

Het Level of Detail van 3D een bekend maar nauweli

'Level of Detail' (LoD) is een veelgebruikt begrip in de 3D-geo-informatie wereld. Het detailniveau van 3D-data speelt een rol bij de verschillende stappen in de 3D informatieketen, van inwinning tot gebruik. LoD is ook een van de belangrijkste basisprincipes van de internationale standaard CityGML, waarop de optionele 3D uitbreiding van IMGeo is gebaseerd. Afhankelijk van de toepassing modelleert deze standaard 3D-data op hoog of laag detailniveau. Maar in praktijk roept het gebruik van het detailniveau van stadsmodellen nog veel vragen op.

Door Filip Biljecki, Hugo Ledoux en Jantien Stoter

Filip Biljecki heeft hier de afgelopen jaren, onder begeleiding van Hugo Ledoux en Jantien Stoter, als eerste onderzoek naar gedaan en concludeert bijvoorbeeld dat het niet altijd zin heeft naar een zo hoog mogelijk detailniveau te streven. Filip is in mei 2017 cum laude gepromoveerd aan de TU Delft op dit onderwerp (zie figuur 1). Dit artikel vat zijn belangrijkste bevindingen samen. Het principe van detailniveau (zie kader) afgestemd op gebruik van 3D-data is belangrijk voor de haalbaarheid en toepasbaarheid van 3D.

Vaak denkt men bij "3D" dat de representatie de werkelijkheid 1-op-1 weergeeft. Dit schept verkeerde verwachtingen voor 3D: een fraaie visualisatie van de werkelijkheid met textuur en details als schoorstenen, dakkapellen en antennes vraagt veel (handmatig) werk. Zeker als dit model uit objecten dient te bestaan met (actuele) attribuutwaarden. Hierdoor lijkt 3D vaak onterecht duur en complex. Heel veel toepassingen zijn juist gebaat bij een veel minder gedetailleerde 3D-modellering. In 2D vinden we het heel gewoon om, afhankelijk van de toepassing, data op meer of minder detailniveau (schaal) te modelleren. Maar in 3D is deze benadering veel minder gemeengoed. Belangrijker dan een hoog detailniveau is dan ook kwaliteit van de data, dat wil zeggen actualiteit, correctheid, consistentie, aansluiting op de informatiebehoefte, etc.



Figuur 1- Foto van de promotieplechtigheid (links) en omslag

Het detailniveau zoals bijvoorbeeld CityGML voorschrijft, is belangrijk gebleken bij de acceptatie en implementatie van 3D-stadsmodellen. Desondanks zijn er nog steeds veel

Afhankelijk van de toepassing worden objecten in 3D met minder of meer detail gemodelleerd in de internationale 3D standaard CityGML (zie figuur 2). Neem bijvoorbeeld een gebouw. Op LoD0 kan een gebouw worden gemodelleerd door middel van een horizontale surface voor de footprint of dakgoot; op LoD1 door middel van een blokmodel; op LoD2 krijgt het blokmodel dakvormen; op LoD3 komt daar informatie over deuren, ramen, schoorstenen en dakkapellen bij; en LoD4 modelleert ook de binnenkant van gebouwen. Het is inmiddels breed geaccepteerd jargon om gebouwen met dakvormen als LoD2 gebouwen aan te duiden, zelfs als ze niet zijn gestructureerd in CityGML maar in een ander data-model of -formaat. Ook voor andere objecttypen modelleert CityGML verschillend detailniveaus. Al is de uitwerking hiervan in de standaard nog minimaal.

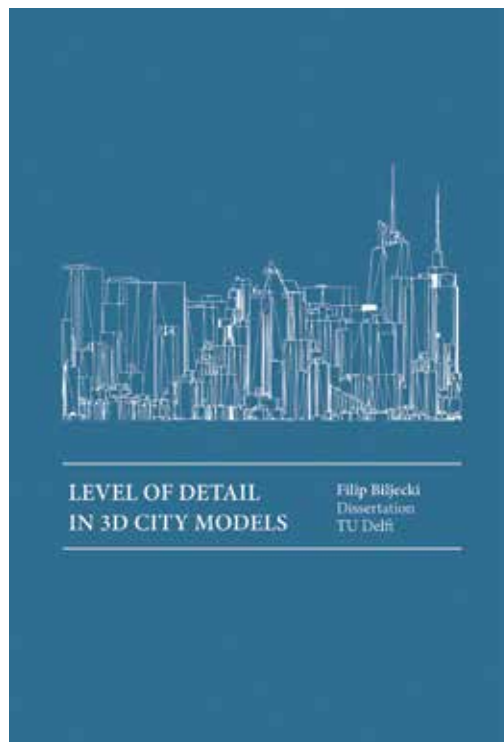


Figuur 2 - De detailniveaus voor gebouwen in CityGML.

-geo-informatie: jks onderzoek concept



g van de dissertatie (rechts).[1]



ieder blok één hoogte hebben of kan er een sprong in hoogte worden gemodelleerd bij een significante hoogtesprong binnen een gebouw? Moet een blok aan de onderkant gesloten zijn en worden gemodelleerd als een volume (*Solid* in GML) of bestaat een blok uit een verzameling surfaces waarbij de footprint kan missen? Al deze opties leveren een valide CityGML-LoD1-model op. En ook LoD2 kent verschillende modelleervarianten: als *MultiSurface*, *Solid* of een combinatie

Het is zinloos om 3D-geo-informatie op een hoog detailniveau in te winnen als de inwin- of reconstructiemethode niet precies is

onduidelijkheden rond het LoD-concept, die, wanneer opgelost, de implementatie van 3D-modellen aanzienlijk zouden verbeteren. Hierna lichten we deze toe.

Verschillende modelleermogelijkheden per LoD

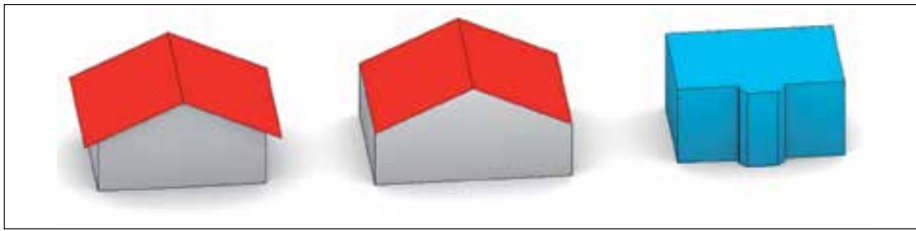
CityGML is een generieke standaard en laat daarom veel vrijheden toe in de modellering van LoDo tot en met LoD4. Dientengevolge kunnen bijvoorbeeld de detailniveaus voor de buiten-

kant van gebouwen (die op het eerste gezicht duidelijk en onderscheidend lijken) op verschillende manieren worden geïmplementeerd, allemaal geldig volgens de standaard. Voor een gebouw kan een LoD1-model bijvoorbeeld met een minder of meer gedetailleerde footprint worden gemodelleerd. En moet deze footprint horizontaal zijn (op welke hoogte?)? Of moet deze het terrein volgen? Wat stelt de blokhoogte voor: gemiddelde of maximale hoogte? Of de hoogte van de nok, of dakgoot? Moet

hiervan. Dakobjecten met een bepaalde grootte wel of niet modelleren? Het dakoverstek wel of niet modelleren? Een uitbouw wel of niet meenemen? De semantiek van muren, grond- en dakvlak wel of niet meenemen? Etc. Zie figuur 3.



Figuur 3 - Dakvormen in LoD2, gemodelleerd op verschillende detailniveaus: gegeneraliseerd zonder detail (links); met details als dakvormen en grote schoorstenen (midden); dakvormen met overstek (rechts). De huidige CityGML-standaard maakt dit onderscheid niet.



Figuur 4 - Meer detail in LoD1-representatie dan in LoD2.

Het kan zelfs zo zijn dat de LoD1-footprint meer detail kent dan LoD2, zie figuur 4.

De huidige CityGML-standaard maakt geen onderscheid in al deze variaties en al deze alternatieven voor eenzelfde LoD zijn dus mogelijk. Deze vrijheid in modellering is in de praktijk niet handig omdat een standaard juist bedoeld is eenduidigheid te geven.

Een verbeterd LoD concept

Daarom hebben we mogelijke LoD alternatieven van 3D-stadsmodellen verder uitgewerkt in een formeel kader op basis van een uitgebreide analyse van bestaande 3D-datasets, bestaande inwinrichtlijnen en beschikbare

veel nauwkeuriger te duiden. Misverstanden tussen bijvoorbeeld opdrachtgevers en inwinners zoals die zich nu in praktijk voordoen, kunnen op deze manier worden voorkomen.

Wij hebben dit kader toegepast om het LoD-concept van CityGML voor gebouwen nader te specificeren. Dit resulteerde in een LoD-specificatie met 16 LoD-varianten, zie figuur 5. Dat deze verfijnde specificatie een informatie-behoefte vervulden binnen 3D-stadsmodellering, blijkt uit het feit dat een aantal landen (Polen, Singapore en Zweden) deze verfijnde specificatie 1-op-1 heeft overgenomen in hun nationale standaarden. En ook de OGC heeft het LoD-concept verbeterd in de nieuwe versie van CityGML(3.0) op basis van ons werk.

Relatie tussen hoog detailniveau en kwaliteit van 3D ruimtelijke analyses

Het lijkt vanzelfsprekend: hoe meer detail in 3D, hoe beter de uitkomsten van 3D ruimtelijke analyses. Maar net zoals in computer graphics heeft het omgaan met fijne LoDs ook een keerzijde:

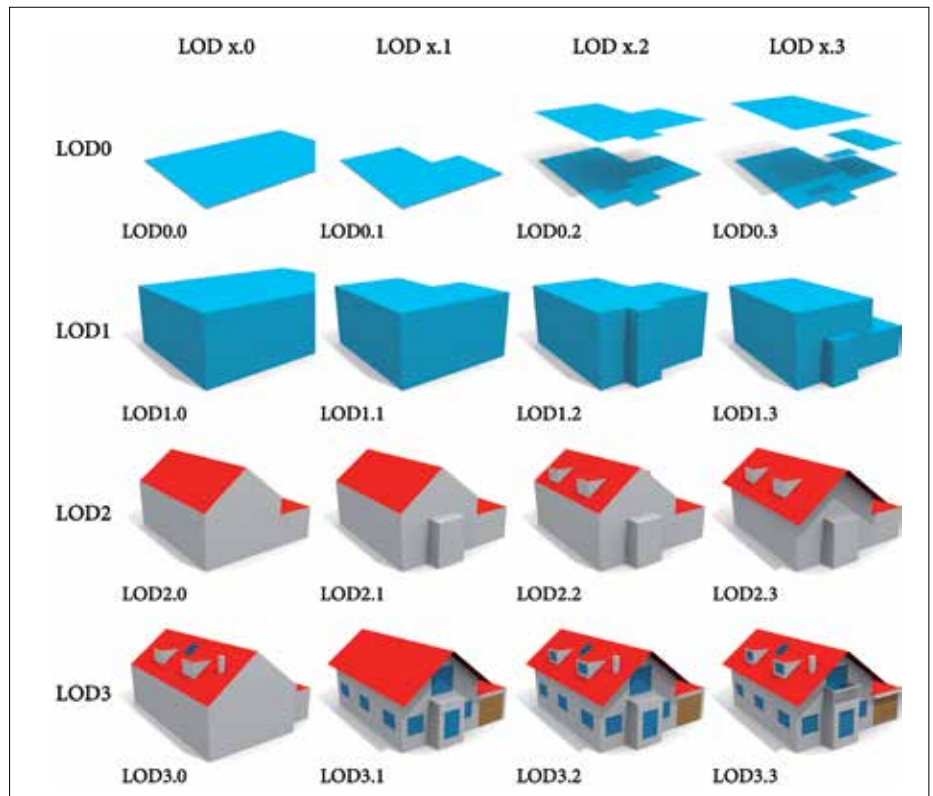
het is moeilijker de data in te winnen (een hoog detailniveau is niet meer volledig automatisch in te winnen en vraagt dus handwerk), het vereist veel meer dataopslag en het gebruik van gedetailleerde LoD data in ruimtelijke analyses kan

CityGML maakt geen onderscheid in verschillende alternatieven van eenzelfde LoD

traag zijn (of niet mogelijk!). Bovendien is er nog maar weinig onderzoek gedaan of een gedetailleerder LoD daadwerkelijk betere resultaten oplevert als het wordt gebruikt in 3D ruimtelijke analyses. Ook dit hebben we onderzocht. Hiervoor hadden we 3D-data nodig op verschillende detailniveaus en voor ieder detailniveau ook nog eens met verschillende nauwkeurigheden. Zulke 3D-data is natuurlijk niet voorhanden. Daarom hebben we deze verschillende 3D-datasets procedureel gegenereerd. Hiervoor hebben we (open source) software ontwikkeld Random3D-

Het streven naar een detailniveau LoD2 in plaats van LoD1 kan visueel aantrekkelijk zijn maar levert voor ruimtelijke analyses niet altijd significant meer op

tenderprocedures. Hiervoor hebben we ook gekeken naar hoe 3D-data in praktijk wordt ingewonnen en gereconstrueerd. We stellen een LoD-opdeling voor op basis van criteria zoals de aanwezigheid van specifieke elementen (dakoverstek, muur, dakkapel, schoorsteen) en het kleinste geometrische detail (zoals een uitbouw) dat nog kan worden gemodelleerd. De gebruiker kan specifieke parameters opgeven voor de verschillende onderdelen en heeft zo een methode om 3D-data specificaties



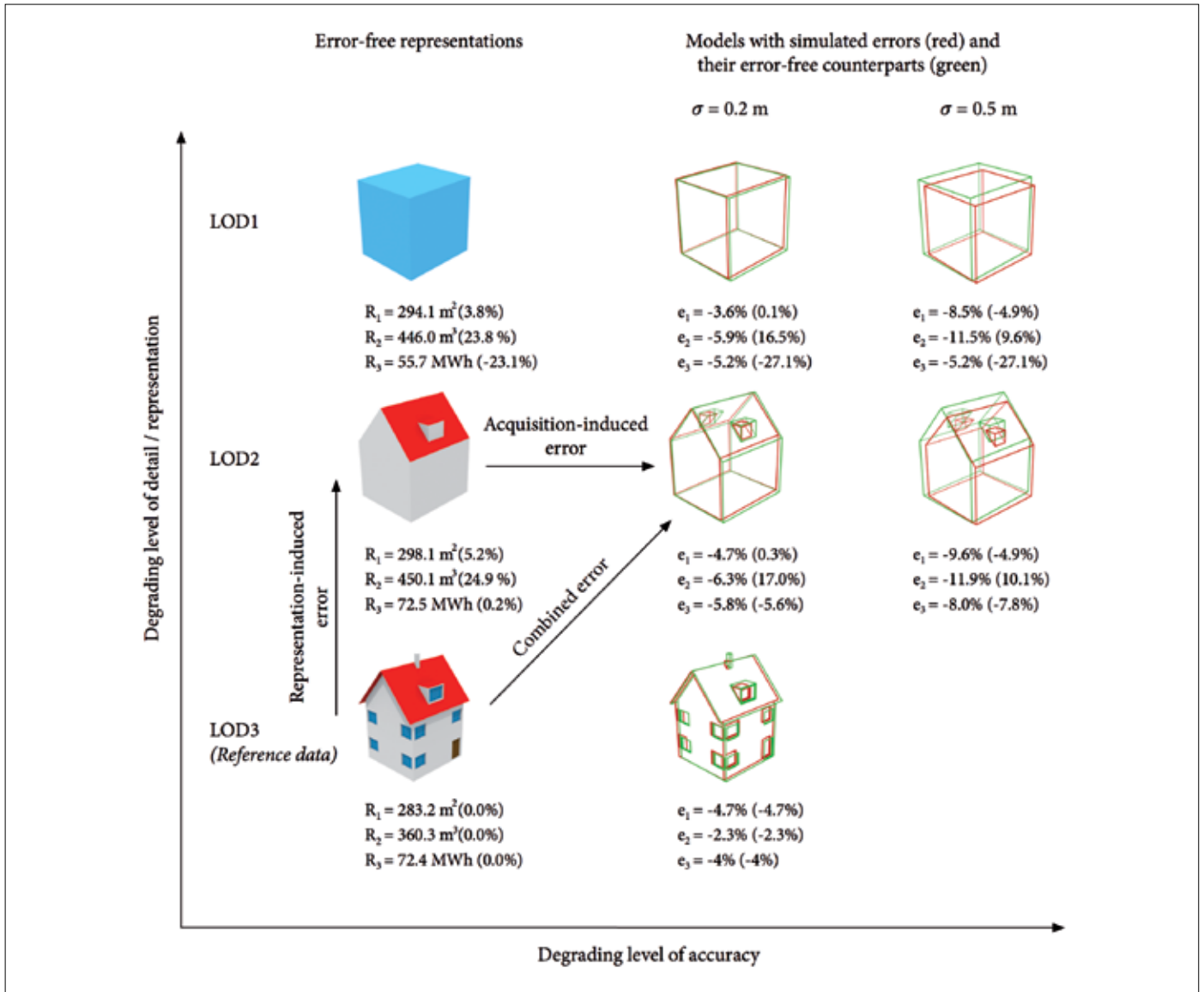
Figuur 5 - De verfijnde LoD-specificatie voor gebouwen.

City [2] De verschillende nauwkeurigheden zijn gebaseerd op gesimuleerde positionele fouten zowel in de z als in de (x,y) positie. Als eerste hebben we een schaduwanalyse uitgevoerd om het effect van LoD1, LoD2 respectievelijk LoD3 te bepalen. Daaruit bleek dat een LoD2- of LoD3-model van een huis niet

altijd significant betere resultaten levert dan een blokmodel, zie figuur 6.

Voor drie analyses hebben we vervolgens de invloed van positionele fouten versus die van het gebruikte LoD bepaald. Het gaat om de volgende analyses: bepaling van schaduw,

de omtrek en het volume van gebouwen, en zonne-instraling. Hiervoor hebben we de uitkomsten van de Monte Carlo simulaties (uitgevoerd op de met opzet verslechterde data) vergeleken met de uitkomsten op basis van de oorspronkelijke (correct veronderstelde) 3D-data. Zie figuur 7.



Figuur 6- Een 3D-gebouw model op LoD1, LoD2 en LoD3, "verslechterd" m.b.v. twee nauwkeurighedsniveaus ($\sigma_{x,y,z} = 0.2$ and 0.5 m). Voor drie analyses staan per model steeds twee typen fouten vermeld: de inwinnings-fout en de gecombineerde fout (tussen haakjes). Dit voorbeeld is interessant omdat in de eerste twee analyses (schaduw en omtrek van gebouwen) het LoD1 model resultaat beter is dan het LoD2 resultaat.



Figuur 7 - Schaduwanalyse met LoD2-modellen geeft niet per se beter inzicht dan met LoD1-modellen.

Hieruit bleek dat de nauwkeurigheid van een specifiek LoD een grotere invloed heeft op de kwaliteit van 3D ruimtelijke analyses dan het gekozen LoD zelf. Een minder gedetailleerd LoD met meer nauwkeurigheid kan betere resultaten opleveren dan een meer gedetailleerd LoD met minder nauwkeurigheid. Fouten geïntroduceerd bij de inwinning (of reconstructie) doen over het algemeen de verbeteringen die een meer gedetailleerd LoD geeft teniet. Daarom is het zinloos om 3D-geo-informatie op een hoog detailniveau in te winnen/reconstrueren als de inwin- of reconstructiemethode niet precies is. In plaats daarvan kan men beter focussen op een hogere nauwkeurigheid van de data. Dit maakt LoD in 3D ook een duidelijk ander concept dan schaal in 2D. In 2D kent schaal een eenduidige relatie met nauwkeurigheid en precisie. Terwijl 3D-data op een lager detailniveau een hogere nauwkeurigheid en precisie kan hebben

Het is breed geaccepteerd jargon om gebouwen met dakvormen als LoD2 gebouwen aan te duiden, zelfs als ze niet zijn gestructureerd in CityGML

dan 3D-data op een hoger detailniveau. Kortom: het streven naar een detailniveau LoD2 in plaats van LoD1 kan visueel aantrekkelijk zijn maar levert voor ruimtelijke analyses niet altijd significant meer op.

En nu?

Naast bovenbeschreven onderzoek, hebben we ook onderzoek gedaan naar andere LoD-gerelateerde onderwerpen zoals het gebruik van administratieve hoogte-gerelateerde informatie voor het automatisch genereren van 3D-data (voor gebieden waar geen hoogte-informatie voorhanden is), het managen van links tussen verschillende LoDs van 3D-stadsmodellen en de 3D-data behoefte in een groot aantal toepassingen. Zie hiervoor de lijst met gepubliceerde Journal artikelen in het kader.

Tijdens dit PhD onderzoek is een groot aantal Journal artikelen gepubliceerd over de verschillende aspecten van ons onderzoek. Deze zijn te downloaden via onze website: 3d.bk.tudelft.nl. Het gaat om de volgende artikelen:

Filip Biljecki, Gerard Heuvelink, Hugo Ledoux, Jantien Stoter
The effect of acquisition error and level of detail on the accuracy of spatial analyses
Cartography and Geographic Information Science, Advance online publication, 2017.

Filip Biljecki, Hugo Ledoux, Jantien Stoter
Generating 3D city models without elevation data
Computers, Environment and Urban Systems, 64: 1-18, 2017.

Filip Biljecki, Ken Arroyo Otori, Hugo Ledoux, Ravi Peters, Jantien Stoter
Population estimation using a 3D city model: a multi-scale country-wide study in the Netherlands
PLOS ONE, 11(6): e0156808, 2016.

Filip Biljecki, Hugo Ledoux, Jantien Stoter
An improved LOD specification for 3D building models
Computers, Environment and Urban Systems, 59: 25-37, 2016.

Filip Biljecki, Hugo Ledoux, Jantien Stoter, George Vosselman
The variants of an LOD of a 3D building model and their influence on spatial analyses
ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 116: 42-54, 2016.

Filip Biljecki, Jantien Stoter, Hugo Ledoux, Sisi Zlatanova, Arzu Çöltekin
Applications of 3D city models: state of the art review
ISPRS International Journal of Geo-Information, 4(4): 2842-2889, 2015.

Filip Biljecki, Gerard Heuvelink, Hugo Ledoux, Jantien Stoter
Propagation of positional error in 3D GIS: estimation of the solar irradiation of building roofs
International Journal of Geographical Information Science, 29(12): 2269-2294, 2015.

Filip Biljecki, Hugo Ledoux, Jantien Stoter, Junqiao Zhao
Formalisation of the level of detail in 3D city modelling
Computers, Environment and Urban Systems, 48: 1-15, 2014.

In de (nabije) toekomst zullen we ook voor andere objectklassen het LoD principe nader bestuderen in relatie tot toepassingen, beginnend bij "weg". Een ander onderwerp dat meer onderzoek behoeft, is de integratie van LoD in kwaliteitsstandaarden omdat huidige kwaliteitscontrole in 3D-GIS geen onderscheid maakt tussen verschillende LoDs van de 3D-data.

Dit PhD onderzoek is uitgevoerd binnen het Vidi onderzoeksproject '5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space, Time and Scale Dimensions'. Dit project (projectnummer 11300) maakt deel uit van de Vernieuwingsimpuls, dat gefinancierd is door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Referenties

- [1] Filip Biljecki, Level of detail in 3D city models, PhD dissertation · Delft University of Technology, [doi.org/b463](https://doi.org/10.1001/doi.org/b463)
- [2] Random3DCity. Open source software om 3D data procedureel te genereren, zie github.com/tudelft3d/random3dcity



Filip Biljecki was PhD kandidaat 3D Geoinformation aan de TU Delft, hij is nu postdoc aan de Nationale Universiteit van Singapore. Hij is bereikbaar via filip@nus.edu.sg.



Hugo Ledoux is Associate Professor 3D Geoinformation aan de TU Delft. Hij is bereikbaar via h.ledoux@tudelft.nl



Jantien Stoter is Hoogleraar 3D Geoinformation aan de TU Delft en tevens werkzaam bij Kadaster en Geonovum. Zij is bereikbaar via j.e.stoter@tudelft.nl