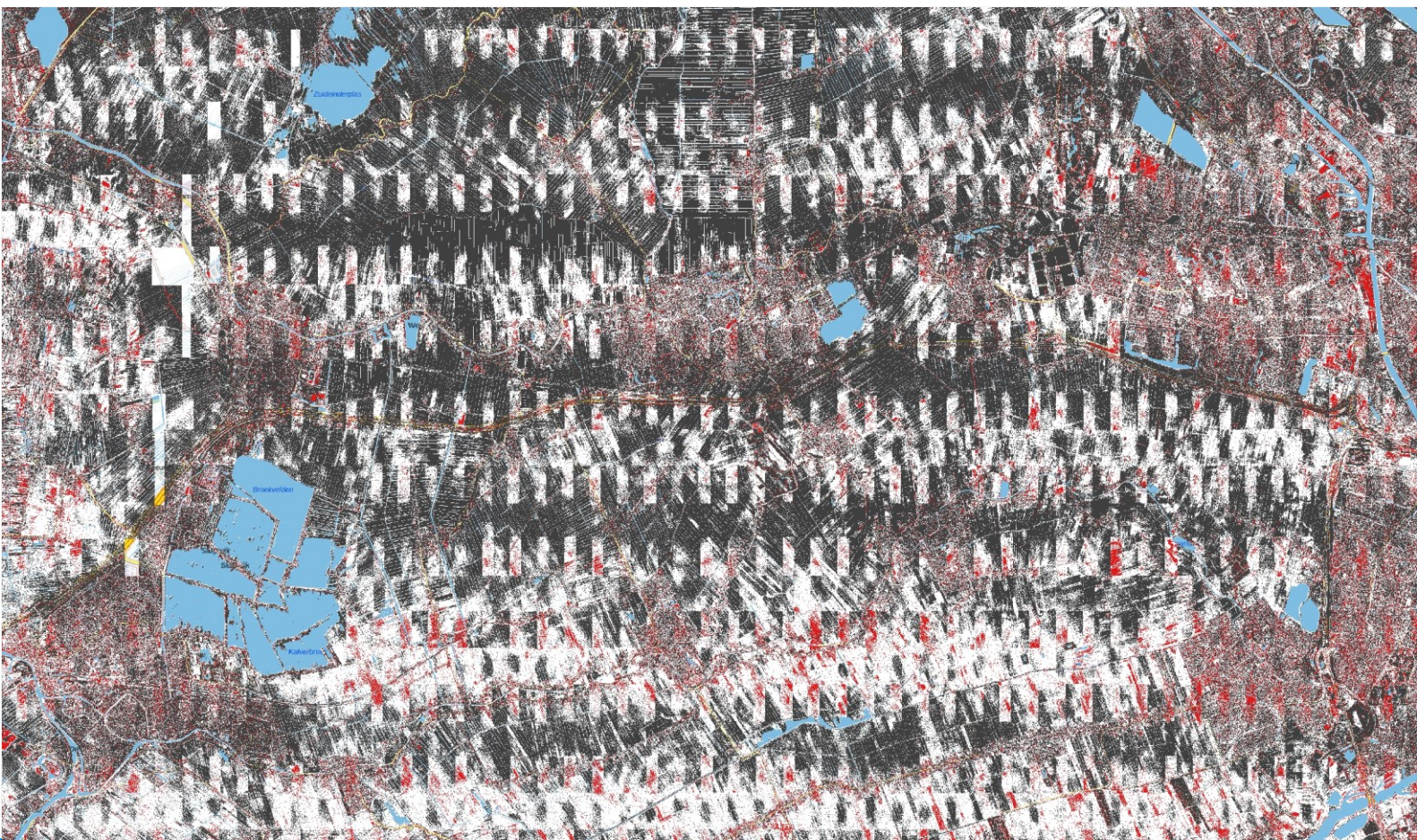




AHN- en BM-puntenwolken in het IHN

Onderzoek voor het Waterschapshuis

Bob Valten

15 oktober 2024

R/24/IHN-106/BV

Versie 1.11

AHN- en BM- puntenwolken in het IHN

Onderzoek voor het Waterschapshuis



Opdrachtgever: Het Waterschapshuis
Stationsplein 89
3818LE Amersfoort

Contactpersoon: J. Leusink
j.leusink@hetwaterschapshuis.nl

Opgesteld door: Ingenieursbureau Geodelta B.V.
Bob Valten
bob@geodelta.com

Datum: dinsdag 15 oktober 2024

Versie: 1.11

Kenmerk: R/24/IHN-106/BV

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	3
Versiebeheer	4
1 Inleiding	5
2 Het onderzoek	6
3 Verschillen AHN4- en BM-puntenwolken	7
3.1 Verschil AHN4 met BM2018.....	7
3.2 Verschil AHN4 met BM2019.....	13
3.3 Verschil AHN4 met BM2020.....	17
3.4 Verschil AHN4 met BM2022.....	21
4 De BM-puntenwolken getoetst tegen AHN controlevelden	25
5 Conclusie	31
6 Aanbevelingen	32

Versiebeheer

Versie	Datum	Auteur	Wijziging	Controle
0.8	31 juli 2024	Bob Valten	Presentatie eerste resultaten BM puntenwolken	Niels Treffers
0.9	16 augustus 2024	Bob Valten	Feedback Robert Kroon + aanvulling H4	Niels Treffers
0.91	26 augustus 2024	Bob Valten	Aanpassing hillshade figuren	Bob Valten
0.99	27 Augustus 2024	Bob Valten	Aanpassingen nav overleg 26 augustus	Bob Valten
1.0	10 september 2024	Bob Valten	Versie inclusief BM2022 data	Niels Treffers
1.1	4 oktober 2024	Bob Valten	Aangepaste conclusie en aanbeveling	Niels Treffers
1.11	14 oktober 2024	Bob Valten	Kleine tekstuele aanpassingen	

1 Inleiding

In Nederland zijn verschillende geometrische puntenwolken beschikbaar die het land of delen daarvan beschrijven. Het betreft onder meer de verschillende uitgaven van het Actueel Hoogtebestand Nederland en de puntenwolken die door het kadaster berekend worden uit het jaarlijks fotogrammetrisch opgenomen Beeldmateriaal. Het IHN project voorziet erin dat deze puntenwolken gezamenlijk in samenhang gepresenteerd worden. De puntenwolken hebben echter verschillende karakteristieken en zijn behept met ieder eigen stochastische en (semi-) systematische afwijkingen waardoor ze geometrisch van elkaar verschillen. Wanneer al deze data gezamenlijk gepresenteerd worden is het van belang inzicht te hebben in deze verschillen. Geodelta is gevraagd onderzoek te doen om dit inzicht te krijgen.

2 Het onderzoek

Bij aanvang van het project was het plan om het onderzoek in twee fasen op te delen. Allereerst was een onderzoek gepland waarbij geheel Nederland in ogenschouw zou worden genomen en de eigenschappen die zich manifesteren over grote gebieden zouden worden onderzocht. In de tweede fase zou voor enkele kleine gebieden bekeken worden of er een uitspraak gedaan zou kunnen worden over specifieke eigenschappen van Dense Matching algoritmen waarmee uit fotogrammetrische beelden puntenwolken worden berekend.

De resultaten van de analyse van de BM-puntenwolken betekenden echter dat van dit initiële plan afgeweken moest worden. De afwijkingen van de BM-puntenwolken ten opzichte van het AHN lopen regelmatig op tot meer dan 10 centimeter. Dit hoeft op zichzelf geen belemmering te zijn voor het toevoegen van de BM-puntenwolken in het IHN. De grootte van de afwijkingen van de BM-puntenwolken is echter onvoorspelbaar, variërend op korte afstanden met abrupte sprongen in hoogte die niet te relateren zijn aan terreinomstandigheden. De BM-puntenwolken hebben in de huidige vorm daarom geen toegevoegde waarde als deze gecombineerd worden met de puntenwolken van het AHN teneinde te leiden tot betere hoogte-informatie in het IHN.

Deze conclusie volgt nadat de volgende verwerkingsstappen zijn uitgevoerd:

- 1) Drie AHN-puntenwolken (AHN3, AHN4 en AHN5) zijn omgezet naar een DSM met een celgrootte van 1 meter.
- 2) Vier BM-puntenwolken (2018, 2019, 2020 en 2022) zijn omgezet naar een DSM met een celgrootte van 1 meter.
- 3) De BM-DSM zijn vergeleken met de AHN-DSM. Uit deze vergelijking bleek dat de BM-puntenwolken te veel ogenschijnlijk willekeurige en daarmee onvoorspelbare en niet te modeleren afwijkingen bevatten.
- 4) Van de BM-puntenwolken is een DTM-benadering gemaakt op basis van de cellen die in AHN4 enkel en alleen maaiveldpunten bevatten.
- 5) Van de DTM-benaderingen uit de voorgaande stap zijn hillshades gemaakt om te valideren dat de afwijkingen die geconstateerd zijn in stap 3 in de BM-puntenwolken zitten en niet in de AHN data.

In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van de verschilanalyse tussen AHN4 en de verschillende BM-puntenwolken gepresenteerd. Het hoofdstuk bestaat voornamelijk uit figuren die het verschil tussen het AHN4-DSM en een BM-DSM weergeven. In alle figuren geldt de volgende legenda voor deze verschilrasters:

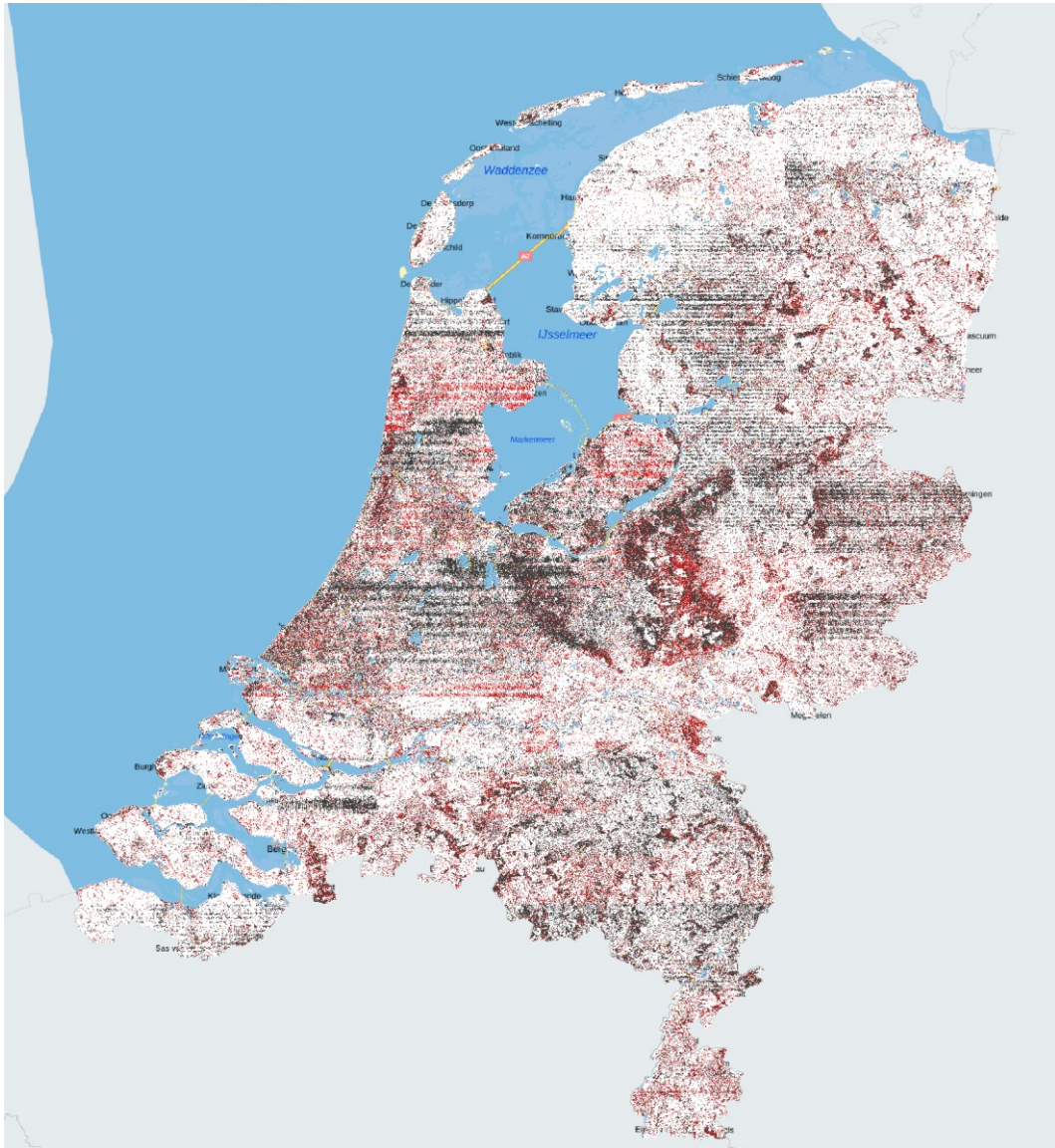


Figuur 1: Legenda van toepassing op figuren in Hoofdstuk 3

Cellen met een hoogteverschil tussen de -15 en +15 centimeter zijn wit. Voor cellen die volledig rood zijn ligt het BM-DSM meer dan 25 cm onder het AHN4-DSM. Bij volledig zwarte cellen ligt het BM-DSM meer dan 25 cm boven het AHN4-DSM.

3 Verschillen AHN4- en BM-puntenwolken

3.1 Verschil AHN4 met BM2018



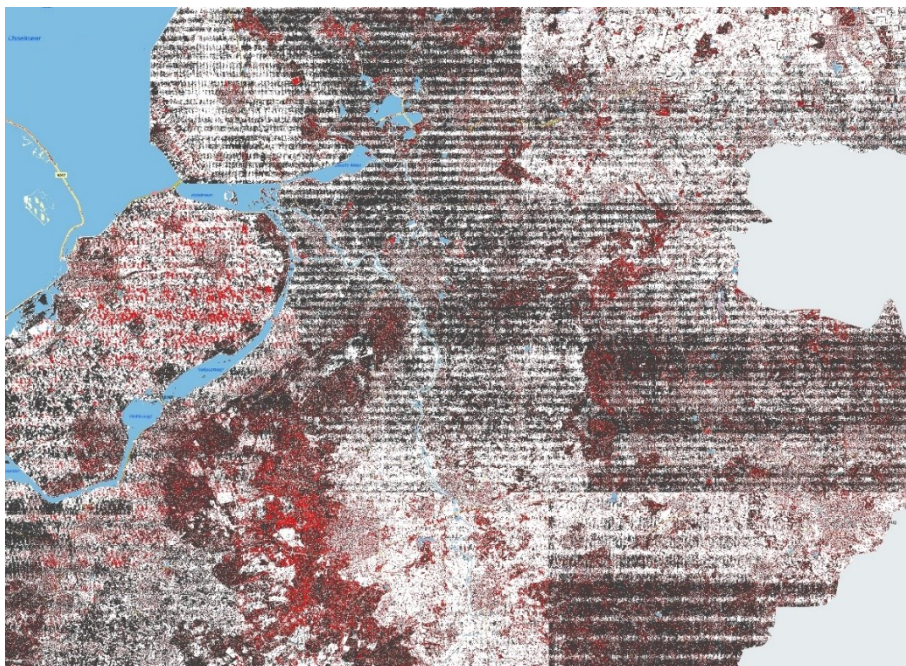
Figuur 2: Verschil DSM AHN4-BM2018

Figuur 2 laat het verschil tussen AHN4 en BM2018 zien. Er zijn duidelijke patronen zichtbaar. Allereerst vallen de horizontale lijnen op die overeenkomen met de BM2018 vlieglijnen. Ook zijn er duidelijke verticale lijnen zichtbaar die vermoedelijk overeenkomen met de randen van verwerkingsblokken. In *Figuur 3* tot en met *Figuur 6* is ingezoomd op enkele gebieden om deze patronen verder te illustreren.



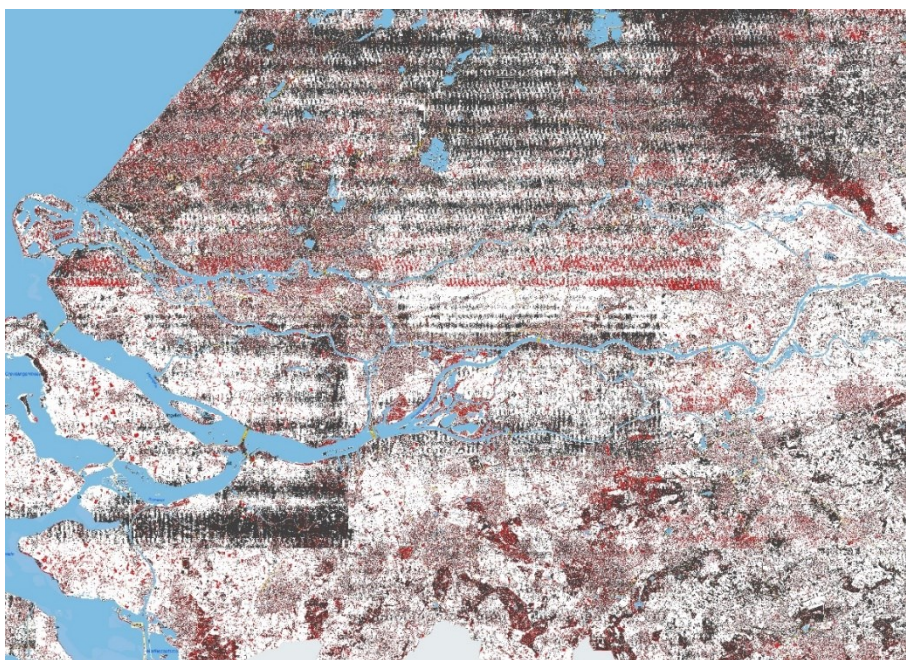
Figuur 3: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Limburg)

In Limburg wisselen groepen rood gekleurde vliegstroken zich af met groepen zwart gekleurde vliegstroken. Ook is een scherpe noord-zuid lopende lijn zichtbaar die vermoedelijk de grens van een verwerkingsblok markeert (Figuur 3).



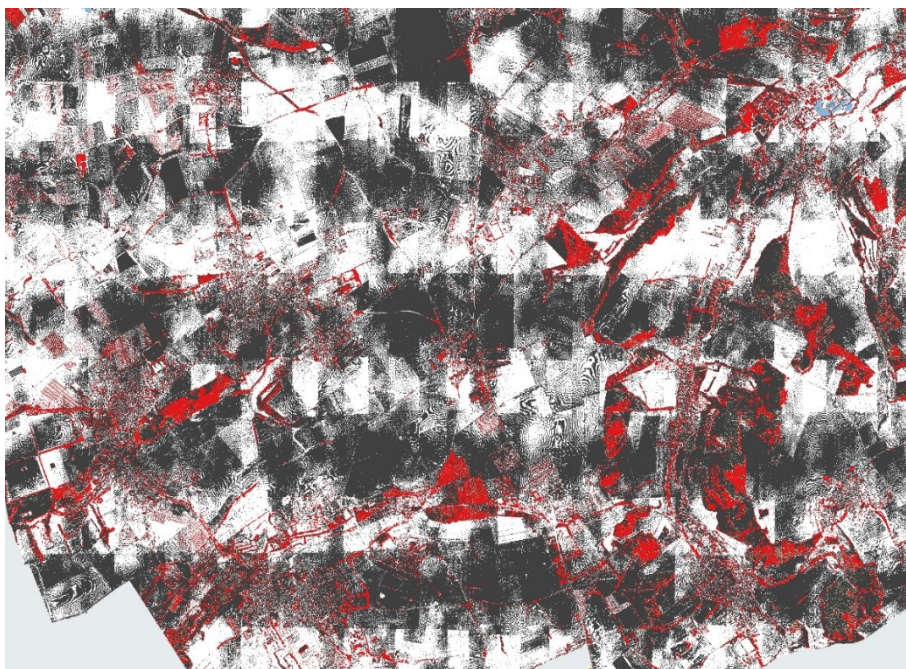
Figuur 4: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Oost Nederland)

Een scherpe noord-zuid lijn is ook goed zichtbaar in het oosten van Nederland (Figuur 4).

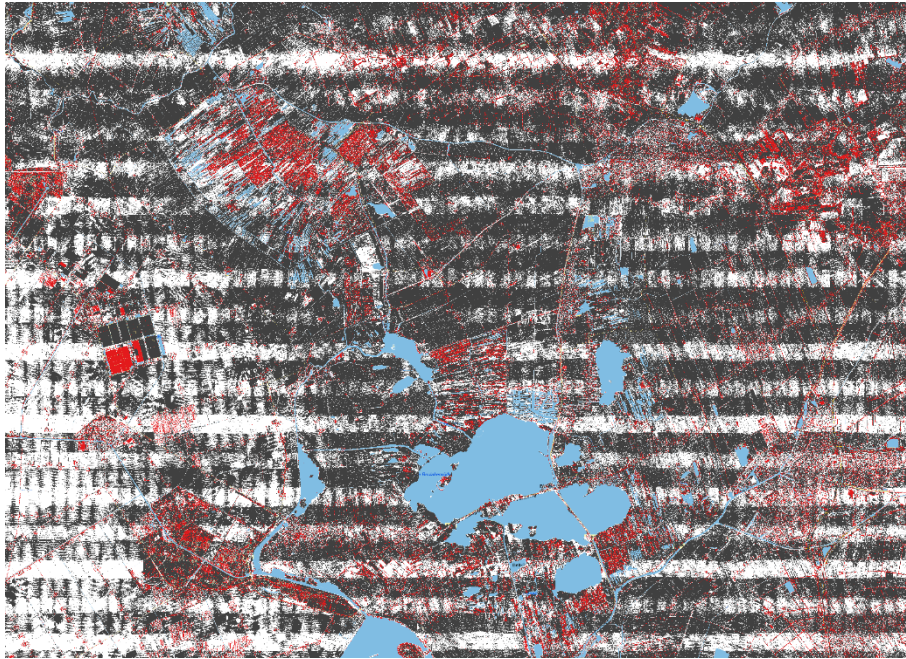


Figuur 5: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Rotterdam)

Verschillen die zich binnen een strook of verwerkingsblok manifesteren en over grotere gebieden min of meer constant zijn kunnen in principe gecorrigeerd worden op een vergelijkbare manier als de schrancking van AHN vluchten (zie Geodelta's rapport R/21/039/BV). In Figuur 5 is echter zichtbaar dat naast de vlieglijnen en scherpe blokgrenzen zich nog een ander effect voordoet. Als naar een kleiner gebied wordt ingezoomd (*Figuur 6*) is binnen een vliegstrook een blokkenpatroon zichtbaar. De blokken, die slechts enkele hectaren groot zijn, komen vermoedelijk overeen met de blokken die het Dense Matching algoritme gebruikt om de puntenwolk te berekenen.



Figuur 6: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Zuid Limburg)

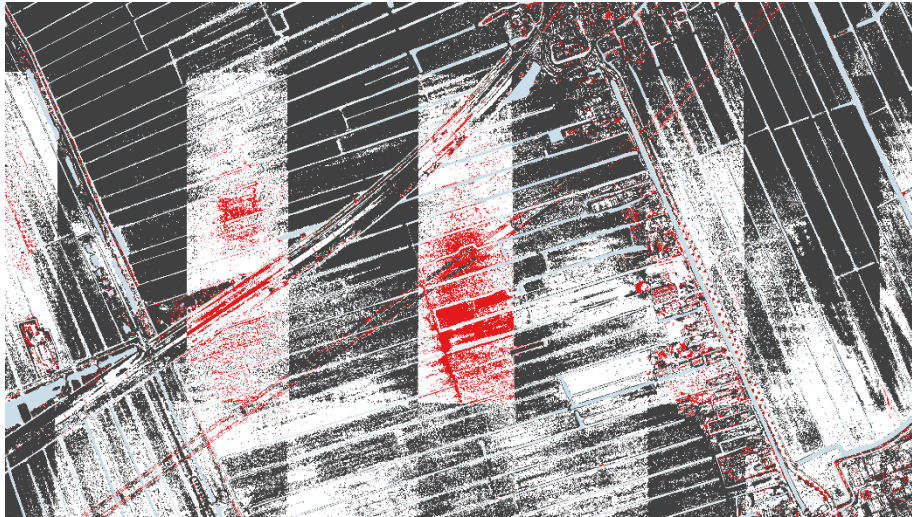


Figuur 7: Verschil DSM AHN4-BM2018 (West van Meppel)

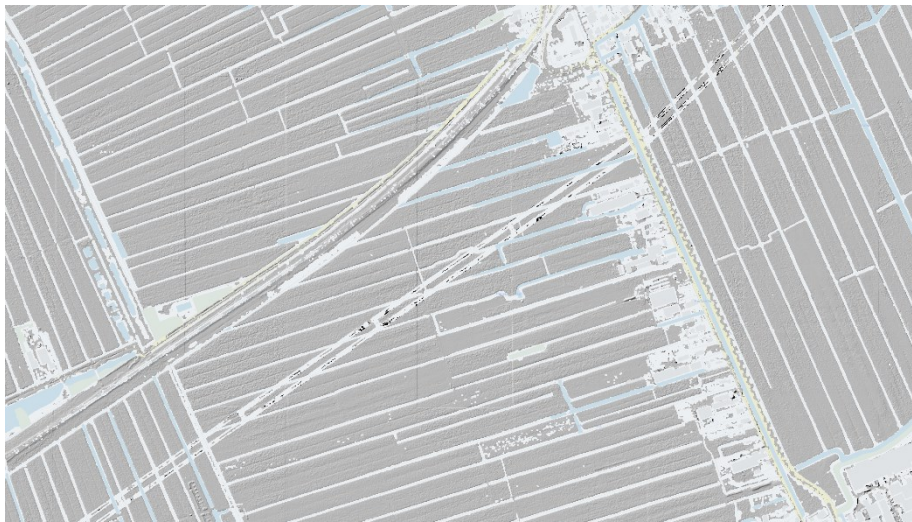
In *Figuur 6* en *Figuur 7* wordt duidelijk dat het verschil tussen AHN4 en BM2018 zeer vaak grote sprongen maakt van tenminste 10 centimeter (van zwart oftewel minimaal 25 cm verschil naar wit wat overeenkomt met maximaal 15 cm verschil). Deze sprongen zijn ogenschijnlijk zo willekeurig dat deze niet gemodelleerd en weggerekend kunnen worden.

Alhoewel het uit bovenstaande figuren duidelijk is dat de verschillen die gevonden zijn tussen AHN4 en BM2018 voornamelijk het resultaat zijn van fouten in BM2018, heeft Geodelta ook hillshades berekend om een analyse van de kwaliteit van de BM2018 puntenwolk te kunnen doen die onafhankelijk is van enig andere dataset. De hillshades zijn berekend uit een DTM van de BM-puntenwolken waarbij alleen cellen gebruikt worden waarvan we met zeer grote waarschijnlijkheid kunnen stellen dat het cellen betreft die alleen maaiveld betreffen. Deze cellen zijn bepaald door uit het AHN4 alle cellen te selecteren die uitsluitend als maaiveld geclassificeerde punten bevatten.

Op de volgende pagina's wordt eerst een stuk van het AHN4-BM2018 verschilraster getoond met daarna de hillshade voor hetzelfde gebied.



Figuur 8: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Detail oost van Gouda)



Figuur 9: Hillshade BM2018 (Detail oost van Gouda)

De discontinuïteiten die zichtbaar zijn in *Figuur 8* zijn ook duidelijk te herkennen in de hillshade (*Figuur 9*).



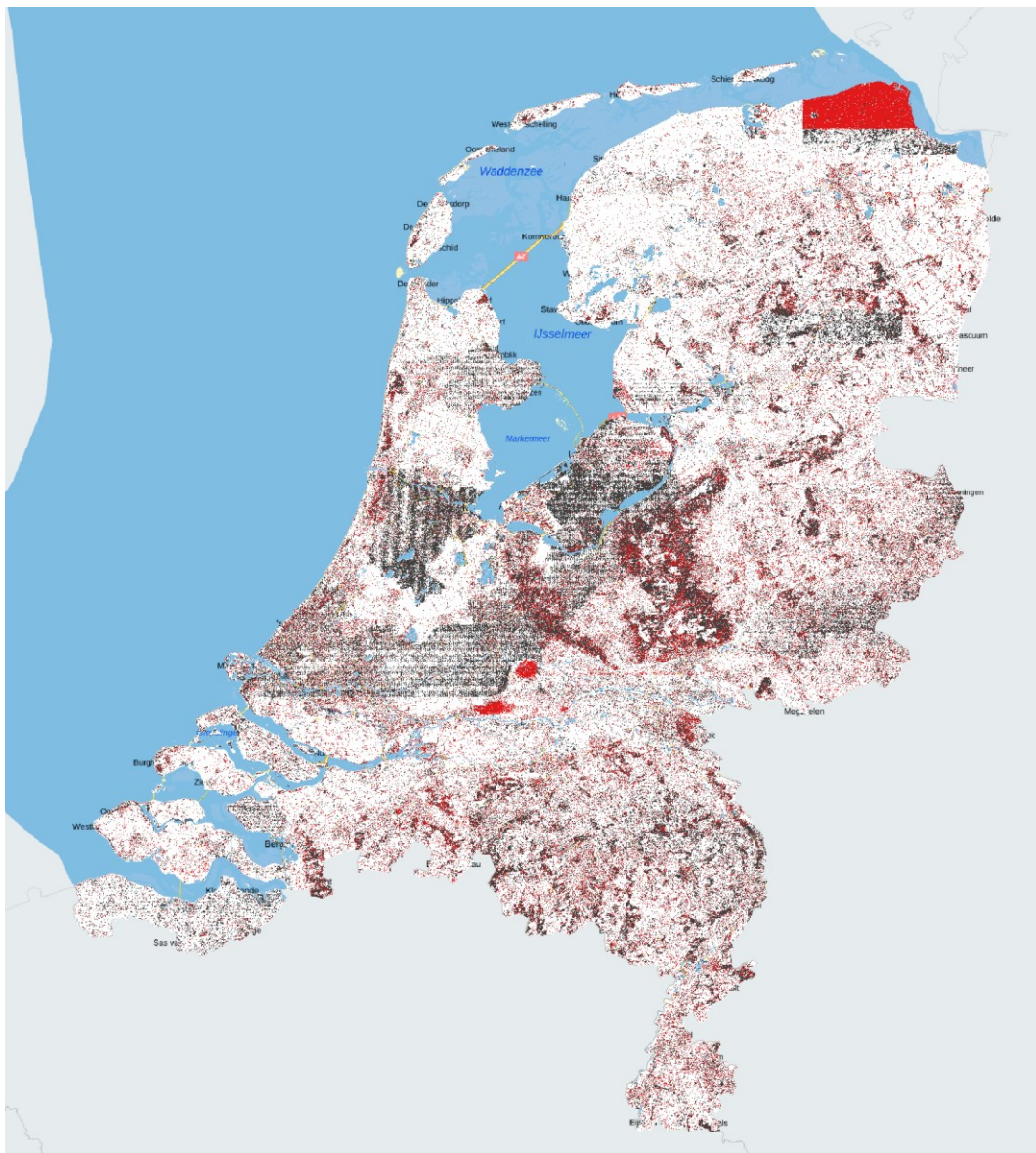
Figuur 10: Verschil DSM AHN4-BM2018 (Detail Limburg)



Figuur 11: Hillshade BM2018 (Detail Limburg)

Ook de op hoogtelijnen lijkende afwijkingen in *Figuur 10* zijn zichtbaar in *Figuur 11*.

3.2 Verschil AHN4 met BM2019

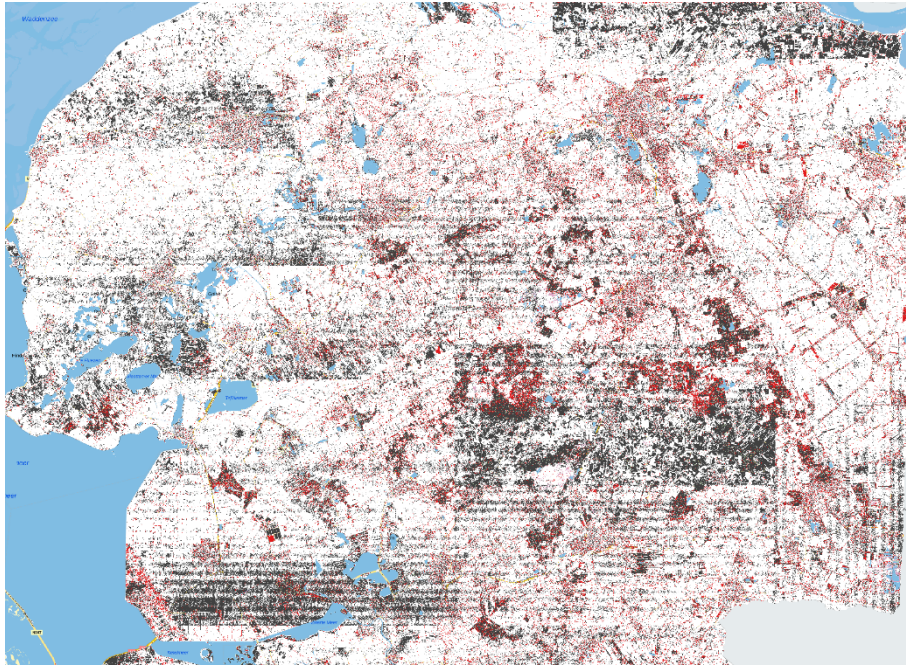


Figuur 12: Verschil DSM AHN4-BM2019

De bevindingen die volgen uit de analyse van het verschilraster AHN4-BM2018 worden bevestigd als naar het AHN4-BM2019 raster gekeken wordt. De BM2019 puntenwolk lijkt iets beter te passen op het AHN4 maar de in de vorige paragraaf beschreven effecten worden ook bij BM2019 gevonden op verschillende locaties verspreid over geheel Nederland.

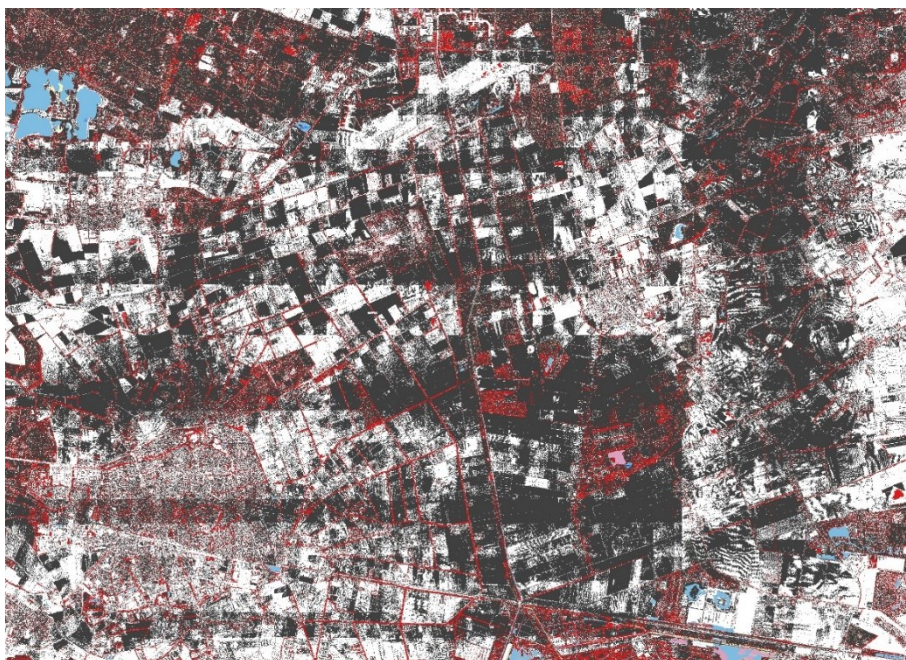
Opvallend is dat BM2019 voor een groot stuk van noord Groningen als geheel meer dan 25 centimeter te laag is berekend.

De volgende figuren geven enkele voorbeelden van de analyse van de BM2019 puntenwolk.

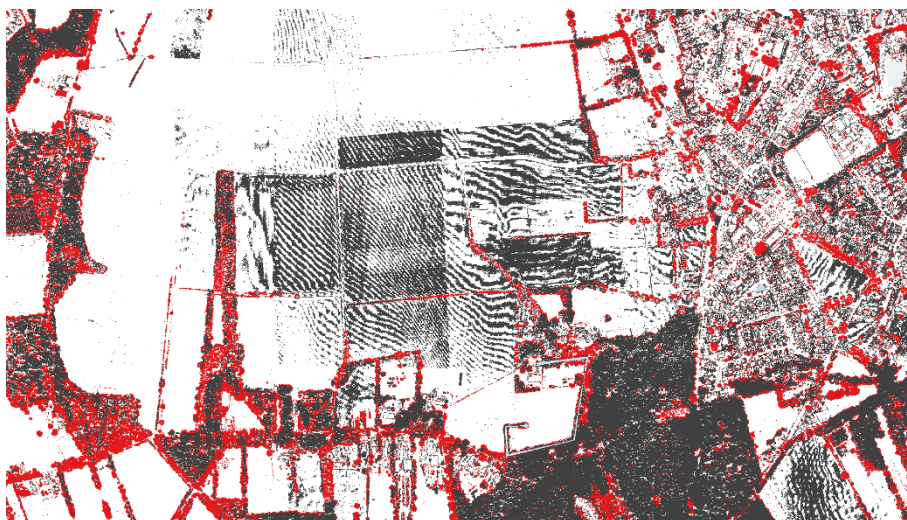


Figuur 13: Verschil DSM AHN4-BM2019 (noord Nederland)

Figuur 12 geeft bij de eerste blik de indruk dat BM2019 in bijvoorbeeld Friesland en Drenthe redelijk goed is bepaald, maar als wordt ingezoomd (Figuur 13) zijn de verschillen weer goed zichtbaar.



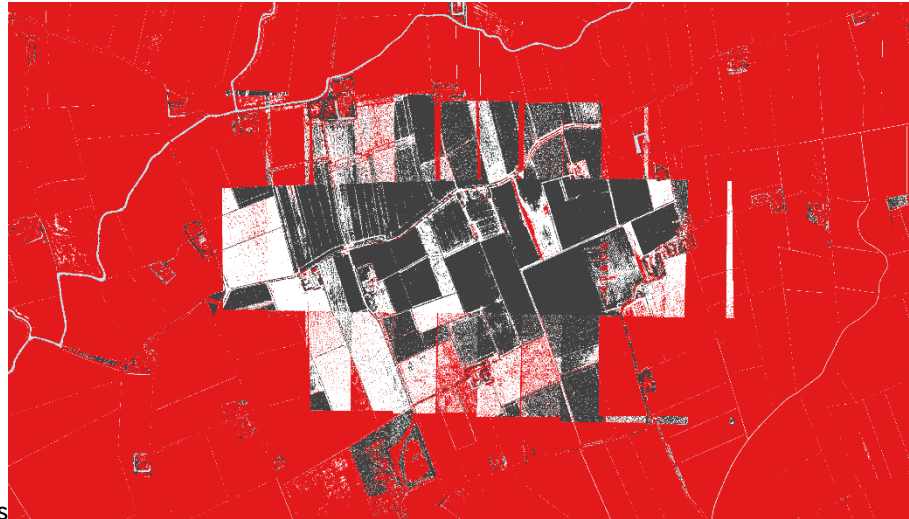
Figuur 14: Verschil DSM AHN4-BM2019 (IJsselsteyn)



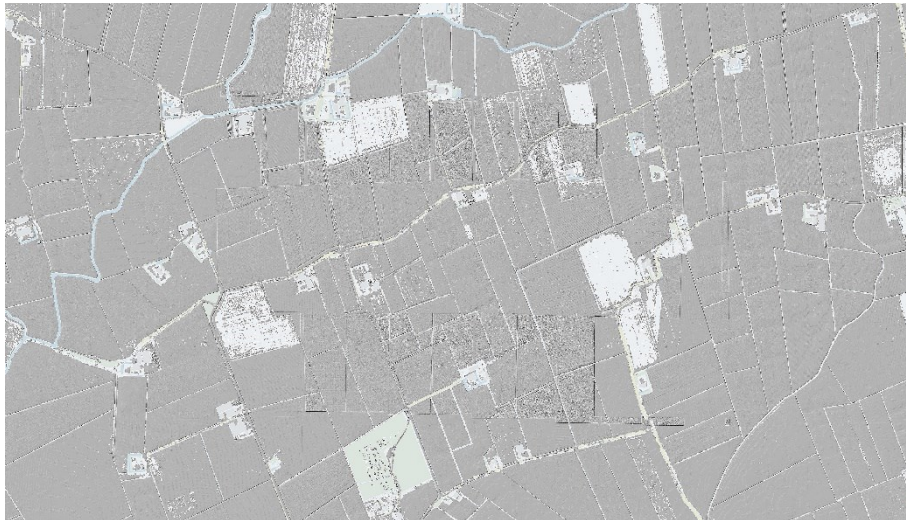
Figuur 15: Verschil DSM AHN4-BM2019 (Detail Friesland)



Figuur 16: Hillshade BM2019 (Detail Friesland)



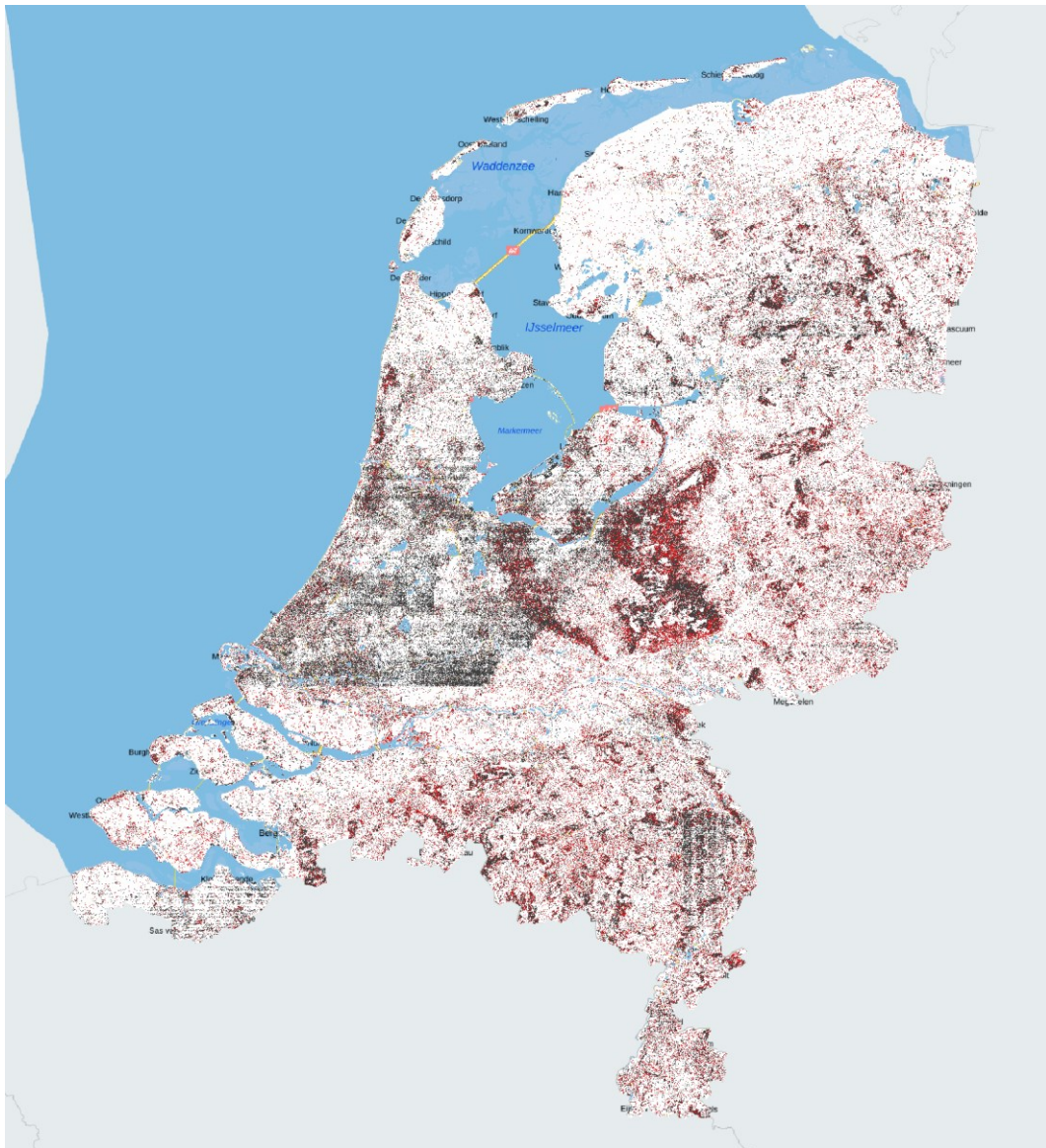
Figuur 17: Verschil DSM AHN4-BM2019 (Detail Groningen)



Figuur 18: Hillshade BM2019 (Detail Groningen)

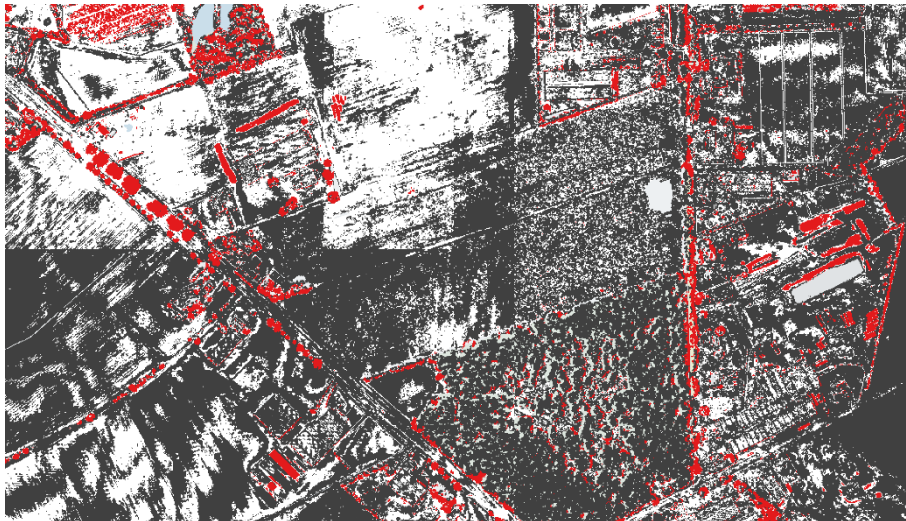
Het meest opvallend aan de BM2019 puntenwolk is de grote offset in Noord Groningen. Midden in het grote rode blok zijn echter enkele stukken die weer beter passen of juist meer zwart kleuren. In *Figuur 17* is de fotogrammetrische basis van de puntenwolk duidelijk zichtbaar.

3.3 Verschil AHN4 met BM2020

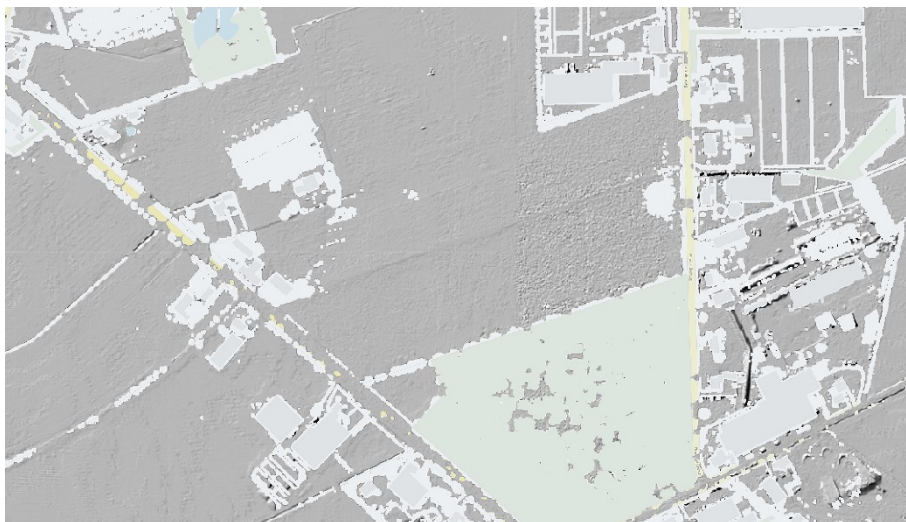


Figuur 19: Verschil DSM AHN4-BM2020

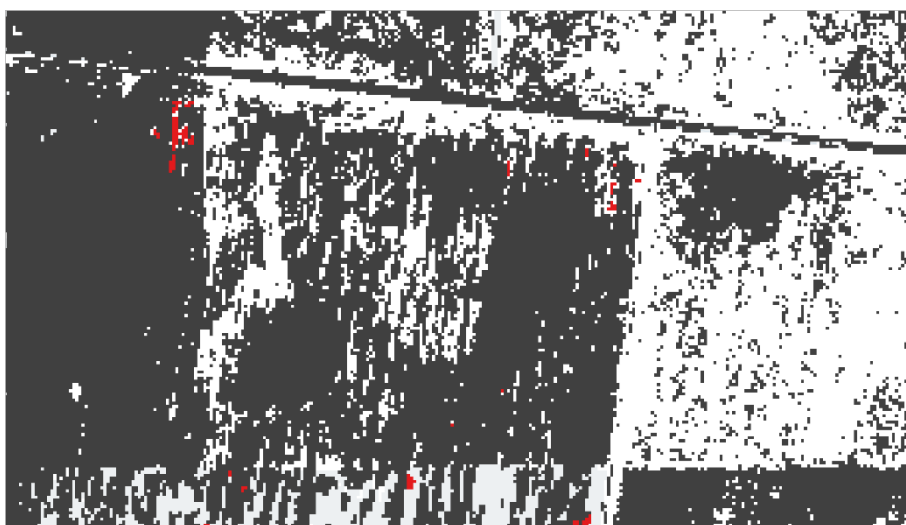
Het beeld dat naar voren is gekomen voor BM2018 en BM2019 is ook zichtbaar in BM2020.



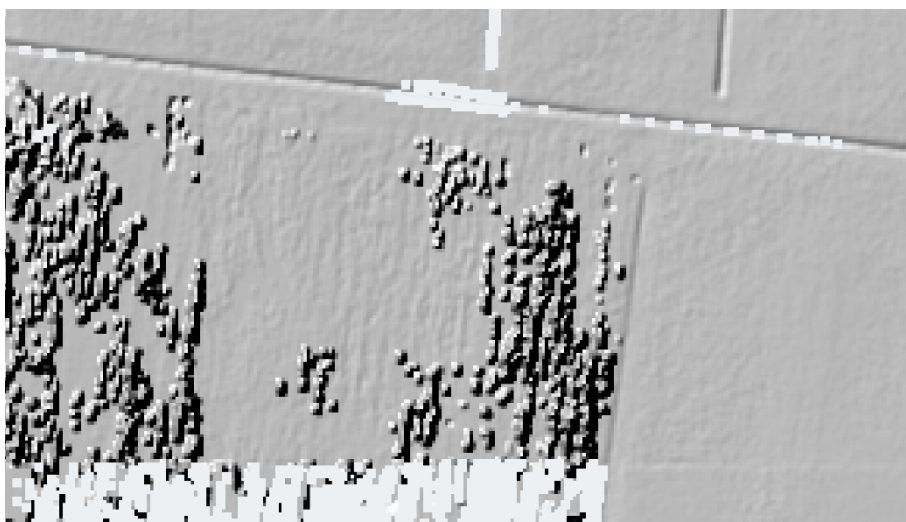
Figuur 20: Verschil DSM AHN4-BM2020 (Detail Limburg)



Figuur 21: Hillshade BM2020 (Detail Limburg)

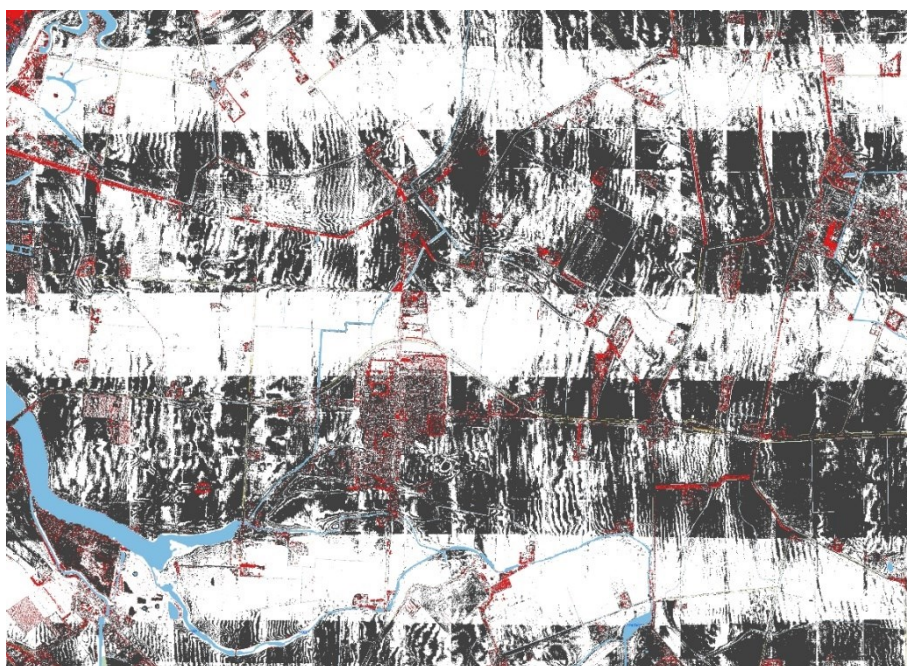


Figuur 22: Verschil DSM AHN4-BM2020 (zeer sterk ingezoomd Drenthe)



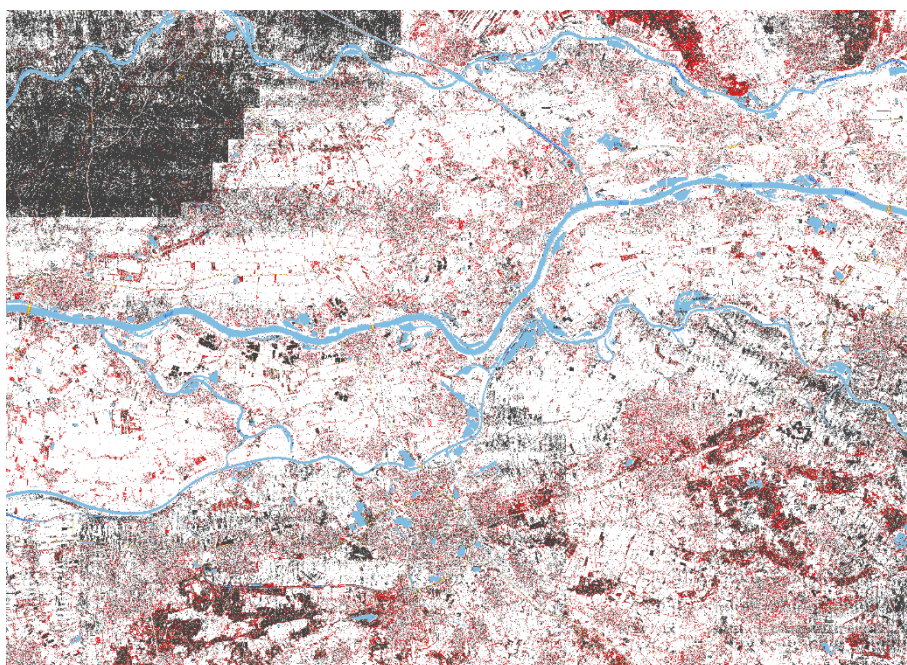
Figuur 23: Hillshade BM2020 (zeer sterk ingezoomd Drenthe)

De overgang van zwart naar wit in *Figuur 22* is ook zichtbaar in de hillshade (*Figuur 23*).



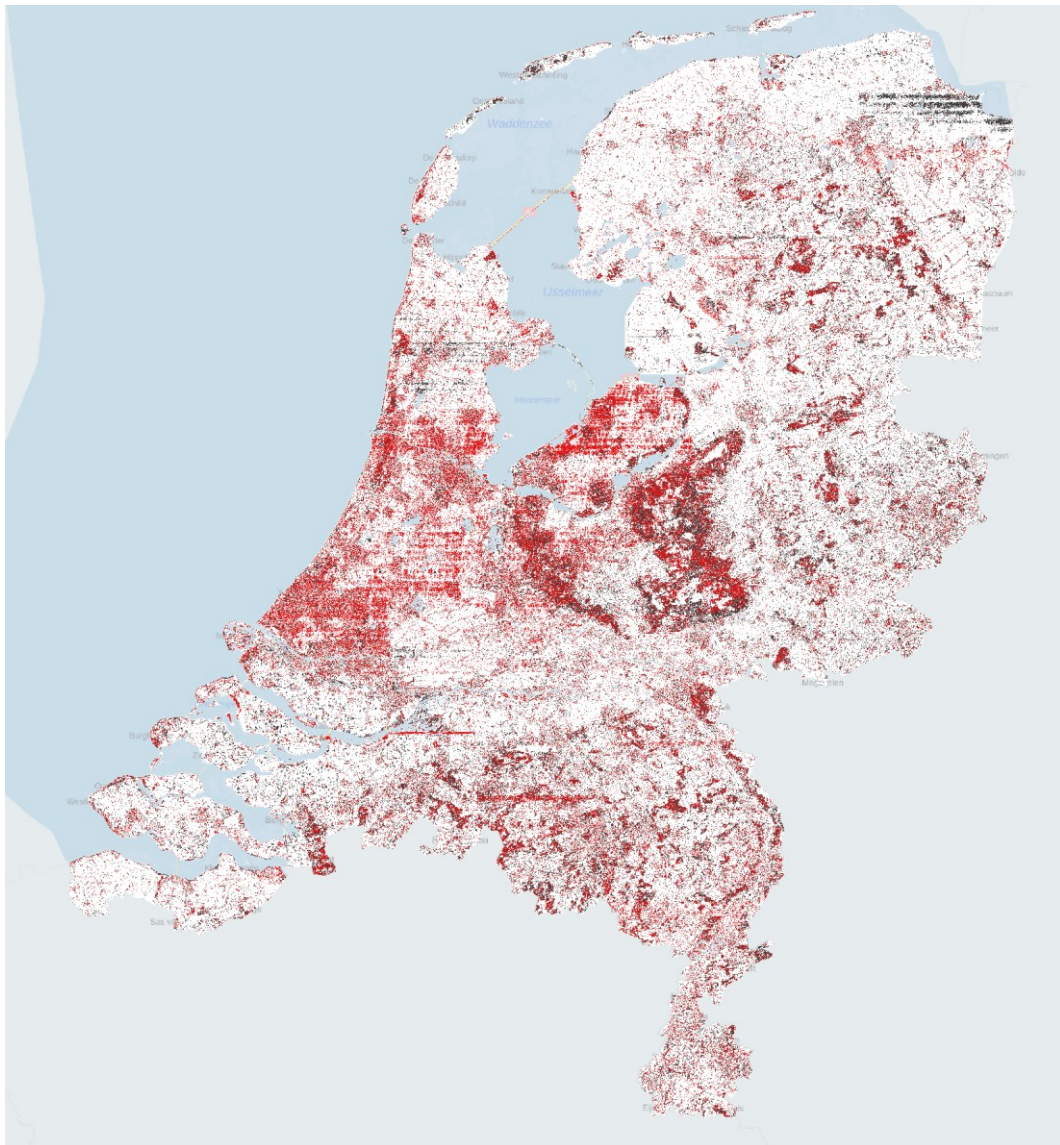
Figuur 24: Verschil DSM AHN4-BM2020 (Zeeland)

Voor BM2020 valt verder op dat delen van Friesland en het gebied direct rond de Waal meer overeenkomt met het AHN4.



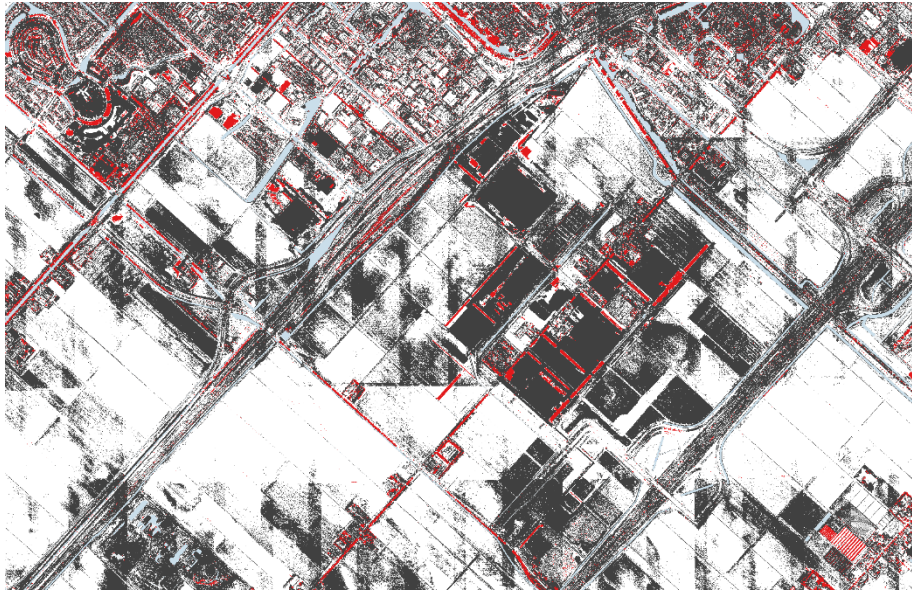
Figuur 25: Verschil DSM AHN4-BM2020 (Waal)

3.4 Verschil AHN4 met BM2022

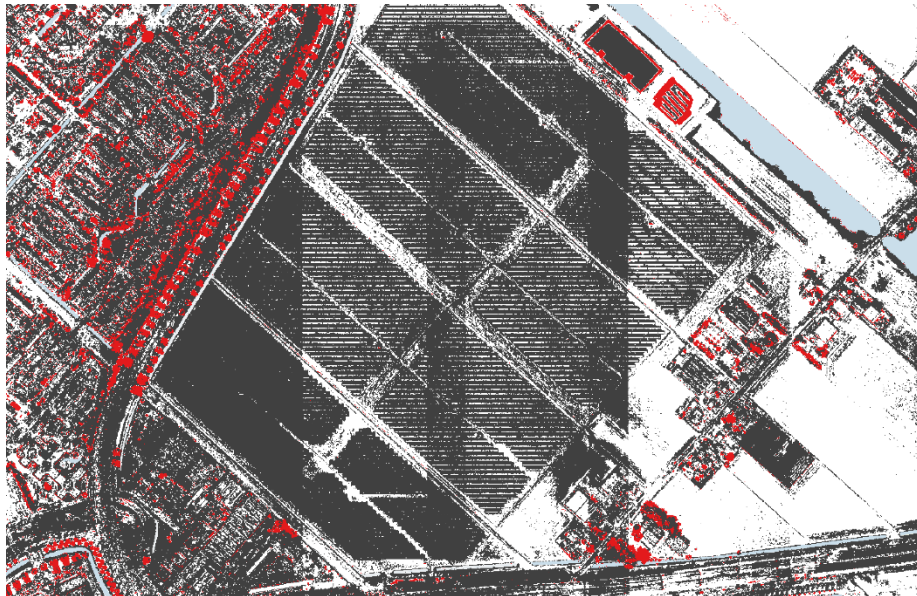


Figuur 26: Verschil DSM AHN4-BM2022

De meest recente beschikbare versie van een BM-puntenwolk betreft BM2022. *Figuur 26* laat het verschilraster AHN4-BM2022 zien. Alhoewel het resultaat in delen van Friesland en Groningen goed is, zijn over het algemeen ook in de 2022 data de effecten die eerder geconstateerd werden zichtbaar.

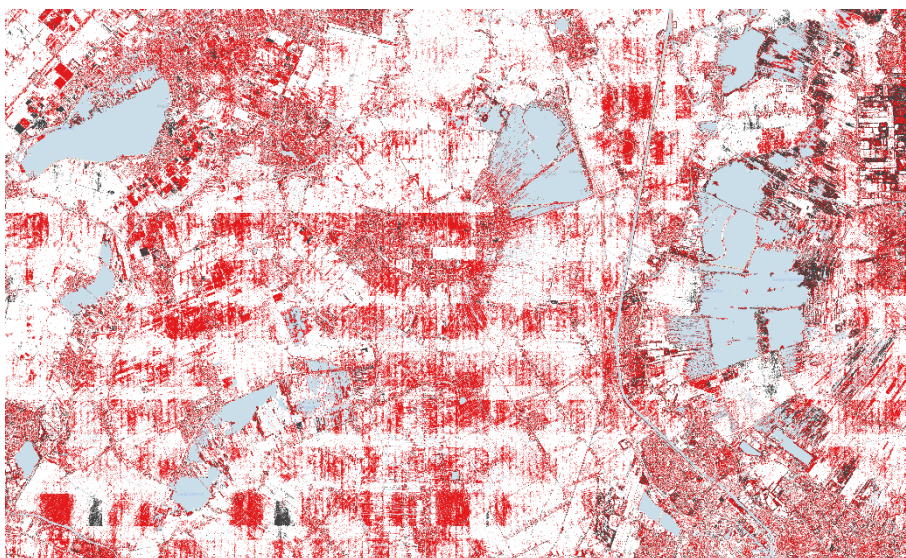


Figuur 27: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Hoofddorp)

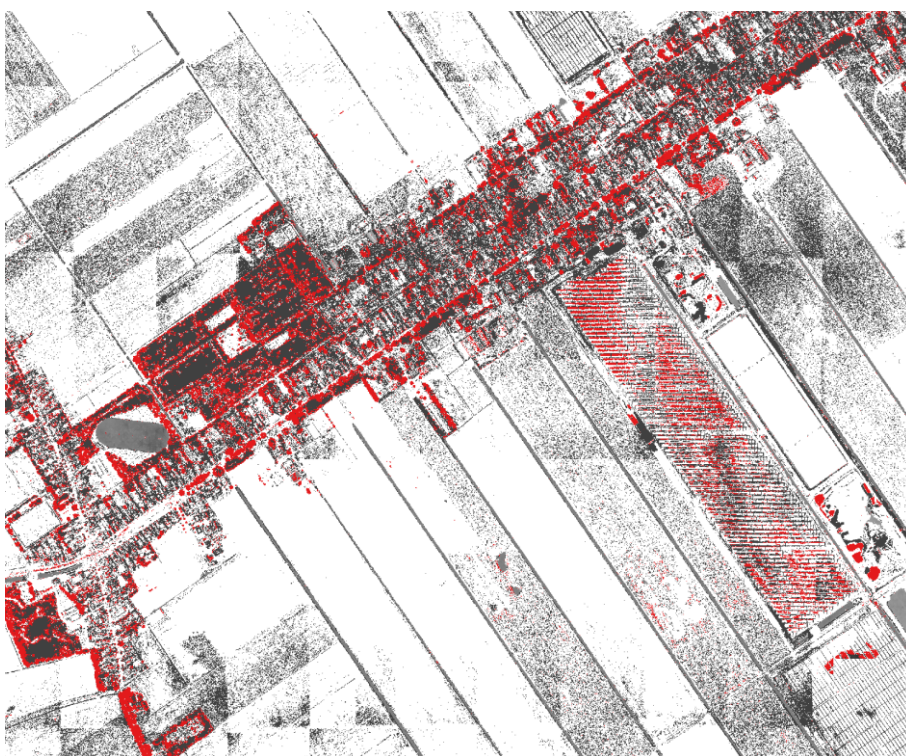


Figuur 28: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Schiphol)

Naast de duidelijk zichtbare blokken zijn de strepen in *Figuur 28* opvallend. De strepen zijn het gevolg van het feit dat het Dense Matching algoritme moeite heeft om de hoogteverschillen in een zonnepanelenpark te volgen.



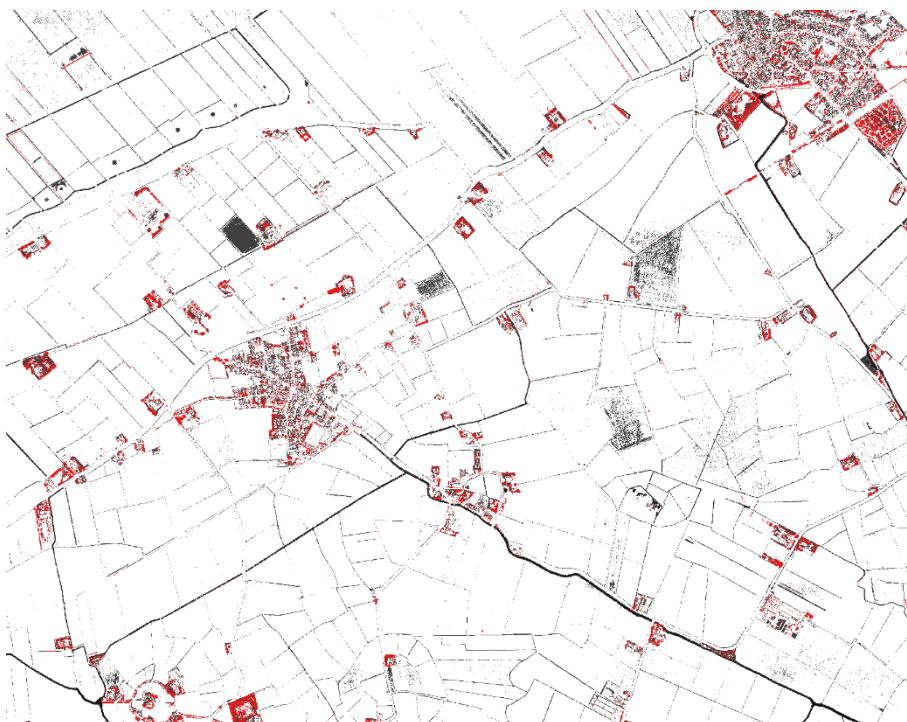
Figuur 29: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Kuddelstaart)



Figuur 30: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Drenthe)



Figuur 31: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Friesland)



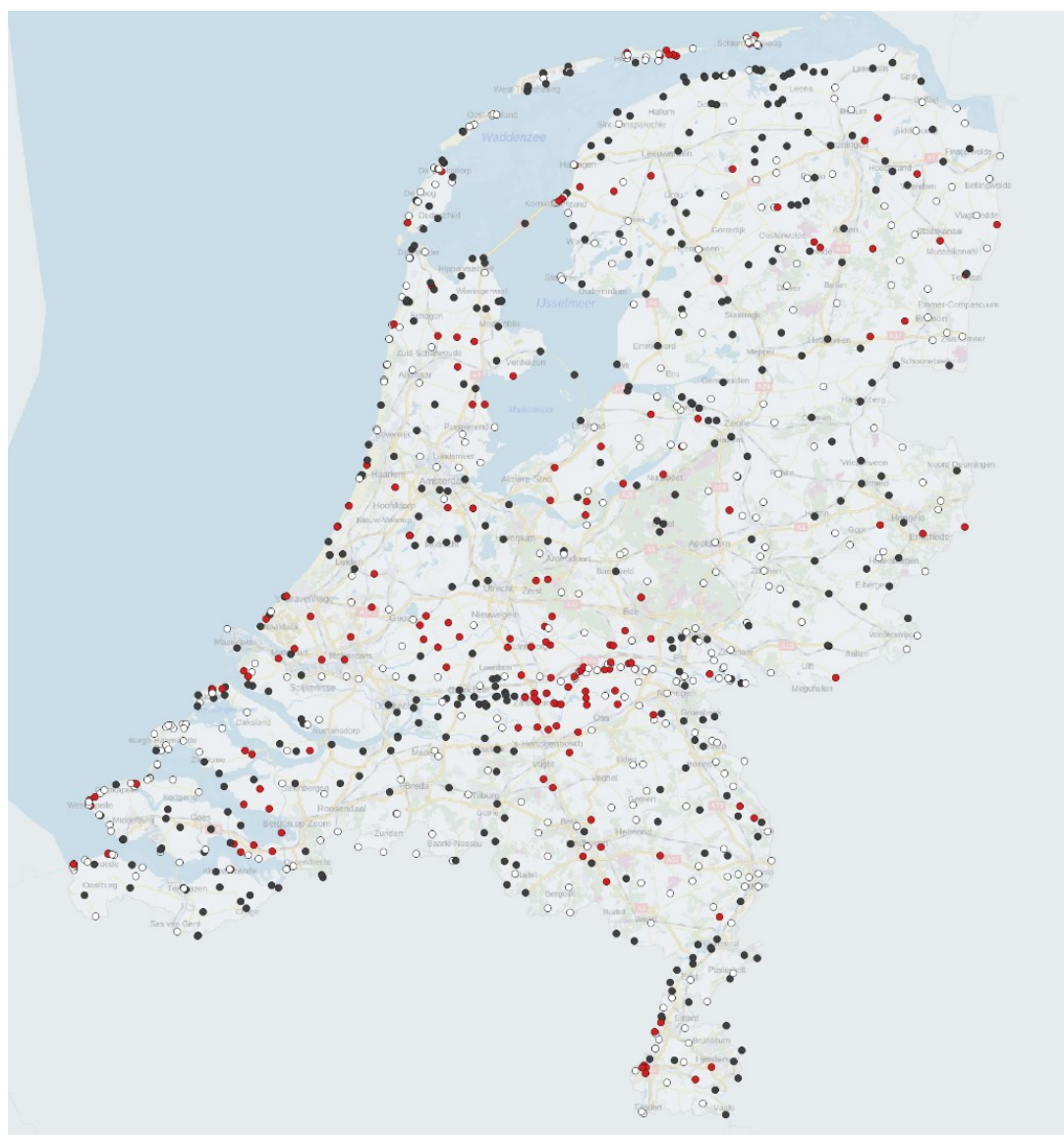
Figuur 32: Verschil DSM AHN4-BM2022 (Groningen)

Figuur 32 toont een gebied in Groningen waar het Dense Matching resultaat erg goed overeenkomt met het AHN4.

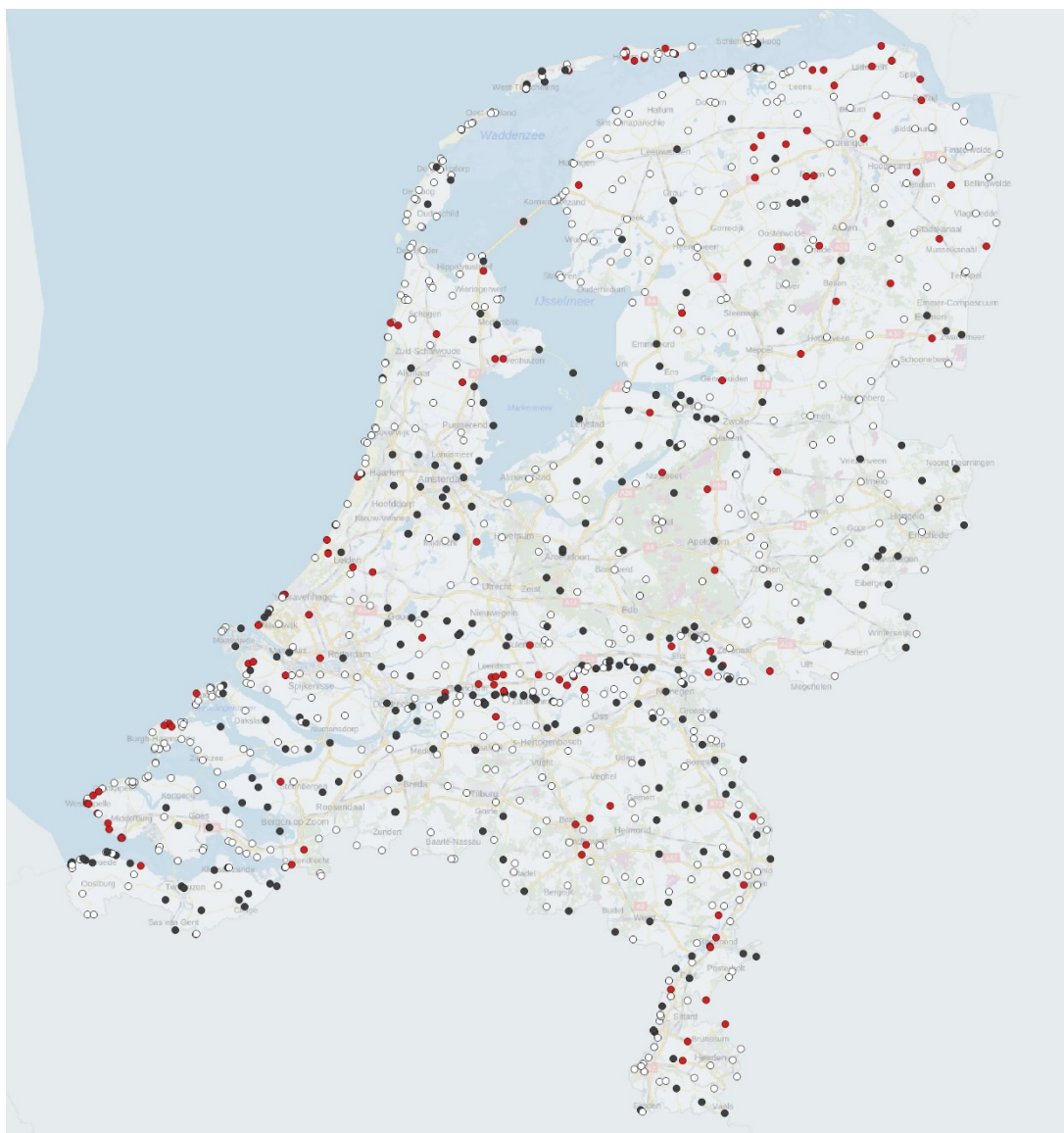
4 De BM-puntenwolken getoetst tegen AHN controlelevelden

Geodelta onderhoudt t.b.v. de controle van het AHN een database van controlelevelden en paspunten. Deze database is gebruikt om de ligging van de verschillende puntenwolken te toetsen.

Allereerst zijn de puntenwolken vergeleken met ruim 1000 controlelevelden ieder bestaande uit gemiddeld zo'n 20 hoogtepunten. *Figuur 33* tot en met *Figuur 37* laten de resultaten van deze vergelijking zien. Voor ieder controleveld is gekeken of de puntenwolk gemiddeld binnen 7 centimeter van het controleveld ligt.



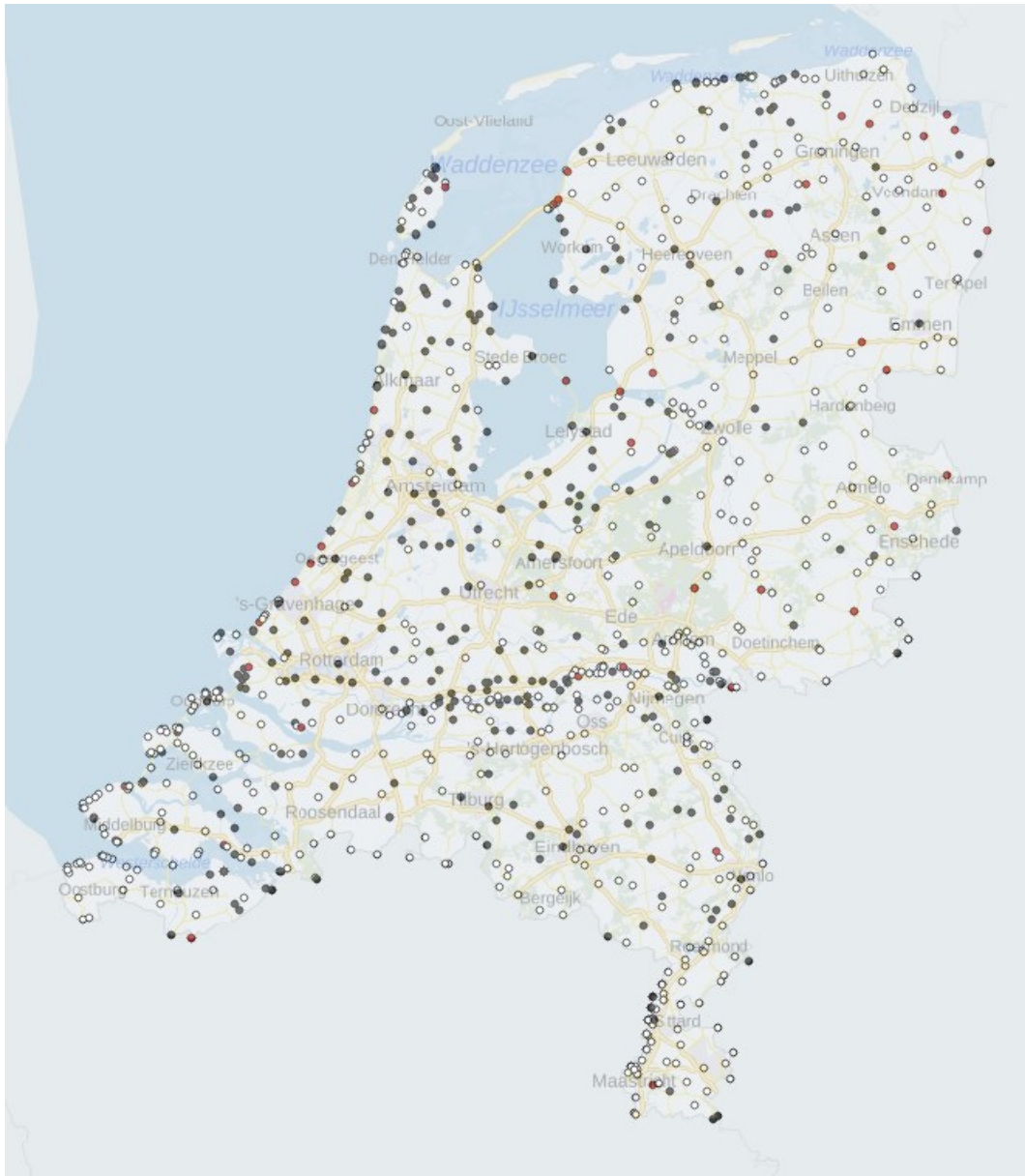
*Figuur 33: BM2018 vergeleken met controlelevelden
(Rood = puntenwolk ligt meer dan 7 cm onder veld.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 7 cm boven controleveld)*



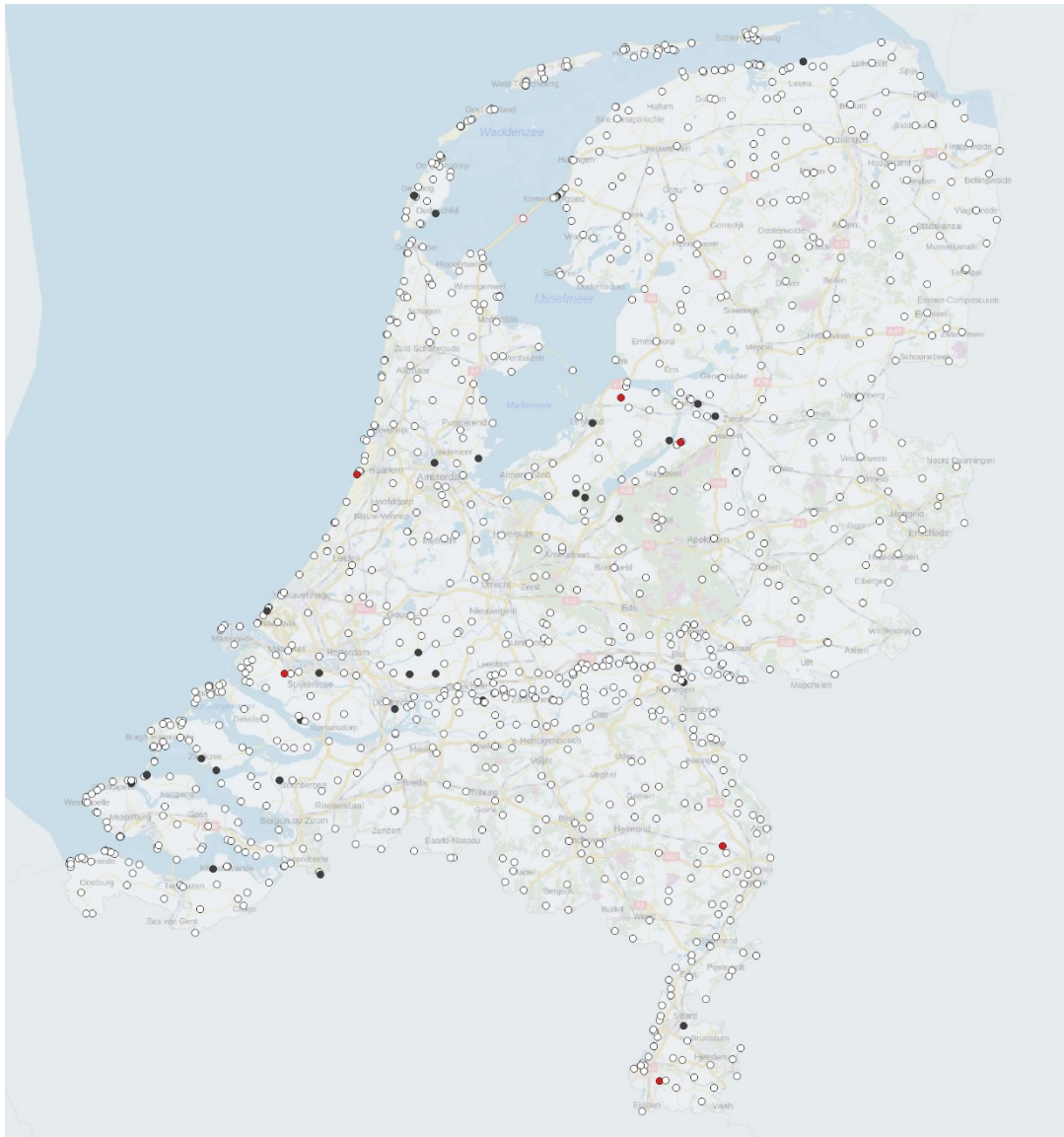
*Figuur 34: BM2019 vergeleken met controlevelden
(Rood= puntenwolk ligt meer dan 7 cm onder veld.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 7 cm boven controleveld)*



*Figuur 35: BM2020 vergeleken met controlevelden
(Rood= puntenwolk ligt meer dan 7 cm onder veld.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 7 cm boven controleveld)*



*Figuur 36: BM2022 vergeleken met controlevelden
(Rood= puntenwolk ligt meer dan 7 cm onder veld.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 7 cm boven controleveld)*



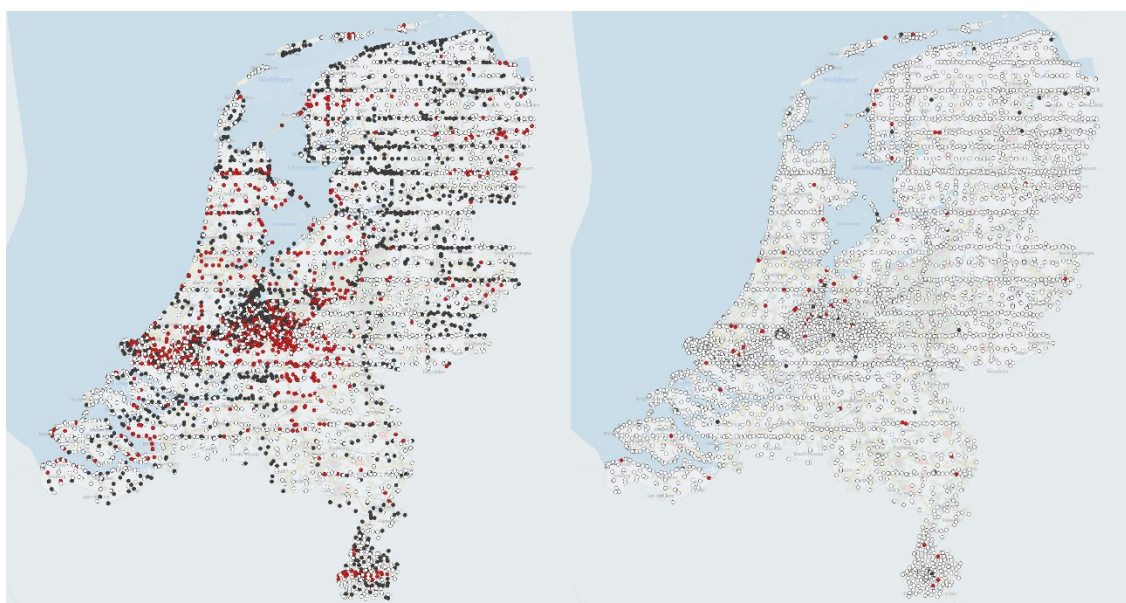
*Figuur 37: AHN4 vergeleken met controlevelden
(Rood= puntenwolk ligt meer dan 7 cm onder veld.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 7 cm boven controleveld)*

Uit bovenstaande figuren blijkt duidelijk dat de puntenwolken die gegenereerd zijn uit het beeldmateriaal aanzienlijk minder goed passen dan het AHN4. De onderstaande tabel geeft per puntenwolk aan hoeveel procent van de controlevelden voldoen bij een drempelwaarde van 7 en 10 centimeter.

Puntenwolk	Percentage velden binnen 7 cm	Percentage velden binnen 10 cm
BM2018	40%	55%
BM2019	60%	73%
BM2020	57%	74%
BM2022	64%	76%
AHN4	96%	99%

*Tabel 38: Puntenwolken vergeleken met controlevelden
(Tabel geeft percentage controlevelden waarvoor de puntenwolk in hoogte
binnen 7 respectievelijk 10 cm van het controleveld ligt)*

Als naast de controlevelden ook de paspunten (ongeveer 25000) worden gebruikt ontstaat een vergelijkbaar beeld (Figuur 39).



*Figuur 39: BM2018 (links) en AHN4 (rechts) vergeleken met paspunten
(Rood = puntenwolk ligt meer dan 10 cm onder paspunt.
Zwart = puntenwolk ligt meer dan 10 cm boven paspunt)*

5 Conclusie

Het IHN-project heeft als doel de AHN- en BM-puntenwolken gezamenlijk in samenhang te presenteren. Omdat BM-puntenwolken jaarlijks beschikbaar zijn, is het idee dat de combinatie van het AHN met BM-puntenwolken een meer actueel en misschien nauwkeuriger beeld geeft dan de AHN-puntenwolken op zichzelf. Voorwaarde hierbij is dat de BM-puntenwolken een nauwkeurigheid hebben, zowel stochastisch als systematisch, die past bij het AHN. Het onderzoek dat Geodelta heeft uitgevoerd toont aan dat dit niet het geval is.

De afwijkingen van de BM-puntenwolken ten opzichte van het AHN lopen regelmatig op tot meer dan 10 centimeter. Dit hoeft op zichzelf geen belemmering te zijn voor het toevoegen van de BM-puntenwolken in het IHN. De grootte van de afwijkingen van de BM-puntenwolken is echter onvoorspelbaar, variërend op korte afstanden met abrupte sprongen in hoogte die niet te relateren zijn aan terreinomstandigheden.

Samengevat trekt Geodelta de volgende conclusies:

- 1) De BM-puntenwolken bevatten te veel ogenschijnlijk willekeurige en daarmee onvoorspelbare en niet te modelleren afwijkingen ten opzichte van het AHN.
- 2) De grootte van de afwijkingen van de BM-puntenwolken ten opzichte van het AHN is slechts constant over zeer kleine gebieden van enkele hectare.
- 3) De afwijkingen van de BM-puntenwolken ten opzichte van het AHN hebben een dusdanige grootte en variatie dat de BM-puntenwolken niet zinvol met de AHN puntenwolken vergeleken kan worden.
- 4) Binnen kleine gebieden zien we ook nog een additionele onvoorspelbare variatie van het Dense Matching algoritme in de vorm van op hoogtelijnen lijkende afwijkingen.

De BM-puntenwolken zijn goed geschikt voor visualisaties en gebruik in gevallen waar de actualiteit belangrijker is dan de nauwkeurigheid. De BM-puntenwolken hebben in de huidige vorm echter geen toegevoegde waarde als deze gecombineerd worden met de puntenwolken van het AHN teneinde te leiden tot betere hoogte-informatie in het IHN.

6 Aanbevelingen

Geodelta heeft op basis van het uitgevoerde onderzoek de volgende aanbevelingen:

- 1) Corrigeer de BM2019 data in noordoost Groningen zodat de dataset over geheel Nederland een vergelijkbare precisie en nauwkeurigheid heeft.
- 2) Gebruik de BM-puntenwolken in de huidige vorm alleen in de gevallen dat slechts een lage nauwkeurigheid van enkele decimeters nodig is en als daarnaast het opnamejaar van de betreffende BM-puntenwolk van belang is en beter past bij de toepassing dan de AHN datasets.
- 3) Start een onderzoek naar de achtergrond van de geconstateerde afwijkingen. Startpunt van dit onderzoek is de vraag of alle parameters die in de aerotriangulatie (AT) geschat worden input zijn in de software die voor het genereren van de puntenwolk is gebruikt. Hierbij moet in het bijzonder gelet worden op lensvertekeningsmodellen en additionele parameters. Vervolgens kan een analyse worden gedaan wat de resultaten van de puntenwolkberekening zijn voor een AT waarbij extra parameters zijn meegeschat en diezelfde AT waarbij de fotografie gecorrigeerd is voor (een deel van) de extra parameters.