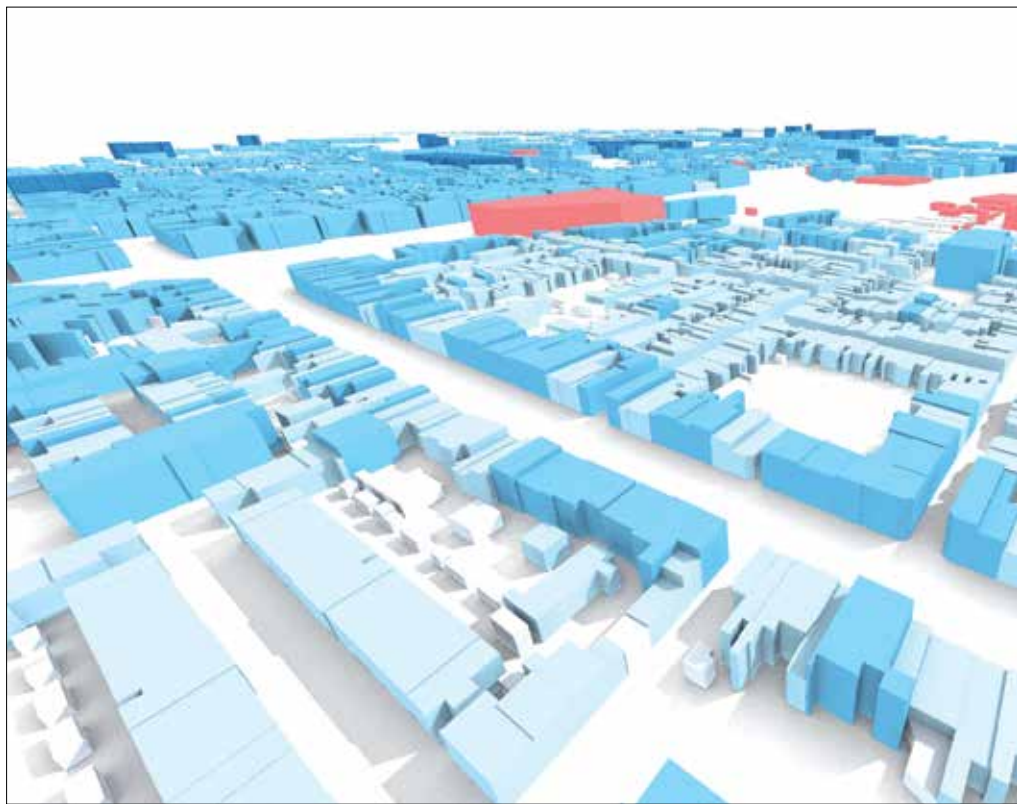


# 3D-BAG: actueel en lands

Het representeren van gebouwen met dakvormen (ook wel LoD2 genoemd) is populair bij 3D-modellering van de leefomgeving, omdat dit een realistische beleving geeft. Maar voor veel 3D-data toepassingen zijn simpele blokmodellen van gebouwen meer geschikt. Deze zogenaamde LoD1-modellen kunnen relatief eenvoudig worden gegenereerd vanuit data die openlijk beschikbaar is (2D-gebouw polygonen en hoogtepunten). Maar de ene LoD1 is de andere niet, omdat gebruikte referentiehoogtes verschillen. Evenals de onderliggende statistische berekeningen (is de hoogte van een blok het hoogste punt van een dak? Telt een schoorsteen mee? Of is de gemiddelde hoogte beter?).

**Door Balázs Dukai, Hugo Ledoux en Jantien Stoter**



Visualisatie van de gegenereerde 3D-BAG-gegevens. Blauw representeert verschillende hoogteklassen. Voor de rode panden nieuwer zijn dan de punten (in dit geval zijn oude gebouwen vervangen door nieuwe).

Om mogelijke LoD1-varianties te standaardiseren en de gebruiker de keuze te laten welke zij wil gebruiken, ontwikkelden wij een 3D-BAG-service die meerdere referentiehoogtes genereert per pand op basis van statistische berekeningen, en maandelijks actualiseert voor heel Nederland. Tegelijkertijd geeft de service inzicht in de kwaliteit van de gegenereerde 3D-BAG-gegevens.

De BAG bevat de huidige status van alle gebouwen ('panden') en verblijfseenheden in Nederland. De geometrie van panden wordt gerepresenteerd met de buitenomtrek van een pand; daar waar de panden in de BGT worden gerepresenteerd met hun maaiveld-

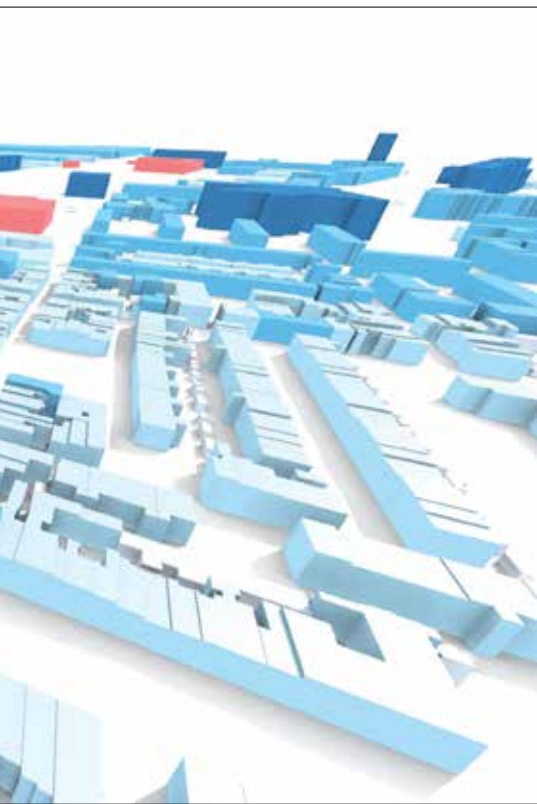
geometrie ('voetafdruk'). Als we de terminologie nemen van CityGML (zie figuur 1), kan een 3D-BAG-pand worden gemodelleerd op drie verschillende detailniveaus voor de buitenkant: LoD1, LoD2, en LoD3. En op LoD4, als het gaat om de binnenkant van de panden.

LoD1-gebouwen zijn automatisch te genereren uit puntenwolken. Voor LoD2 en LoD3 is het moeilijker om de uitzonderingsgevallen (zoals complexe dakvormen) automatisch te genereren. Door de meer realistische weergave wordt vaak gedacht dat LoD2-modellen nauwkeuriger zijn dan blokmodellen. Maar ook LoD2-modellen zijn nog steeds een abstractie van de werkelijkheid (objecten zoals



Figuur 1 - De detailniveaus voor gebouwen in CityGML. (Biljecki et al, 2017)

# dekkend



in LoD2 een plat dak heeft is niet eenduidig te beantwoorden. Met name in historische stadscentra waar daken in alle soorten en maten voorkomen. Automatische afleiding is dan vaak nog complexer. Zie bijvoorbeeld figuur 2 en het tekstkader.

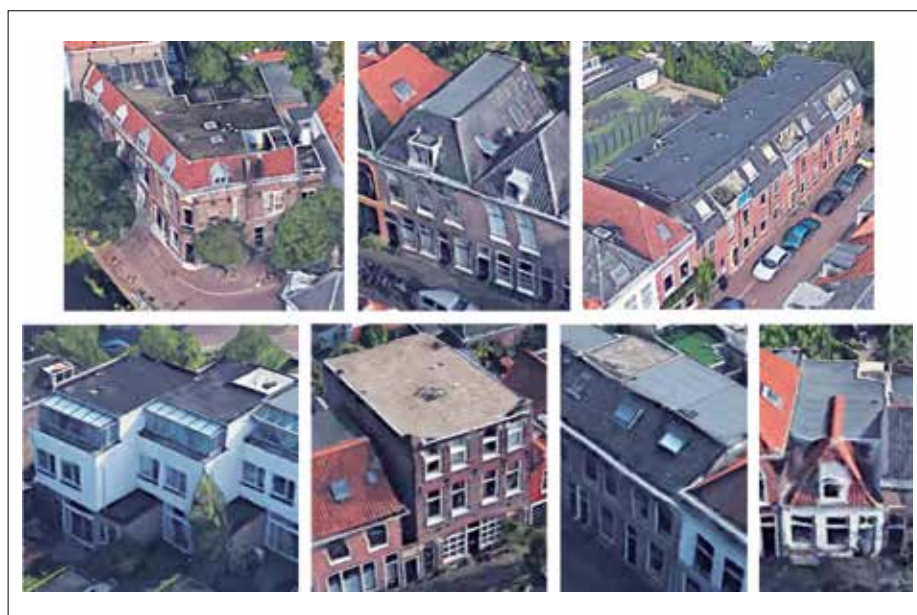
## LoD1 3D-BAG

Onze oplossing focust zich op de meeste haalbare representatie van de 3D-BAG: LoD1. Dergelijke modellen worden in Nederland al veelvuldig gegenereerd door diverse partijen op basis van BAG en AHN en worden gebruikt in toepassingen als windstroomsimulaties, voorspelling van energieverbruik en -verlies en geluidsimulaties (zie bijvoorbeeld De Kluijver en Van Tilburg, 2018).

Waar veel gebruikers zich niet bewust van zijn, is dat er een groot aantal mogelijkheden zijn om gebouwen als blokken te modelleren op basis van hun 2D-polygoon. Zo kan het bovenste vlak van het blok de hoogte van de dakrand representeren, maar ook de nokhoogte of de maximale hoogte (bijvoorbeeld schoorsteen). Ook de statistische berekening die wordt gebruikt om op te trekken, varieert. Daarnaast kan de 2D-polygoon de positie van muren representeren, maar het kan ook een projectie van de dakranden zijn, dus inclusief dakoverstek, zoals in veel gevallen in de BAG. Deze opties beïnvloeden de uitkomst van analyses waarvoor de LoD1-modellen worden

schoorstenen, ventilatiesystemen, of meubels op een dakterras zijn niet gemodelleerd). Bovendien zijn daken niet altijd eenduidig te definiëren. Bijvoorbeeld de vraag of een pand

*panden zijn de hoogtepunten niet representatief, omdat de*



Figuur 2 - Zijn deze daken plat of niet? ©Google

## Wat is een plat dak?

Een belangrijke eerste stap bij het modelleren van dakvormen is het detecteren van platte daken. Gebouwen met platte daken zijn ook goed om de nauwkeurigheid te bepalen van LoD1-panden, omdat in theorie de geometrie van LoD1 en LoD2 met elkaar zouden moeten samenvallen (zie verderop in dit artikel: 'Kwaliteit van opgetrokken geometrie').

Wat we verstaan onder een plat dak, lijkt vanzelfsprekend. Maar kijkend naar de bebouwde realiteit, is dit het niet. Neem bijvoorbeeld de daken in Figuur 2. In een (kleine en niet representatieve) enquête vroegen we 28 mensen om voor deze gebouwen aan te geven of het wel of geen plat dak heeft. Over een aantal platte daken waren de geënquêteerden het unaniem eens. Maar over drie gebouwen (1, 3, en 7, lezend van links naar rechts en van boven naar beneden) waren de meningen verdeeld. Als het al moeilijk is om de werkelijkheid eenduidig te categoriseren door middel van menselijke interpretatie, hoe vertalen we dit dan in formele, door machine uitvoerbare reconstructies?

Ook interessant is dat de respondenten aangaven dat de definitie van een 'plat dak' een verschillende betekenis kan hebben voor verschillende toepassingen. Een afvalwateringenieur wilde bijvoorbeeld graag weten wanneer het werkelijke vlakke oppervlak ten minste 50% van het totale oppervlak is, waardoor de waterstroming significant wordt vertraagd, terwijl een vastgoedontwikkelaar geïnteresseerd is in die daken waarop een (klein) terras past en een klimaatexpert van de gemeente wil weer weten op hoeveel daken het mogelijk is om een groen dak te realiseren. In onze '3D-BAG' ontwikkelen we momenteel een methode om platte daken te detecteren welke informatie ook zal worden toegevoegd als attribuut.

gebruikt. Tegelijkertijd is er vaak weinig bekend over de kwaliteit van de geautomatiseerde LoD1-modellen.

In ons initiatief hebben we daarom een oplossing ontwikkeld voor het genereren, ontsluiten en actueel houden van een landsdekkende



3D-BAG, waarbij er verschillende referentiehoogtes worden berekend, evenals een aantal kwaliteitsparameters.

### Genereren en beschikbaar stellen van 3D-BAG LoD1

Onze 3D-BAG-service is beschikbaar op: [3dbag.bk.tudelft.nl](http://3dbag.bk.tudelft.nl). Via deze website kunnen gebruikers 3D-BAG-data viewen, bevragen en downloaden. Ook is de ontwikkelde software met documentatie beschikbaar.

Het genereren van 3D-BAG hoogte- en kwaliteitsinformatie hebben we geïmplementeerd met de open source software 3dfier (github.com/tudelft3d/3dfier). Deze open source software wordt ontwikkeld in een samenwerking tussen de 3D Geoinformation onderzoeksgroep van de TU Delft en het Kadaster. De software genereert automatisch 3D- stadsmodellen op basis van 2D-topografie en puntenwolken voor meer dan alleen gebouwen en zorgt tevens dat gegenereerde 3D-BAG-panden aansluiten op het terrein (Stoter et al, 2017).

Voor de BAG panden gebruiken we de dataset: 'pand-actueelbestand' van NLEExtract. Deze dataset is een selectie van de BAG-panden die gerealiseerd zijn en (nog) niet gesloopt, dus de dataset representeert de actuele situatie.

AHN-data wordt in onze oplossing automatisch gedownload van PDOK. We gebruiken AHN3 (inwinning 2014-2019) waar dat al beschikbaar is. En anders AHN2 (inwinning 2007-2012). In beide datasets zijn de punten geclassificeerd, zij het op een verschillende manier. Voor AHN2 gebruiken we 'uitgefilterd' om de pandhoogtes te bepalen en 'gefilterd' punten voor het maaiveld. Voor AHN3 gebruiken we hiervoor de klasse 'building' respectievelijk 'ground points'.

Voor de 3D-BAG worden voor ieder pand acht percentielen berekend voor acht verschillende referentiehoogtes van ieder pand, zie figuur 3.

Voor het maaiveld (de minimale hoogte van een 3D-BAG-pand vanuit waar een pand wordt opgetrokken) worden 0, 10, 20, 30, 40 en 50 percentiel hoogtes berekend op basis van punten in een buffer van 0,5m rond het pand.

De berekende maaiveld- en referentie-hoogtes worden als attributen aan de 2D-BAG- geometrieën toegevoegd. De gebruiker kan vervolgens het 2D-pand optrekken vanaf en tot een hoogte welke het beste bij haar toepassing past. De AHN-versie (2 of 3) die gebruikt is voor een betreffend pand, wordt ook als attribuut toegevoegd.

De gegenereerde dataset voor heel Nederland is via de website beschikbaar als WFS- en

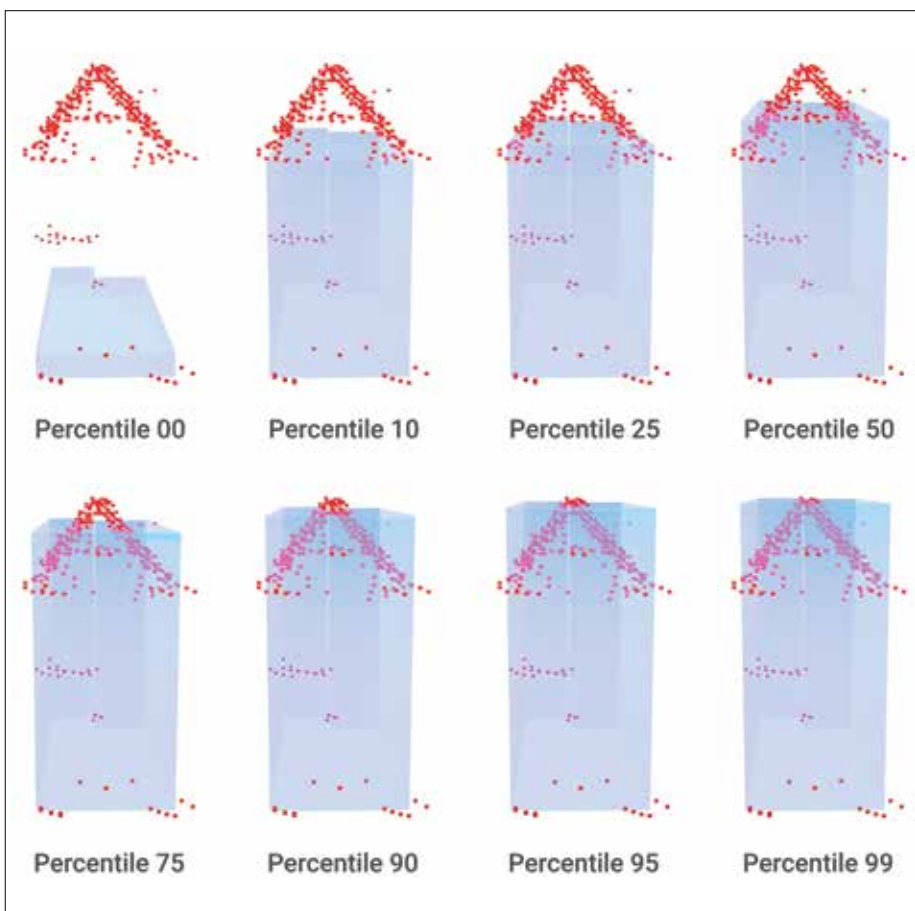
WMS-service, GeoPackage, PostgreSQL-backup en een CVS-bestand met BAG-ID en zonder geometrie. De broncode van de software is ook open en vrij beschikbaar.

### Opschalen en actueel houden

De BAG bevat ongeveer 10 miljoen gebouwen en de AHN2 639 miljard hoogtepunten (AHN3 zal naar verwachting ongeveer 700 miljard punten bevatten). Samen beslaan deze datasets ruim een terabyte aan opslagruimte. Om ons proces op te schalen naar heel Nederland gebruiken we een zogenaamde 'tiling' benadering. We gebruiken hiervoor de 1377 tiles van het AHN. Op onze server kunnen 40 tiles tegelijkertijd draaien waarmee we de 3D BAG in één dag kunnen genereren. Panden die op de grens van een 'tile' liggen worden toegekend aan de tile waarin de centroide zich bevindt. De aanliggende AHN-gegevens worden wel gebruikt bij de hoogte bepaling. Elke maand checken we of er updates beschikbaar zijn van NLEExtract en genereren we de gehele 3D-BAG op deze manier opnieuw, omdat de bewerkingstijd van één dag acceptabel is en het alleen bewerken van de updates complexer zou zijn. De updates zorgen dat nieuwe panden worden toegevoegd, afgebroken panden worden verwijderd en AHN3 wordt gebruikt indien beschikbaar. Panden die in werkelijkheid niet gewijzigd zijn, blijven ook in onze dataset exact hetzelfde. Oudere versies van deze 3D-BAG blijven beschikbaar (en downloadbaar) op onze site.

### Informatie over de kwaliteit

Wat wij extra toevoegen aan de meeste LoD1-oplossingen die er al zijn, is informatie berekenen en vastleggen over de kwaliteit. Dit is vooral bij een automatisch proces belangrijk dat wordt toegepast op 10 miljoen panden, waarbij het niet mogelijk is alle panden visueel te checken. Naast de verschillende referentiehoogtes waaruit een gebruiker kan kiezen, leggen we kwaliteitsgerelateerde informatie vast. Ten eerste voegen we per pand een attribuut toe dat vermeldt wanneer de gebruikte AHN tile werd gegenereerd. Dit attribuut geeft, samen met de begintijd van een pand, aan wanneer een pand nieuwer is dan gebruikte hoogtegegevens en wanneer de hoogtegegevens dus niet valide zijn. In de toekomst zullen we hiervoor de datum kiezen die gekoppeld is aan de inwindatum van ieder LIDAR punt waardoor deze informatie nog nauwkeuriger wordt. Op basis van deze informatie berekenen we voor iedere update het percentage nieuwe gebouwen. In de versie van september 2018 bleken 3,37% van de ongeveer 10 miljoen BAG-panden nieuwer te zijn dan de gebruikte hoogtedata (wat ook kan komen doordat we voor sommige delen nog AHN2 gebruiken).



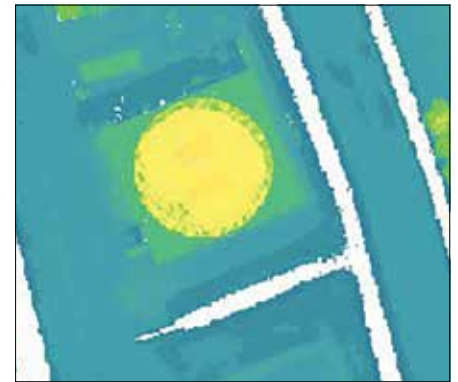
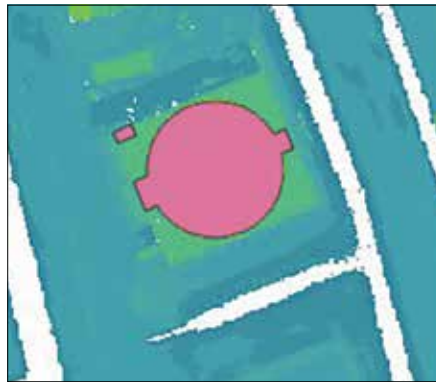
Figuur 3 - Visualisatie van de berekende referentiehoogtes op basis van percentielen en de hoogtepunten die daarbij zijn meegenomen.

## Missende hoogtepunten

Een voor de hand liggende verklaring voor missende hoogtepunten, is als er sprake is van een nieuw gebouw. Maar missende hoogtepunten kunnen ook worden veroorzaakt door een foute classificatie van het AHN, zie Figuur 4.

Het kan ook gaan om situaties waar een laser vanuit de lucht niet bij kan komen, zoals het maaiveld bij een pand dat geheel wordt omsloten door andere gebouwen of panden onder bruggen, zie Figuur 5.

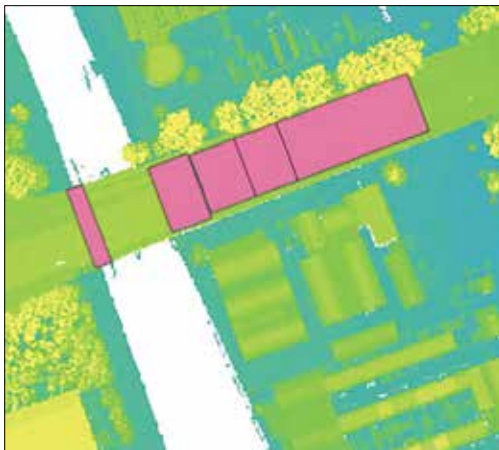
In een eerdere versie van onze 3D-BAG-service misten ook hoogtepunten omdat sommige AHN3-tiles beschikbaar via PDOK nog niet geheel gevuld zijn (dit is bediscussieerd op het PDOK-forum forum.pdok.nl). Om voor deze tiles toch de



Figuur 4 - Het BAG-pand links heeft geen hoogte, omdat de betreffende hoogtepunten zijn geclassificeerd in AHN als 'ground points' (rechts).

AHN3-hoogtes gebruiken waar deze wel beschikbaar zijn, genereren we de 3D-BAG hier twee keer: één keer met AHN2 en één keer met AHN3, waarna per pand de

meest recente hoogtes wordt geselecteerd. Deze bewerking is minder kostbaar dan een gebied-selectie te maken in de betreffende AHN2 en AHN3 las bestanden.



Figuur 5 - Panden onder bruggen hebben geen corresponderende hoogtes in AHN ©Google.

Daarnaast bepalen we aan de hand van een ruimtelijke analyse per pand of er überhaupt hoogtepunten beschikbaar zijn en berekenen we het aantal panden waarvoor geen AHN-hoogtepunten beschikbaar zijn, ook belangrijke kwaliteitsinformatie. Hierbij maken we onderscheid tussen missende punten op het maaiveld en missende non-ground punten. Voor de September 2018 versie hebben minder dan 1% van de panden geen dakhoopte en 1% geen maaiveldhoogte. Mogelijke oorzaken hiervan worden beschreven in het tekstkader. Om iets te kunnen zeggen in hoeverre een blokmodel het gebouw in werkelijkheid benadert, berekenen we ook voor ieder pand voor elk percentiel de root mean square error (RMSE) van het geometrische verschil tussen de puntenwolk en het opgetrokken 3D-bouwmodel en voegen we ook deze kwaliteitsgegevens toe als attribuut. Tenslotte bepalen we het aantal punten dat is

meegenomen om de verschillende percentielen te berekenen (zowel voor de pandhoogte als voor het maaiveld) en voegen dit ook als attribuut toe. Ook dit is weer een indicatie voor de kwaliteit.

De informatie over de "te oude" hoogte gegevens, missende input hoogtepunten, RMSE per percentiel, platte daken en het aantal punten dat is meegenomen bij de statistische berekeningen wordt voor iedere update opnieuw berekend en opgeslagen.

Daarnaast wordt deze statistiek samengevat en gepubliceerd op onze 3D-BAG website zodat er ook een beeld is van de kwaliteit van de gehele 3D-BAG-dataset.

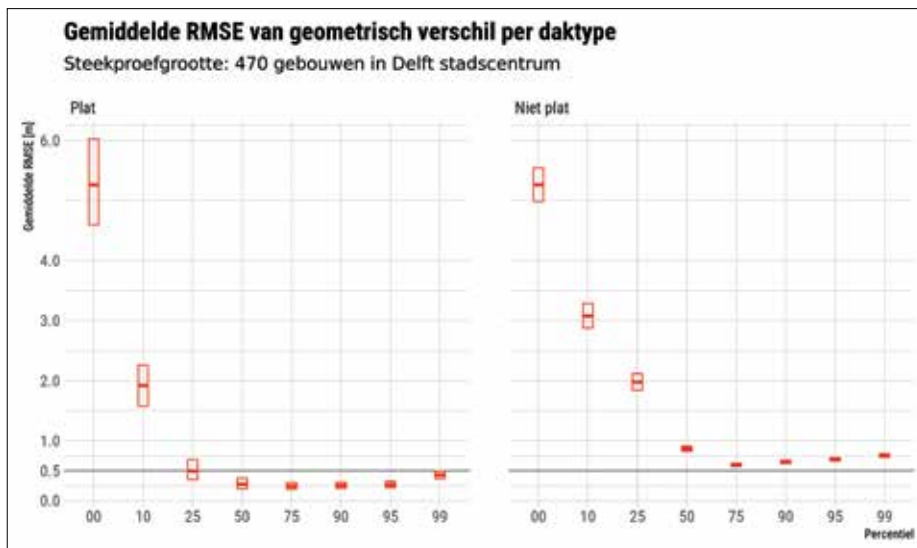
### Kwaliteit van opgetrokken geometrie

Om inzicht te krijgen in hoeverre de opgetrokken geometrie voor de verschillende percentielen het werkelijke gebouw representeert, hebben

we voor 470 gebouwen in Delft de RMSE nader bekeken. De RMSE-berekening neemt zowel de punten op de muren mee, als op het dak. Voor deze analyse hebben we onderscheid gemaakt in platte en niet-platte daken. Deze informatie hebben we met de hand geclassificeerd (maar zullen we in de nabije toekomst automatisch genereren). De resultaten hiervan staan in Figuur 6.

Hieruit is te concluderen dat voor panden met platte daken, het 75e percentiel het 'dichtstbij' de werkelijke geometrie van het gebouw ligt. Daarbij is de RMSE gemiddeld slechts 25 cm (al hebben het 90<sup>e</sup> en 95<sup>e</sup> percentiel ook maar een kleine fout). Zelfs voor panden met niet-platte daken blijft de RMSE binnen het bereik van 50-100 cm voor percentielen 75-99. Hieruit kunnen we concluderen dat automatisch gegenereerde LoD1 panden inderdaad geschikt zijn voor de meeste GIS-analyses.





Figuur 6 - De gemiddelde RMSE van het geometrische verschil tussen de puntenwolk en opgetrokken 3D-bouwmodellen, uitgesplitst in platte daken (links) en niet platte daken (rechts).

### Tot slot

In dit artikel hebben we onze 3D-BAG-service beschreven, welke voor heel Nederland per pand acht verschillende referentiehoogtes genereert om een pand op te trekken en maandelijks actualiseert. De service geeft tegelijkertijd inzicht in de kwaliteit van de gegenereerde gegevens. Hierdoor kan een gebruiker zelf kiezen welke referentiehoogte zij gebruikt in haar toepassing en kan zij eventueel 3D-gebouwen die minder betrouwbaar zijn interactief corrigeren.

De panden worden opgetrokken op basis van AHN. Voor actuelere hoogtedata kan gebruik worden gemaakt van hoogtepunten gegenereerd uit jaarlijks ingewonnen luchtfoto's. Deze optie wordt momenteel samen met het Kadaster verder uitgewerkt. Ook zijn we bezig om meer gedetailleerde 3D-BAG-geometrieën automatisch te genereren zoals LoD2 maar ook LoD1.3 (het optrekken van eenzelfde gebouw-polygoon op verschillende hoogten om significante hoogtesprongen binnen eenzelfde BAG pand te modelleren).

### Referenties

- Filip Biljecki, Hugo Ledoux and Jantien Stoter, 2017, Het Level of Detail van 3D geo-informatie: Een bekend maar nauwelijks onderzocht concept.. Geo-Info 14(5), 2017, pp. 12-16.
- Henk de Kluijver en Tom van Tilburg, 2018, Landelijk 3D-model voor geluidsstudies, Geoinfo (2), pp. 12-15
- Jantien Stoter, Tom Commandeur and Hugo Ledoux, 2017, 3D BGT: waarom, wat en hoe?.. Geo-Info 2, 2017, pp. 69-73.



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



Hugo Ledoux, associate professor, 3D Geoinformation, TU Delft, h.ledoux@tudelft.nl.



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

Dit project is mede gefinancierd door European Research Council (ERC), onder het 'European Union's Horizon 2020 research and innovation programme'. Grant agreement No 677312 UMN-D: Urban modelling in higher dimensions.

## Tangentbord Spoorwegmuseum verroest én opgeknapt

Toen ik kleine kinderen had, stonden er op het buitenterrein van het Spoorwegmuseum in Utrecht twee gave ijzeren tangentborden.

Met mijn kleinzoons zag ik deze voorzomer alleen nog dat ene, verroeste bord staan met de teksten: 'Straal des boogs 1500 M- RegtGedte 25639 M-Ontw.lengte 4650 M'. (De vaste teksten staan op het bord in reliëf, terwijl de maten opgeschilderd ingevuld waren.) Het hoofd Collecties desgevraagd: "Het verroeste exemplaar wordt een keer gerestaureerd en het andere exemplaar is kapot gereden door de aannemer in 2004 tijdens de grote verbouwing. Een deel staat bij het seinhuis en het afgebroken deel ligt in depot. Gaan we ook nog een keer restaureren." En een collega van hem wat later in deze zomer: "De eerste (die op de foto staat) wordt momenteel opgeknapt. Paal en bord worden opnieuw geschilderd. Bord is nu nog wit; de letters en rand worden binnenkort zwart geverfd." En dat gebeurde intussen, waarvoor dank!

Adri den Boer, redacteur

