

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

20-08-2024
Versie 1.0



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

1 van 46

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

**Auteurs: Daan van der Heide (RWS/TUD), Adriaan van Natijne (HwH), Ingrid Alkemade (RWS),
Daan Hulskemper (HwH)**



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

2 van 46

Inhoudsopgave

1	Introductie	3
1.1	Doel van Werkpakket.....	4
2	Achtergrondinformatie	5
2.1	Puntenwolk databeheer m.b.t. Nederland	5
2.2	Puntenwolken data fundamenten.....	7
2.2.1	Acquisitie platformen	8
2.3	Standaarden voor puntenwolken	10
2.3.1	Standaarden: bestandsformaat	10
2.3.2	Standaarden: Kwaliteitseisen voor puntenwolken	12
2.3.3	Standaarden voor object definities in puntenwolken	15
3	Inventarisatie Openbare Puntenwolken	17
3.1	Nationale gegevensbeheer.....	17
3.1.1	Het Actueel Hoogte Bestand Nederland	17
3.1.2	Dense-matching hoogtedata vanuit het beeldmateriaal programma	22
3.1.3	Puntenwolken t.b.v. van 3D geodatafundament.....	24
3.1.4	ProRail – Spoorinbeeld.....	28
3.1.5	Kust monitoring - Hoogdynamisch AHN	31
3.1.6	Hydrografische lodingen	33
3.2	Regionale gegevensbeheer	35
3.3	Lokaal gegevensbeheer	35
	Bibliografie.....	37
	Bijlage A: Definities van de AHN-classificaties	40
	Bijlage B: Behaalde specificaties binnen het AHN	43



1 Introductie

In de afgelopen decennia is de manier van het meten van hoogtedata sterk veranderd: van individuele waarnemingen via waterpassen, naar het grootschalig inwinnen vanuit schepen, auto's en/of vliegtuigen. In plaats van enkele hoogtemetingen per vierkante kilometer zijn er daardoor collecties van hoogtemetingen beschikbaar met een hoge dichtheid. Zodoende komen er collecties van metingen beschikbaar, die het landschap beschrijven die worden ingezet voor verschillende maatschappelijke opgaven.

De eigenschappen van puntenwolken kunnen verschillen door het gebruik van verschillende sensoren, voertuigen en meetafstanden. Fundamenteel wordt een puntenwolk beschouwd als een verzameling punten in een cartesische (X, Y, Z) ruimte. Binnen één methode kunnen keuzes in de manier van meten en verwerken leiden tot variaties in de eindproducten. Zo varieert de dichtheid van de puntenwolken, de nauwkeurigheid van de gemeten punten in zowel planimetrische en hoogte-informatie, maar ook zijn er in sommige puntenwolken bijvoorbeeld kleurwaarden of classificaties van de punten beschikbaar.

In Nederland heeft het inwinnen van puntenwolken met behulp van vliegtuigen sinds 1997 een vaste waarde gekregen voor het land dekkend samenstellen van geodata. Door middel van laseraltimetrie werd het eerste Actuele Hoogtebestand van Nederland (AHN) gepubliceerd. Daarnaast is er voor lokale geo-informatie een trend zichtbaar in de inzet van puntenwolken voor het karteren. Dit is voornamelijk gericht op het adresseren van grote vraagstukken op verschillende thema's, zoals klimaatadaptatie en woningbouw (Geonovum, 2023).

Ter ondersteuning van deze maatschappelijke thema's in Nederland, vergaren verschillende commerciële en overheidsorganisaties puntenwolken. Naast de AHN-datasets publiceert het Kadaster sinds 2024 puntenwolken uit jaarlijks land dekkend ingewonnen stereofoto's van de Beeldmateriaal (BM) projecten. ProRail heeft, voor heel Nederland, maar niet land dekkend, een puntenwolk van het gebied op en rond het spoor laten maken, gebruikmakend van terrestrische laserscans en laseraltimetrie vanuit helikopters. Daarnaast laten diverse gemeenten en provincies in eigen beheer puntenwolken van hun grondgebied maken. Dit heeft geleid tot een grote hoeveelheid data, ingewonnen met verschillende methodes en sensoren. Nergens zijn deze gegevens volledig beschikbaar, noch zijn de relatieve kwaliteiten en eigenschappen van de data centraal gepresenteerd.

Uit een recent onderzoek naar het gebruik van 3D data en beeldmateriaal, uitgevoerd in samenwerking tussen Geonovum en de gemeente Arnhem, is onder andere gebleken dat er verschillende gebruikersniveaus zijn als het gaat om hoogtedata uit puntenwolken (Klein, et al., 2023). Dit aspect kwam niet duidelijk naar voren tijdens deze inventarisatie, aangezien hier geen specifieke vragen over waren opgenomen in de enquête. Het lijkt er echter op dat bepaalde gebruikers voldoende hebben aan een hoogtekaart, terwijl anderen meer baat hebben bij toegang tot de onderliggende puntenwolken. Geconcludeerd werd dat het van belang is om te onderzoeken of de actualiteit van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) voldoet aan de behoeften van de gebruikers, of dat een verhoogde beschikbaarheid van gegevens nodig is. Verder lijkt er een groeiende vraag te zijn naar gedetailleerdere gegevenswinning op basis van



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

4 van 46

puntenwolken. Dit impliceert dat een verhoogde dataverzamelingsfrequentie nodig is in vergelijking met wat de huidige landelijke datasets kunnen bieden.

Uit het onderzoeksvoorstel van (Balsterand, et al., 2021) komt het concept van een homogene dataset naar voren die bestaat uit verschillende heterogene puntenwolken. Hiervoor is een voorziening nodig, die zich richt op het verhogen van de algehele kwaliteit, bruikbaarheid en data-uitwisseling tussen de gebruikers en resulterende datasets. Deze voorziening sluit aan bij de doelstelling voor het 'eenmalig inwinnen, meervoudig gebruik', maar ook de recent verschenen memo binnen Rijkswaterstaat van het 3D-geodatafundament voor het tegengaan van decentralisatie van interne geo-datasets. Daarnaast zijn er verschillende onderzoek voorbeelden die deze integratie op kleine schaal hebben onderzocht, waaronder (Organizing and visualizing point clouds with continuous levels of detail, 2022), (Commandeur, et al., 2017), (VNG, 2023) (Al-Rawabdeh, et al., 2020), (Stilla, et al., 2023). Echter, een toepasbaarheidsonderzoek naar een integrale voorzieningsoplossing, die de conclusies vanuit (Klein, et al., 2023) en (Haan, 2020) kan beantwoorden, is nog niet voorgesteld.

1.1 Doel van Werkpakket

Ten behoeve van het concept van een homogene puntenwolk dataset wordt er vanuit de samenwerking van het Waterschapshuis, Kadaster, Rijkswaterstaat en de TU Delft onderzoek gedaan naar een '**Integrale Hoogtevoorziening Nederland**' (IHN) (Liempt, et al., 2020), (Balsterand, et al., 2021)). Hierbij worden conclusies uit de rapporten van (Klein, et al., 2023) en (Haan, 2020) van een centrale voorziening op het gebied van puntenwolk datasets onderzocht in zes werkpakketten: (1) inventarisatie, (2) co-registratie, (3) classificatie, (4) ontsluiting, (5) maaiveldmodel en (6) beheer. Dit rapport richt zich op de inventarisatie van beschikbare (openbare) puntenwolk datasets.

In dit rapport worden de conclusies van werkpakket 1 besproken, met als doel een overzicht te geven van de beschikbaarheid, kwaliteitsnormen en theoretische kaders die gebruikt worden voor de omschrijving van de verschillende puntenwolk datasets. Hierbij dient dit onderzoeksrapport als een inventarisatie van de omvang van de data en de complexiteit voor het samenbrengen van de datasets.



2 Achtergrondinformatie

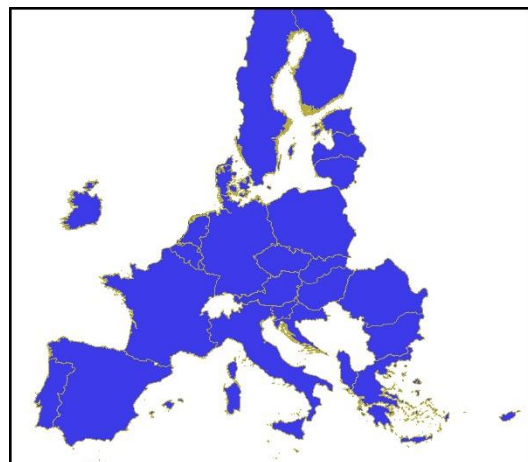
In paragraaf 2.1 is een beschrijving gegeven hoe de verschillende databeheerslagen zijn ingedeeld in Nederland m.b.t. puntenwolk datasets. Een uiteenzetting van de verschillende inwinmethodes en -platformen die van belang zijn voor de puntenwolken binnen dit rapport zijn omschreven in paragraaf 2.2. Waarna de verschillende standaarden die worden gespecificeerd voor de puntenwolken, zijn uitgeschreven in paragraaf 2.3.

2.1 Puntenwolk databeheer m.b.t. Nederland

Om een uiteenzetting te maken hoe de verschillende puntenwolk datasets zich tot elkaar verhouden, is er binnen de inventarisatie een scheiding gemaakt tussen verschillende lagen van data-inwinning die wordt uitgevoerd in Nederland. Hiervoor kan er scheiding gemaakt worden tussen vier niveaus van (semi) overheden met een inwin- en beleidsprogramma m.b.t. puntenwolk. De grote van de data kan erg verschillen tussen de databeheer lagen, waarbij er een inwinning kan plaats vinden van het gehele areaal of ad-hoc voor het in kaart brengen van verzakkingen of geringe veranderingen. Hierbij worden niet de data-inwinning voor onderzoeksdoeleinden meegenomen.

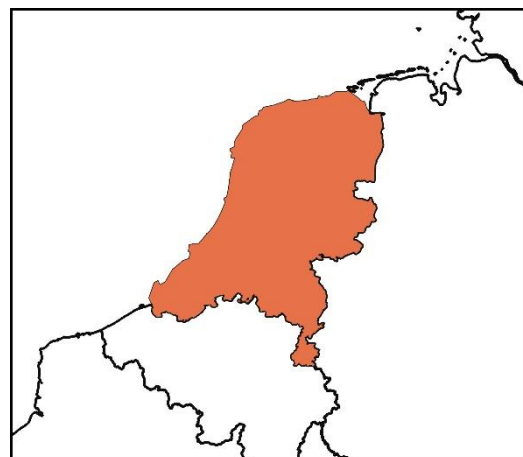
- **Federale laag**

De federale beheerslaag voor Nederlandse puntenwolken is met name een beleidsvormende laag, waarbij de Europese Unie (EU) een rol speelt voor de uniforme data-ontsluiting en documentatie. Een beleidsdocument voor hoogte data is de INSPIRE-richtlijn (EU, 2020). Deze richtlijn heeft invloed op de onderliggende dataverzamelingslagen, die betrekking heeft op de metadata voor een uniforme ontsluiting van o.a. puntenwolken en producten die daaruit gemaakt worden.



- **Nationale laag**

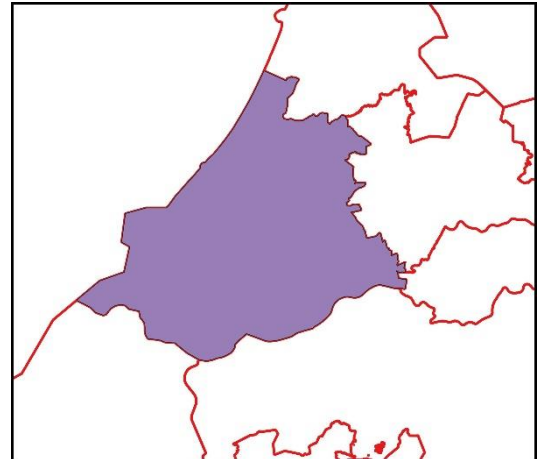
De nationale beheerslaag kan gezien worden als zowel een beleidsvormend als verzamelende laag van puntenwolken, vertegenwoordigd door centrale overheidsinstellingen zoals Geonovum Het Waterschapshuis, en/of Rijkswaterstaat. Hierbij wordt een landsdekkend beleidsgebied gehanteerd, die provincie- en gemeentegrens overstijgend zijn. De specificaties die binnen deze laag uitgeven, worden vaak overgenomen door kleinere beheerslagen als een blauwdruk voor het gebruik van hun puntenwolken.





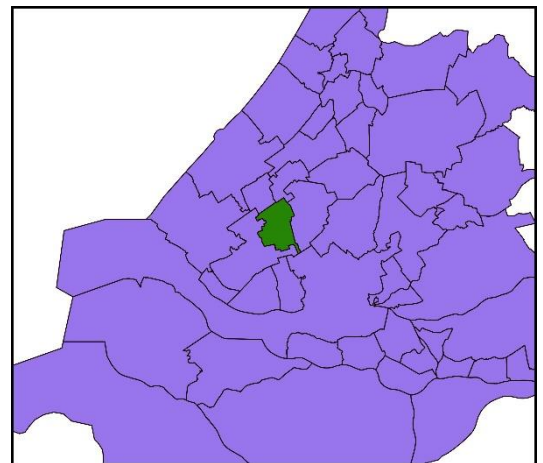
- **Provinciale laag**

De regionale beheerslaag is een data verzamelende laag die een beleidsgebied heeft gefocust op de provincies (Klein, et al., 2023). Binnen Nederland worden deze datasets verzameld/gebruikt op verschillende thema's, waaronder mobiliteit, natuurontwikkeling, adaptatie, klimaat en energie. Door het uiteenlopende doel binnen deze thema's worden verschillende puntenwolken verzameld met wisselende specificaties. De provinciale laag binnen Nederland sluit op het gebied van puntenwolken aan op de open-data die beschikbaar wordt gesteld door de nationale laag.



- **Lokale laag**

De lokale beheerslaag wordt binnen het rapport beschouwd als een data verzamelende laag, met een beleidsgebied die zich beperkt tot de gemeentegrenzen. Hierdoor kunnen de puntenwolken van kleinere omvang zijn en vooral gericht op stads- of gemeenteproblematiek. De specificaties, vaak afgeleid van de nationale standaarden, worden alleen, in samenwerking met andere gemeentes opgesteld of worden niet meegegeven aan de inwinnende partij. Hier is het van belang te benadrukken dat binnen veel steden het 'grote-kleine broer' principe leeft. Dit betekent dat kleinere gemeentes/dorpen samenwerken met een stad om de verzameling van 3D-informatie op elkaar af te stemmen. Daaronder vallen ook specifieke bouwprojecten zoals de renovatieprojecten of bepalen van grondverzet.





Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

7 van 46

2.2 Puntenwolken data fundamenten

Een puntenwolk, zoals die binnen dit rapport wordt beschouwd, kan worden ingewonnen door middel van 3 meetprincipes: Laseraltimetrie, akoestische altimetrie en fotogrammetrie (e.g. dense matching). Hierbij worden de traditionele methodes van puntenwolk inwinning (waterpassen, theodoliet en GNSS punt inwinning) buiten beschouwing gelaten.

Bij **Laseraltimetrie** berust het principe op de reistijd van een laserpuls. Laserpulsen worden onder een bepaalde richting vanuit het meetinstrument verstuurd, weerkaatsen op een oppervlak en worden vervolgens weer ontvangen door het instrument. De tijd tussen het zenden en ontvangen, samen met de richting van het uitzenden en de snelheid van het licht, worden gebruikt om de positie van het reflecterende oppervlak te bepalen ten opzichte van de scanner. Met behulp van de positie en oriëntatie van het voertuig (en eventuele referentiedoelen op de grond) kan de positie van het reflecterende oppervlak in een referentiesysteem worden bepaald.

Akoestische altimetrie is het meetprincipe, vaak toegepast voor waterbodemmetingen, dat gebaseerd is op het uitzenden van geluidspulsen (de Jong, et al., 2002). De zendrichting, snelheid van het geluid in de verschillende lagen van de waterkolom ($\pm 1500\text{m/s}$) en de tijd tussen zenden/ontvangen, kan de afstand tot de waterbodem worden bepaald. Het is hierbij van belang voor het bepalen van de waterdiepte om de positie/rotaties van het meetsysteem te bepalen, net als het zoutgehalte, watertemperatuur, waterdruk en de hoek van zenden/ontvangen. Hierdoor kan de resulterende puntenwolk worden getransformeerd tot een waterdieptekaart gerelateerd aan een referentievlak zoals LAT en NAP.

Fotogrammetrie berust op het principe van stereofotografie. Wanneer loodrechte foto's vanuit een vliegend platform van hetzelfde oppervlak vanuit twee of meerdere hoeken worden genomen, met gedeelde herkenningpunten, kan met behulp van informatie over de positie en kijkhoek van de camera de hoogte van deze herkenningpunten worden geschat. Hierdoor kan een puntenwolk in 2.5D worden gereconstrueerd. Door herkenning van meerdere punten in verschillende foto's kan de positie van de camera ten tijde van de fotografie nog nauwkeuriger worden verfijnd, wat resulteert in een hogere kwaliteit van de gereconstrueerde puntenwolk (Marianne Deuber, 2024). Deze herkenningpunten kunnen op verschillende manieren in beide foto's worden herkend, zowel handmatig als automatisch (met bijvoorbeeld de hulp van deep/machine learning, beeldcorrelatietechnieken en andere berekeningsmethoden).

De foutenbronnen die invloed hebben op de kwaliteit van de puntenwolk, zijn overeenkomstig met de vorige meetprincipes. Zo kunnen mogelijke foutenbronnen uit de GNSS-positionering en de beweging van het voertuig ontbreken door vertaald naar verstoringen in de positionering van de herkenningpunten. Hiervoor wordt er blokvereffeningstechnieken toegepast om de mogelijk fouten die hierdoor ontstaan op te elimineren.



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

8 van 46

Net als bij laser en akoestische inwinning zorgen verschillen in materialen aan het oppervlak voor variaties in de kwaliteit van de puntenwolken. Een foutenbron die specifiek is voor Dense Matching zijn de regio met weinig textuur aan het oppervlak. Hierdoor kunnen herkenningpunten bijvoorbeeld lastiger (automatisch) worden geïdentificeerd, wat leidt tot minder nauwkeurigheid in de reconstructie.

2.2.1 Acquisitie platformen

Bij alle drie de methoden van data-inwinning speelt het platform een grote rol in de kwaliteit, doel en omvang van de puntenwolk. Binnen elke variant kan een semantische scheiding worden toegepast, waarbij de scheiding van de lagen wordt bepaald door (1) statische en (2) mobiele inwinning. Hierbij is de derde laag, "spaceborne" buiten beschouwing gelaten, aangezien er momenteel geen puntenwolken wordt geproduceerd van Nederland vanuit satellieten.

Statische acquisitie platformen

Een hogere nauwkeurigheid kan worden bereikt door te scannen vanuit een statische positie. Hierdoor hoeft het instrument niet gecorrigeerd te worden voor de beweging in de vrije ruimte en kan het gebruik maken (net als andere type meetopstellingen) van vaste referentiepunten die vooraf zijn ingemeten. Daarnaast kan er ook de keuze worden gemaakt om te werken in een lokaal stelsel, waardoor er geen transformatie binnen het meetgebied gemaakt hoeft te worden.

Mobiele acquisitie platformen

Bij mobiele inwinning worden de data ingewonnen vanaf een bewegend platform. Hierbij spelen factoren als de oriëntatie, snelheid, beweging van het platform en de afstand die de scanner aflegt tot het te scannen object een rol m.b.t. tot de nauwkeurigheid en dekking van de puntenwolk. Binnen de mobiele inwinning worden de volgende platformen onderscheiden:

Rijdende mobiele acquisitie platformen, bijvoorbeeld (personen) auto of trein, is een veelgebruikt voor de inwinning van puntenwolken m.b.t. de (droge) infrastructuur en de gerelateerde objecten. Hierbij is het voertuig uitgerust met een Laseraltimetrie-scanner, die de omgeving van het voertuig scant. Naast de scanner, wordt er ook regelmatig gebruik gemaakt van een RGB-camera waardoor de ingewonnen puntenwolk van kleur voorzien kan worden en/of voor de 2D reconstructie van de omgeving. Met deze inwinningstechniek kunnen punt dichtheden van meer dan 2500 punten/m² worden bereikt, afhankelijk van de rijnsnelheid en scanner. Ook hier kan er gebruik gemaakt worden van vaste (vooraf ingemeten) referentiepunten, om de kwaliteit van de puntenwolk te verhogen.

Binnen deze methodiek zijn er verschillende foutenbronnen die een negatieve invloed kunnen hebben op de resulterende data. Een daarvan is occlusie die kan optreden door rijdend verkeer naast het meetvoertuig. Om het gebied voldoende te kunnen inwinnen, wordt er daarom op meerdere rijstroken gereden (indien aanwezig). Vervolgens wordt de data van de verschillende rijstroken geïntegreerd, wat een temporele fout introduceert doordat de data niet op hetzelfde tijdstip is ingewonnen. Dit laat zien dat bij het inwinnen van hoogwaardige data referentiepunten nodig zijn om de data samen te brengen, net als bij de statische inwinning. Daarnaast worden de resulteren puntenwolken beïnvloed door de wijze van de parameters



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

9 van 46

binnen de Kalmann-filtering. Een kleine aanpassing hierin kan al resulteren in positioneringsfouten binnen 1 meeting of tussen verschillende metingen met overlappende gebieden.

Varende mobile acquisitie platformen wordt ingezet voor de inwinning van puntenwolken van de hoogte onder de waterlijn wordt er inwinning door middel van akoestische technieken gebruikt. Een multi- of single- beam echosounder is geplaatst onder het schip zodat de scanner op het laagste punt is geplaatst, zodat de ruis ten gevolge van cavitatie dicht bij de romp van platform (e.g. schip) of de vanuit de schroef worden voorkomen. Een motion sensor is geplaatst bij het zwaartepunt (e.g. het middelpunt van een schip), zodat de relatieve bewegingen van het schip kunnen worden gemonitord (de Jong, et al., 2002). Door het platform uit te rusten met een GNSS-ontvanger (met RTK of DGPS-mogelijkheden), kan de diepte bepaald worden aan de hand van een globaal/lokaal referentie stelsel. Hierdoor worden de dieptes in NL ingewonnen ten opzichte van het RD-NAP frame. Zodoende wordt de waterdiepte niet beïnvloed door de huidige waterstand (e.g. bij een lage waterstand zal de GNSS-ontvanger lager liggen en vice versa).

De foutenbronnen die ontstaan door een varende inwinplatform, zijn te herleiden naar de relatie tussen de bewegingssensor (IMU/INS) en de GNSS-ontvanger. De juistheid van de leverarm tussen het meet- en het positioneringsinstrument staat daarmee tot relatie met de onnauwkeurigheid in de hoogte/diepte waarden. Ook de wijze waarop de kalmann filtering is toegepast speelt een rol, bij het bepalen van de leverarm. Deze relatie vertaalt zich naar foutieve berekening van de pitch, yaw en roll bewegingen van het platform. Daardoor wordt de hoek en de locatie van zenden en ontvangen van de geluidspuls ten onrechte bepaald.

Een andere foutenbron is te herleiden naar de nauwkeurigheid in de bepaling van het geluidspatroon. De variaties in de factoren (zoutgehalte, watertemperatuur en waterdruk) die natuurlijk optreden in de waterkolom, veroorzaken een afwijking ten opzichte van de werkelijke geluidssnelheid, kan de herleide afstand een fout bevat als deze onjuist bepaald is. Dit is met name zichtbaar aan de randen van het meetgebied, hierbij kan:

- Een te hoge snelheid zorgt voor een opkrullend effect (een lachende smiley).
- Een te lage snelheid zorgt voor een afbuigend effect (een verdrietige smiley).

Vliegende mobile acquisitie platformen wordt veelal toegepast wanneer grootschalig puntenwolken moeten worden gemeten. Hiervoor kunnen verschillende varianten worden toegepast, zoals drones, vliegtuigen en helikopters. Deze verschillende type "vliegende platformen" worden uitgerust met apparatuur voor zowel Laseraltimetrie (direct) als fotogrammetrisch (indirect), gebruikt voor inwinning van puntenwolken. Een verschil met de andere platformen is dat de puntenwolk vanuit dit type inwinning een groter gebied bestrijkt. Om de vereiste nauwkeurigheidsniveaus te bereiken die gesteld worden vanuit de besteisen (e.g. (Het Waterschapshuis, 2020)), worden terrestrisch ingemeten referentiepunten op de grond geplaatst die in de puntenwolken vanuit de vliegtuigen kan worden waargenomen (net als statisch en mobiel).



Experimenteel wordt dit platform ook ingezet voor hydrografische inwinning met behulp van laseraltimetrie. Op dit moment is deze methode alleen toepasbaar in ondiepe watergebieden en bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase. Toch biedt het de mogelijkheid om grote gebieden in te meten waar een vaartuig moeilijk kan komen, zonder de noodzaak van een schip. Het principe berust op het feit dat groene laserbundels (532 nm) de waterkolom kunnen doordringen tot 30 meter. Met behulp van hetzelfde principe als de laser altimetrie boven water kan de waterbodem van deze gebieden in kaart worden gebracht. Hierbij kunnen foutenbronnen worden overwonnen die gerelateerd zijn aan refractie tussen de verschillende waterlagen en de absorptie van licht in water tot 30 meter.

Binnen de inwinning en het verwerken van Laseraltimetrie en fotogrammetrische data kunnen enkele foutenbronnen voorkomen. De variatie in GNSS-positionering en de pitch, roll en yaw van een vliegtuig kunnen verstoringen veroorzaken in de positionering van de punten wanneer hier niet voldoende voor wordt gecorrigeerd. Ook kunnen atmosferische en oppervlakte omstandigheden invloed hebben op de weerkaatsing van de laserpulsen, wat zorgt voor onnauwkeurigheden in de metingen door variaties in de intensiteit van de terugkerende puls.

2.3 Standaarden voor puntenwolken

Vanuit de verschillende inwintechnieken en -platformen worden er verschillende standaarden, bestekken en eisen gesteld aan een puntenwolk, vanuit het perspectief van de verschillende gegevensbeheerlagen (zie paragraaf 2.1) om het doel van de data te garanderen. Het bepalen van de kwaliteit van de ingewonnen puntenwolk berust op verschillende componenten die, ongeacht het platform of de meetmethodiek, worden gehanteerd in specificaties. Zo geeft dit subhoofdstuk een overzicht van generieke standaarden die worden gebruikt voor het: (1) bestandsformaat, (2) kwaliteit en (3) objectregistraties.

2.3.1 Standaarden: bestandsformaat

Puntenwolken kunnen in verschillende bestandsformaten worden opgeslagen. Vanuit een enquête voor de Basis ILS Puntenwolken van de DigiGO, zijn de volgende formaten uitgevraagd die worden gebruikt als veel voorkomend bestandsformaat: E57, RCP/ RCS (recap), LGS / LGSX, pts, ASCII format: txt / xyz en Las/ Laz. Het laatste LAS-formaat is een van de gangbaarste bestandsformaten, waarbij het bijbehorende gecomprimeerde LAZ-formaat de puntenwolk comprimeert (met een factor 5 tot 10).

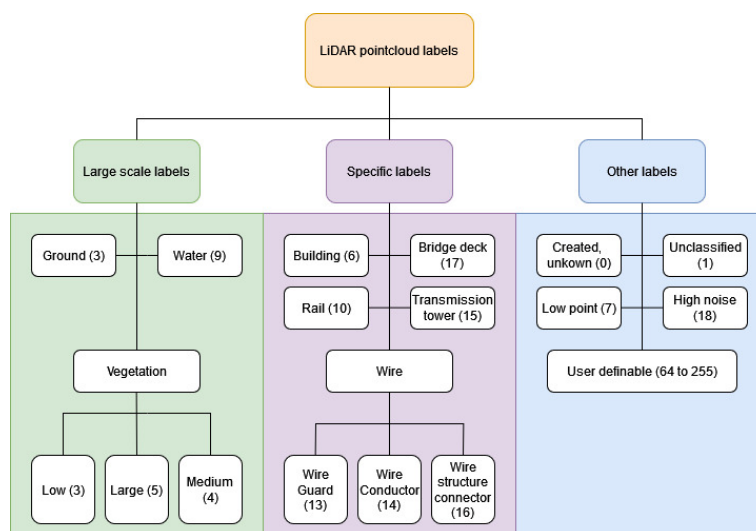
De American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) heeft de volgende eigenschappen gedefinieerd die aanwezig kunnen zijn voor LAS-bestandsopbouw van een puntenwolk. In totaal zijn er 10 verschillende eigenschappen aanwezig, waarvan de meest voorkomende eigenschappen zijn opgenomen in Tabel 1 (met hun respectievelijke beschrijvingen).



Tabel 1 Waardes algemeen beschikbaar in de *.las bestandsformaten (Open Geospatial-Consortium, 2018)

Item	Beschrijving
X, Y, Z	De locatie van een punt in een geo-referentiesysteem.
Intensity	Intensiteit van de terugkerende puls.
Number of returns	Het aantal terugkeer acties van een gegeven uitvoer puls.
Scan direction flag	Richting van de scanner spiegel tijdens het uitvoeren van de puls (e.g. links of rechts van het inwinningplatform).
Edge of flight line	Geeft aan of het laatste punt in de lijn (1) is of niet (0).
Classification	Klasse indeling volgens de klassendefinitie schema.
Scan Angle Rank	De hoek waaruit de laser puls is verzonden (met inbegrepen de roll van het platform).
Point source ID	De meet-ID waaruit het punt afkomstig is (bijv. vlieglijn).
GPS Time	Tijdstip waarop het punt is gemeten.
R, G, B	In het geval van een gekleurde puntenwolk of DM, de respectieve rode (R), groene (G) en blauwe (B) kleuren.

Binnen dit bestandsformaat bestaat er de mogelijkheid om objectclassificaties als metadata op te nemen. Hierbij hanteren de ASPRS en de OGC de volgende de code aanduiding van de verschillende klassen, weergegeven in Figuur 1, inclusief de objectcode en de bijbehorende naam (Open Geospatial-Consortium, 2018).



Figuur 1 Label aanduiding vanuit de ASPRS voor puntenwolk data in format 6 tot 10



2.3.2 Standaarden: Kwaliteitseisen voor puntenwolken

Aanvullend op de standaarden over het bestandsformaat, worden er ook standaarden gedefinieerd om de kwaliteit van de puntenwolk te omschrijven. Gebaseerd op onder andere (Kjørsvik, 2022) en (Winiwarter, et al., 2021) onderscheidt dit rapport primaire en secundaire eisen die worden meegenomen voor zowel de kwaliteit als de metadata die een puntenwolk omschrijft. Deze sub-sectie geeft een uiteenzetting van beide kwaliteitscomponenten op het gebied van standaardisatie.

Primaire eisen voor de kwaliteitsomschrijving van puntenwolken

De Primaire richtlijnen voor de kwaliteitsomschrijving van puntenwolken hebben een zodanige invloed op de kwaliteit van een puntenwolk dat de toepasbaarheid en doel van de puntenwolk hierdoor wordt beïnvloed. De volgende vier componenten worden hiervoor onderscheiden, die vallen onder de primaire eisen:

1. *Puntenwolk data consistentie*

De data consistentie omschrijft binnen een puntenwolk, de verdeling van de punten. Dit wordt uitgedrukt (1) in de afstand tussen de punten of (2) de hoeveelheid punten die zich binnen een vooraf gesproken vlak/kubus bevinden (Staney, 2021). De term voor de omschrijving van de consistentie wordt binnen de bestekteksten en product specificaties wordt gehanteerd, hiervoor is punt dichtheid of "point density" in vierkante meters.

De data consistentie heeft zowel globaal als lokaal component (Kjørsvik, 2022). De lokale component doelt op de variatie in dichtheid van een object of 1 meetopstelling. Terwijl het globale component kijkt naar de variaties in dichtheid van alle meetopstelling als één geheel. Variaties in de consistentie treden op wanneer de afstand tussen de scanner en object toeneemt. Doorgaans worden er lagere punt dichtheden vastgesteld op grotere meetafstanden, wat resulteert in tussenruimtes aan de randen van het ingewonnen gebied. Dit leidt tot onzekerheid in de punt dichtheid, die de globale consistentie ten onrechte aanpast en daardoor bijvoorbeeld object herkenning negatief beïnvloedt.

Bovendien spelen deze variaties in consistentie een kritieke rol wanneer de puntenwolk wordt vergeleken met aangrenzende regio's, zoals opgemerkt door (Lague, et al., 2013). Waardoor er bij het aansluiten van verschillende puntenwolken een integratie fout wordt geïntroduceerd. Daarnaast speelt het type object ook een rol in de punt dichtheid op de lokale consistentie. Aangezien de bemonstering van de puntenwolk willekeurig verdeeld is, kan de terugkeer op een relatief ruw oppervlak leiden tot verschillende consistentie binnen een puntenwolk.



2. Absolute nauwkeurigheid

De kwaliteitsrichtlijn "absolute nauwkeurigheid" omschrijft de toegestane afwijking vergeleken met de werkelijke situatie (vaak meters of millimeters) bijvoorbeeld t.o.v. NAP of een referentie model. Bestaande uit zowel een positie- als systeemfout en wordt sterk beïnvloed door het type inwinning platform en het type scanner, maar ook door de verschillende foutenbronnen benoemd in paragraaf 2.2.1. De combinatie van de fouten omschrijft de absolute nauwkeurigheid van een puntenwolk t.o.v. de werkelijkheid/ de werkelijke situatie.

De absolute nauwkeurigheid wordt beschouwd over de hele puntenwolk, maar kan ook per objecttypes afwijken. Typische waarden die als maximum absolute nauwkeurigheid worden omschreven, liggen in het bereik van 0.05m en 0.15 m. Vanuit o.a. de INSPIRE Directieve (EU, 2020) wordt een absolute meetfout in een geodata set beschreven als

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_{mi} - x_r)^2 + (y_{mi} - y_r)^2]} \quad (2.1)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (z_{mi} - \bar{z})^2} \quad (2.2)$$

Waar σ de lineaire root mean square error van de planimetrie (RMSEP) is in de x- en y-positie voor formule 2.1 en voor de z in formule 2.2.

3. Relatieve nauwkeurigheid

De relatieve nauwkeurigheid tussen de verschillende punten, is de 3de richtlijn die primair voorkomt binnen bestekken en product specificaties. Deze component kan op verschillende manieren geïnterpreteerd worden. Zo kan deze component worden geïnterpreteerd als de afstand binnen een puntenwolk tussen twee bekende referentiepunten (ProRail, 2017). Terwijl de (Digi Go, 2023) en (Tiberius, et al., 2021), de relatieve nauwkeurigheid beschouwt als de sommatie van de precisie plus de systematisch fout. Daarnaast wordt de relatieve nauwkeurigheid in de recente specificaties van Rijkswaterstaat geïnterpreteerd als een aansluitende waarde tussen twee overlappende scans waarbij de afstand tussen de verschillende datasets uit 2 meetopstellingen de relatieve nauwkeurigheid bepaalt (Rijkswaterstaat/CIV, 2023).

De interpretatie van Rijkswaterstaat m.b.t. de relatieve nauwkeurigheid in puntenwolken, is uitgebeeld Figuur 2, waarbij twee conceptuele puntenwolken zijn uitgebeeld in het overlappende gebied. Wanneer de relatieve nauwkeurigheid nul is, liggen beide wolken op elkaar (rechter sub-figuur). De linker sub figuur uit Figuur 2 laat zien dat de relatieve nauwkeurigheid groter dan nul is, doordat er een verschuiving aanwezig is tussen beide kleuren.



Datum

20-08-2024

Titel

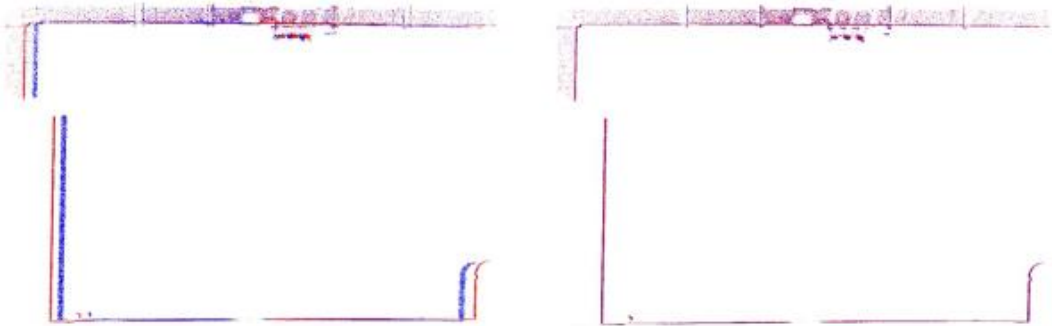
WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

14 van 46



Figuur 2 Voorbeelden ter illustratie van de relatieve nauwkeurigheid, bij een dwarsdoorsnede, waarbij de rode en blauwe afbeeldingen datasets zijn vanuit 2 verschillende meetopstellingen. (Donkers, 2024)

Alle drie de beschouwingen schetst een beeld dat de interpretatie van de relatieve nauwkeurigheid kan afwijken per bestek tekst en/of doel van de ingewonnen puntenwolk.

Secondaire eisen aan de kwaliteit

Naast de primaire componenten zijn er ook secundaire eisen aangewezen, die invloed hebben op de kwaliteit van de dataset. Deze eisen worden beschouwd als secundair, aangezien ze niet regulier voorkomen of optioneel zijn binnen de puntenwolken specificaties. In de onderstaande tabel worden deze componenten weergegeven (zie Tabel 2).



Tabel 2 Secondaire componenten met de betreffende beschrijvingen

Secondaire componenten	Beschrijving
Kalibratie	De methode van kalibratie voor het inwin platform
Omgevingsimpact	Effecten die aanwezig zijn tijdens de meting bijv. water, sneeuw en vegetatie
Coördinatensysteem	Voorschrift voor het gewenste coördinaat systeem en de daarbij horende translatie parameters
Willekeurige fouten/ Ruiswaarden	De hoeveelheid outliers aanwezig mogen zijn in de data
Gaten	De aanwezigheid van toegestane "no-data" gebieden in de data
RGB-kleuring	Voorschrift voor de wijze van RGB-inkleuring
Classificaties (labels)	De wijze classificatie en methodieken, met daarbij het gebruik van definitie raamwerken
Verwijderen van data	De methode voor het verwijderen van data buiten het inwin gebied.

Dit rapport gaat met name in op de primaire parameters die in de specificaties geëist worden, met uitzondering van enkele waar interessante voorwaarden zijn voorgeschreven aan de secundaire componenten.

2.3.3 Standaarden voor object definities in puntenwolken

Uniforme objectaanduidingen zijn een belangrijk onderdeel voor de standaarden m.b.t. puntenwolken. De verschillende gegevensbeheerders voor puntenwolken in Nederland hanteren variaties van definities, die de classificatie en aanduiding van een object binnen een puntenwolk beïnvloeden. Dit subhoofdstuk geeft een uiteenzetting van de verschillende definitieschema's die gebruikt worden in Nederland voor de objectregistraties.

De federale INSPIRE Directive is onder andere gebaseerd op het volgende principe: 'It should be possible to combine seamless spatial information from different sources across Europe and share it with many users and applications.' Volgens de INSPIRE Data Specificaties op het gebied van hoogte modellen (EU, 2020) worden er verder juist geen voorschriften opgesteld met betrekking tot welke labels binnen de metadata voorgeschreven worden. Wel zijn er voor verschillende objecten rapporten opgesteld binnen de directive, die in 33 verschillende rapporten gepubliceerd zijn, waaronder bijvoorbeeld de gebouwen, Hydrografie, bodemdekking en landbouw.

Vanuit het nationale gegevensbeheer zijn er verschillende definitie schema's beschikbaar, die onder andere zijn opgesteld voor het bijhouden van basisregistratiesystemen. In de onderstaande Tabel 3 zijn verschillende basisregistratie systemen weergegeven die de



definitieschema's bevatten die binnen Nederland gebruikt worden. De tabel geeft daarnaast ook de verantwoordelijke voor het beheren van het schema en de hoeveelheid objecten die gedefinieerd worden. Let op dat er binnen de Elektronische Nautische Kaart de "hoeveelheid" definities opzettelijk is leeggelaten. Dit komt doordat de IHO-basisregistraties voorschrijft voor zowel boven als onder water, met zowel functionele als reële objecten die voor de puntenwolken voor dit rapport afwisselende definities heeft. In totaal zijn de hydrografische gerelateerde objecten voor dit onderzoek omschreven in 8 hoofdstukken (NOAA, 2019).

Tabel 3 Voorbeelden van basisregistratie systemen die in Nederland gebruikt worden, met de respectievelijke verantwoordelijke organisatie en de hoeveelheid gedefinieerde definities.

Basisregistratie systeem	Verantwoordelijke	Hoeveelheid Definities
AHN (zie bijlage A)	Het Waterschapshuis	6
Digitaal Topografisch Bestand	Rijkswaterstaat	341
Basisregistratie Grootchalige Topografie	Bronhouders ¹	37
Basisregistratie Topografie	Kadaster	10
Elektronische Nautische Kaart	IHO/Dienst der Hydrografie	#
NEN3610	Nederlandse Normalisatie instituut	14
Samenhangende Object Registratie (conceptueel)	Geonovum	79

¹ De bronhouders zijn de verzameling van centrale, regionale en lokale (semi) overheden die verantwoordelijk zijn voor het respectievelijke deel van hun gebied.



3 Inventarisatie Openbare Puntenwolken

Het doel van dit rapport is om een overzicht te geven van de verschillende puntenwolkdatasets. Hierbij worden de datasets vergeleken aan de hand van de verschillende standaarden die worden voorgeschreven voor puntenwolkdatasets. Om een onderscheid te maken tussen de datasets die (open) beschikbaar worden gesteld, is er gekozen om het gegevensbeheer niveaus met betrekking tot puntenwolken (zie paragraaf 2.1) aan te houden waarvoor de datasets worden ingewonnen. Hierbij wordt er gekeken naar de verschillende datasets die beschikbaar zijn per laag van gegevensbeheer: nationaal, regionaal en lokaal.

3.1 Nationale gegevensbeheer

In Tabel 4 is een leeswijzer gegeven waar de verschillende nationale puntenwolken terug te vinden zijn, binnen deze sectie.

Tabel 4 Overzicht datasets nationale gegevensbeheer-laag

Dataset	Beheerder	Kwaliteitstabel	Deelparagraaf
Actueel Hoogtebestand Nederland	Het Waterschapshuis	Tabel 5	3.1.1
Dense Matching	Kadaster	Tabel 7	3.1.2
3D Geodatafundament	Rijkswaterstaat	Tabel 8 & Tabel 9	3.1.3
SpoorInBeeld	ProRail	-	3.1.4
Hydrografische data	Rijkswaterstaat	Tabel 10	3.1.5 & 3.1.6

3.1.1 Het Actueel Hoogte Bestand Nederland

Het landsdekkende AHN is sinds 1997 vier keer bijgewerkt in periodes van drie tot zes jaar met een nieuw hoogtemodel. Deze datasets zijn ingewonnen via airborne (vliegtuig) Laseraltimetrie en kunnen gezien worden als een driedimensionale dataset. Alle data zijn gerefereerd aan RD/NAP (EPSG:7415). Een vijfde versie wordt op moment van schrijven gemaakt. AHN1 betreft een verouderde versie die niet behandeld wordt in dit rapport, doordat het verouderde versie van de dataset is. De overige versies worden hierna uitvoerig behandeld.

De inwinning per AHN-versie vindt gefaseerd plaats, afhankelijk van de hoeveelheid percelen die is benoemd. Hierin wordt de inwinning van elk perceel apart aanbesteed en potentieel door verschillende partijen ingewonnen. Waardoor de datasets een combinatie is van de integrale samenwerking van verschillende partijen. Voor elke versie van het AHN wordt een set aan bestek voorwaarden met eisen aan de opgeleverde puntenwolken en datasets opgesteld, welke voor alle percelen geldt. Echter, omdat elk perceel apart uitbesteed wordt en de apparatuur en vliegplannen verschillen per inwinning, kunnen de gerealiseerde specificaties van het eindproduct per perceel verschillen, maar voldoen deze aan de bestekvoorwaarden.



De opdeling in percelen is door de jaren heen veranderd. Figuur 3 geeft per AHN de percelen weer, alsook het uiteindelijke jaar van inwinning (voor AHN5 geldt het verwachte jaar van inwinning). Hieronder worden chronologisch de eigenschappen van AHN2 tot en met AHN5 beschreven.

AHN2



AHN3



AHN4



AHN5



Figuur 3 Perceel verdeling en inwin jaar per AHN-versie.



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

19 van 46

Beschikbare dataproducten

AHN2 (2007 tot 2012)

De data (gefilterd op outliers) is beschikbaar als puntenwolk in LAZ-format, een geïnterpoleerde en opgevulde DTM met een resolutie van 0.5 meter, een niet opgevulde DTM met een resolutie van 0.5 meter en 5 meter, en een DSM met een resolutie van 0.5 meter [Viewer en downloads](#), (WMTS/WMS/WCS).

De 0.5 meter rasters zijn geïnterpoleerd met de squared IDW-methode, waaruit de 5 meter rasters zijn geïnterpoleerd middels een ongewogen gemiddelde. In het opgevulde raster zijn bijvoorbeeld incidentele no-data waardes (vanwege te lage puntdichtheid) dicht geïnterpoleerd. Hierbij is de data ook beschikbaar via de verschillende kaartbladen. Voor de classificatie omschrijving zie Bijlage A.

AHN3 (2014 tot 2019)

Bij AHN3 zijn de puntenwolken en rasters ook opgedeeld in kaartbladen ([Viewer en downloads](#), [WMTS/WMS/WCS](#)). In de rasters zijn (incidentele) gaten zonder punten niet opgevuld. Er is zowel een DSM (gebaseerd op punten van klasse maaiveld) als DTM (alle klassen behalve water) beschikbaar in 0.5 m en 5 m resolutie. Deze 0.5 m resolutie rasters zijn geïnterpoleerd met squared IDW, waaruit de 5 m rasters middels een ongewogen gemiddelde zijn geïnterpoleerd. De puntenwolk dataset is vanaf AHN3 niet onderverdeeld in twee sets, maar bestaan uit een LAZ-bestand met alle 5 de klassen per kaartblad (zie Appendix A voor de verschillende klasse).

AHN4 (2020 tot 2022)

In het AHN4 wordt de data wederom ontsloten als puntenwolken en rasters voor de verschillende kaartbladen ([Viewer en downloads](#), [WMTS/WMS/WCS](#)). In deze rasters zijn incidentele gaten waar geen hoogtemetingen zijn genomen wederom niet opgevuld. Er is zowel een DSM als DTM beschikbaar in 0.5 meter en 5 meter resolutie. Deze 0.5 meter resolutie rasters zijn geïnterpoleerd via squared IDW, waaruit de 5 meter rasters middels een ongewogen gemiddelde zijn geïnterpoleerd. Daarnaast bestaat de puntenwolk uit een geclassificeerd Laz bestand per kaartblad.

Specificaties

AHN2 (2007 tot 2012)

AHN2 is tussen 2007 en 2012 landsdekkend ingewonnen via een perceelindeling getoond in Figuur 3. Voor AHN2 is de vereiste puntdichtheid van de dataset niet vooraf gespecificeerd, echter dient de data zodanig punt dicht te zijn dat objecten van 2 meter x 2 meter met een positieafwijking van maximaal 50 cm gekarteerd kunnen worden. De planimetrische nauwkeurigheid volgt ook vanuit dezelfde voorwaarde en is dus niet direct gespecificeerd. De hoogtenauwkeurigheid is vanuit de besteksvoorwaarden gespecificeerd op 5 cm stochastische fout (1σ) en 5 cm systematische fout. Hier bestaan de klasse labels uit: maaiveld en overige.



AHN3 (2014 tot 2019)

AHN3 is vanaf 2014 tot en met 2019 ingewonnen waardoor het dus geen directe aansluiting op het AHN2 is. Wel komen de specificaties grotendeels overeen met die van het AHN2. Het aantal klassen is echter verhoogd. Verder zijn de perceelsgrenzen veranderd (zie Figuur 3). De perceelsgrenzen volgen nog steeds veelal uit de waterschapsgrenzen, maar beslaan vaker meerdere waterschappen. Er is voor het AHN3 geen punt dichtheid gespecificeerd in de besteksvoorwaarden. Evenals voor het AHN2 dient de data zodanig punt dicht te zijn dat objecten van 2 meter x 2 meter met een positieafwijking van maximaal 50 cm gekarteerd kunnen worden. De hoogtenauwkeurigheid is gespecificeerd op 5 cm stochastisch en 5 cm systematische fout.

AHN4 (2020 tot 2022)

Het AHN4 is over een periode van drie jaar ingewonnen (2020-2022), onder vergelijkbare opzet als AHN2 en 3, echter zijn de perceelsgrenzen veranderd (zie Figuur 3) en zijn er eisen aan de punt dichtheid en planimetrische nauwkeurigheid gewijzigd. Voor de AHN4 puntenwolken zijn voor de inwinnende partij de volgende twee opties gegeven als minimale planimetrische nauwkeurigheid:

- 1) Objecten van twee meter bij twee meter dienen met een positie afwijking van maximaal 50 cm gekarteerd te kunnen worden.
- 2) De data dient een punt dichtheid van minimaal 10 punten per vierkante meter en een planimetrische nauwkeurigheid met een 5 cm stochastische (1 sigma) en 8 cm systematische fout te bevatten.

Alle data zijn ingewonnen aan de hand van optie 2. In regio west is deze punt dichtheid verhoogd naar minstens 20 punten per vierkante meter. De hoogtenauwkeurigheid is gespecificeerd op een 5 cm stochastische en 5 cm systematische fout.

AHN5 (2023 tot 2025*)

De inwinning van het AHN5 is in 2023 begonnen en ten tijde van schrijven nog niet afgerond. De besteksvoorwaarden zijn veelal hetzelfde als in het AHN4 met enkele belangrijke verschillen. Ten eerste worden de 0.5 meter DTM en DSM's niet meer geïnterpoleerd via een squared IDW. De 0.5m DSM wordt gemaakt d.m.v. het selecteren van de maximale hoogte in plaats van een gewogen gemiddelde per cel. De DTM wordt gemaakt d.m.v. het ongewogen gemiddelde binnen een cel. Beide 5 meter rasters worden wederom via een ongewogen gemiddelde berekend. Een tweede verschil met AHN4 is dat de stochastische hoogtefout in AHN5 is aangescherpt en op 3 cm ligt i.p.v. 5 cm. Overige hoogte en planimetrische fouten moeten wel voldoen aan dezelfde voorwaarden als voor AHN4. De klasse labels binnen de dataset bestaan uit 6 klasse.

De informatie over de minimale specificaties is samengevat in de onderstaande Tabel 5, waar de terugkerende factoren zijn gegeven voor iedere versie van het AHN. In sommige lokale gevallen



is er vanuit de controlerapporten bekend dat de uiteindelijke kwaliteit beter is dan de minimale specificaties zijn (zie Bijlage B). Daar niet met zekerheid gezegd kan worden hoe groot de gebieden zijn waar dit is, en hoe homogeen deze verbeterde kwaliteit is, zijn deze waarnemingen enkel in bijlage B gepresenteerd.

Tabel 5 Minimale specificaties voor het Actueel Hoogtebestand Nederland

Type	Planimeterisch [cm]		Hoogte [cm]		Punt dichtheid [pt/m2]
	Stochastisch	Systematisch	Stochastisch	Systematisch	
AHN2	-	-	5	5	-
AHN3	-	-	5	5	-
AHN4	5	8	5	5	≥10
AHN5	5	8	3	5	≥10

Metadata en labeling

De labeling binnen de verschillende versies van het AHN zijn gerelateerd aan de ASPRS (zie Figuur 1 waarbij er verschillen aanwezig op gebied van het gebruik van de verplichte klassen. Deze verschillen zijn weergegeven in de onderstaande Table 6.

Tabel 6 Metadata aanwezig per punt binnen de verschillende AHN's

Metadata	AHN2	AHN3	AHN4	AHN5
ASPRS Format	0	1	1	6
Intensiteit	JA	JA	JA	JA
RGB	NEE	NEE	NEE	NEE
Return Number	NEE	JA	JA	JA
Number of Returns	NEE	JA	JA	JA
Scan Angle Rank	NEE	JA	JA	JA
Classification	NEE	JA	JA	JA
Point source ID	NEE	JA	JA	JA
GPS Time	NEE	JA	JA	JA
Edge of Flight Line	NEE	NEE	JA	JA
Scan Direction flags	NEE	NEE	NEE	JA
Scanner Channel	NEE	NEE	NEE	JA



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

22 van 46

Tabel 6 laat zien dat er een toename is in de metadata per punt, bij iedere nieuwe versie. Kleuring wordt echter tot op heden niet ingewonnen in het AHN. Per AHN-versie zijn de definities van de klassen veranderd. De definities per label zijn terug te lezen in Bijlage A, waarbij de aanwezige labels en gerelateerde codes per AHN zijn benoemd. De aanwezige classificatie labels in de verschillende AHN-versies zijn:

- Maaiveld - Label code 2
- Bebouwing - Label code 6
- Kunstwerken - Label code 26
- Water - Label code 9
- Hoogspanning - Label code 14
- Overige - Label code 1

3.1.2 Dense-matching hoogtedata vanuit het beeldmateriaal programma

Vanuit landsdekkende stereofoto's, opgenomen binnen het landelijke beeldmateriaal 4 en 5 programma, heeft het Kadaster met terugwerkende kracht vanaf 2018 jaarlijks een nationale hoogte dataset beschikbaar gesteld. Net als in het AHN, is het beeldmateriaal opgedeeld in verschillende percelen. Tussen enkele percelen zit een verschil in de vlieghoogte tijdens opname. Hierbij heeft het type camera de grootste invloed op de kwaliteit van de data, waarbij brandpuntafstand bepalend is relatie met de vlieghoogte. Vanuit deze stereofoto's maakt het Kadaster true ortho foto's, waarbij er ook hoogte informatie wordt gemaakt wat de Dense matching puntenwolken zijn van het zichtbare areaal.

Beschikbare dataproducten

De Dense-matching hoogtedata is opgeleverd in de vorm van puntenwolken in LAZ-format. Per blok van 500 bij 500 meter is een LAZ-bestand beschikbaar. Deze puntenwolken zijn echter 2.5 dimensionaal, in tegenstelling tot het via LiDAR ingewonnen AHN. Per pixel in de stereofoto kan slechts één hoogtemeting worden gereconstrueerd. Een consequentie hiervan is dat in beboste gebieden weinig tot geen maaiveldmetingen beschikbaar zijn. De datasets zijn beschikbaar gesteld voor het publieke domein in een 20cm en 8cm vergidding. Voor het onderzoek zijn de jaargangen 2018, 2019, 2020 en 2021 beschikbaar gesteld. In Figuur 4 is een voorbeeld gegeven van de verschillende jaargangen die beschikbaar zijn gesteld voor dit onderzoek. Hierbij is de veranderde omgeving van de stations regio van Delft genomen als voorbeeld. De bouw van de spooromgeving wordt hierbij duidelijk zichtbaar als een mutatie, zoals benoemd in het artikel (Stilla, et al., 2023).



DM: 2018 Delft centraal station regio



DM: 2019 Delft centraal station regio



DM: 2020 Delft centraal station regio



DM: 2021 Delft centraal station regio

Figuur 4 Dense matching per jaargang van de centraal station regio in Delft

Waar de mutatie en de hoge temporele resolutie van deze data zichtbaar zijn, laat de data ook zien dat de ruwe data een golvend effect heeft door de ruisband die aanwezig is in de methode voor het bepalen van de hoogte. Hierbij is het van belang op te merken dat in regio's waar de dense matching een onvoldoende resultaat genereert, andere datasets zoals het AHN worden ingepast om de continuïteit van de data te waarborgen.

De locatie waar de data beschikbaar is, kan worden benaderd via: Kadaster - [3D basisvoorziening](#)



Minimale specificaties

In de onderstaande tabel zijn de vlieghoogtes en resulterende resolutie weergegeven die betrekking hebben op perceel 1. De resolutie is te relateren aan de punt dichtheid in de puntenwolk:

$$\text{Punt dichtheid} = \frac{1}{\text{resolutie}^2} \quad (3.1)$$

De gemiddelde waarden voor BM4 en BM5 zijn weergegeven in Tabel 7, waar de dichtheid van de wolk en de resolutie in centimeters zijn aangegeven. De data worden via het 3D-basisvoorzieningsplatform ontsloten als een digitaal oppervlaktemodel (DSM) met punten per 8 cm of 20 cm.

Tabel 7 Overzicht resolutie en punt dichtheden Dense matching puntenwolk

Versie	DM Versie	Resolutie [cm]	Gemiddelde punt dichtheid [pnt/m ²] – (8cm en 20cm grid)
BM4	2018, 2019, 2020	>10	156 & 25
BM5	2021	>7.5	156 & 25

De data kwaliteit van de resulterende puntenwolk kan niet direct worden afgeleid uit Tabel 7. Voor zowel de puntenwolken van BM4 als BM5 wordt de planimetrische kwaliteit gebaseerd op de BGT, wat betekent dat afwijkingen tot 20 cm geaccepteerd worden. In de praktijk blijkt echter dat de waarden uit Tabel 7 worden gehaald of zelfs beter zijn.

De hoogte component vanuit de Dense Matching dataset wordt dus o.a. sterk beïnvloed door factoren als de brandpuntafstand. Als vuistregel wordt daardoor in de TMA $\pm 3\sigma_{xy}$ en daarbuiten ongeveer $\pm 1.5\sigma_{xy}$ behaald. Dit resulteert in een hoogtenauwkeurigheid van ± 30 cm in het TMA-gebied en ± 15 cm daarbuiten.

Metadata en classificatie

Automatische classificatie aan de hand van o.a. de BGT, BAG, watervlakken en de NDVI. Dit proces wordt volledig automatisch uitgevoerd, waarbij de naamgeving van de labels wordt aangehouden zoals weergegeven in Figuur 1.

3.1.3 Puntenwolken t.b.v. van 3D geodatafundament

Het 3D geodatafundament van Rijkswaterstaat is het overkoepelde thematische fundament, waaronder de 3D datasets zijn samengebracht om uniforme ontsluiting en uitvraag te bevorderen (Rijkswaterstaat, 2023). Het fundament omschrijft onder andere de verschillende puntenwolken die voor de reguliere dataproducten van Rijkswaterstaat worden ingezet. Vanuit de verschillende projecten die Rijkswaterstaat laat uitvoeren, is vastgesteld dat bij een uitvraag, de bron data van Rijkswaterstaat ook eigenaar is van bijvoorbeeld de puntenwolken.

Deze dataproducten, waar o.a. puntenwolken voor worden ingewonnen, zijn gericht op het droge (geen water in de omgeving) en natte (water aanwezig in de directe omgeving) areaal. Zodoende zijn er verschillende producten aanwezig, waardoor de puntenwolken van wisselende



kwaliteit zijn. De dataproducten waar een puntenwolk voor wordt ingewonnen zijn onder andere het Digitaal Topografisch Bestand (DTB), Doorrijprofielen en Digitaal Terrein Modellen.

Beschikbare dataproducten

De gegevens worden weergegeven in punten, lijnen en polygoon objecten, afhankelijk van de verschillende classificaties van kenmerken worden verschillende specificaties gehandhaafd. De data worden beschikbaar gesteld via PDOK.nl, en worden ontsloten als een geodatabase.

Specificaties

Rijkswaterstaat opereert project gedreven, waardoor puntenwolken, indien uitgevraagd, bij Grote Wegen Werken (GWW) worden ingewonnen. Met de recent gepubliceerde specificaties worden er momenteel steeds vaker specificaties meegegeven (Rijkswaterstaat/CIV, 2023). Hierbij wordt gebruikgemaakt van een algemene en kwaliteitsomschrijvingseisen. Door de complexiteit van de verschillende projecten wordt het gebruikersdoel vooropgesteld bij het specificeren van de eisen waaraan de puntenwolk dient te voldoen. Een voorbeeld van een lege specificatielijst is opgenomen in Appendix C ter illustratie van waaraan een puntenwolk kan voldoen.

Daarnaast ontvangt RWS ook puntenwolken als brondata, waarvan de eindproducten o.a. gemaakt van worden.

Puntenwolken ten behoeve van het product: Digitaal Topografisch Bestand en/of Basisregistratie Grootschalige Topografie.

Hiervoor gelden voor de puntenwolk de specificaties die gelden voor het DTB en het BGT. Binnen Rijkswaterstaat wordt er m.b.t. de nauwkeurigheden geen onderscheid gemaakt tussen beide registratie kaartsystemen. De nauwkeurigheden zijn weergegeven in Tabel 8, waar een onderscheid gemaakt is in verschillende topologische klassen:

- Harde topografie: Goed idealiseerbaar, bijv. wegbelijning
- Middel (hard/zacht) topografie: Redelijk idealiseerbaar, bijv. kant verharding.
- Zacht: Matig idealiseerbaar, bijv. Taludlijnen
- Zacht, buiten de Obstakel Vrije Zone (O.V.Z.)

Tabel 8 Nauwkeurighedsniveaus puntenwolken t.b.v. DTB (1 σ) (Rijkswaterstaat, 2022)

Topografie	Absoluut nauwkeurigheid [cm]		Relatief nauwkeurigheid [cm]	
	Horizontaal vlak	Verticaal vlak	Horizontaal vlak	Verticaal vlak
Hard	5	10	2	4
Middel	10	12	5	6
Zacht	15.5	15	13	9
Zacht, buiten O.V.Z.	60	30	40	20



Puntenwolken ten behoeve van het product: Digitaal Terrein Model

Het andere dataproduct waar puntenwolken voor worden ingezet zijn digitale terrein modellen (DTM). Doordat deze producten in worden gezet als een nulmeting of oplevering van een project, worden hierbij strengere eisen gehanteerd (Rijkswaterstaat, 2022). Deze eisen zijn weergegeven in Tabel 9, waarbij de relatieve nauwkeurigheid van het dataproduct is weergegeven voor 2 klasse.

- Harde topografie: hier wordt onder andere de bebouwing, Voegovergangen, Kunstwerklijnen, Stuw, duikers, damwanden, kademuren, beschoeiing, kantverharding, Wegbelijningen en de buitenlijn van asfaltgoten toe gerekend;
- Zachte topografie: hier wordt onder andere de boven- en onderkant talud, insteek- en bodem watergang, Half verhard, de waterlijnen, de vlakverdichtings- en vormlijnen toe gerekend.

Tabel 9 Relatieve nauwkeurigheid puntenwolken t.b.v. Digitale Terrein Modellen

Topografie	Horizontale relatieve nauwkeurigheid [cm]	Verticale relatieve nauwkeurigheid [cm]
Hard	≤7.5	≤2.5
Zacht	≤25.0	≤6.5

Puntenwolken ten behoeve van het product: Doorrijprofielen

Daarnaast worden puntenwolken vanuit de GWW-projecten ook ingezet voor het product doorrijprofielen (Rijkswaterstaat, 2022). Deze datasets zijn vaak kleiner van scope en richten zich vooral op de vrije ruimte bepaling van het wegdek en een kunstwerk en/of portaal. Doordat alleen de hoogte wordt uitgevraagd tussen de 2 objecten, worden er bij de specificaties van dit product geen absolute eisen gesteld aan de hoogtewaarde. De puntenwolken die worden ingezet om deze hoogte te bepalen dienen alleen te voldoen aan een relatieve nauwkeurigheid van 1 cm. Zodoende zijn de puntenwolken niet vereist een coördinatensysteem te volgen en kan het in een lokale stelsels gepresenteerd worden.

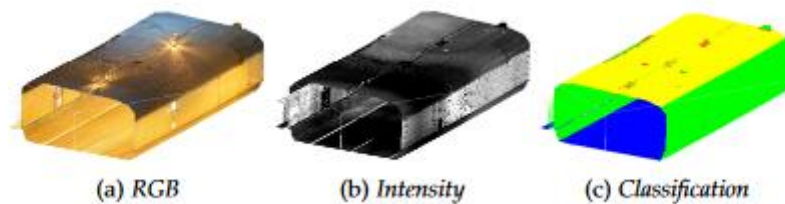
Puntenwolken ten behoeve van het product: BIM – Tunnels

De laatste besteken waar puntenwolken voor Rijkswaterstaat voor worden ingewonnen, zijn de tunnelprojecten in o.a. Zuid-Holland. Hierbij wordt de puntenwolk datasets (ingewonnen door middel van statische, rijdende en vliegende acquisitie platformen) omgezet naar een BIM-model, om later als digital twin te kunnen dienen binnen de basisvoorziening van Rijkswaterstaat. Hiervoor is afgeweken van de conventionele dataproducten is zijn de volgende eisen gesteld aan de data:



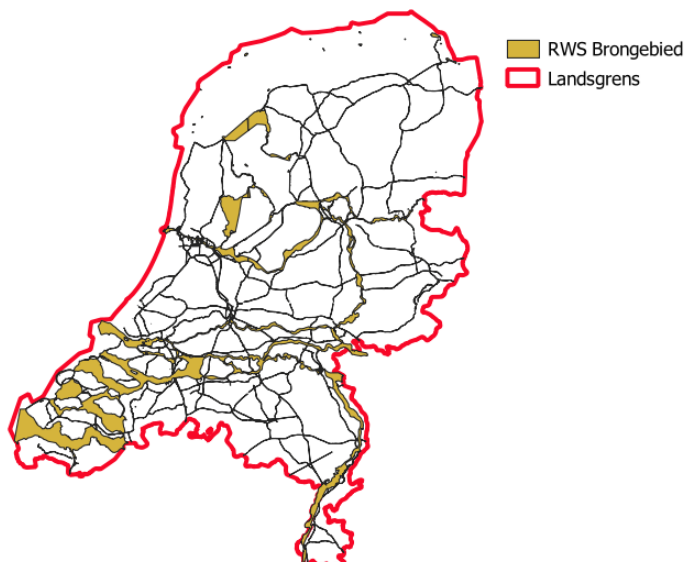
- Punt dichtheid: 10 punten per cm²
- Absolute nauwkeurigheid: 2.5 cm
- Relatieve nauwkeurigheid: 0.5 cm

In de onderstaande Figuur 5, zijn de verschillende waarden weergegeven die naast de cartesische informatie is ingewonnen. Hierbij is er de kunstmatige RGB, intensiteit van de puls en de classificatie van de tunnel bak toegevoegd aan de puntenwolk.



Figuur 5 Attributen aanwezig in de PTZ-puntenwolken

In Figuur 6 zijn de locaties weergegeven waarvoor er bij Rijkswaterstaat inwinning van puntenwolken kan plaatsvinden ter ondersteuning van de huidige dataproducten, deze gebied zijn in het grijs weergegeven. Let wel dat de puntenwolken van Rijkswaterstaat bestaan uit asset gedreven informatie. Dit betekent dat de puntenwolkdataset binnen het grijze gebied met name bestaat uit sluiscomplexen, kunstwerken en tunnels.



Figuur 6 Bron gebied van Rijkswaterstaat, waar puntenwolken van de verschillende assets (in de toekomst) aanwezig zijn.



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

28 van 46

Metadata en classificaties

Momenteel worden de puntenwolken van Rijkswaterstaat niet verplicht geclassificeerd, alleen de hoog dynamische data (zie paragraaf 3.1.5). Als er wel objecten worden geclassificeerd binnen een puntenwolk zijn de volgen labels en ASPRS-codes aanwezig:

- | | |
|------------------------------|-----------------|
| - Nooit geclassificeerd | - Label code 0 |
| - Overig inclusief vegetatie | - Label code 1 |
| - Maaiveld | - Label code 2 |
| - Gebouw | - Label 6 |
| - Water | - Label 9 |
| - Weg | - Label 11 |
| - Hoogspanning | - Label 14 |
| - Kunstwerken | - Label code 26 |
| - Markeringen | - Label code 64 |
| - Verlichting | - Label code 65 |
| - Portaal | - Label code 66 |

Hierbij worden de definities frame vanuit de DTB gebruikt, ter omschrijving van deze klassen.

3.1.4 ProRail – Spoorinbeeld

ProRail, verantwoordelijk voor het spoorweginet in Nederland, stelt een open landelijke puntenwolk beschikbaar die zich alleen richt op de hoofdspoorwegen. De puntenwolken zijn beschikbaar vanaf 2018 tot 2022. Hierbij heeft ProRail de doelstelling om ook alle stations, spoorwegen van goederentreinen en de revisies op het hoofdspoorwegennet in te winnen en openlijk te ontsluiten.

Beschikbare dataproducten

Figuur 7 geeft een overzicht gegeven van het gebied waar de data voor beschikbaar is gesteld vanuit ProRail, met het respectievelijke jaar van inwinning.



Datum

20-08-2024

Titel

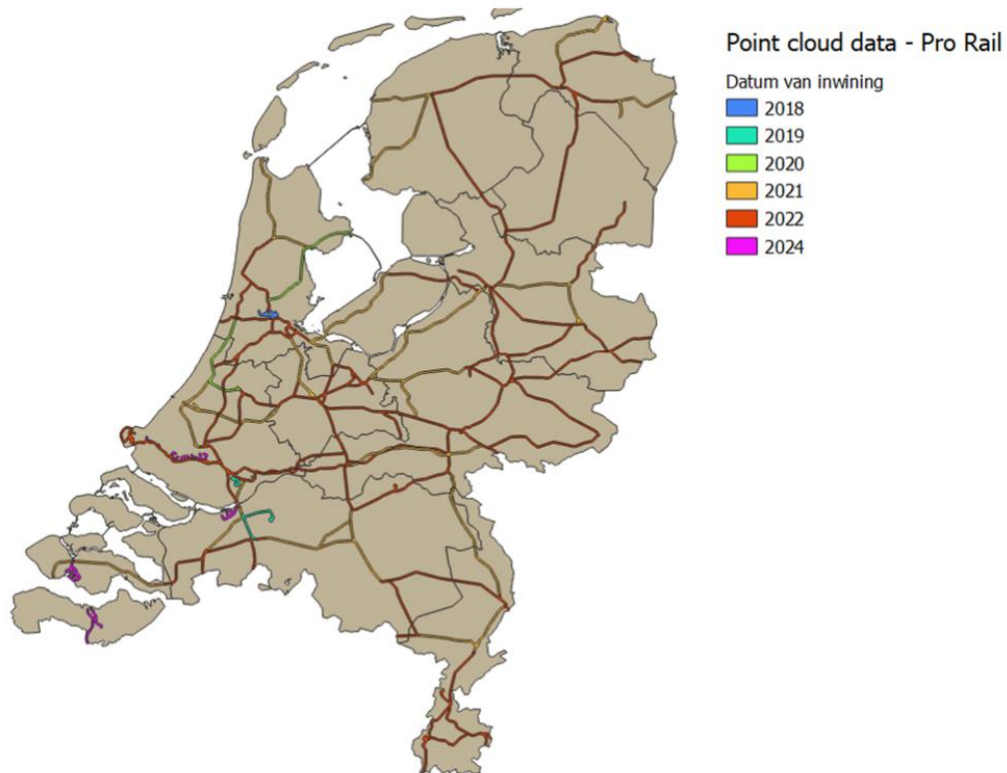
WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

29 van 46



Figuur 7 Overzicht van de beschikbare data van het Spoor in Beeld programma

De puntenwolken zijn geometrisch gecontroleerd door een externe partij. De specificaties geven aan dat de gegevensverwerking en de puntenwolk zowel geometrisch als radiometrisch goed co-registreert moeten zijn met externe (beeld) opnamen (ProRail, 2017). De uiteindelijke verificatie ligt bij ProRail zelf om een dataset te publiceren naar het spoor in beeld data ontsluitingsplatform. In Figuur 8 zijn 3 voorbeelden weergegeven van de puntenwolkdatssets die beschikbaar zijn waar



Datum

20-08-2024

Titel

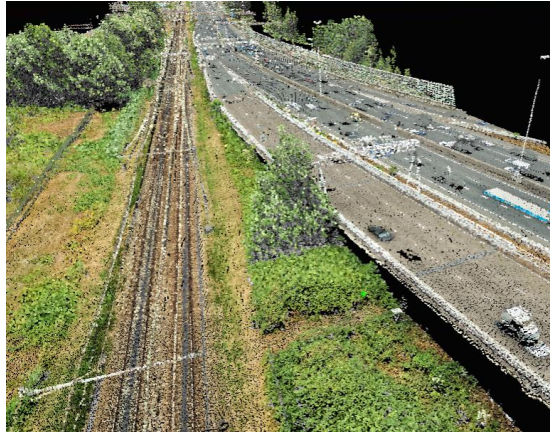
WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

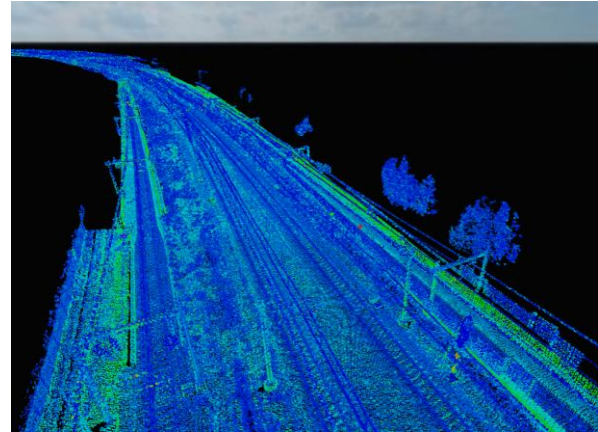
Versie 1.0

Pagina

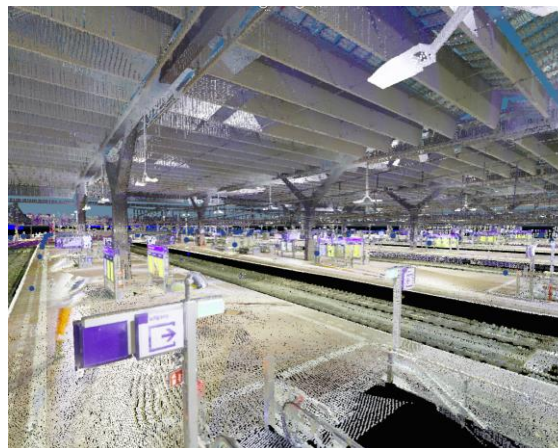
30 van 46



a) A20 bij Rotterdam - Helikopter



b) Leidserijn Utrecht - Trein



c) Rotterdam Centraal - statisch

Figuur 8 Voorbeelden puntenwolken ProRail/spoor in beeld

De locatie waar de data beschikbaar is kan worden benaderd via: [ProRail – spoor in beeld](#)

Specificaties

De specificaties van de open puntenwolken schrijven het volgende voor: "Het verworven digitale hoogtemodel (puntenwolken) moet een zodanige hoge ruimtelijke dichtheid en positionele kwaliteit bezitten dat, bij gebruik van dit hoogtemodel voor monoscopische metingen van locatie gebonden objecten in verticale en schuine beelden, een absolute positie wordt bereikt in het (RD, NAP) coördinatensysteem met een nauwkeurigheid van 12 centimeter of beter. Dit hoogtemodel dient daarnaast vrij te zijn van zogenaamde uitschieters, gedefinieerd als punten die ver boven en/of onder de bekende objecten in het gebied liggen. Deze punten in het hoogtemodel worden geclassificeerd als punten die de hoogte van het grondoppervlak



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

31 van 46

vertegenwoordigen (bijv. DTM) en punten die daarbuiten vallen." Daarnaast moet het hoogtemodel RGB-kleurwaarden bevatten die overeenkomen met de kleuren van het terrein.

De volgende minimale nauwkeurigheidsspecificaties zijn van toepassing voor deze puntenwolken:

- Absoluut: <12cm in XYZ t.o.v. RDNAP.
- Relatief: <6cm in XYZ-richting op een afstand van 100 m.

Afwijkend van de vaker gebruikte aparte kwantificatie van de fout in geometrische en planimetrische richting, kiest ProRail ervoor om de stochastische fout uit te drukken als een punt in vrije ruimte met dezelfde nauwkeurigheid in alle dimensies.

Metadata en labeling

De datasets worden geleverd in LAZ-format. Hierbij is ook intensiteit aangeleverd. De puntenwolkdataset is niet geclassificeerd.

3.1.5 Kust monitoring - Hoogdynamisch AHN

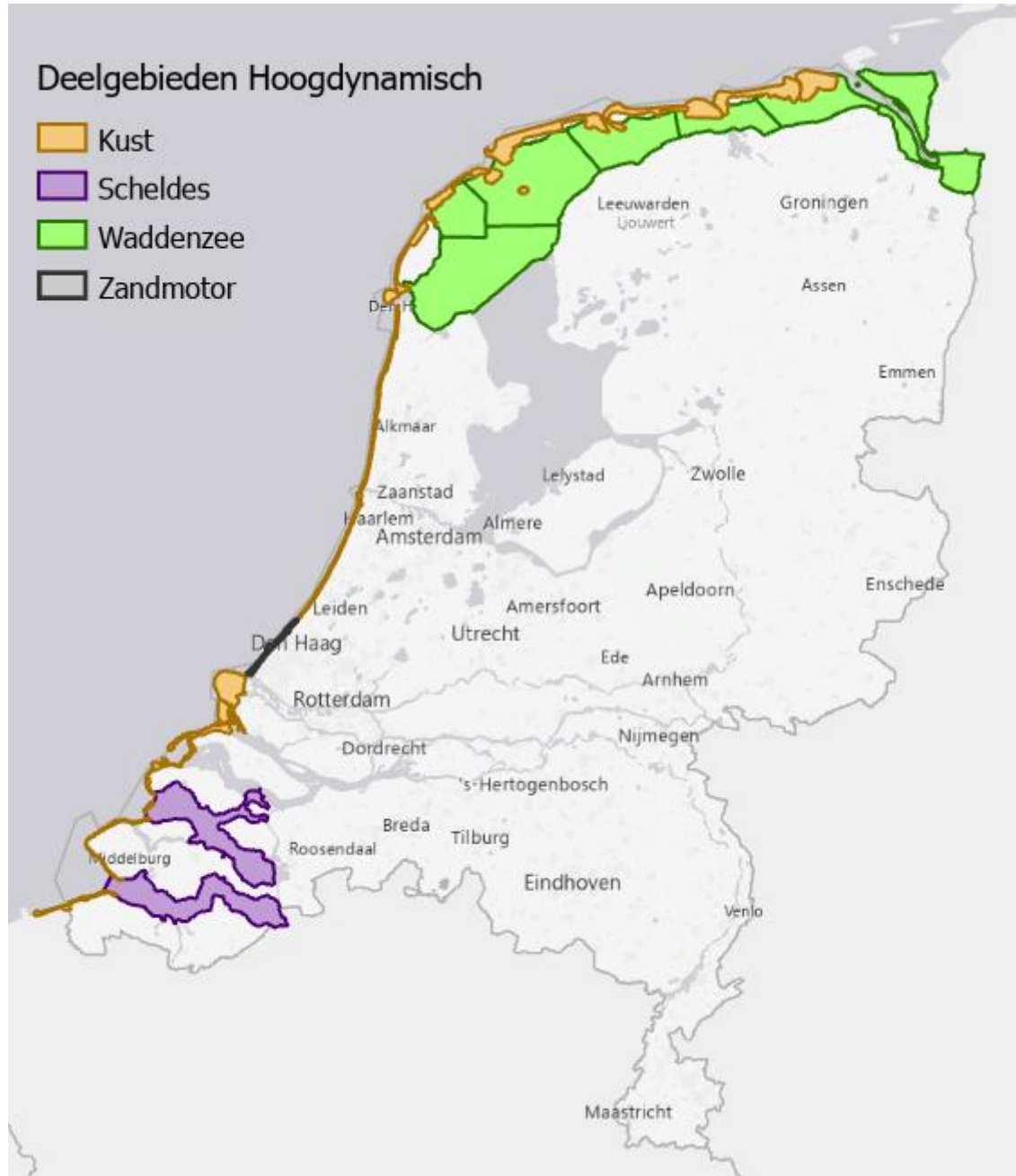
AHN Hoogdynamisch is een nationale dataset, die gericht is op de gebieden in Nederland die de grootse variaties hebben. De dataset is vanaf AHN3 (2016) tot op heden als onderdeel van de landsdekkende AHN-inwinning jaarlijks is ingewonnen. Dit betreft het gehele kustgebied van Nederland, waarbij vier deelgebieden benoemd zijn: de kust, Zandmotor, Waddenzee en de Scheldes. De gebieden zijn via airborne Laseraltimetrie ingewonnen bij laagwater.

Beschikbare dataproducten

Van de bovengenoemde gebieden zijn jaarlijkse datasets beschikbaar in puntenwolk (LAZ) en rasters (GeoTIFF). Het DTM (klasse maaiveld) en DSM (klasse maaiveld en overig) rasters zijn beschikbaar met een resolutie van 2 m en 5 m. Deze producten zijn geïnterpoleerd vanuit de puntenwolken. Tot en met AHN 4 is dit gebeurd middels de squared IDW-methode voor alle rasters. Vanaf AHN5 gebeurt dit via een ongewogen gemiddelde voor de DTM's van 2 meter en 5 meter, de DSM van een maximale waarde van 2 meter en 5 meter per cel. Voor de zandmotor (Den Haag, Zuid-Holland) datasets geldt dat deze enkel in 2 m raster formaat zijn verwerkt.

De bestanden zijn als download beschikbaar via [Rijkswaterstaat](#).

Voor de kustgebieden van Rijkswaterstaat (en andere lokale overheidsinstanties) is het AHN Hoog dynamisch gebied weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Overzicht beschikbaarheid puntenwolken t.b.v. kust monitoring (Hoog dynamisch AHN)

Minimale specificaties

De punt dichtheid van de hoog dynamische datasets is lager dan voor de landsdekkende dataset en verschilt per deelgebied. Voor deelgebieden de Scheldes en de Zandmotor is dit 1 punt per vierkante meter. Voor deelgebieden Kust en Waddenzee is de punt dichtheid gespecificeerd als



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

33 van 46

0.5 punten per vierkante meter. De standaardafwijking van de hoogte, in een wijziging in het bestek per 2023, is vastgesteld op 5 cm, met een systematische fout van 5 cm. Verder voldoet de data aan de eis dat referentieobjecten maximaal 50 cm in planimetrie mogen verschillen t.o.v. de ingewonnen data. Er geldt dus een maximale planimetrische fout van 50 cm, maar er is geen stochastische of systematische planimetrische fout gespecificeerd.

Metadata en classificaties

De hoog dynamische puntenwolken zijn geleverd in dezelfde LAZ-formats als de respectievelijke landsdekkende datasets. Echter zijn ze in tegenstelling tot AHN3, 4 en 5 enkel in drie klasse geclassificeerd. Dit zijn: water, maaiveld en overig.

3.1.6 Hydrografische lodingen

Beschikbare dataproducten

Binnen het Nederlandse deel van het continentaal plat gebied worden de hydrografische metingen bijgehouden in opdracht van/ door de Dienst der Hydrografie en Rijkswaterstaat. De data op regionale schaal zijn beschikbaar in raster en ruwe puntenwolk. De waterdieptes zijn gerefereerd aan RD/NAP-stelsel. Een overzicht van de lodingen data is weergegeven in Figuur 10.

De datasets zijn beschikbaar via: [Bathymetrie Rijkswaterstaat](#)



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

34 van 46



Figuur 10 Hydrografische dieptekaart, voor de beschikbaarheid van het regionale gegevensbeheer in Nederland

Minimale specificaties

Vanuit de bestekstukken worden de normen gehanteerd die de internationale hydrografisch organisatie (IHO) stelt. Voor Nederland zijn, op basis van de nieuwe matrix in de S-44, eigen normen aan de kwaliteit van de data opgesteld (IHO, Publication year), (Rijkswaterstaat/CIV, 2022). Het gaat hierbij om NL Norm A en NL Norm B. Beide normen passen bij wat redelijkerwijze haalbaar is met de huidige apparatuur en bestaande werkwijze op de relatief ondiepe Nederlandse wateren. Deze normen zijn weergegeven in de onderstaande tabel, waarbij de totale horizontale onzekerheid (THO), dichtheid en Totale Verticale Onzekerheid (TVO) is weergegeven per norm. De THO wordt berekend aan de hand van de volgende formule:

$$TVO = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (3.2)$$

Met de volgende variabelen:

- a = de hoeveelheid onzekerheid dat niet verandert per meter diepte
- b = coëfficiënt waarvan de onzekerheid verandert per meter diepte
- d = de diepte van de meeting, vaak uitgedrukt in meters t.o.v. NAP of LAT.



Dus als de diepte toeneemt, zal de verticale onzekerheid die is toegestaan ook toenemen (in het geval dat $b > 0$). Terwijl bij ondieptes (vaak in vaargeulen) de verticale onzekerheid een belangrijkere rol speelt en daarom is aangescherpt. De IHO en S-44 normen zijn o.a. vanuit deze beredenering opgesteld en weergegeven in de onderstaande Tabel 10.

Hierbij is THO: Totale Horizontale Onzekerheid, TVO: Totale verticale onzekerheid

Tabel 10 Specificaties voor water dieptemetingen in Nederland

	NL-norm A	NL-norm B	IHO SO	IHO 1a	IHO 1b
THO	0.35m + 1%	0.35m + 10%	2m	5m + 5%	5m + 5%
Dichtheid (punt per norm)	1m	1m	1m	Diepte + 2m	#
TVO					
a-coëfficiënt	0.1	0.15	0.25	0.50	0.50
b-coëfficiënt	0.0075	0.0075	0.0075	0.013	0.023

Kijkend naar de Nederlandse standaarden, is de kwaliteit dus gekoppeld aan de diepte en het risico voor de scheepvaart. Daarom kan er bijvoorbeeld een hoge resolutie worden verwacht in de vaarweg naar Rotterdam of Amsterdam. Het tegenovergestelde is van toepassing op de Waddenzee, waarbij een grovere resolutie vereist is binnen de gemaakte puntenwolk.

3.2 Regionale gegevensbeheer

Vanuit het onderzoek van (Klein, et al., 2023) kwam naar voren dat er bij provincies geen puntenwolk inwinning plaats vindt. Hiervoor worden voornamelijk commerciële datasets gebruikt en het AHN. Het onderzoek benoemde dat het onduidelijk is of er specifieke (geen AHN) puntenwolk datasets worden ingewonnen en gebruikt door de provincies, naast de conventionele manieren (fotogrammetrie) van het bijhouden van bijvoorbeeld de basisregistraties (Klein, et al., 2023).

3.3 Lokaal gegevensbeheer

In de laatste gegevensbeheerlaag, m.b.t. puntenwolken in Nederland, wordt de acquisitie uitgevoerd door lokale overheden. Binnen deze laag worden de gemeentes belicht die een op relatief kleinere schaal open dataprogramma heeft. Deze datasets worden vaak gebruikt voor stadsmodellen van de digitale twins van steden of gemeenteregio's in Nederland. Om de overeenkomsten te bepalen, zijn vanuit de lokale laag beschikbaar gestelde puntenwolken binnen dit onderzoek geanalyseerd en samengevat in Tabel 11. Hierin zijn ook grote gemeentes opgenomen, die geen puntenwolk data inwinning (laten) uitvoeren.



Tabel 11 Overzicht van de puntenwolken van de gemeentes die specificaties hebben voorgeschreven voor hun dataset

Lokale (semi) overheden	Inwinnig	Moment van inwining	Dichtheid [pnt/m2]	Absolute nauwkeurigheid [cm]	Relatieve nauwkeurigheid [cm]
Amsterdam	Ja	Jaarlijks	1,500	10	-
Almere	Ja	Projectmatig	>30	2	1
Rotterdam	Ja	Jaarlijks	>30	10	<10
Groningen	Ja	-	>30	-	-
Valkenburg	Ja	-	30	-	-
Maastricht	Ja	-	>10	-	-
Utrecht	Ja	Bij mutaties	-	2-6	0.6-2
Nijkerk	Ja	-	8	-	-
Leeuwarden	Nee	-	-	-	-
Zwolle	Nee	-	-	-	-
Nijmegen	Ja	Jaarlijks	40	10	-
Helmond	Nee	-	-	-	-
Dronten	Gesloten	Projectmatig	-	-	-
Samenwerking A2 gemeentes	Nee	-	-	-	-
Harderwijk, Ermelo, Zeewolde	Gesloten	Bij mutaties	-	7.5	7.5
Eindhoven	Nee	-	-	-	-
Noordwijk	Ja	Bij mutaties	Wisselend	-	-
Den Haag	Ja	Jaarlijks	25	-	-
Gouda	Ja	2-3 jaar	8,000	2	-



Bibliografie

AeroVision, B. V. 2021. ICC Regio Schiphol Bevlogen – Luchtfoto's 2022-2023. *ICC Regio Schiphol Bevlogen – Luchtfoto's 2022-2023*. Stadsring 47 - 3e verdieping, 3811 HN Amersfoort, Nederland : sn, 24 September 2021. Status: Definitief.

Algemeen, Geonovum. 2021. DiS Geo : Eisen aan model samenhangende objectenregistratie. *DiS Geo : Eisen aan model samenhangende objectenregistratie*. 2021. Versie ter vaststelling 16 juni 2021.

Al-Rawabdeh, Abdulla, He, Fangning en Habib, Ayman. 2020. *Automated feature-based down-sampling approaches for fine registration of irregular point clouds*. sl : MDPI AG, 2020.

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

Balsterand, W., et al. 2021. *Werkgroep Techniek Stuurgroep 3D*. Amersfoort : sn, 2021.

Burgerhart, N. 2022. Advies hoogtecomponent 1GIS. *Advies hoogtecomponent 1GIS*. Utrecht : Sweco, August 2022.

Commandeur, T., Peters, R. en Stoter, J. 2017. *Onderzoek naar het genereren van een Basisbestand 3D geluid 0.1 vanuit verschillende overheids gegevensbronnen*. Delft : sn, 2017.

2024. Datafundament - Actueel overzicht. *Datafundament - Actueel overzicht*. 2024. Accessed: 2024-04-26.

de Jong, C. D., et al. 2002. *Hydrography*. Delft : VSSD, 2002. Vol. 2.

Digi Go. 2023. *Basis ILS Puntenwolk*. Zoetermeer : Digi Go, 2023. Accessed: 2024-04-10.

Digital elevation models: Terminology and definitions. **2021.** 18, sl : MDPI, September 2021, Remote Sensing, Vol. 13.

Donkers, T.A.W. 2024. *Assessing the Quality of LiDAR Infrastructure Point Clouds*. Delft : Delft University of Technology/ Rijkswaterstaat, 2024.

EU. 2020. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people. *COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS Stepping up Europe's 2030 climate ambition Investing in a climate-neutral future for the benefit of our people*. sl : European Union Commission, 2020.

Geonovum. 2023. *IMGeo objectenhandboek: Praktijkhandleiding voor toepassing van de BGT|IMGeo standaarden bij de objectafbakening*. Netherlands : sn, 2023. Accessed: 2024-03-07.



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

38 van 46

Haan, Gerlof de. 2020. Faseplan Totaal Driedimensionaal Voorbereidingsfase. *Faseplan Totaal Driedimensionaal Voorbereidingsfase*. sl : Gemeente Den Haag, Rotterdam, Amsterdam, VNG, 2020.

Het Waterschapshuis. 2020. Besteksvoorwaarden controle landsdekkende dataset AHN2020-2022. sl : waterschappen, provincies en Rijkswaterstaat, 2020.

IHO. Publication year. S-44 Edition 6.1.0. 4b quai Antoine 1er, Principauté de Monaco : sn, Publication year. Tel: (377) 93.10.81.00, Fax: (377) 93.10.81.40, @., ...

Kjørsvik, Narve Schipper. 2022. *Mathematical and statistical modelling in multi-sensor mapping systems*. Stuttgart : sn, 2022. p. [Page numbers].

Klein, Linda en Krijtenburg, Dick. 2023. *Gebruik en ontwikkelingen van beeldmateriaal en hoogtedata bij de provincies*. Provincie Gelderland. sl : Geonovum en Provincie Gelderland, 2023. Versie 1.0, Status definitief.

Lague, Dimitri, Brodu, Nicolas en Leroux, Julien. 2013. *Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z)*. 2013. pp. 10–26.

Liempt, J. Van en Stoter, J. 2020. Inpassing van 3D-data van bronhouders in Kadaster's 3D Basisvoorziening. *Inpassing van 3D-data van bronhouders in Kadaster's 3D Basisvoorziening*. 2020.

Marianne Deuber, Stefan Cavegn, Stephan Nebiker. 2024. *Dense Image Matching*. sl : GIM, 2024. Accessed: 2024-04-22.

NOAA. 2019. *U.S. Chart No. 1: Symbols, Abbreviations and Terms used on Paper and Electronic Navigational Charts*. 13. USA : Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration and Department of Defense, National Geospatial-Intelligence Agency, 2019.

Open Geospatial-Consortium. 2018. *LAS Specification 1.4*. 2018.

Organizing and visualizing point clouds with continuous levels of detail. **van Oosterom, P., et al. 2022.** 2022, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 194, pp. 119–131.

ProRail. 2017. 171215 Bijlage B - Bestek Inwinning terreinopnamen 1.1. *171215 Bijlage B - Bestek Inwinning terreinopnamen 1.1*. 15 December 2017. Status: Definitief, Versie 1.1.

Rijkswaterstaat. 2022. *Digitaal Topografisch Bestand (DTB) Handboek*. sl : Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022.

—. **2022.** *Doorrijprofielen Specificaties*. sl : Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022.

—. **2022.** *DTM Specificaties*. sl : Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2022.



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

39 van 46

—. **2023.** *RWS INFORMATIE Aan Directeuren Data Overleg (DDO) Het nationaal 3D geodatafundament TER BESLISSING.* 2023. Date of Decision: 12 September 2023.

Rijkswaterstaat/CIV. 2023. *Productspecificaties Puntenwolken: Inwinnen, verwerken en leveren van puntenwolken.* 2023. Accessed: 2024-04-10.

—. **2022.** *VS-E Bijlage 1A – Eisen Hydrografische Normen.* 2022. Datum: 07-10-2022, Status: Definitief, Versienummer: 1.3.

Staney, M. H. & Laefer, D.F. 2021. *Metrics for aerial, urban lidar point clouds.* sl : ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, 2021. pp. 268-281.

Stilla, Uwe en Xu, Yusheng. 2023. *Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review.* Stuttgart : sn, 2023. pp. 228-255.

Tiberius, et al. 2021. *Surveying and Mapping.* sl : TU Delft Open, 2021.

VNG. 2023. *Op Weg naar een Driedimensionale Digitale Gemeente.* sl : VNG, 2023. Samenvattende Rapportage over T3D.

Winiwarter, Lukas, Anders, Katharina en Höfle, Bernhard. 2021. *M3C2-EP: Pushing the limits of 3D topographic point cloud change detection by error propagation.* sl : Elsevier B.V., 2021. pp. 240-258.



Bijlage A: Definities van de AHN-classificaties

ANH2

Maaiveld wordt gedefinieerd als het grensvlak tussen grond en lucht of tussen grond en water. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:

- Maaiveld heeft een (semi-) permanent karakter;
- Maaiveld heeft een natuurlijk/landschappelijk karakter;
- Maaiveld vormt een onderdeel van het stroomgebied van water;

AHN3

Voor het AHN3 zijn de volgende definities gedefinieerd:

- Maaiveld is gedefinieerd als de grens tussen grond en lucht of tussen grond en water. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:
 - Maaiveld heeft een (semi-) permanent karakter;
 - Maaiveld heeft een natuurlijk/landschappelijk karakter;
 - Maaiveld vormt een onderdeel van het stroomgebied van water
- Bebouwing is gedefinieerd als een met de aarde verbonden duurzaam bouwwerk. Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:
 - Bebouwing heeft een (semi-)permanent karakter;
 - Bebouwing hoeft niet betreedbaar en/of afsluitbaar te zijn
- Kunstwerk wordt gedefinieerd als een civieltechnische constructie of installatie in de infrastructuur die geen waterkerende functie vervult.
- Water wordt gedefinieerd als alle wateroppervlakken, permanent en tijdelijk.
- Overige wordt gedefinieerd als alle laserpunten die geen extreem zijn en niet tot de klasse maaiveld, bebouwing, kunstwerk of water behoren. Bijvoorbeeld: vegetatie, straatmeubilair, auto's, gsm-masten, personen, dieren, hoogspanningsmasten en -kabels.

AHN4

De definities komen deels overeen met AHN3, echter verschilt de klasse bebouwing en is de klasse hoogspanning toegevoegd:

- Voor de definitie van bebouwing wordt de BAG-pandenkaart ten tijde van de vlucht gehanteerd. Woonboten die liggen op een ligplaats zoals aanwezig in de BAG-ligplaatsenkaart worden eveneens als bebouwing beschouwd. Alle laserpunten die een gebouw raken, dus ook de zijkanen van een gebouw, dienen te worden geclassificeerd als bebouwing, ook dakkapellen en uitstekende balkons. Daarnaast zijn bebouwingen:
 - Zonnepanelen die bevestigd zijn aan objecten die aan de gebouwdefinitie voldoen (dienen als bebouwing geclassificeerd te worden);



- Alle laserpunten die een gebouw raken (dienen te worden geclassificeerd als bebouwing), ook al ligt een deel van de punten buiten het vlak dat in de BAG als pand of ligplaats wordt aangeduid;
- Hierbij heeft een punt dat zich niet op maaiveldniveau binnen een gebouw bevindt en is geclassificeerd als bebouwing zal niet tot afkeuring leiden. Kleine objecten die onderdeel zijn van het gebouw (zoals schoorstenen) en niet zijn geclassificeerd als bebouwing zullen niet tot afkeuring leiden.
- Voor de definitie van hoogspanning wordt de BGT ten tijde van de vlucht gehanteerd: Metalen mast of stelling ter ondersteuning van geleide draden voor het transport van elektriciteit met een hoog voltage. Hoogspanningsleidingen van en naar deze hoogspanningsmasten worden ook als hoogspanning geclassificeerd.

AHN5

Maaiveld heeft dezelfde definitie als in AHN4, AHN3 en AHN2. Bebouwing heeft ook dezelfde definitie, echter zijn er enkele aanvullingen:

- Indien een pand nieuw is (en dus ten tijde van de vlucht nog niet in de BAG stond) en als bebouwing is geclassificeerd zal dit niet tot afkeuring leiden. Alle LiDAR-punten die een dak van een gebouw raken worden geclassificeerd als bebouwing, ook dakkapellen.
- Alle LiDAR-punten die een dak van een gebouw raken worden geclassificeerd als bebouwing, ook al ligt een deel van de punten buiten het vlak dat in de BAG als pand of ligplaats wordt aangeduid. Dit geldt ook voor uit- / aanbouwen.
- Woonboten worden in zijn geheel als bebouwing geclassificeerd.
- En is het volgende weggelaten:
- Alleen dakvlakken worden als gebouw beschouwd, de rest van het gebouw (gevels, ect.) zijn overig
- Een punt dat zich niet op maaiveldniveau binnen een gebouw bevindt en is geclassificeerd als bebouwing zal niet tot afkeuring leiden.

De definitie van kunstwerken volgen in AHN5 grotendeels uit de BGT en uit eerdere AHN-versies: voor de definitie van kunstwerken wordt de BGT ten tijde van de vlucht gehanteerd samen met de klasse kunstwerken uit het AHN4 (Een kunstwerk wordt gedefinieerd als een civieltechnische constructie of installatie in de infrastructuur die geen waterkerende functie vervult). Het betreft de categorie Overbruggingsdeel uit de BGT; en uit de categorie Kunstwerkdeel, element: steigers. De AHN4 klasse kunstwerken geldt als aanvulling op bovenstaande definitie om eventuele elementen die niet in de BGT zijn opgenomen toch als kunstwerk te classificeren. Alle LiDAR-punten die een kunstwerk raken worden geclassificeerd als kunstwerk, ook al ligt een deel van de punten buiten het vlak uit het AHN4 of de BGT.

Ook de definitie van de klasse water volgt uit de BGT en eerdere AHN's: voor de definitie van water wordt de BGT ten tijde van de vlucht gehanteerd samen met de klasse water uit het AHN4. Het betreft uit de categorie Waterdeel de BGT-elementen: Zee, Waterloop, Watervlakte, Greppel/droge sloot. En uit de categorie Overig bouwwerk: Bezinkbak, Bassin. Het kan voorkomen dat er op de aangegeven locaties (tijdelijk) geen water aanwezig is. In dat geval



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

42 van 46

worden de LiDAR-punten als maaiveld geclassificeerd. Zie ook de definitie Maaiveld. De AHN4 klasse water geldt als aanvulling op bovenstaande definitie om eventuele elementen die niet in de BGT zijn opgenomen toch als water te classificeren. Alle LiDAR-punten die een waterloop / -oppervlak raken worden geclassificeerd als water, ook al ligt een deel van de punten buiten het vlak uit het AHN4 of de BGT. Ruis in water, door bijvoorbeeld het breken van golven, wordt als water geclassificeerd. De definitie van de klasse overig komt overeen met eerdere AHN-klassen en omvat alles wat niet is gespecificeerd door de andere klassen.

Hoogdynamische AHN

De definities zijn als volgt aanwezig in de dataset:

- Maaiveld wordt gedefinieerd als de grens tussen grond en lucht of tussen grond en water (net als AHN2,3,4,5). Hierbij gelden de volgende uitgangspunten:
 - Maaiveld heeft een (semi-) permanent karakter
 - Maaiveld heeft een natuurlijk/landschappelijk karakter
 - Maaiveld vormt een onderdeel van het stroomgebied van water
- Water wordt gedefinieerd als alle wateroppervlakken, permanent en tijdelijk.
- Overige wordt gedefinieerd als alle laserpunten die geen extreem zijn en niet tot de klasse maaiveld, of water behoren. Bijvoorbeeld: vegetatie, straatmeubilair, auto's, GSM-masten, personen, dieren, hoogspanningsmasten en -kabels.



Bijlage B: Behaalde specificaties binnen het AHN

AHN2: 2007-2012

Behaalde specificaties

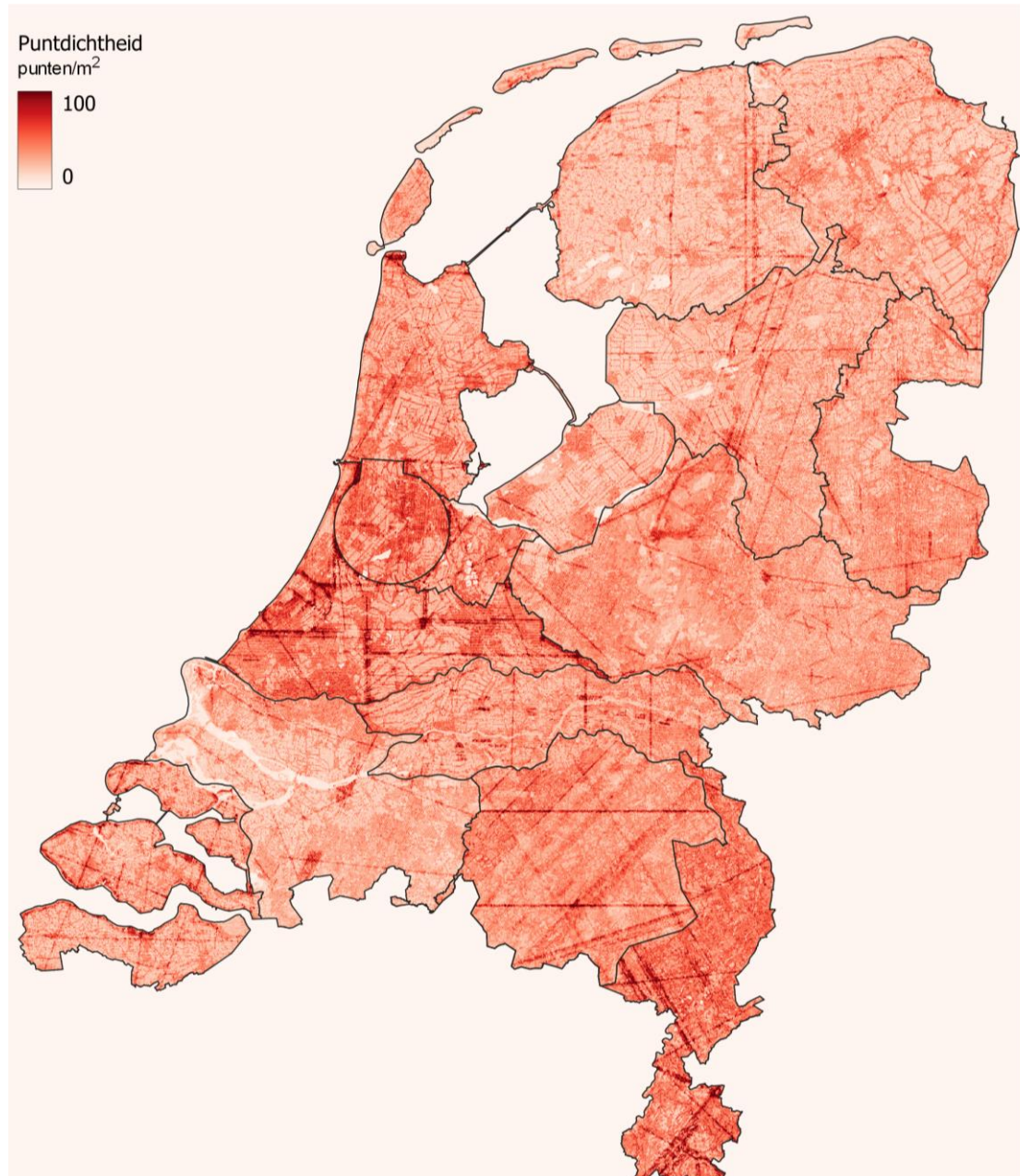
Volgens de controlerapportages heeft de uitvoering geleid tot een punt dichtheid van minimaal 8 punten per vierkante meter, en voor meer dan 94% van het gebied is het groter dan 9. Uit de controlerapporten blijkt dat de systematische fout (gemiddelde planimetrische fout) tussen de 5-10 cm ligt, met een stochastische fout van 3-7 cm. Echter zijn deze waarden voor zowel de hoogte als planimetrische nauwkeurigheid bij controle steekproefsgewijs bepaald en is niet altijd aangegeven uit welke metingen de gemiddelde en maximale fouten voortkomen. Er kan dus niet vanuit gegaan worden dat er systematisch hogere nauwkeurigheid is geleverd dan in de besteksspecificaties aangegeven. Ook blijkt uit de besteksvoorwaarden dat in ieder geval 98% van de data aan de eisen voldoet, waarbij de 2% afwijkende data, verspreid over het gebied kan voorkomen.

AHN3: 2014-2019

Behaalde specificaties

Uit inspectie van de controlerapporten blijkt dat de minimale specificaties veelal geleid hebben tot een dichtheid van +/- 6 punten per m². Uit een steekproefanalyse van verschillende gebieden blijkt echter dat er veelal meer dan 6 punten per vierkante meter aangetroffen wordt.

De totale punt dichtheid over het gehele land is berekend en weergegeven in Figuur 11. De punt dichtheid verschilt zowel lokaal als tussen percelen. In perceel "Zuid-Holland-Utrecht" en "Limburg" ligt de punt dichtheid rond de 20 punten per m² door bijvoorbeeld een groter aantal overlappende vlieglijnen. Terwijl in bijvoorbeeld perceel Brabant-Zuid-Holland, de punt dichtheid vaker rond de 10 punten per m² ligt. De lokale verschillen zijn te wijten aan overlap van vliegstroken evenals grote verschillen in type objecten. Ook hebben objecten als bomen veelal een hogere punt dichtheid, door de meerdere reflecties per meting.



Figuur 11 Punt dichtheid van AHN3. Berekend per rastercel van 0.5 bij 0.5 meter. De perceelsgrenzen van de inwinning zijn weergegeven in zwart

De stochastische planimetrische fout blijkt uit de controlerapporten tussen de 4 en 7 cm te liggen, met een systematische fout van gemiddeld 10 cm. Uit de controlerapporten blijkt verder dat de hoogtenauwkeurigheid in veel gevallen hoger ligt dan in de besteksvoorwaarden was gespecificeerd, met een stochastische fout tussen de 2 en 4.5 cm en een systematische fout



Datum

20-08-2024

Titel

WP1: Inventarisatie van puntenwolken in Nederland

Status

Versie 1.0

Pagina

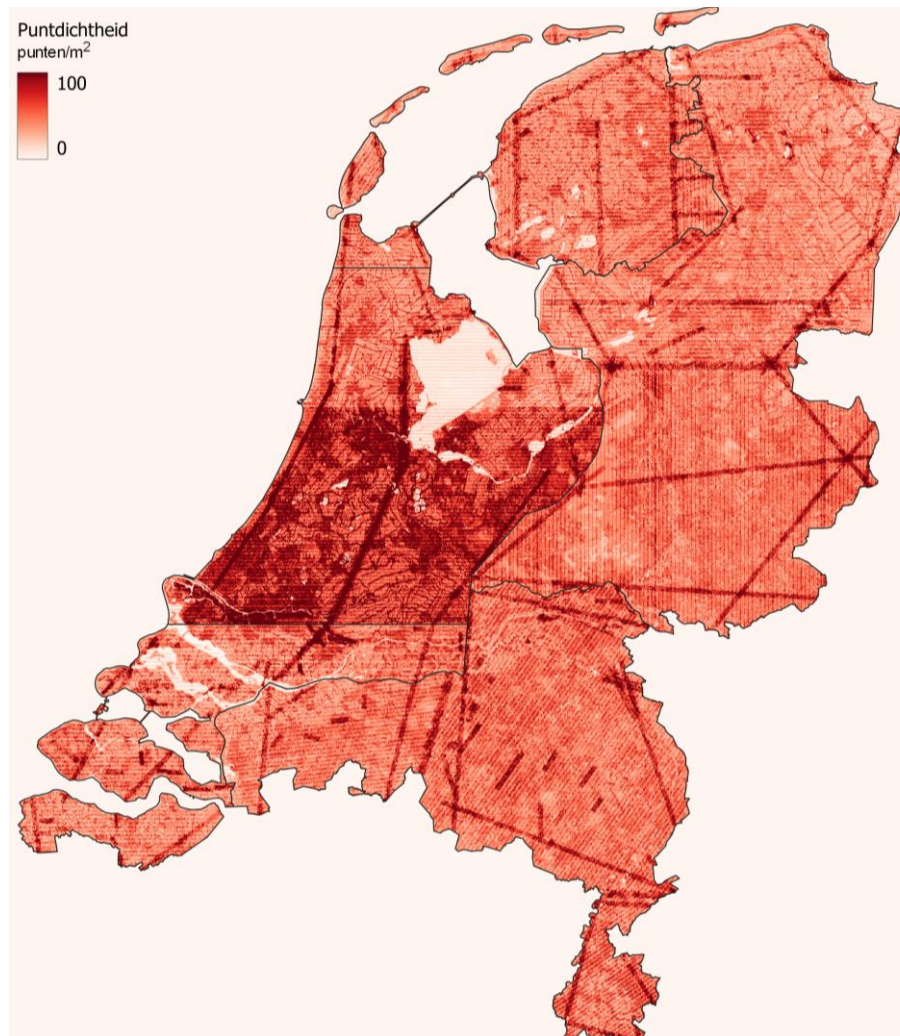
45 van 46

rond de 4.5 cm. Echter kan niet worden aangenomen dat deze hogere nauwkeurigheid homogeen over heel Nederland of een heel perceel voorkomt, omdat deze steekproefsgewijs is gevalideerd en niet alle controlerapporten zijn nagelopen. Ook voor deze dataset geldt dat in ieder geval 98% van de data aan de eisen voldoet, waarbij de 2% afwijkende data enkel verspreid over het gebied kan voorkomen. Uit nadere analyse van AHN3 in vergelijking met AHN4 blijkt wel dat er in AHN3 systematische hoogtefouten zitten van meer dan 10 cm welke visueel patronen van vliegstroken volgen, en daarmee te herleiden zijn naar foutieve vereffening van AHN3.

AHN4: 2020-2022

Behaalde specificaties

In Figuur 12 is de spreiding van de punt dichtheid over Nederland weergegeven. Vrijwel overal waar overlap is tussen stroken komt dit ver boven de 10 punten per m² uit. Bijvoorbeeld in regio west ligt de punt dichtheid op 20 punten per m² of hoger. Daar waar nog meer stroken overlappen is de gemiddelde punt dichtheid zelfs rond de 80 punten per m². Hier bevatten bomen en kassen zelfs +/- 400 punten per m² (zie de donkere centrale N-Z strook).



Figuur 12 Punt dichtheid van AHN4. Berekend per rastercel van 0.5 bij 0.5 meter. De perceelsgrenzen van de inwinning zijn weergegeven in zwart

Uit de controlerapporten blijkt dat de hoogtenauwkeurigheid in veel gevallen hoger ligt dan de gevraagde specificaties, waarbij de stochastische fout veelal rond de 2 cm ligt en een maximum van 4 cm heeft vergeleken met referentiemetingen. Ook de systematische fout ligt grotendeels beneden de 5 cm. Echter kan het niet aangenomen worden dat deze hogere nauwkeurigheid homogeen over heel Nederland of een heel perceel voorkomt, omdat deze steekproefsgewijs is gevalideerd en niet alle controle rapporten zijn nagelopen. Ook voor deze dataset geldt dat in ieder geval 98% van de data aan de eisen voldoet, waarbij de 2% afwijkende data, enkel verspreid over het gebied kan voorkomen. De stochastische en systematische planimetrische fouten blijken volgens de controle rapporten altijd beter te zijn dan de gevraagde specificaties te eisen.