5 - Voorbeelden waar geluidschermen in de BGT en GWV verschillen.