

Geluid modelleren met een TIN

Haalbaarheidsonderzoek: ontwikkeling van geluidsoftware die werkt op basis van een netwerk van driehoeken (TIN) ter invoer van hoogte-informatie.

Door: Laurens van Rijssel, Constantijn Dinklo, Denis Gianelli, Nadine Hobeika, Maarit Prusti

Over de auteurs:

Ing. Laurens N. van Rijssel is student Geomatics (TU Delft), afstudeerder bij RIVM en auteur van dit artikel. Het project is uitgevoerd door een groep waarvan ook Constantijn Dinklo, Denis Gianelli, Nadine Hobeika en Maarit Prusti onderdeel waren. Het project is begeleid door Balázs Dukai en Jantien Stoter (3D Geoinformation, TU Delft), Arnaud Kok en Rob van Loon (RIVM) en Renez Nota (Rijkswaterstaat).

INLEIDING

Geluidsimulatiesoftware werkt vaak met hoogtelijnen als invoer voor terreinhoogte. Deze datastructuur heeft een relatief klein formaat, geeft flexibiliteit in de hoeveelheid detail en is makkelijk door geluidexperts te genereren en aan te passen. Echter biedt het automatisch genereren van representatieve hoogtelijnen nog niet voldoende nauwkeurigheid en is handmatige inspectie met eventuele aanpassingen nodig om de kwaliteit te garanderen.

Sinds 2017 werken RWS, RIVM, IPO, het Kadaster en de 3D Geoinformation onderzoeksgroep van de TU Delft aan het automatisch genereren van een 3D-omgevingsmodel voor geluidberekeningen. Dit omgevingsmodel bevat drie lagen: gebouwen, bodemvlakken en terreinhoogtes. Na uitgebreid onderzoek bleek het moeilijk om de kwaliteit van de huidige semiautomatische aanpak van het genereren van terreinhoogtes door een geluidexpert te evenaren met een volledig automatische aanpak. In deze aanpak wordt de terreinhoogte met een minimaal aantal 3D-lijnen gerepresenteerd waarbij er een hoge zekerheid is dat er geen significante objecten worden overgeslagen. Deze zekerheid wordt nu gegeven door handmatige controle.

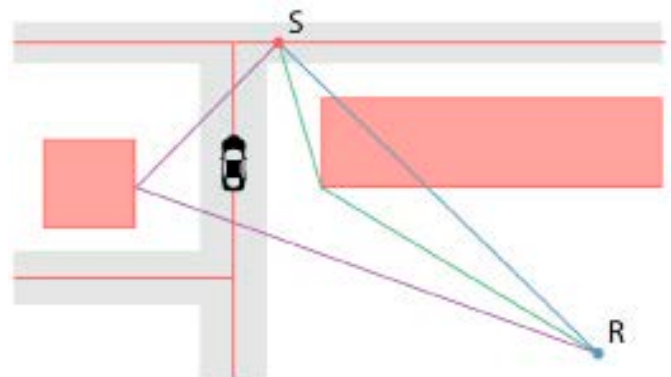
Daarom is in de uiteindelijke implementatie van het 3D-omgevingsmodel overgestapt van 3D-lijnen naar een Triangulated Irregular Network (TIN), oftewel een netwerk van verbonden driehoeken.¹ Enkele voordelen van een TIN zijn: gemakkelijk en robuust te produceren op basis van een puntenwolk (een verzameling van punten in 3D-ruimte) zoals beschikbaar in het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN), garantie van nauwkeurigheid en een slimme manier om doorsnedes uit het 3D-omgevingsmodel af te leiden.

Er is binnen bestaande geluidsoftware nog geen mogelijkheid om de terreinhoogte middels een TIN in te voeren. Daarom is er binnen de master Geomatics aan de Technische Universiteit Delft een studentenproject uitgevoerd om de haalbaarheid te onderzoeken van geluidsimulatie software die dit kan. Het doel hiervan is om te zien of het gebruik van een TIN haalbaar is.

METHODIEK

In het project hebben we broncode geschreven in Python die voor een set aan immissiepunten de geluidbronnen en bijbehorende

geluidpaden vindt en hiervan verticale terreindoorsnedes maakt op basis van een TIN. Om op basis van deze doorsnedes het geluidniveau te berekenen, wordt gebruik gemaakt van een testimplementatie van de Europese CNOSSOS-rekenmethode die door de Europese Commissie vrij beschikbaar is gesteld.¹ Voor het haalbaarheidsonderzoek is een proof of concept (PoC; conceptuele implementatie ter verificatie van de methode) ontwikkeld waarin drie soorten geluidpaden zijn geïmplementeerd: directe paden, verticale diffractie en eerste orde reflectiepaden (één reflectie). Deze paden zijn gekozen aangezien ze zijn voorgeschreven in zowel de Europese CNOSSOS methode als het Nederlandse Reken- en Meetvoorschrift Geluid (RMG) (zie figuur 1).



FIGUUR 1: DRIE SOORTEN GELUIDPADEN, DIRECT (AL DAN NIET MET VERTICALE DIFFRACTIE) (BLAUW), HORIZONTALE DIFFRACTIE (GROEN; NIET MEEGENOMEN) EN REFLECTIE (PAARS) TUSSEN GELUIDBRON (S) EN IMMISSIEPUNT (R); MET GEBOUWEN (ROOD VLAKE) EN WEGEN (RODE LIJN)

Om de methode te verifiëren zijn met zowel de ontwikkelde (op TIN gebaseerde) software, als met (op hoogtelijnen gebaseerde) RMG-software geluidberekeningen uitgevoerd voor twee gebieden rond Rotterdam. Aangezien er geen hoogtelijn gebaseerde implementaties van CNOSSOS beschikbaar waren, is er uit praktische overwegingen gekozen voor GeoMilieu die het RMG implementeert. Weliswaar verschilt de onderliggende rekenmethode, maar dit maakt een globale validatie mogelijk. Voor beide gebieden is zoveel mogelijk identieke invoerdata gebruikt, waar de randen van de driehoeken van de TIN zijn omgezet naar lijnen voor de RMG-software.

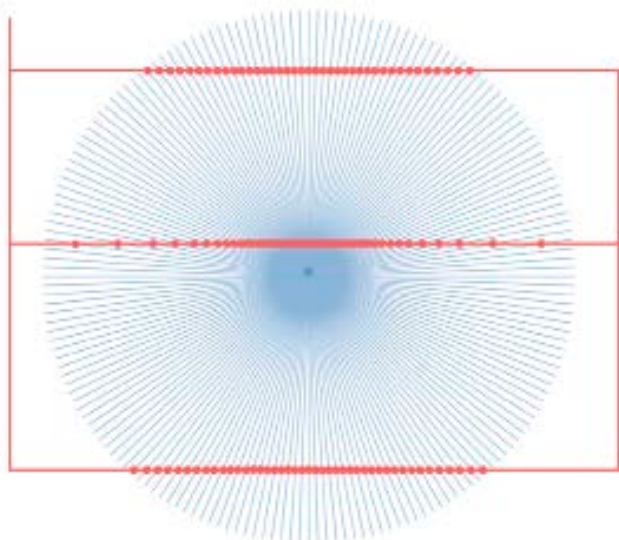
IMPLEMENTATIE

De benodigde gegevens over gebouwen, TIN en bodemtype zijn vrij beschikbaar via de TU Delft.² Hierbij zijn gebouwen in Level of Detail (LoD) 1.3 gemodelleerd, waarbij gebouwen zijn opgetrokken tot één (horizontale) hoogte, of tot meerdere hoogtes in het geval van significante hoogtesprongen zoals bij een kerk of huis met aangebouwde schuur. Verder zijn weg-lijnen gebruikt

als geluidbron afkomstig uit het Nationaal Wegen Bestand (NWB) beschikbaar op PDOK.nl

BRONDETECTIE

Bij het detecteren van de geluidbronnen wordt vanaf ieder immissiepunt elke 2° sectorhoek van een cirkel een virtuele lijn van 2 kilometer getrokken op basis waarvan de intersecties met weggedelen worden bepaald (zie figuur 2). De lengte van 2.000 meter is gekozen uit praktische overwegingen. Zo worden alle weggedelen binnen 2 kilometer van de bron meegenomen. Het geluidniveau van de bron wordt geschaald naar de lengte die de bron in het sectorvlak representeert.



FIGUUR 2: BRONDETECTIE: VANAF EEN IMMISSIEPUNT (BLAUW) WORDT ELKE 2° NAAR INTERSECTIES (RODE PUNTEN) MET WEGDELEN (RODE LIJNEN) GEZOCHT.

DOORSNEDE EXTRACTIE TIN

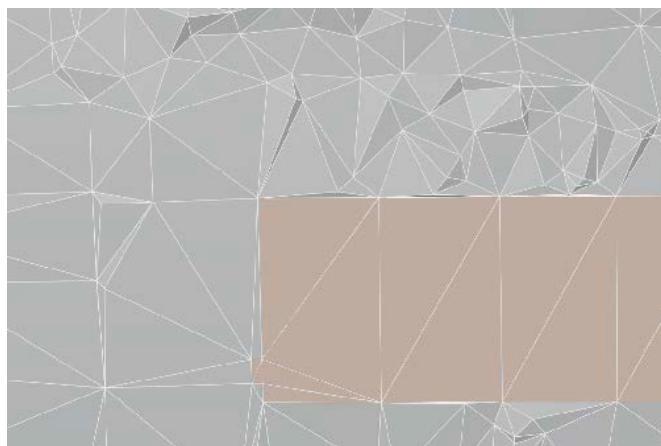
In de TIN wordt een link (verwijzing) naar aangrenzende driehoeken opgeslagen, waardoor een doorsnede uit de TIN kan worden gehaald door over de driehoeken te "lopen" (zie figuur 3).



FIGUUR 3: VISUALISATIE VAN HET "LOPEN" OVER EEN TIN; DOOR MIDDEL VAN EEN WISKUNDIGE TEST KAN WORDEN BEPAALD WELKE ZIJDE DE DOORSNEDE SNIJDT EN IN WELKE RICHTING 'GELOPEN' MOET WORDEN (AANGEGEVEN MET DE PIJLTJES, DIE BIJ HET EINDPUNT ALLE NAAR BINNEN WIJZEN EN DAARMEE AANGEVEN DAT HET EINDPUNT BEREIKT IS).

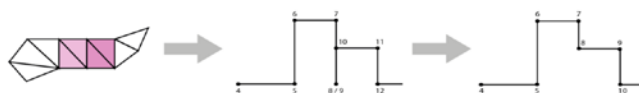
Om ook de gebouwen en bodemtypen in de doorsnede mee te nemen zijn deze geïntegreerd in de TIN door driehoeken in te voegen op de plaats van bodemvlakken en gebouwen. Zo weet iedere driehoek zijn bodemtype in geval van terrein, of gebouw-ID en hoogte bij een gebouw. De TIN wordt bij gebouwen niet omhooggetrokken maar blijft op maaiveldhoogte. De hoogte van het gebouw wordt als attribuut opgeslagen en meegenomen tijdens het maken van de doorsnede (zie figuur 4).

Tijdens het maken van de doorsnede wordt per segment (lijn over één driehoek) de bodemfactor afgeleid en opgeslagen. Indien de



FIGUUR 4: TIN MET GEÏNTEGREERDE GEBOUWEN (BRUIN) VAN SCENARIO 1

driehoek een gebouw betreft, dan wordt er een muur ingetekend op de gebouwhoogte bij het begin en het einde van het gebouw; bij de overgang van aangrenzende gebouwen wordt een verticale wand tussen beiden daken ingetekend (zie figuur 5).



FIGUUR 5: OPNEMEN VAN GEBOUWEN IN DE DOORSNEDE, DE ROZE / PAARSE DRIEHOEKEN INDICEREN DAT DE DRIEHOEK EEN GEBOUW BESCHRIJFT.

BEPALEN VAN GELUIDNIVEAUS

Om het geluidniveau van de bron bij de ontvanger te bepalen, wordt gebruik gemaakt van een implementatie van de Europese CNOSSOS-methode. Om deze software te gebruiken wordt ieder geluidpad weggeschreven als een .xml-bestand. Hierbij wordt in dit PoC iedere bron (enkel (rijks)wegen) van een standaard emissieniveau voorzien, geschaald naar de lengte van de weg die de bron representeert. Bij ieder pad wordt uitgegaan van 30% gunstige omstandigheden (waarbij geluid niet recht maar in een verticale boog naar de ontvanger gaat). De emissiehoogte is vastgelegd op 0,05 m, in lijn met de CNOSSOS-richtlijnen voor wegverkeer. De hoogte van de immissiepunten liggen voor deze simulatie 2,0 m boven het plaatselijk maaiveld (minimale hoogte voor betrouwbare resultaten in de CNOSSOS-methode).

Na uitvoering van de hierboven beschreven code leest de CNOSSOS-software de .xml-bestanden in, berekent $L_{A,eq}$ -geluidniveaus en telt alle waarden van één immissiepunt energetisch bij elkaar op. Vervolgens wordt er een bestand weggeschreven in shape-formaat (.shp) waarbij ieder immissiepunt is voorzien van het berekende geluidniveau.

De broncode en uitgebreide documentatie zijn vrij beschikbaar op Github³ en de TU Delft Repository.⁴ De stappen kunnen automatisch worden uitgevoerd middels een commando in de opdrachtprompt (CMD) van Windows.

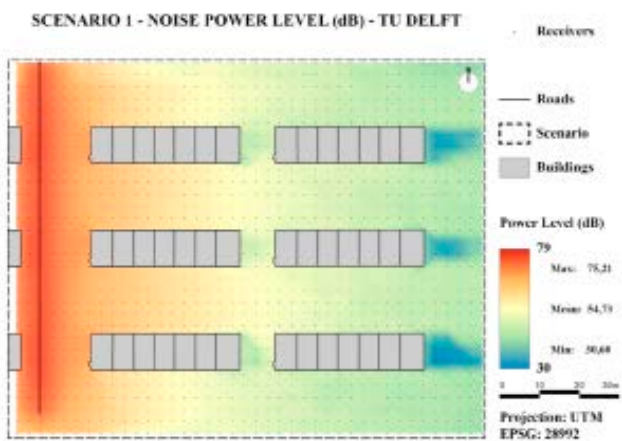
RESULTATEN EN VALIDATIE

In twee scenario's van $\pm 100 \times 100$ meter zijn immissiepunten in een grid van 2 x 2 meter gegenereerd en de geluidniveaus berekend op deze punten met zowel de eigen ontwikkelde methode, als volgens de RMG-software (op basis van zoveel mogelijk dezelfde input en omgevingsinformatie). Zoals eerder aangegeven, maakt deze vergelijking het mogelijk om de resultaten in grote lijnen te verifiëren, wetende dat er al verschillen zullen zijn door gebruik van een andere rekenmethode (CNOSSOS en RMG).

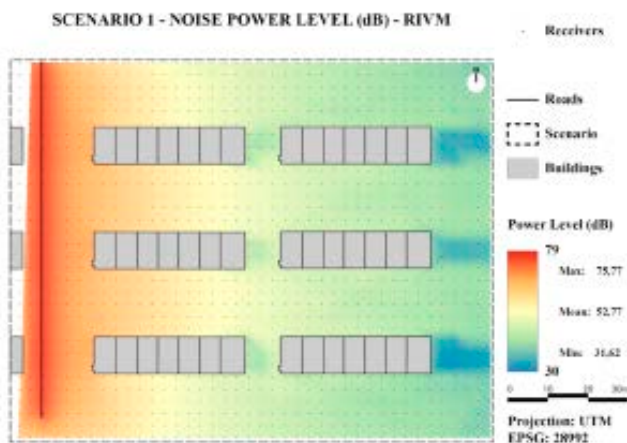
De berekende geluidbelasting op de immissiepunten zijn middels TIN-interpolatie in kleur gevisualiseerd in de figuren 6, 7, 8 en 9.

In scenario 1 bevindt zich een hoofdzakelijk reflectieve bodem met gebouwen, en daarmee ook reflecties. Hier is zichtbaar dat het geluid zich voortplant zoals verwacht: tussen de gebouwen liggen hogere waarden door de reflecties; achter de gebouwen is de afscherming duidelijk zichtbaar. Het verval is vergelijkbaar met de waarden van de RMG-software. Tot slot liggen de waarden bij CNOSSOS iets hoger dan bij het RMG, dit wordt verderop in deze sectie nader toegelicht.

Scenario 2 heeft hoofdzakelijk absorberende bodemvlakken, meer hoogteverschil en bevat geen reflecties. Hier laat de TIN-methode meer lokale verschillen zien in vergelijking tot de lijnen-gebaseerde methode. Dit kan mogelijk worden verklaard doordat het bodem-effect in het RMG en CNOSSOS verschillend wordt berekend en de bron- en ontvangerhoogte aangepast is aan de rekenmethode. Ten slotte laat de TIN-methode voor dit scenario doorgaans iets lagere waarden zien, maar wel met een vergelijkbaar verval.



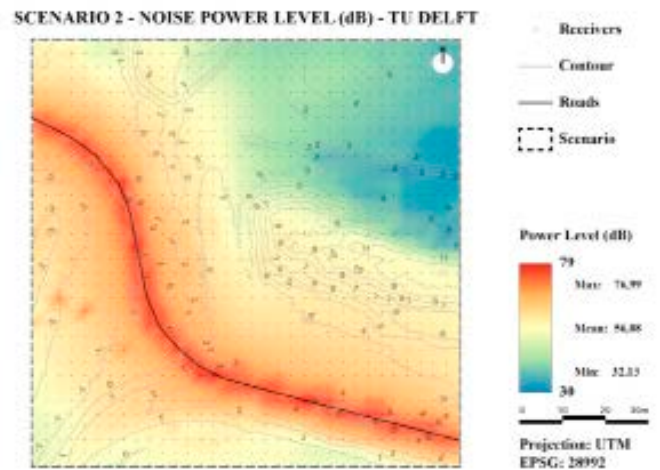
FIGUUR 6: GELUIDKAART VAN SCENARIO 1 VAN TU DELFT (CNOSSOS VIA TIN-METHODE)



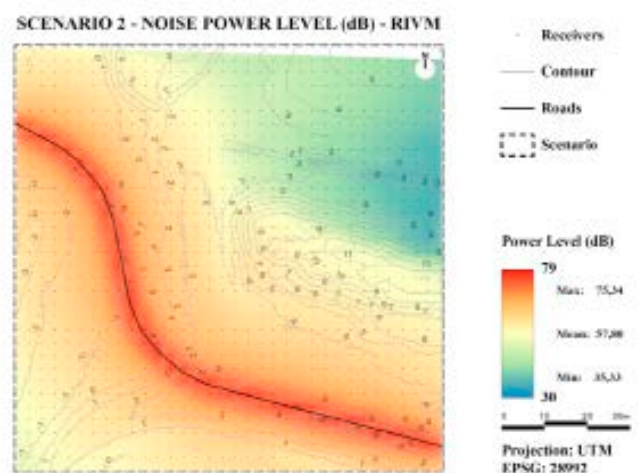
FIGUUR 7: GELUIDKAART VAN SCENARIO 1 GEGENEREERD DOOR RIVM (RMG VIA GEOMILIEU)

Opvallend is dat in scenario 1 (met vooral reflecterende bodem) met de (TIN-gebaseerde) CNOSSOS-methode hogere waarden zichtbaar zijn, waar deze juist lager zijn in scenario 2 met vooral absorberende bodem. Aangezien de invoerdata hetzelfde is en het effect een duidelijke correlatie laat zien met het bodemtype is het zeer aannemelijk dat dit een effect is van de rekenmethode (zie het originele verslag⁴ voor de correlatie) maar verder onderzoek moet dit uitwijzen.

De software is deels geoptimaliseerd, maar er is nog veel tijd winst te behalen. De huidige testen met de eigen methode zijn



FIGUUR 8: GELUIDKAART VAN SCENARIO 2 VAN TU DELFT (CNOSSOS VIA TIN-METHODE)



FIGUUR 9: GELUIDKAART VAN SCENARIO 2 GEGENEREERD DOOR RIVM (RMG VIA GEOMILIEU)

uitgevoerd op één rekenkern (core) van een reguliere laptop waar de implementatie van het RMG meerdere cores gebruikt van een krachtigere computer. De rekentijd voor scenario 1 voor het vinden van de bronnen tot het wegschrijven van de doorsnedes bedraagt 48 minuten (in GeoMilieu waren dit enkele minuten). Hierbij kost vooral het vinden van de doorsnedes en het wegschrijven van de .xml-bestanden veel tijd. Met de gebruikte CNOSSOS-software kost het ruim 7 uur om de 100.000 doorsnedes uit dit scenario te verwerken, de berekende geluidniveaus weer weg te schrijven en deze tot slot te combineren. Hierbij kost vooral het inlezen en wegschrijven van alle informatie van en naar bestanden veel tijd.

CONCLUSIE

Het doel van dit onderzoek was om te onderzoeken of het mogelijk is om een geluidsimulatie direct op een TIN uit te voeren. De resultaten laten zien dat de PoC is geslaagd: de resultaten op basis van de volledig geautomatiseerd gegenereerde inputdata laten zien dat het mogelijk is geluidsimulatie op basis van een TIN uit te voeren en hiermee realistische resultaten te verkrijgen.

Hiervoor dient de PoC verder te worden ontwikkeld. De software kan onder andere geoptimaliseerd worden door het algoritme verder te optimaliseren en het in C++ te schrijven als vervanging voor Python, wat de rekentijden al significant reduceert. Daarnaast kan hiermee het wegschrijven van .xml-bestanden, wat ongeveer 40% (19 minuten) van de rekentijd kost, overgesla-

gen worden. Zo kan deze methode een werkbaar alternatief bieden voor hoogtelijnen en zal het aantrekkelijk worden dit te implementeren in bestaande geluidsimulatiesoftware.

Verder kunnen andere functionaliteiten worden toegevoegd, zoals schermen, bruggen, tunnels en de resterende geluidbronnen. Ten slotte kan het verbeteren of optimaliseren van de invoerdata, zoals het versimpelen van de TIN waar dit kan zonder kwaliteitsverlies, leiden tot kwalitatief betere en snellere resultaten.

Dit toont aan dat in de toekomst één landelijk volledig automatisch gegenereerd omgevingsmodel voor Nederland gebruikt kan worden voor geluidberekeningen, wat leidt tot constante en betrouwbare simulaties in combinatie met kostenreductie.

VOETNOTEN

- 1 Inmiddels is deze niet meer beschikbaar op de website van de EU. Een kopie is nog te vinden op: <https://github.com/genell/Crossos-EU-SWE>
- 2 <https://3d.bk.tudelft.nl/opendata/noise3d/en.html>
- 3 https://github.com/Constantijn-Dinklo/3D_Noise_Modelling/releases/tag/v1.2
- 4 <http://resolver.tudelft.nl/uuid:9e83e3c1-0d7b-4026-a34c-2fbb61aaec2c>

REFERENTIES

- 1 Stoter, J.S., Peters, R., Commandeur, T., Dukai, B., Kavisha, K. en Ledoux, H. (2020): Automated reconstruction of 3D input data for noise simulation. Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 80.
- 2 Kavisha, K., Labetski, A., Ledoux, H. en Stoter J.S. (2019): An Improved LOD Framework for the Terrains in 3D City Models. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. IV, No. 4/W8 p. 75-82