

Impactanalyse gebruik AHN3 in plaats van AHN4 voor 3D Omgevingsmodel Geluid

Peters, R.Y.; Gao, W.; Chen, Z.; Stoter, J.E.

Publication date

2022

Document Version

Final published version

Citation (APA)

Peters, R. Y., Gao, W., Chen, Z., & Stoter, J. E. (2022). *Impactanalyse gebruik AHN3 in plaats van AHN4 voor 3D Omgevingsmodel Geluid*.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

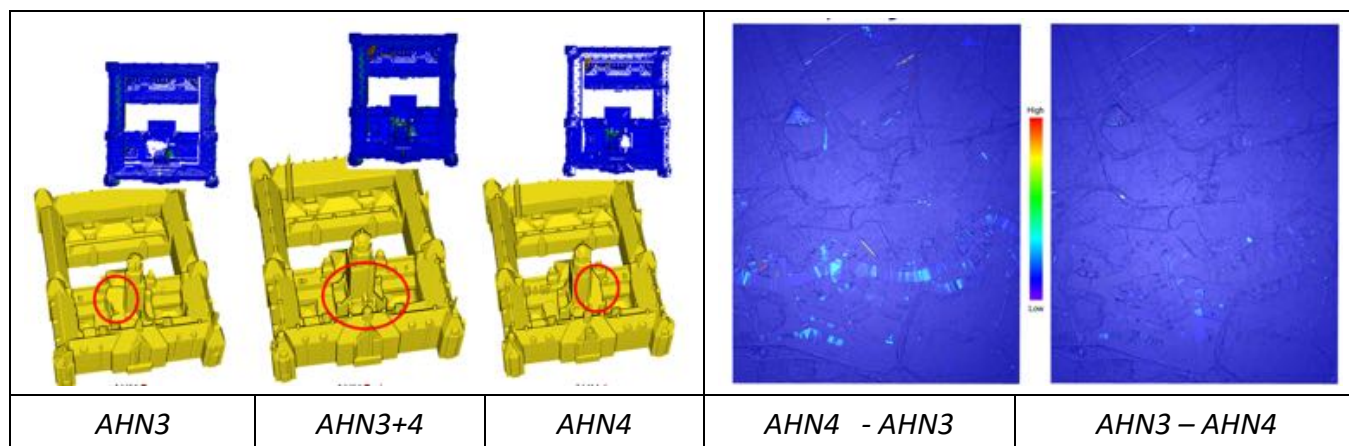
Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Impactanalyse gebruik AHN3 in plaats van AHN4 voor 3D Omgevingsmodel Geluid



Ravi Peters
Weixiao Gao
Zhaiyu Chen
Jantien Stoter
In opdracht van RIVM/Ministerie Verkeer en Waterstaat



November 2022

INHOUDSPOPGAVE

Inleiding	3
Algemene vergelijking AHN3-AHN4	4
Gebouwen AHN3 versus AHN4	6
<i>Verschillen AHN3-AHN4 puntenwolk per BAG gebouw</i>	8
Box plot voor de no_data pixels per gebouw	8
Gemiddelde punt dichtheid per gebouw	9
Verschil detectie: fractie van BAG polygoon met een groot hoogteverschil.....	9
<i>Verschillen AHN3-AHN4 voor gereconstrueerde 3D BAG gebouwen.....</i>	10
Aantal dakvlakken per gebouw	10
Hoogteverschil voor niet-gewijzigde gebouwen met platte daken.....	11
<i>Conclusie over verschillen tussen AHN3 en AHN4 voor wat betreft gebouwen.....</i>	12
<i>Update opties gebouwen.....</i>	13
Optie 1 Kies voor niet-gewijzigde gebouwen de puntenwolk met de hoogste dekking	13
Optie 2: Voeg beide puntenwolken samen	14
Optie 3: Gebruik Deep learning om gaten in puntenwolk te vullen.....	15
Optie 4: Gebruik van aanvullende data-bronnen	16
Aanbevolen aanpak voor update 3D gebouwen	17
<i>Toekomstig onderzoek.....</i>	18
TIN-maaiveld AHN3 versus AHN4.....	18
<i>Hoogteverschillen terrein AHN3 versus AHN4.....</i>	19
<i>Verschillen als gevolg van verandering in werkelijkheid of van verschil in data?.....</i>	21
<i>Nadere analyse van de verschillen</i>	23
Voorbeeld 1 werkelijkheid is veranderd.....	23
Voorbeeld 2 – niet veranderd	24
Voorbeeld 3 – niet veranderd	25
Andere oorzaak voor AHN3-AHN3 hoogteverschillen in terrein	25
<i>Conclusie.....</i>	26

INLEIDING

Voor de berekening van omgevingsgeluid geproduceerd door weg- en railverkeer en industrie maakt een geluidexpert gebruik van een 3D-model van de omgeving. Dit 3D model bevat onder andere informatie over a) de terreinhoogte, b) gebouwen en c) geluid-reflecterende/absorberende eigenschappen van de bodem. Sinds vorig jaar kunnen geluidsexperts gebruik maken van een automatisch gegenereerd en landsdekkend 3D Omgevingsmodel Geluid. Deze dataset is ontwikkeld in een samenwerking van RIVM, Kadaster en de 3D Geoinformation onderzoeksgroep van de TU Delft in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

De 3D dataset is in februari 2021 voor het eerst landsdekkend gegenereerd en beschikbaar gesteld via www.pdok.nl. In juni 2022 is de data vernieuwd. Alle gebouwen in Nederland die tot 1 januari 2021 zijn gebouwd, verbouwd of gesloopt, zijn in de nieuwe set verwerkt en ook de bodemvlak informatie is geactualiseerd. Daarnaast zijn er verbeteringen aangebracht in de algoritmen die zijn ontwikkeld om de geluid-data te reconstrueren (met name in de algoritmen om de gebouw-data te genereren).

Het huidig beschikbare 3D Omgevingsmodel Geluid bestaat uit drie lagen: hoogte van het terrein, bodemvlakken en gebouwen. Bodemvlakken is een 2D dataset met de bodem-eigenschap als attribuutwaarde voor de polygonen (geluidabsorberend dan wel reflecterend). De hoogte van het terrein is gemodelleerd als (gesimplificeerd) TIN op basis van het AHN (met een gekozen nauwkeurigheid van 0.3m) en de gebouwen zijn BAG polygonen die voorzien zijn van hoogte-informatie uit het AHN. De gebouwen zijn opgeknipt bij grote hoogtesprongen (> 3m) binnen BAG gebouwen, resulterend in de zogenoemde LoD1.3 representatie van gebouwen. Voor gebouwen nieuwer dan het AHN komt de hoogte-informatie uit puntenwolken die door het Kadaster zijn gegenereerd uit (actuelere) luchtfoto's. Deze puntenwolken hebben (op dit moment nog) een lagere kwaliteit waardoor de hoogtesprongen binnen BAG gebouwen niet kunnen worden gereconstrueerd. De gebouwen die worden gegenereerd op basis van puntenwolken uit luchtfoto's kennen daarom geen hoogtesprongen en zijn gemodelleerd als LoD1.2 representatie.

Voor meer informatie over de inhoud en totstandkoming van 3D Omgevingsmodel geluid zie:

- 3D omgevingsmodel geluid landsdekkend beschikbaar via PDOK. JE Stoter, RY Peters, B. Dukai, Tony Baving, Iris Reimerink, Rob van Loon. Geo-Info 2, 2021.¹
- 3D-inputgegevens voor geluidssimulaties gegenereerd uit bestaande landsdekkende datasets. Ravi Peters, Tom Commandeur, Balázs Dukai, Jantien Stoter. Geo-Info 6, 2018, pp. 8–12²

¹ <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ac4a1739c-f1b2-4700-8356-79826d513533?collection=research>

² <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A41d997d7-081a-42b1-8da0-7f9079072ec6?collection=research>

Zowel de TIN als de gebouwen die nu beschikbaar zijn, zijn gebaseerd op AHN3. AHN4 is inmiddels voor een groot deel van Nederland beschikbaar.

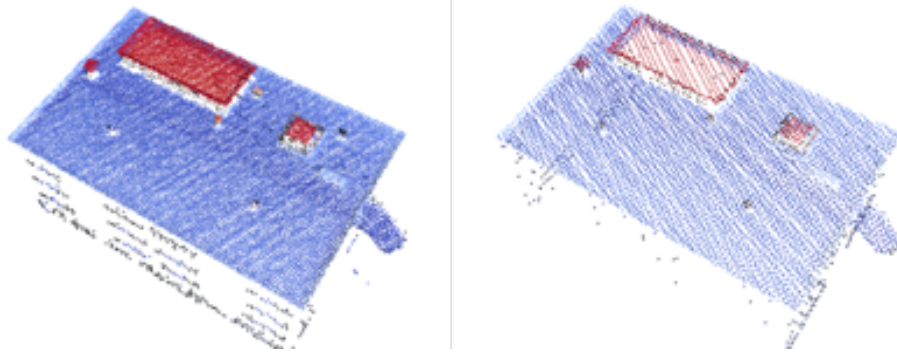


Beschikbaarheid AHN4 mid-2022

AHN4 is niet alleen van hogere actualiteit, maar heeft ook andere kenmerken. Voor het 3D Omgevingsmodel Geluid is het relevant om te onderzoeken wat de impact zal zijn van het gebruik van AHN4 in plaats van AHN3. In 2022 heeft de 3D Geoinformation onderzoeksgroep TU Delft hiernaar een onderzoek uitgevoerd in opdracht van RIVM/ ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Dit rapport presenteert de resultaten. In het volgende hoofdstuk worden algemene verschillen beschreven tussen AHN3 en AHN4; daarna volgt een hoofdstuk dat verschillen beschrijft tussen AHN3 en AHN4 voor wat betreft de gebouwen en tenslotte wordt er een verschilanalyse gedaan voor AHN3 en AHN4 punten op het maaiveld.

ALGEMENE VERGELIJKING AHN3-AHN4

Een vergelijking tussen een aantal kaartbladen AHN3 en AHN4 laat zien dat de bestandsgrootte van AHN4 ongeveer 2.5 keer zo groot is; de punt dichtheid is ook duidelijk groter in AHN4.

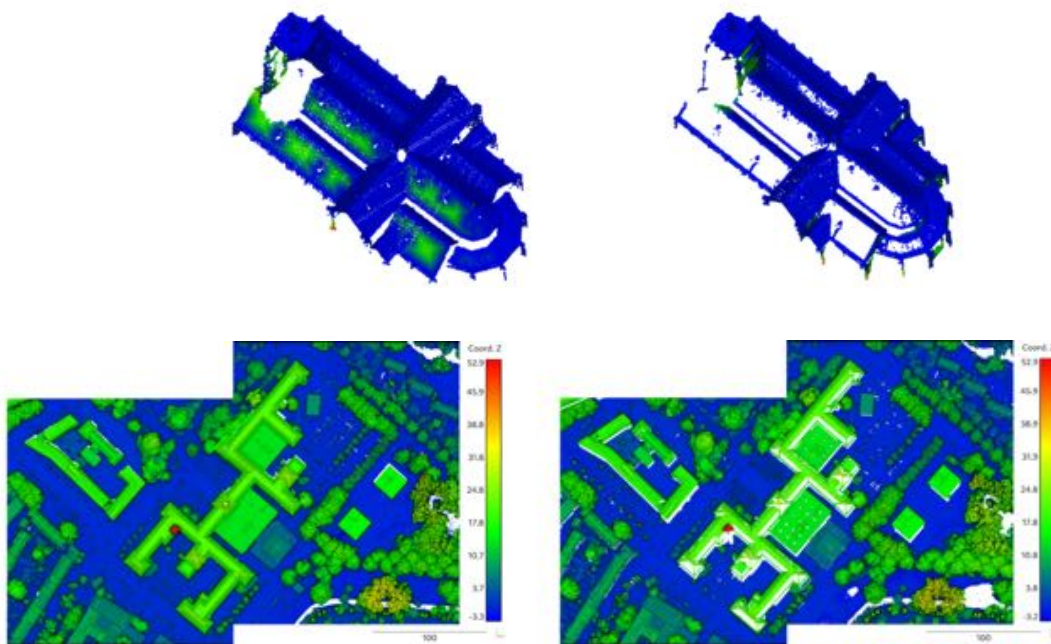


Een gebouw gerepresenteerd door AHN4 (links) en AHN3 (rechts). Dit is een appartementsgebouw met een plat dak waarbij op het dak nog een aantal verhogingen zijn (mogelijk een liftkoker en extra opslag). Linksonder is nog een deel van de gevel te herkennen.

Daarnaast heeft AHN4 drie extra attributen ten opzichte van AHN3, namelijk: Amplitude, Reflectance, Deviation. De andere attributen zijn gelijk: X, Y, Z, Intensity, ReturnNumber, NumberOfReturns, ScanDirectionFlag, EdgeOfFlightLine, Classification, ScanAngleRank, UserData, PointSourceId, GpsTime³.

De GpsTime is een goede indicator van de actualiteit van hoogtepunten. Deze informatie is belangrijk als het AHN wordt geïntegreerd met andere data zoals de BAG zodat eventuele mismatches tussen beide datasets kan worden bepaald en de hoogtegegevens kunnen worden gebruikt uit AHN3, AHN4 dan wel luchtfoto's die passen bij de actualiteit van het betreffende BAG gebouw.

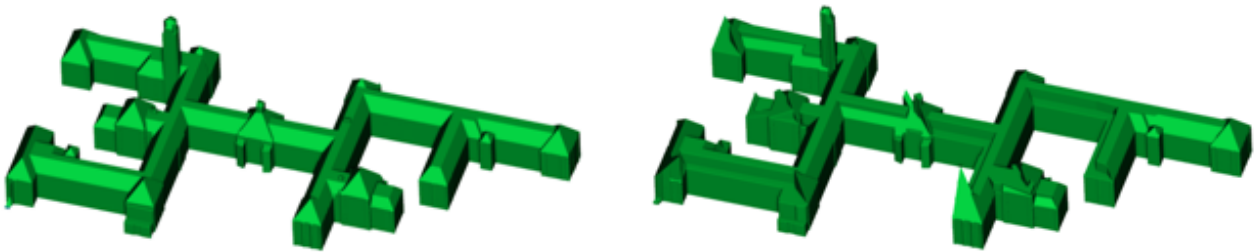
Ondanks de hogere resolutie, kent het AHN4 ook "no_data" gebieden. Dit komt waarschijnlijk doordat er voor AHN3 meer vluchtlijnen zijn gemaakt om te kunnen voldoen aan de dichtheid specificaties. Voor AHN4 was een verbeterde scanner beschikbaar waarmee op grotere hoogte gevlogen kon worden bij gelijke punt dichtheid. Door de extra vluchtlijnen die ook dichter op elkaar liggen is er minder occlusie in AHN4, vooral in stedelijk gebied; zie de voorbeelden hieronder.



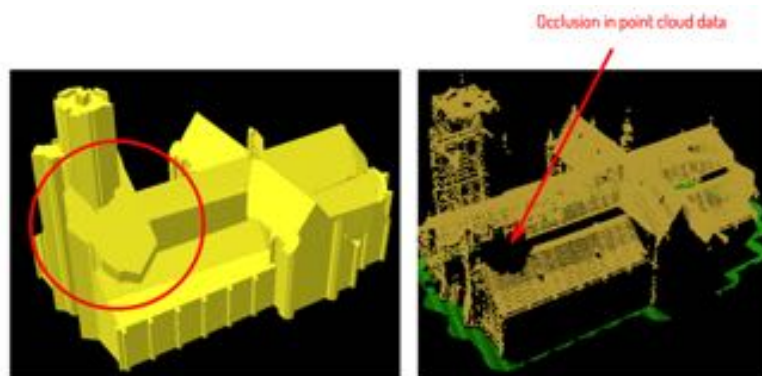
No_data gebieden (witte vlekken) in AHN3 (links) en AHN4 (rechts)

³ Voor verdere toelichting zie Sectie 2 van de ASPRS LAS 1.4 specificatie: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2019/07/LAS_1_4_r15.pdf

Grote no-data gebieden kunnen voor problemen zorgen bij de 3D gebouw reconstructie, zoals de voorbeelden hieronder laten zien.



Het gebouw in het midden van de vorige illustratie gereconstrueerd op basis van AHN3 (links) en AHN4 (rechts). Dit geeft een goed voorbeeld van wat er fout kan gaan. NB: het getoonde detailniveau (LoD2.2) is hoger dan het benodigde detailniveau voor geluidsimulaties. Dus de impact voor LoD1.3 zou kleiner kunnen zijn.



3D reconstructie van een kerk is niet compleet mogelijk vanwege missende hoogtepunten

Hierna volgt een meer gedetailleerde analyse van de verschillen tussen AHN3 en AHN4 in relatie tot het 3D Omgevingsmodel Geluid, waarbij apart wordt gekeken naar de impact van AHN4 voor de LoD1.3 representatie van gebouwen en de impact van AHN4 voor de hoogte van het terrein (gerepresenteerd als TIN).

GEBOUWEN AHN3 VERSUS AHN4

De analyse naar de mogelijke hoogteverschillen tussen AHN3 en AHN4 voor gebouwen is gedaan op zowel de punten wolk (dat wil zeggen de punten die binnen een gebouw vallen) als de gereconstrueerde 3D gebouw-modellen en uitgevoerd voor twee testgebieden:

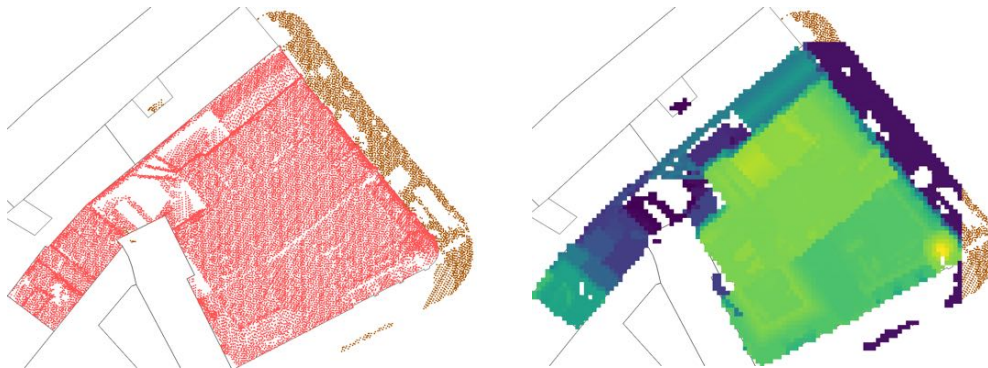
1. 1000 gebouwen in Amsterdam Centrum
2. 5% gebouwen willekeurig geselecteerd uit het beschikbare AHN4 ten tijde van het onderzoek, zie overzichtskaartje in de introductie (ongeveer 280.0000 gebouwen)

Voor deze analyse ligt de focus op punten die geclassificeerd zijn als gebouw in het AHN (LAS klasse 6).



De twee test-data sets die gebruikt zijn in het onderzoek: 1000 gebouwen in Amsterdam (links) en 280k willekeurig geselecteerde gebouwen (rechts)

Om de verschillen tussen AHN3 en AHN4 voor gebouwen te kunnen analyseren, zijn de hoogtepunten die binnen gebouwen vallen verrasterd met een celgrootte van 0.5m:



Puntenwolk (links, visualisatie op classificatie) verrasterd naar 0.5m raster (rechts, visualisatie op hoogte)

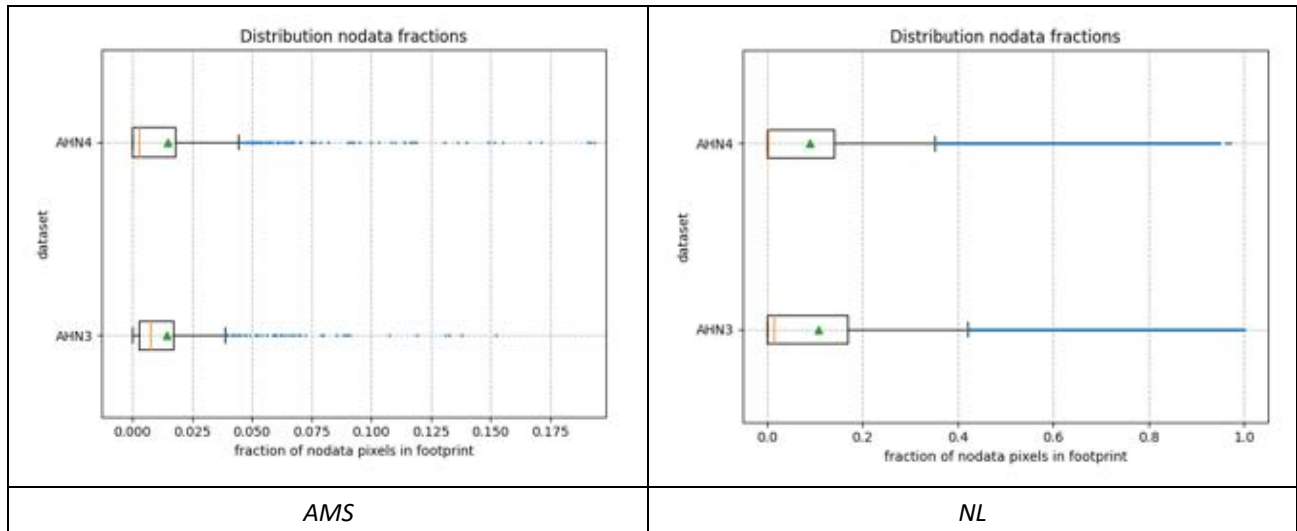
Voor iedere pixel worden vervolgens een aantal waardes berekend zoals het aantal punten in de pixel en de mediane en maximale hoogte.

De pixelwaardes zijn gebruikt om per gebouw een aantal samenvattende statistieken te bepalen zoals bijvoorbeeld het aantal pixels zonder AHN punten (`no_data` pixels). In het onderstaande worden deze gebouwstatistieken voor de hele dataset samengevat in een aantal plots. In deze plots is ieder gebouw één datapunt.

Verschillen AHN3-AHN4 puntenwolk per BAG gebouw

Box plot voor de no_data pixels per gebouw

Bij deze analyse is de fractie van een BAG polygoon bepaald dat geen AHN punten bevat.



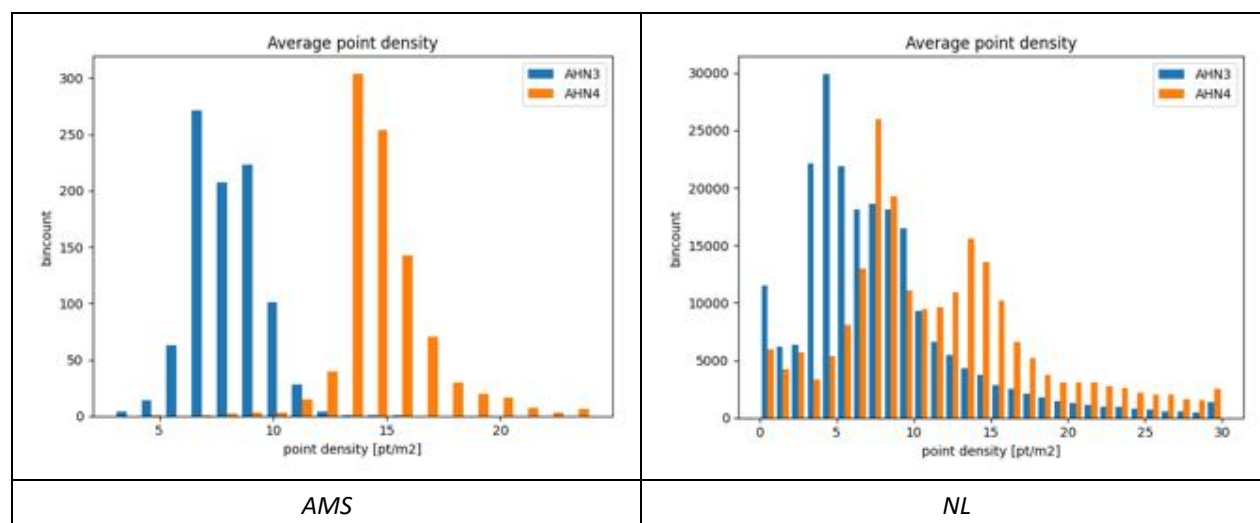
NB: De x-as in de figuren scheelt een factor 10, waardoor het lijkt alsof het AMS testgebied redelijk goed gedekt is. Maar directe vergelijking tussen de twee gebieden is niet helemaal representatief. Het AMS gebied is veel kleiner en specifieker, vanwege andere type gebouwde omgevingen en andere punt dichtheden (zie later).

Observaties:

- In beide datasets ligt de mediaan lager in AHN4 dan in AHN3. Dit betekent dat voor het grootste deel van de gebouwen er in AHN4 minder no-data pixels zijn dan in AHN3 en dat het aantal eerdergenoemde no_data gebieden in AHN4 dus mee valt.
- In de AMS data zijn er in AHN4 meer gebouwen met grote no-data gebieden dan in AHN3: de gemiddelde no-data fractie (zie groene driehoek) voor de AMS data is namelijk hoger in AHN4. Dit ondersteunt het vermoeden dat er in het AMS gebied een beduidend aantal gebouwen zijn met relatief grote no-data gebieden in AHN4. Voor de steekproef met een verdeling over heel Nederland presteert AHN4 iets beter dan AHN3 met betrekking tot no-data/occlusie.

De conclusie is dat AHN4 over het geheel genomen geen grote no-data problemen door occlusie (of andere oorzaken) heeft. Maar voor een aantal specifieke gebieden zoals het AMS gebied kan AHN4 in vergelijking met AHN3 wel meer last hebben van no-data problemen. Mogelijk komt dit doordat er in die gebieden op grotere hoogte gevlogen is, doordat de sterkte van de laser anders was ingesteld, of door verschillen in andere acquisitie parameters.

Gemiddelde punt dichtheid per gebouw

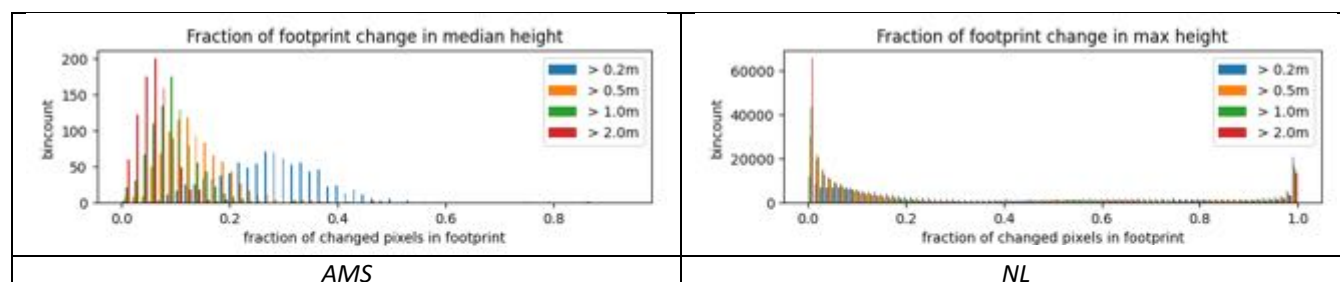


Observatie:

- De puntendichtheid in AHN4 is voor beide test-datasets hoger dan in AHN3
- Er zijn twee puntendichtheden zichtbaar in AHN4 zoals te zien in de NL-data. Dit komt doordat de randstad op een tweemaal hogere puntendichtheid is gevlogen dan de rest van Nederland.

Verschil detectie: fractie van BAG polygoon met een groot hoogteverschil

Voor deze plots is per pixel het hoogteverschil tussen AHN3 en AHN4 bepaald op basis van de maximale hoogte per pixel⁴. Vervolgens is per gebouw het aantal pixels met een significant hoogteverschil geteld. Dit geeft de fractie van het BAG gebouw polygoon dat een significante hoogteverandering heeft. Om te bepalen of een hoogteverschil significant is, zijn verschillende grenswaarden gebruikt: 0.2m, 0.5m, 1.0m en 2.0m.



Observaties:

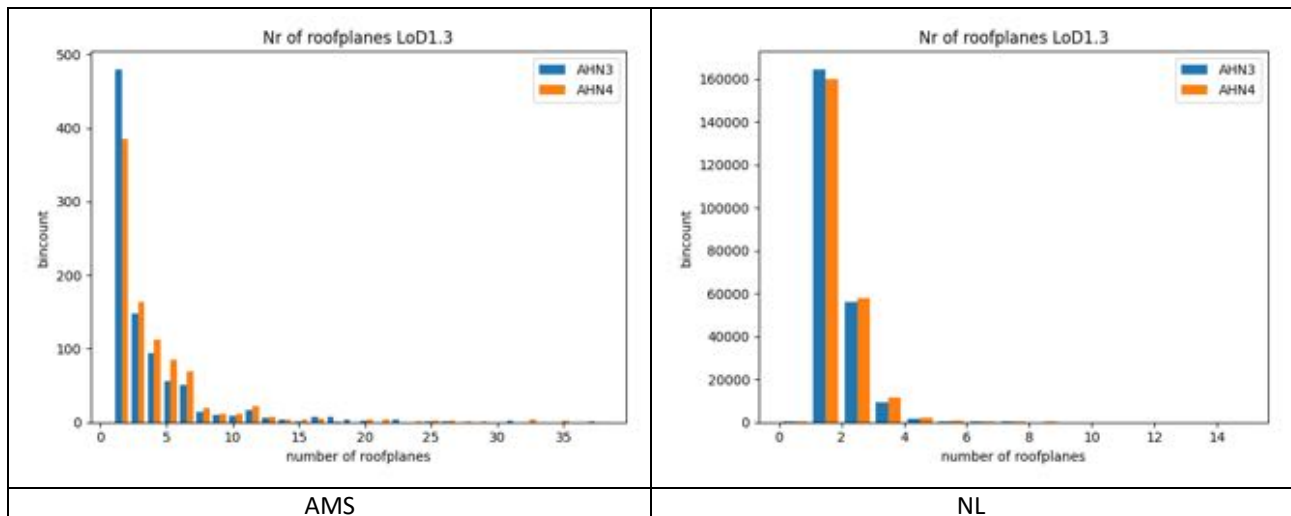
⁴ Voor AMS is mediaan gebruikt. Maar voor NL is overgestapt op maximale hoogte per pixel omdat dit betrouwbaarder is met name voor pixels waarin dakoverhang en een facade zit. Afhankelijk van vanuit welke hoek gemeten is en hoe de puntendichtheid is, geven mediaan en gemiddelde hier sterk verschillende waardes die een goede vergelijk tussen AHN3 en AHN4 verstoren.

- In de NL-data is er een duidelijk zichtbaar verschil tussen gebouwen die niet tot nauwelijks zijn gewijzigd (<0.2 of 20% van het BAG polygoon) of die juist veel (>0.9 of >90% van het BAG polygoon) zijn gewijzigd. In principe zou dit overeen moeten komen met mutaties in de BAG. Maar helaas is het betreffende BAG attribuut niet 100% betrouwbaar voor mutatie-detectie, omdat ook mutaties worden gemeld terwijl de werkelijkheid niet is veranderd (het gaat dan vaak om een mutatie in de data). We kunnen het BAG attribuut daarom niet gebruiken om vast te stellen of significante veranderingen in hoogtes binnen een bepaald gebouw inderdaad altijd gepaard gaan met mutaties in de werkelijkheid.
- In het AMS gebied zijn in verhouding weinig veranderingen in de gebouwen te zien.

Verschillen AHN3-AHN4 voor gereconstrueerde 3D BAG gebouwen

Bij de reconstructie van de 3D modellen van de gebouwen worden dakvlakken gedetecteerd. Op deze manier worden schuine vlakken (voor LoD2.2) en hoogtesprongen binnen gebouwen (LoD1.3) gemodelleerd. Het aantal gedetecteerde dakvlakken voor de AHN4 set is vergeleken met het aantal dakvlakken dat uit AHN3 wordt verkregen.

Aantal dakvlakken per gebouw

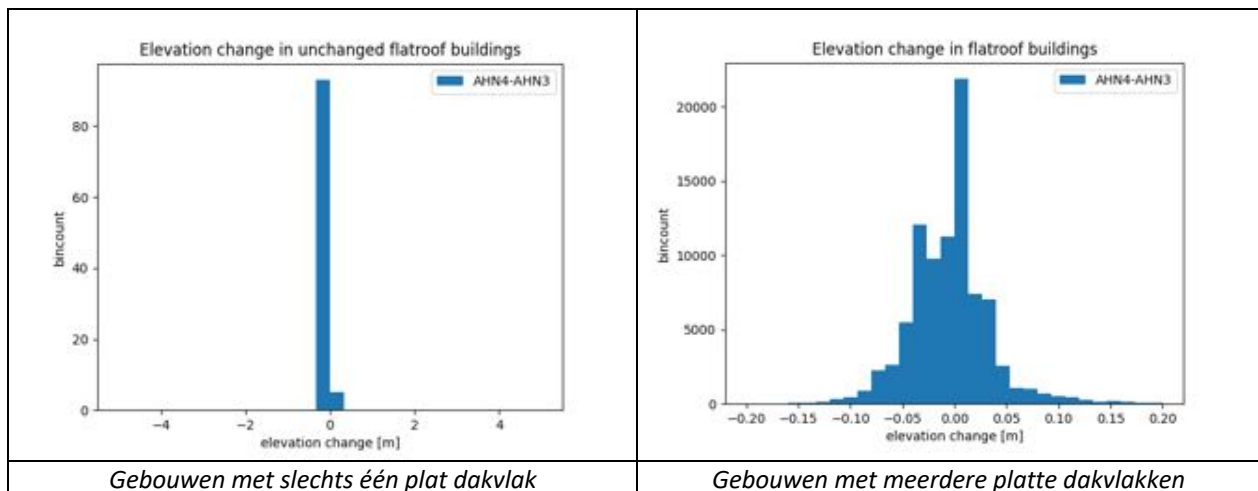


Observatie:

In beide studiegebieden zijn er meer gebouwen in AHN3 met één dakvlak dan in AHN4 en meer gebouwen in AHN4 met meerdere dakvlakken dan in AHN3. Een mogelijke verklaring hiervoor is de hogere punt dichtheid in AHN4. Een hogere punt dichtheid zal er namelijk voor zorgen dat er meer vlakken kunnen worden gedetecteerd door het reconstructie algoritme. Dit leidt ook tot meer dakvlakken in het uiteindelijke model als alle reconstructie parameters verder gelijk blijven. Afhankelijk van of dit gewenst is of niet, kunnen de reconstructie parameters hierop aangepast worden. Bijvoorbeeld door het minimum aantal punten dat nodig is om een vlak te detecteren iets hoger in te stellen.

Hoogteverschil voor niet-gewijzigde gebouwen met platte daken

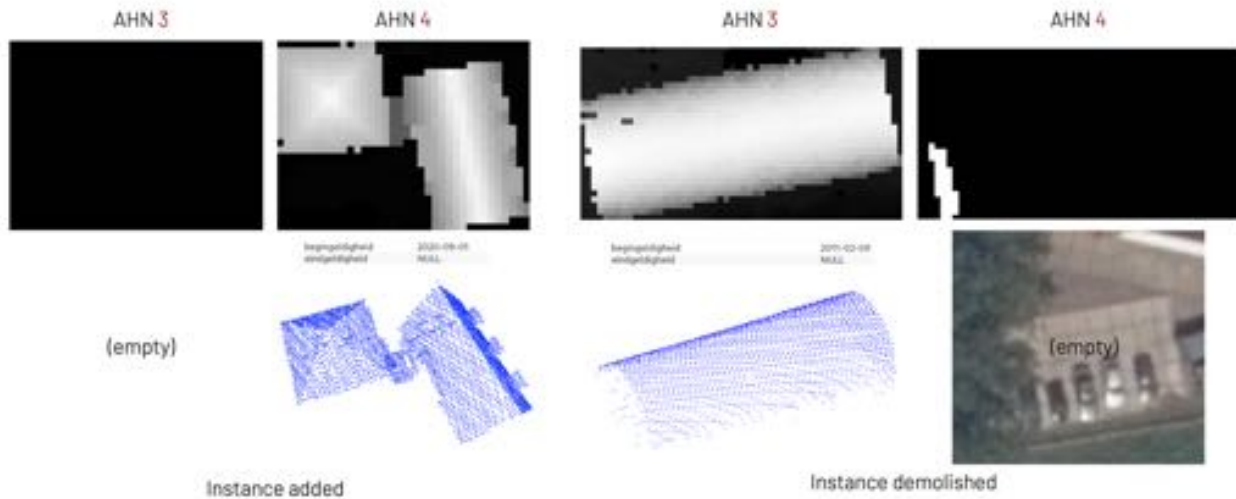
Bij deze analyse is gebruik gemaakt van de hoogte van de dakpunten (dat wil zeggen hoogtepunten die op dakvlakken vallen). De niet-gewijzigde gebouwen zijn bepaald met de bovenstaande verschil-detectie methode (waarbij gebouwen worden gemarkeerd als 'gewijzigd' als minimaal 80% van het oppervlakte een hoogteverschil van meer dan 50cm heeft). Deze analyse is alleen uitgevoerd op de NL-test data. Om dat er niet zo veel gebouwen met slechts één plat dakvlak zijn, is de analyse ook uitgevoerd op gebouwen met meerdere platte dakvlakken.



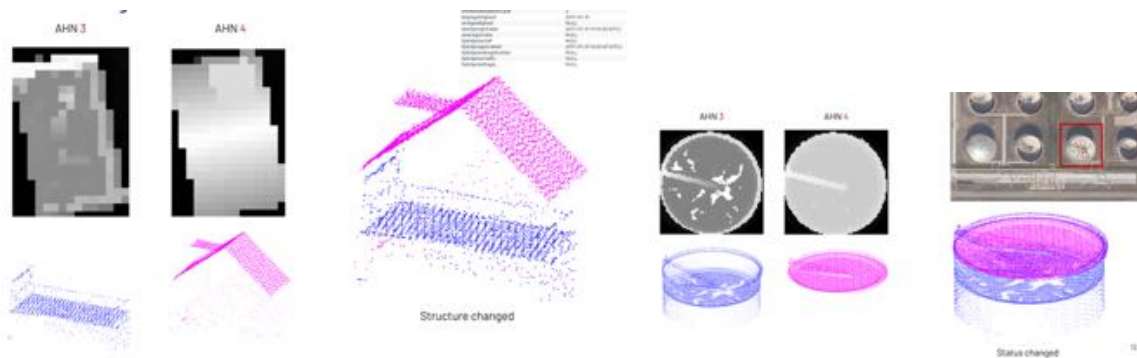
Observatie:

- Voor zowel de gebouwen met één als gebouwen met meerdere dakvlakken zijn de hoogteverschillen voor gebouwen die niet zijn gewijzigd kleiner dan 0.1m. Er is dus geen noemenswaardig hoogteverschil tussen AHN3 en AHN4.

Indien er hoogteverschillen worden geconstateerd, gaat het veelal om veranderingen in werkelijkheid, zoals nieuwbouw of gesloopte gebouwen (deze situaties zijn dus niet meegenomen in bovenstaande analyse):



Soms gaat het om gebouwen of bouwwerken die in werkelijkheid een andere geometrie hebben gekregen.



Een BAG gebouw dat gewijzigd is (links) en een bouwwerk (geen BAG gebouw) dat een andere hoogte heeft in AHN3 en AHN4 (rechts).

Conclusie over verschillen tussen AHN3 en AHN4 voor wat betreft gebouwen

- Er zijn duidelijk twee punt dichtheden zichtbaar in de AHN4 data.
- Er is geen noemenswaardig hoogteverschil tussen AHN3 en AHN4 voor gebouwen indien er geen wijzigingen hebben plaats gevonden (hoogteverschil platte daken <5cm).
- Er worden meer dakvlakken gedetecteerd op basis van AHN4 dan AHN3 bij gelijke parameters.
- Occlusie problemen zijn waarschijnlijk beperkt tot complexe gebouwen/bepaalde gebieden.

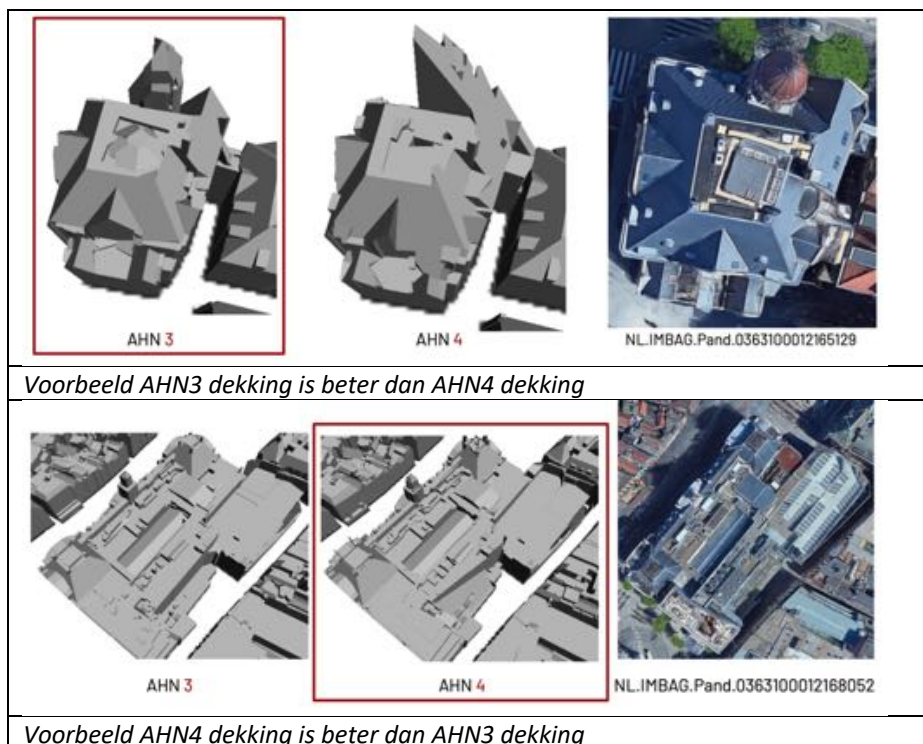
In toekomstig onderzoek zou verder gekeken kunnen worden naar deze verschillen en de impact voor LoD1.3 (en eventueel aanpassen van parameters) als heel AHN4 beschikbaar. Ook zou het interessant kunnen zijn om verschillende regio's apart te bekijken.

Update opties gebouwen

Er zijn verschillende opties om de LoD1.3 BAG gebouwen te actualiseren op basis van AHN3 en AHN4. Idealiter vervangt AHN4 in zijn geheel AHN3 omdat AHN4 actueler is en dit de minst complexe methode is om te implementeren. Echter, door de no-data problemen bij een deel van de gebouwen (bijvoorbeeld in AMS gebied) is dit niet altijd de beste optie.

We hebben een aantal experimenten gedaan om de voor- en nadelen van de verschillende opties te vergelijken. Dit wordt hierna beschreven.

Optie 1 Kies voor niet-gewijzigde gebouwen de puntenwolk met de hoogste dekking



In deze optie wordt de dekking per niet-gewijzigd gebouw bepaald door het oppervlakte met dakpunten te delen door het totale BAG-gebouw oppervlak. De niet gewijzigde gebouwen kunnen worden gedetecteerd door de methode die omschreven is in de sectie over verschil detectie.

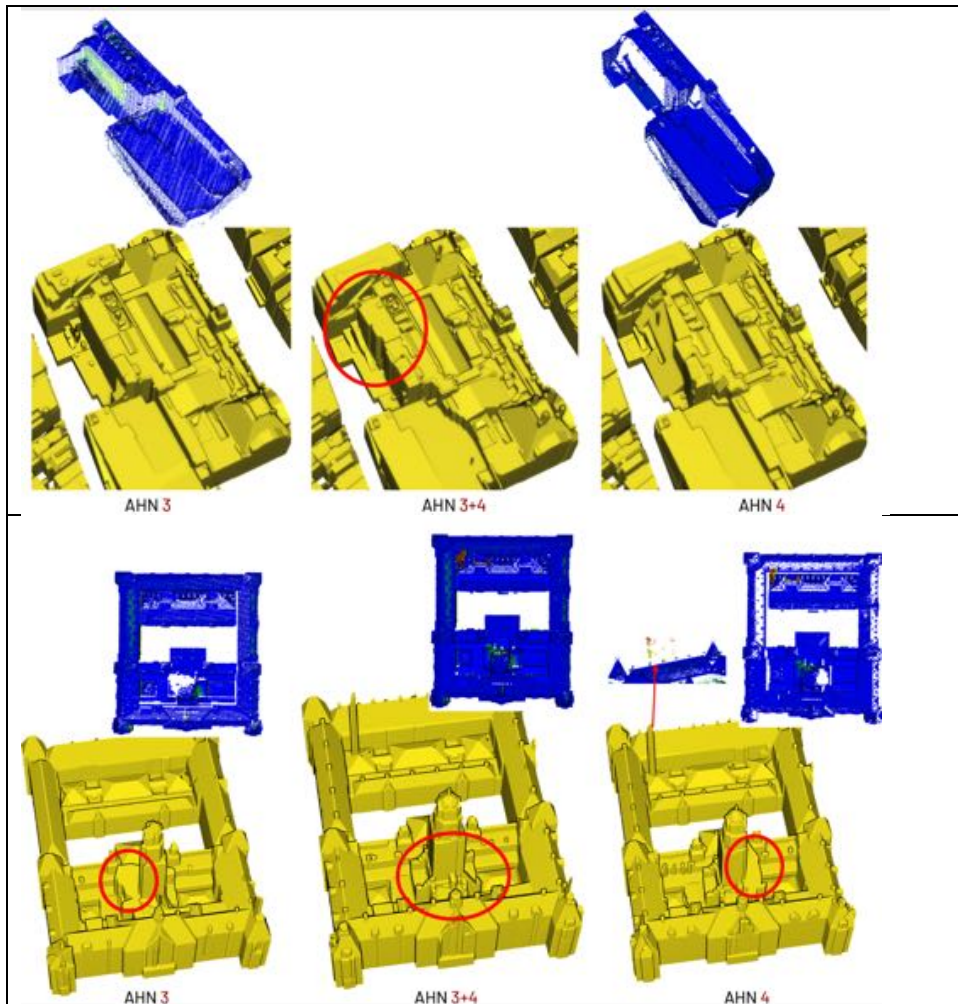
Voordelen:

- Dit is een simpele aanpak
- Dit werkt het beste indien de nieuwe dataset (AHN4) over het algemeen de beste dekking heeft (zoals het geval is), omdat AHN4 in dat geval als uitgangspunt kan worden gebruikt en AHN3 voor de uitzonderingen.

Nadelen:

- Er is een betrouwbare methode nodig om gewijzigde gebouwen te detecteren.
- Als de dekking in beide datasets onvoldoende is, dan is er nog steeds een probleem.

Optie 2: Voeg beide puntenwolken samen



Voordelen:

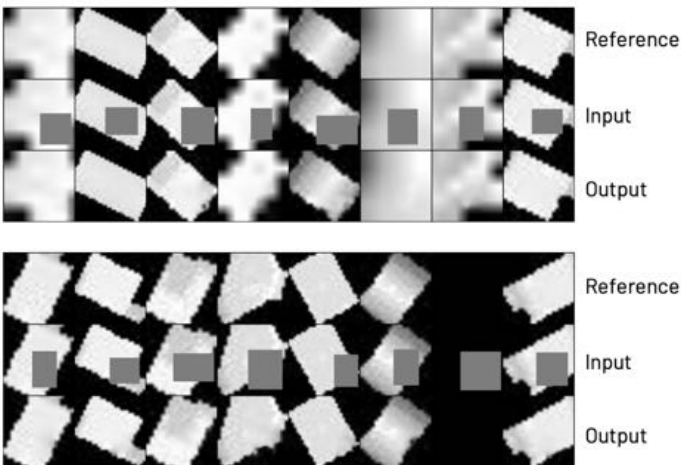
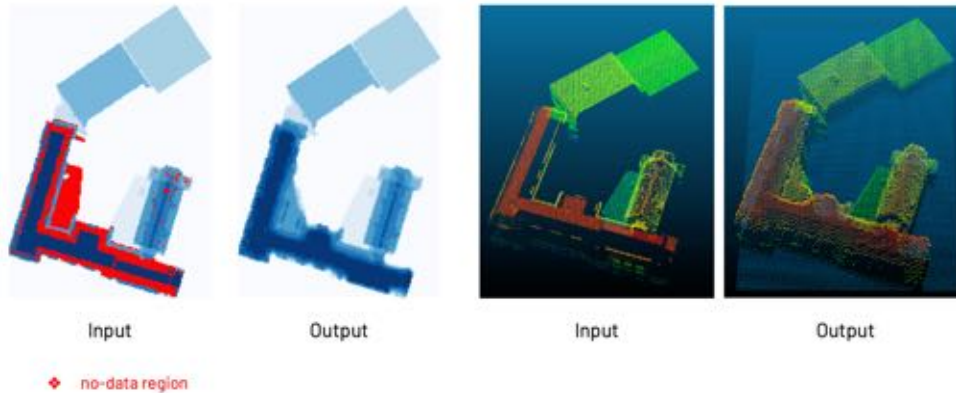
- Dit werkt goed als AHN3 en AHN4 goed zijn gepositioneerd ten opzichte van elkaar
- Het is effectief om dekkings-problemen op deze manier op te lossen als de puntenwolken complementair zijn aan elkaar zoals het geval is.

Nadelen:

- Als de puntenwolken niet perfect op elkaar passen, leidt dit tot extra ruis in het uiteindelijk gereconstrueerde 3D model waardoor niet alle details worden behouden en het gereconstrueerde 3D model artefacten kan bevatten. Dit probleem doet zich in een klein aantal gevallen voor, zoals in de bovenstaande voorbeelden.

- De methode is complexer en kent daardoor een langere verwerkingstijd (op dit moment niet haalbaar voor heel Nederland).
- Er is een betrouwbare methode nodig om gewijzigde gebouwen te detecteren

Optie 3: Gebruik Deep learning om gaten in puntenwolk te vullen



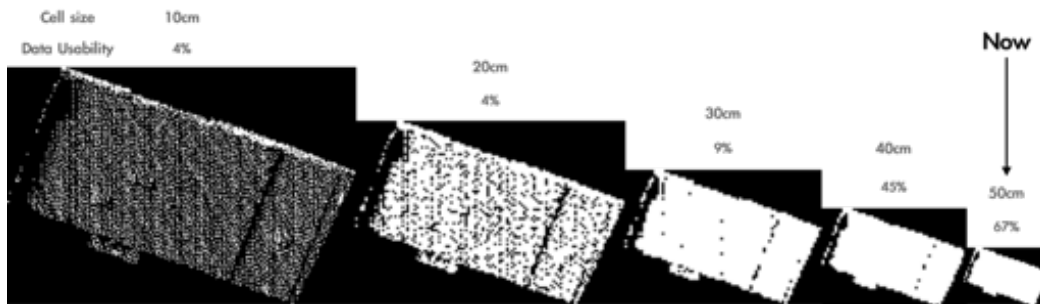
Voordelen:

- In onze experimenten hebben we aangetoond dat *Deep learning* (DL) methodes zijn geschikt om vorm-eigenschappen te leren zoals gebouwen die kennen (symmetrie, scherpe randen, etc.). In dit opzicht zou dit veel betere resultaten moeten geven dan simpele interpolatie methodes (zoals bijvoorbeeld *inverse distance weighting* (IDW)).⁵
- DL kan missende waarden afleiden zonder dat er data is op, of rond, de locatie.
- Samenvoegen van puntenwolken is niet nodig.
- Het detecteren van wijzigingen is niet nodig.

⁵ In onze aanpak wordt DL ingezet om een zwakke schakel, dat een afgebakend DL-vraagstuk vormt, op te lossen. De vraag om dan het hele gebouw te reconstrueren op basis van AI (een veelgestelde vraag) is een veel groter en complexer probleem en geeft geen meerwaarde voor onze aanpak.

Nadelen:

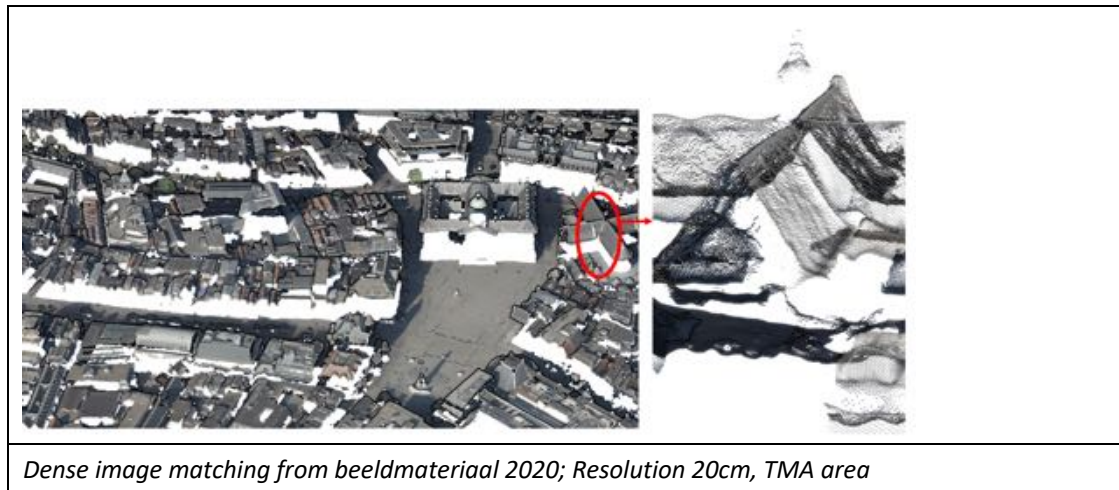
- Er is hoge resolutie raster data zonder no-data nodig om het DL model te trainen.

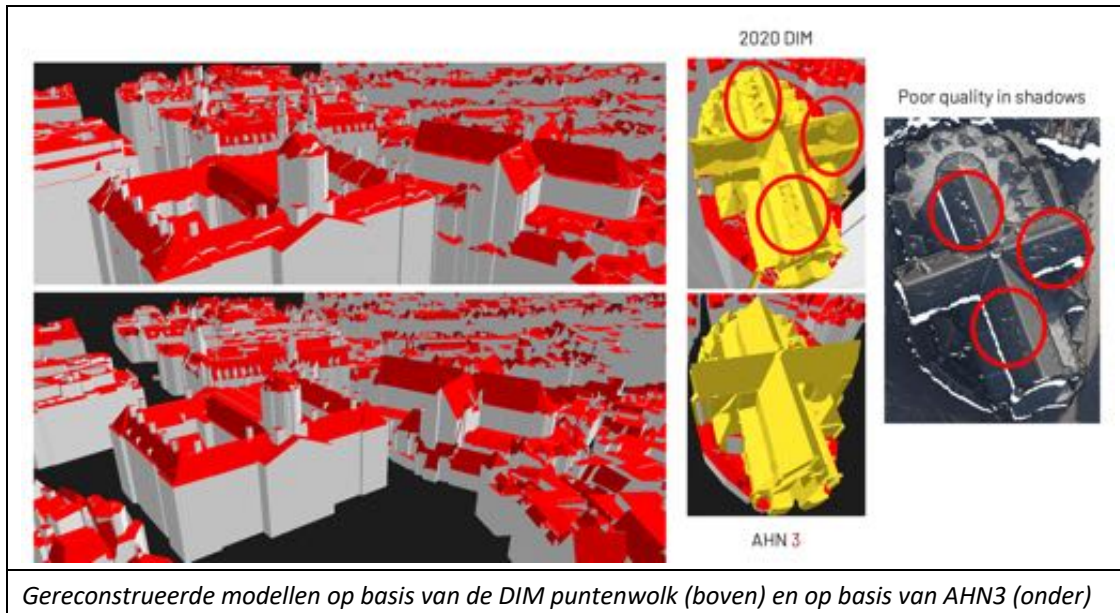


- Het is niet mogelijk om de resultaten te valideren
- De huidige resultaten zijn nog niet goed genoeg om te kunnen worden gebruikt in de praktijk
- Het maken van goede trainingsdata is potentieel bijzonder arbeidsintensief

Optie 4: Gebruik van aanvullende data-bronnen

Als aanvullende data-bron zou bijvoorbeeld de Kadaster puntenwolk kunnen worden gebruikt die ieder jaar opnieuw wordt gegenereerd uit luchtfoto's. We hebben hiernaar gekeken maar de kwaliteit van de 2020 DIM puntenwolk bleek nog niet goed genoeg.





In plaats van de DIM puntenwolk zouden ook true-ortho foto's kunnen helpen om dak-structuren af te leiden. Hierbij worden de dakstructuren (lijnen tussen de dakvlakken) direct in de true-ortho beelden gedetecteerd. Het voordeel is dat de detectie dichter op de brondata plaats vindt en daarom minder last heeft van artefacten die in het dense-matching proces ontstaan. Daarnaast wordt hiermee ook de (RGB) kleur-informatie benut. Hier is verder onderzoek voor nodig.



Aanbevolen aanpak voor update 3D gebouwen

Op korte termijn is de meest pragmatische manier voor updates met het AHN4 de hierboven geschetste optie 1. Dat wil zeggen de AHN4 puntenwolk gebruiken; tenzij de dekkingsgraad niet voldoende is (én het gebouw niet veranderd is). In dat geval kan AHN3 worden gebruikt. Voor de meeste gebouwen zal AHN4 dekkend genoeg zijn en zal AHN4 in deze optie de overwegende puntenwolk zijn die wordt gebruikt. Er moet dan nog wel naar een goede methode worden

gekeken om te bepalen wanneer AHN4 en wanneer AHN3 in te zetten, afhankelijk van factoren zoals actualiteit en occlusie.

Optie 2 (het samenvoegen van puntenwolken) zou kunnen worden gebruikt, indien de puntendekking AHN3 en AHN4 complementair is en er geen grote artefacten in het 3D model optreden door de fusie. Dat laatste gebeurt nu voor een klein aantal gebouwen en waar dit gebeurt is waarschijnlijk ook automatisch te detecteren. De methode is echter complexer en daarom wordt de verwerkingstijd te lang als deze voor heel Nederland zou worden toegepast. Daarom is deze optie momenteel nog niet haalbaar en vereist eerst nog verder onderzoek en softwareontwikkeling.

Als de puntenwolk gegenereerd met DIM goed genoeg wordt in de toekomst (bijvoorbeeld omdat luchtfoto's met hogere resolutie en grotere overlap kunnen worden gebruikt), zou optie 4 kunnen worden toegepast (reconstructie op basis van de DIM puntenwolk of dakconstructie op basis van de true-ortho foto's).

Verder onderzoek is nodig naar de mogelijkheden van Deep Learning om de gaten in de LiDAR data te vullen op de locatie van gebouwen voordat deze optie kan worden gebruikt.

Toekomstig onderzoek

Om de update van 3D modellen die worden gegenereerd uit puntenwolken te verbeteren is op een aantal punten nader onderzoek nodig.

Ten eerste is er een robuuste methode nodig om veranderingen te detecteren, door bijvoorbeeld wijzigingsinformatie uit de BAG te combineren met raster-verschillen.

Optie 2 (het samenvoegen van verschillende puntenwolken) wordt haalbaar als de verwerkingstijd kan worden ingekort. Hier kan ook naar worden gekeken.

Het gebruik voor Deep Learning om zwarte gaten in puntenwolken te dichten, vooral voor wat betreft gebouwen, lijkt veelbelovend. Maar ook hier is nader onderzoek voor nodig, zoals het reconstrueren van de 3D modellen door gebruik te maken van het resulterende raster en de 'geleerde' hoogte-informatie; het verbeteren van de trainingsdata; andere dakvormen gebruiken dan naar we tot nu toe hebben gekeken; toevoegen van gebouwen die aanzienlijke no-data gebieden kennen (tot nu toe hebben we alleen gekeken naar gebouwen die slechts voor een klein deel punten misten) en hogere resolutie van de gebruikte rasters (nu hebben we gebruik gemaakt van 0.25m). Daarnaast kan gekeken worden naar een betere neurale netwerk architectuur.

Tenslotte is het interessant om te onderzoeken of dakstructuren kunnen worden gereconstrueerd uit true-ortho foto's, indien deze beschikbaar zijn.

TIN-MAAIVELD AHN3 VERSUS AHN4

Om de verschillen tussen AHN3 en AHN4 te bepalen op maaiveld is voor een aantal kaartbladen de TIN gegenereerd met de tooling die eerder ontwikkeld is voor 3D Omgevingsmodel geluid. Hierbij is een nauwkeurigheidsmarge gebruikt van 30cm.

De ontwikkelde uitdunningsmethode werkt als volgt: we starten met een lege TIN en AHN-punten worden incrementeel toegevoegd. Hierbij wordt steeds het punt met het grootste verschil in hoogte met de TIN uitgekozen om toe te voegen. Zodra dit grootste verschil kleiner wordt dan 30cm, is de TIN gereed. Dat betekent dus dat het hoogste (of het diepste punt) altijd aanwezig is.

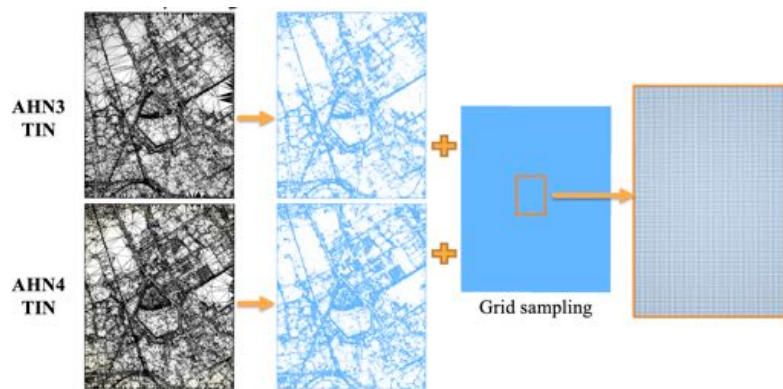
De resulterende TINs voor AHN3 en AHN4 hebben hierna ongeveer dezelfde resolutie (ook al is de aanvankelijke punt dichtheid verschillend).

Hoogteverschillen terrein AHN3 versus AHN4

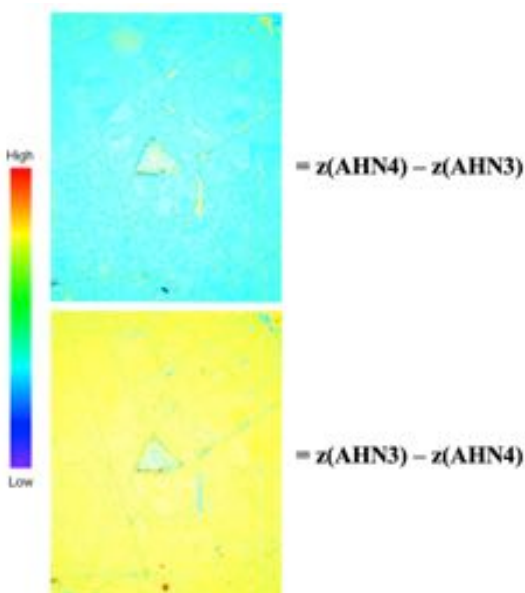
Om de verschillen tussen TIN-AHN3 en TIN-AHN4 te bepalen, zijn twee methodes gebruikt.

Methode 1: één data punt per TIN driehoek en grid-gebaseerd

In de eerste methode wordt de TIN omgezet naar een uniform grid. Deze gridpunten krijgen hoogtes toegewezen op basis van de dichtstbijzijnde punten uit de TIN puntenwolk.



Vervolgens zijn de waarden van de gridpunten voor AHN3 en AHN4 op dezelfde locatie van elkaar afgetrokken:

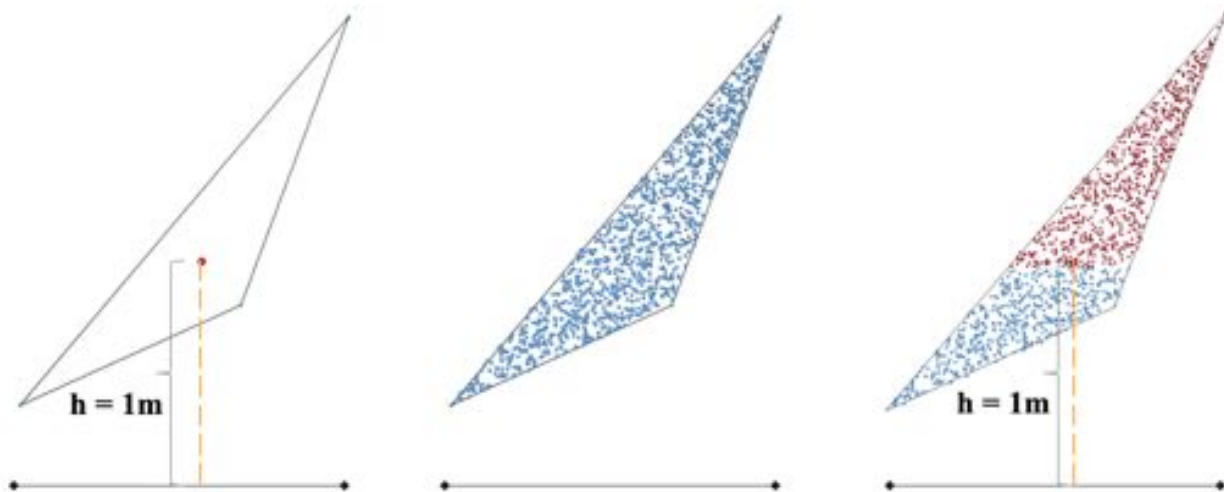


Op basis van deze analyse is te zien dat voor het grootste gedeelte de hoogte gelijk is gebleven. Voor een klein gebied kent AHN3 grotere hoogtes dan AHN4 (de rode gebieden in het onderste plaatje in bovenstaande illustratie) en eveneens voor kleine gebieden is het omgekeerde het geval: AHN4 kent grotere hoogtes dan AHN3 (gele gebieden in het bovenste plaatje van bovenstaande illustratie). Deze hoogteverschillen worden pas interessant als kan worden vastgesteld dat het hier om wijzigingen in de werkelijkheid gaat of niet. In dat laatste geval gaat het om een fout. Deze analyse is later gedaan (zie verder).

Het oppervlak met hoogteverschillen is ook uit te rekenen op basis van de TIN driehoeken. Hieruit blijkt dat het gebied dat veranderd is, schommelt tussen 1% en 5%. Bij deze analyse krijgt ieder driehoek één hoogtewaarde toegewezen en op basis hiervan wordt het hele oppervlakte van de driehoek geclassificeerd als veranderd of niet veranderd.

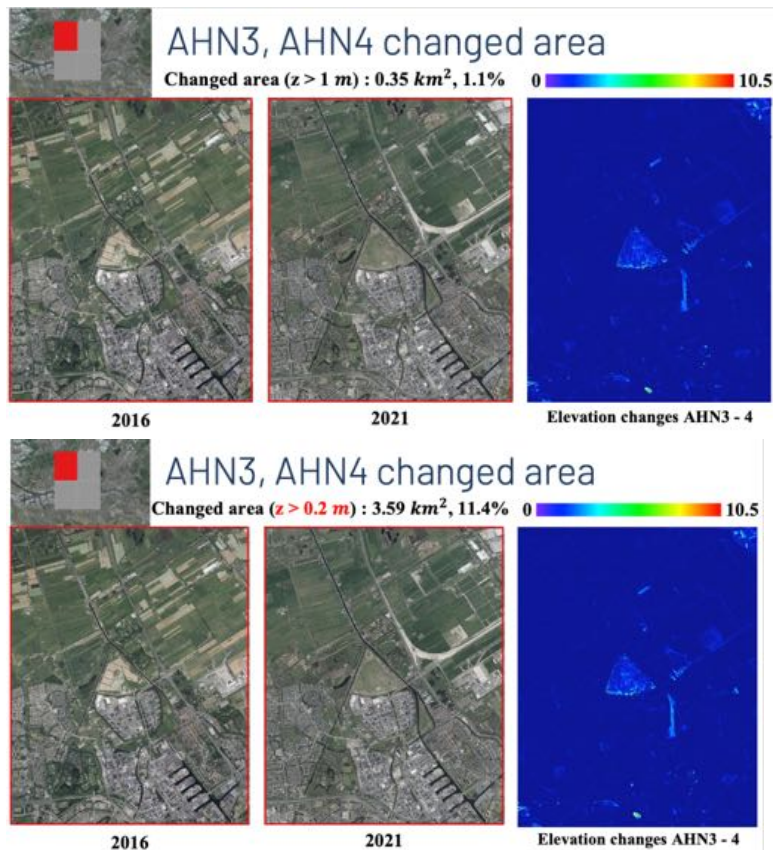
Methode 2: meerdere datapunten per TIN driehoek en TIN-gebaseerd

Om het oppervlak met hoogteverschillen nauwkeuriger te kunnen bepalen is er een verbeterde analyse uitgevoerd voor de oppervlakte van de hoogteverschillen. Hierbij zijn random punten in ieder TIN-driehoek gelegd en is het aantal punten bepaald waarbij het hoogteverschil groter dan een gekozen drempelwaarde is. Op basis van de ratio van de gegenereerde punten onder versus boven de drempelwaarde wordt het oppervlakte van de driehoek opgesplitst. Hierbij wordt dus een deel als veranderd geclassificeerd en het andere deel als niet veranderd.



Deze verschil-analyse is uitgevoerd voor vier kaartbladen in de omgeving van Rotterdam voor twee verschillende drempelwaarden voor de hoogteverschillen, namelijk 1m en 20cm.

Voorbeeld voor kaartblad 1:



De numerieke resultaten hiervan staan in de volgende tabel:

	$z > 1 \text{ m}$	$z > 0.2 \text{ m}$
Kaartblad 1	0.35 km^2 ; 1.1%	3.59 km^2 ; 11.4%
Kaartblad 2	0.26 km^2 ; 0.82%	5.2 km^2 ; 16.5%
Kaartblad 3	1.37 km^2 ; 4.3%	3.63 km^2 ; 11.5%
Kaartblad 4	1.06 km^2 ; 3.35%	4.7 km^2 ; 14.9%

Verschillen als gevolg van verandering in werkelijkheid of van verschil in data?

Zoals al eerder is genoemd, worden de hoogteverschillen tussen AHN3 en AHN4 in bovenstaande tabel interessant (d.w.z. problematisch) als de verschillen niet een gevolg zijn van veranderingen in de werkelijkheid. In dat geval zullen ook uitkomsten van geluidsimulaties veranderen wanneer AHN4 in plaats van AHN3 wordt gebruikt, terwijl de werkelijkheid gelijk is gebleven.

Om dit te onderzoeken is er een nadere analyse gedaan voor wegen waarvan we kunnen aannemen dat deze niet in hoogte veranderen (met uitzondering van wegvernieuwingen). Als basis hiervoor zijn de wegdelen gebruikt uit de BGT voor de vier kaartbladen. Deze zijn vervolgens in 3D opgetrokken en verTIND middels de software 3dfier.

```
input_polygons:
- datasets:
  - ./shp/road_shp_1/37EZ2_wegdeel_dense_1.shp
  uniqueid: gml_id
  lifting: Terrain

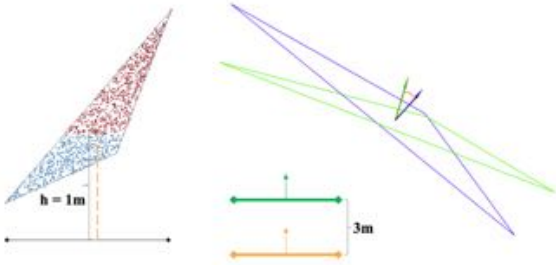
lifting_options:
Terrain:
  simplification_tinsimp: 1.0
  inner_buffer: 0.1
  use_LAS_classes:
    - 2

input_elevation:
- datasets:
  - ./laz/ext_ahn4/37EZ2_b10m.LAZ
  omit_LAS_classes:
  thinning: 0

options:
  building_radius_vertex_elevation: 0.5
  radius_vertex_elevation: 0.5
  threshold_jump_edges: 0.5
```

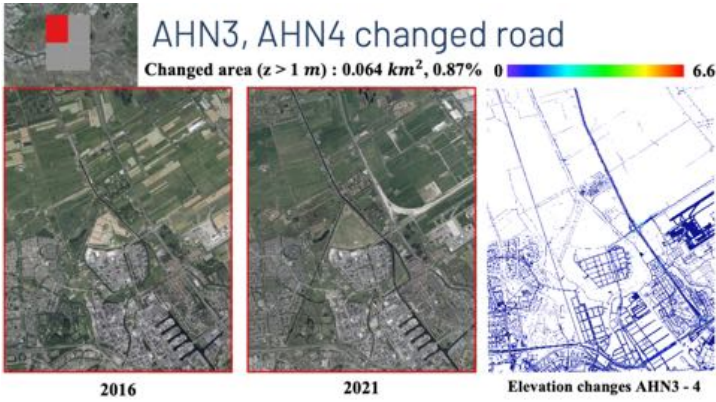


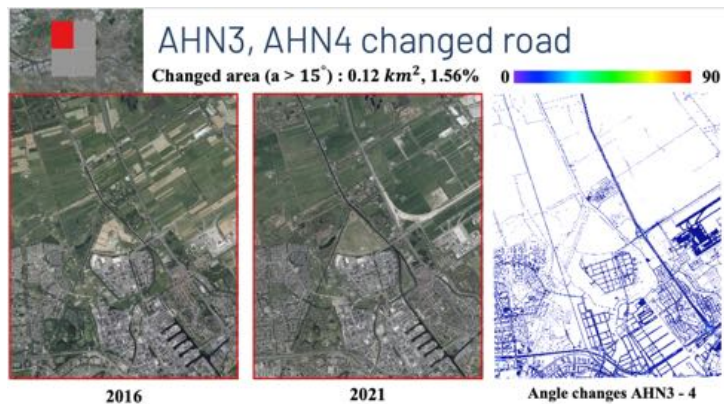
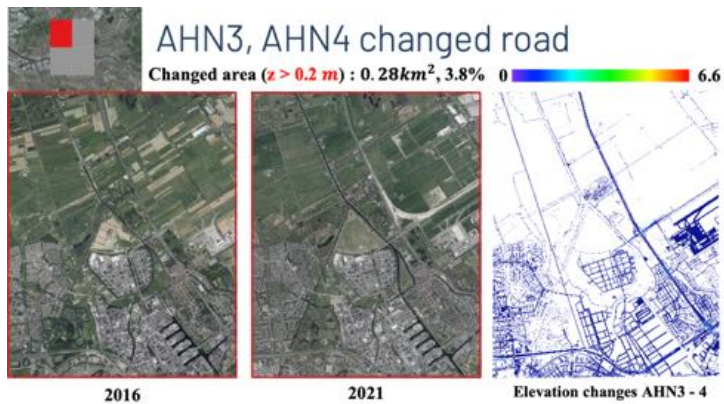
De verschillen analyse is uitgevoerd op basis van de TIN-benadering (bovenstaande methode 2):



Hierbij is niet alleen naar hoogteverschillen gekeken; maar ook naar verschillen in de hoek van de normaal van iedere TIN driehoek.

Hieronder volgt een visualisatie van deze analyse voor kaartblad 1:





De resultaten voor de wegdelen zijn als volgt:

	$z > 1\text{m}$	$z > 0.2\text{m}$	$A > 150$
Kaartblad 1	0.064km ² ; 0.87%	0.28km ² ; 3.8%	0.12 km ² , 1.56%
Kaartblad 2	0.05km ² ; 0.38%	0.25km ² ; 2.6%	0.21 km ² , 1.58%
Kaartblad 3	0.05km ² ; 0.5%	0.42km ² ; 3.3%	0.14 km ² , 1.4%
Kaartblad 4	0.086km ² ; 0.5%	0.44km ² ; 2.59%	0.27 km ² , 1.59%

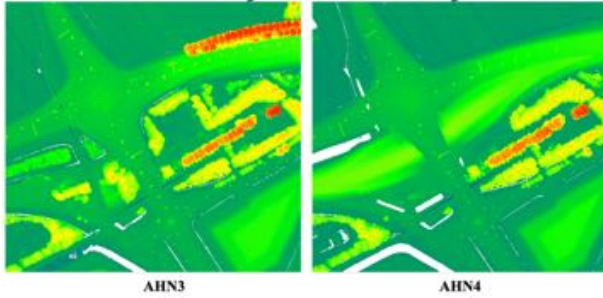
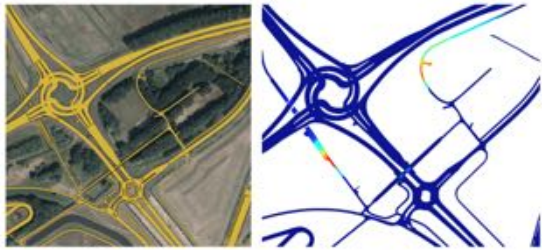
Nadere analyse van de verschillen

De hoogteverschillen tussen AHN3 en AHN4 voor wat betreft de wegdelen lijken klein. Ze zijn in ieder geval beduidend kleiner dan in de analyse voor het hele gebied. Om hier nog meer over te kunnen zeggen, zoomen we in op een aantal voorbeelden. Voor de vergelijking met de werkelijkheid zijn luchtfoto's gebruikt van ongeveer hetzelfde tijdstip als de AHN-opname.⁶

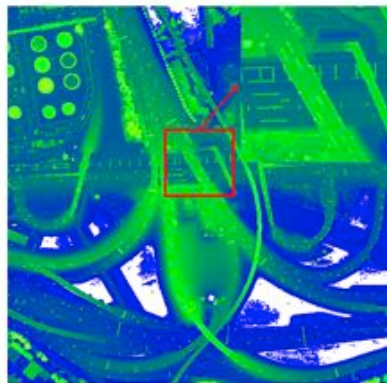
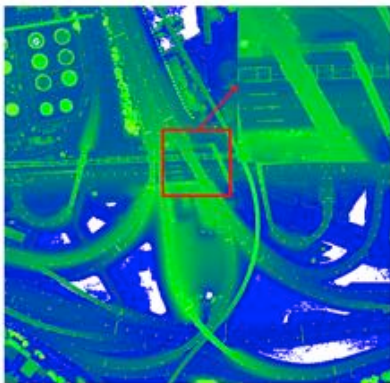
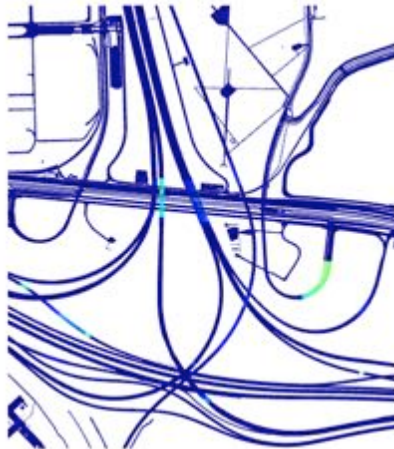
Voorbeeld 1 werkelijkheid is veranderd

In dit voorbeeld met hoogteverschillen is de weg vernieuwd. De hoogteverschillen komen dus overeen met wijzigingen in de werkelijkheid.

⁶ Er kan hier een paar jaar tussen zitten omdat beeldmateriaal niet zover teruggaat als AHN3.

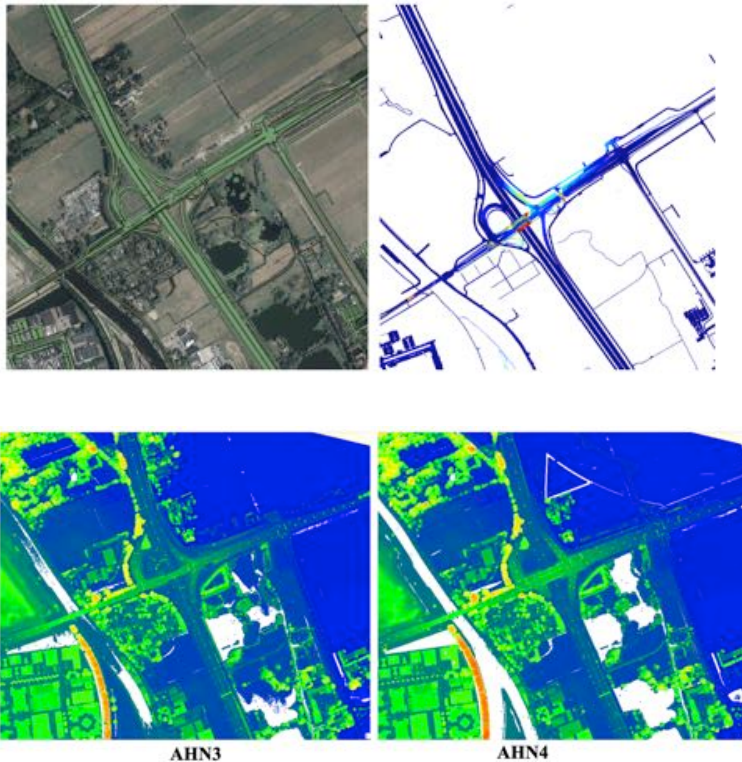


Voorbeeld 2 – niet veranderd



In dit voorbeeld zijn er wel hoogteverschillen tussen AHN3 en AHN4, maar is de werkelijkheid ongewijzigd. De verschillen zijn echter een gevolg van punten op bruggen wat tot kunstmatige hoogteverschillen kan leiden tussen AHN3 en AHN4. De verschillen zijn daarmee verklaarbaar en de impact op de TIN-Geluid zal minimaal (nihil) zijn omdat punten op bruggen uitgesloten worden bij het genereren van het TIN (het gaat om een specifieke LAS klasse 26).

Voorbeeld 3 – niet veranderd

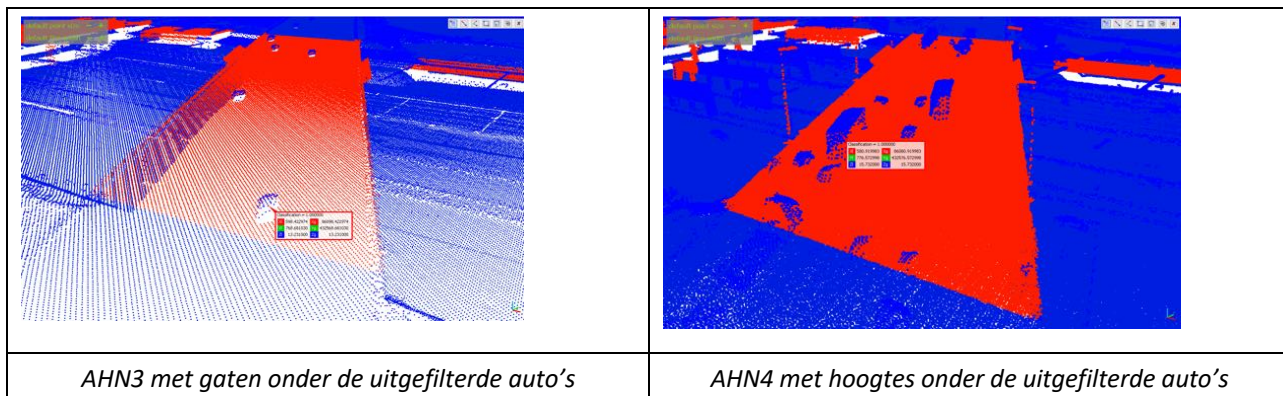


Ook in dit voorbeeld met hoogteverschillen tussen AHN3 en AHN4 voor een ongewijzigde situatie zijn de gevonden hoogteverschillen te verklaren door hoogtepunten op bruggen die tot artificiële hoogteverschillen leiden in onze verschil-analyse. Deze verschillen hebben geen invloed hebben op TIN-geluid.

Andere oorzaak voor AHN3-AHN3 hoogteverschillen in terrein

Er is nog een ander verschil tussen AHN3 en AHN4 dat tot kleine hoogteverschillen kan leiden bij het vertinnen van de punten.

Als er voertuigen op de brug of op de weg zijn, worden deze punten gefilterd uit het terrein in beide data sets. In AHN3 ontstaan hierdoor lege gebieden (gaten) in het terrein. Echter, in AHN4 zijn op deze locaties in het terrein toch hoogtepunten beschikbaar onder de objecten. De gaten in AHN3 kunnen leiden tot kleine verschillen bij de berekening van de hoogteverschillen.



Conclusie

Voor dit onderzoek naar de verschillen tussen AHN3 en AHN4 op maaiveld is een TIN-methode geïmplementeerd om de hoogteverschillen in meer detail te kunnen onderzoeken.

Om meer duiding te kunnen geven aan hoogteverschillen die werden gevonden, is specifiek gekeken naar hoogteverschillen voor wegdelen. De hoogte-consistentie voor wegdelen bleek groter dan 99%. Voor locaties met hoogteverschillen zijn de verschillen verklaarbaar. Significante verschillen op locaties waar geen wijzigingen zijn geweest, werden vooral gevonden bij viaducten, waarbij punten op bruggen vallen. Bruggen worden niet meegenomen bij het genereren van TIN-geluid, waardoor de impact van deze verschillen klein is. Minieme hoogteverschillen voor wegdelen kunnen ook een gevolg zijn van gaten in het terrein onder uitgefilterde voertuigen in AHN3.

Met deze experimenten is aangetoond dat er voor de onderzochte locaties tussen AHN3 en AHN4 geen significante verschillen zijn voor wat betreft het maaiveld die een impact hebben op geluid simulaties. De onderzochte locaties betreffen harde topografie. Om te bepalen dat dezelfde conclusie geldt voor zachte topografie is complexer om te bepalen (er kan namelijk sprake zijn van inklinking of andere bodembeweging) en hier is nader onderzoek voor nodig.⁷

⁷ Het Waterschapshuis heeft hier ook onderzoek naar laten doen.