

Rapport

Standaarden voor 3D geo-informatie

Geonovum & 3D Geoinformation, TU Delft

**datum**

22-12-2016

**versie**

1.0



# Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
1.1	Uitleg over dit rapport	3
1.2	Leeswijzer	3
2	Huidige stand van zaken	5
2.1	Ontwikkeling van standaarden	5
2.2	Objecten, semantiek en attributen	5
2.3	Visualisatie via het web en data uitwisseling	6
3	Standaarden voor opslag en uitwisseling	7
3.1	Objecten	7
3.1.1	GML	7
3.1.2	CityGML	7
3.1.3	gITF	8
3.1.4	KML	9
3.1.5	IFC	9
3.1.6	InfraGML	9
3.1.7	SLPK	9
3.1.8	Vergelijking van de standaarden voor opslag en uitwisseling	10
3.2	Puntenwolken	10
3.2.1	LASer	10
3.2.2	Hierarchical Data Format	11
3.2.3	Binary Point File	11
3.2.4	Entwine	12
3.2.5	Vergelijking van de standaarden voor puntenwolken	12
4	Standaarden voor visualisatie via het web	13
4.1	Objecten	13
4.1.1	3D Portrayal Service	13
4.1.2	3D Tiles	13
4.1.3	Indexed 3D Scene Layers	14
4.1.4	Web Feature Service	14
4.1.5	Vergelijking van de standaarden voor web visualisatie van objecten	14
4.2	Puntenwolken	15
4.2.1	3D Tiles	15
4.2.2	Indexed 3D Scene Layers	15
4.2.3	Greyhound	15
4.2.4	Vergelijking van de standaarden voor het ontsluiten van puntenwolken	15
4.3	Virtual globes	15
4.3.1	NASA World Wind	15
4.3.2	Google Earth	16
4.3.3	WebGL Earth	16
4.3.4	OpenWebGlobe	16
4.3.5	Cesium	16
5	Conclusies en aanbevelingen	17
5.1	Data standaarden	17
5.1.1	Objecten	17
5.1.2	Puntenwolken	17
5.2	Web standaarden	17
5.2.1	Objecten	17
5.2.2	Puntenwolken	17
	Bijlage 1	18



## Hoofdstuk 1

# Inleiding

**In dit hoofdstuk wordt toegelicht wat er in de rest van dit report zal worden behandeld. Het is een handvat om de lezer te verduidelijken wat er van dit document kan worden verwacht.**

### 1.1 Uitleg over dit rapport

Standaarden voor het beheer, de modellering, uitwisseling en ontsluiting van 3D informatie zijn essentieel bij 3D ontwikkelingen: standaarden voor 3D data bieden softwarebedrijven een solide basis voor investeringen. Bovendien maken 3D standaarden hergebruik van 3D data mogelijk.

3D standaarden worden snel volwassen. De werkgroep "3D standaarden" van Doorbraak3D heeft de afgelopen jaren tot doel gehad de ontwikkelingen rond 3D standaarden zichtbaar te maken naar het werkveld en deze waar nodig te sturen.

Eind 2014 sprak deze werkgroep de volgende ambitie uit:

*"we willen toe naar*

- *Eén informatiestandaard: een standaard om 3D data in op te slaan en uit te wisselen. Hierin zit zowel structuur als semantiek.*
- *Eén 3D API / uitwisselprotocol / web service protocol.*
- *Gestandaardiseerde open source implementaties / "reference implementations" voor deze standaarden.*
- *Uitbreiding van metadatastandaarden voor 3D-specifieke metadata, voor services en data.*

*De nadruk willen wij hierbij leggen op het World Wide Web waarbij naast data modellen zelf in het bijzonder services als overkoepelende interoperabiliteitslaag tussen de verschillende domeinen interessant zijn. Linked Data en de mogelijkheden daarin voor ruimtelijke data kunnen daarbij ook aan bod komen.*

*Standaarden zijn de basis voor het succes van 3D. We worden gedreven door de urgentie van de verschillende domeinen. Om de 3D doorbraak tot een succes te maken, zijn er standaarden nodig om 3D toepassingen te realiseren. Maar evengoed moeten we wel proactief met standaarden bezig zijn. Anders worden we misschien ingehaald door een de facto standaard van een grote vendor."*

Dit rapport bouwt voort op de inventarisatie van 3D standaarden die deze werkgroep begin 2015 uitvoerde en heeft als doel om inzicht te geven in het landschap van 3D standaarden voor geo-informatie: welke 3D standaarden zijn er voor geo-informatie? Wat zijn hun voor- en nadelen en welke 3D standaard is het best voor een specifieke toepassing? Daarnaast beoogt dit rapport aanbevelingen te doen voor de meest geschikte 3D standaard voor specifieke 3D ontwikkelingen.

Dit rapport is een samenwerking van Doorbraak3D, Geonovum, PDOK en 3D Geoinformation TU Delft.

### 1.2 Leeswijzer

De scope van dit rapport richt zich op de 3D standaarden die relevant zijn voor het geo-domein. Op basis van eigen ervaring, intensieve verkenning en een rondgang bij 3D experts is een selectie gemaakt van deze 3D standaarden. In de volgende hoofdstukken worden deze standaarden in detail toegelicht.

Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen: 3D standaarden voor uitwisseling en opslag (Hoofdstuk 3) en 3D standaarden voor ontsluiting via het web (Hoofdstuk 4) waarbij zowel de oplossing voor puntenwolken als voor objecten is beschreven. Eerst wordt in Hoofdstuk 2 de recente ontwikkelingen beschreven van 3D standaarden. Hoofdstuk 5, tenslotte, sluit af met een evaluatie van de verschillende 3D



standaarden en formuleert aanbevelingen over welke 3D standaard voor welke 3D toepassingen te gebruiken.

Een overzicht van alle standaarden die in dit rapport staan beschreven en de specifieke kenmerken per standaard, is te vinden in de Tabel in Bijlage 1.



## Hoofdstuk 2

# Huidige stand van zaken

**Dit hoofdstuk beschrijft de huidige stand van zaken op het gebied van 3D geo-informatie standaarden. Paragraaf 2.1 begint met een generieke stand van zaken. In paragraaf 2.2 wordt de stand van zaken voor geometrie, objecten en semantiek afzonderlijk uitgediept waarna in paragraaf 2.3 de standaarden voor 3D visualisatie via het web en ontsluiting van 3D data als bestanden voor offline gebruik worden toegelicht.**

### 2.1 Ontwikkeling van standaarden

Er is op het gebied van 3D standaarden veel gaande. Zo zijn er verschillende organisaties bezig om hun 3D standaarden bij het OGC (Open Geospatial Consortium) te laten behandelen voor een nominatie als OGC Community Standard. Dit zijn onder andere Indexed 3D Scene Layers van Esri (zie 4.1.3) en 3D Tiles van Analytical Graphics (zie 4.1.2). Beide standaarden kunnen worden gezien als een implementatie van OGC's 3D Portrayal Service (zie 4.1.1) maar bieden daarnaast veel meer functionaliteit. Ook aan bestaande standaarden wordt hard gewerkt. Zo is de CityGML werkgroep bezig met het uitbreiden van CityGML 2.0 naar versie 3.0. De ontwikkelingen duren naar verwachting tot eind 2017 waarna een grote stap voorwaarts gemaakt is in uitbereiding van de standaard.

Er is begin 2015 een OGC Point Cloud Domain Working Group samengesteld die zich richt op het opvullen van het gat in de huidige OGC standaardisatie voor puntenwolken en service formaten. Binnen deze werkgroep is er duidelijk geworden dat er al veel multidimensionale dataformaten beschikbaar zijn welke in te zetten zijn voor de opslag van puntenwolken. Er is uit onderzoek gebleken dat het Hierarchical Data Format (HDF) een goede basis is. Er loopt op dit moment een voorstel om een werkgroep te vormen welke een datamodel voor HDF gaat uitwerken als standaard voor puntenwolken. Het gebruik van HDF als dataformaat voor puntenwolken is niet nieuw want SIPC en MIPC (zie 3.2.2) gebruiken deze ook als basis.

### 2.2 Objecten, semantiek en attributen

Een object in 3D geo-informatie is een samenvoeging van verschillende 3D geometrieën welke gezamenlijk een vorm beschrijven zoals een vloer, muren en een dak samen een huis vormen. Het groeperen van de 3D geometrieën zorgt ervoor dat een object als geheel te onderscheiden is van de rest van de geometrieën. Per standaard verschilt de manier van beschrijving van een object. Veel voorkomende beschrijvingen zijn boundary en solid representaties. De eerste is een combinatie van platte vlakken welke niet perse een gesloten geheel hoeft te vormen; de laatste is een boundary representatie welke volledig gesloten is.

Semantiek biedt de mogelijkheid tot het toewijzen van thematische betekenis aan een object. Door objecten een unieke identificatie te geven of objecten te groeperen kunnen er bijvoorbeeld kleuren worden toegewezen of kan de data op basis van de semantiek worden geanalyseerd. Semantiek kan uit attribuut informatie worden gehaald maar hoeft niet perse. Door groepering toe te passen (bijvoorbeeld tot individuele gebouwen) kan er ook semantiek worden toegekend.

Een attribuut bevat informatie over een object, dit kan alle gewenste informatie zijn van een tekstuele beschrijving tot getallen. Attributen kunnen alleen worden toegewezen aan 3D geo-informatie als deze als object kan worden geïdentificeerd.



## 2.3 Visualisatie via het web en data uitwisseling

Voor het ontsluiten van 3D geo-informatie via het web onderscheiden we hier twee mogelijkheden: visualisatie via het web en het opslaan van data in bestanden voor uitwisseling. Voor visualisatie zijn een aantal punten van belang: bestandsgrootte of beschikbaarheid van compressie en de benodigde rekenkracht voor conversie en renderen. Het meest optimale is als een standaard een klein bestandsformaat of hoge compressie heeft in combinatie met lage vereisten voor conversie. Er zijn buiten de geo-informatie standaarden verschillende 3D bestandsformaten beschikbaar die hiervoor geoptimaliseerd zijn. Naast bestandsformaten is een standaard voor opvragen van de informatie vanaf een server ook van belang in combinatie met een viewer die de data kan renderen. In 2D zijn hiervoor veel bekende standaarden beschikbaar zoals Web Mapping Service en Web Feature Service.

Het opslaan van bestanden voor uitwisseling is van belang zodat de data via bijvoorbeeld PDOK beschikbaar kan worden gesteld maar ook voor het uitwisselen tussen gebruikers. Voor een standaard voor dataopslag zijn voornamelijk van belang of (en hoe) semantische en attribuut informatie kan worden opgeslagen en hoe nauwkeurig de geometrische beschrijving is van de 3D informatie.



## Hoofdstuk 3

# Standaarden voor opslag en uitwisseling

**Voor opslag en uitwisseling van 3D geo-informatie zijn er veel verschillende standaarden beschikbaar. Dit hoofdstuk zal de meest voorkomende standaarden verder toelichten en vergelijken. Er is een opsplitsing gemaakt tussen objecten en puntenwolken omdat de uitdagingen van deze twee soorten data en dus de standaarden om hiermee om te gaan van elkaar verschillen.**

### 3.1 Objecten

In dit onderdeel staan de standaarden voor opslag en uitwisseling van objecten uitgediept. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt tussen verschillende soorten objecten. Een compleet model met terrein, gebouwen en andere objecten (water, wegen, straatmeubilair) kan daarom worden opgeslagen met alle hierna besproken standaarden. Aan het einde is er een paragraaf gewijd aan de vergelijking tussen de standaarden voor opslag en uitwisseling van objecten.

#### 3.1.1 GML

GML (Geography Markup Language) is ook wel bekend als ISO 19136 en ontwikkeld door het Open Geospatial Consortium (OGC). Het is een XML structuur gemaakt voor het opslaan en uitwisselen van geografische data. De standaard beschrijft de mogelijke geometrieën van 3D objecten met ook ondersteuning voor topologie. GML3 is modulair opgebouwd waardoor er een keuze kan worden gemaakt uit de beschikbare schema onderdelen die benodigd zijn voor een specifieke toepassing. Het geometrie model voldoet aan de ISO 19107 standaard en ondersteunt daarmee 0D-3D geometrie primitieven, 1D-3D samengestelde geometrieën (CompositeSurface) en 0D-3D meervoudige geometrieën (e.g. MultiSurface or MultiSolid) bestaande uit geometrieën welke niet verbonden zijn door middel van gemeenschappelijke grenzen. GML3 heeft daarnaast ondersteuning voor ruimtelijke- en tijds- referentie systemen, topologie, dynamische objecten, maateenheden, metadata en is semantisch uit te bereiden.

#### 3.1.2 CityGML

Een van de nieuwste standaarden op het gebied van 3D dataopslag is CityGML (OGC, 2008) waarvan de tweede versie in 2012 is uitgebracht. CityGML is een object georiënteerd model dat de mogelijkheid biedt om geometrie, semantiek, topologie en uiterlijk voorkomen (textuur) per object vast te leggen.

De huidige CityGML 2.0 versie bestaat uit 11 klassen met semantische beschrijvingen voor veelgebruikte objecten zoals vegetatie, gebouwen en transport. Naast deze basis klassen zijn er klassen voor uiterlijk voorkomen en algemene informatie.

Er zijn twee manieren om CityGML uit te breiden met eigen informatie.

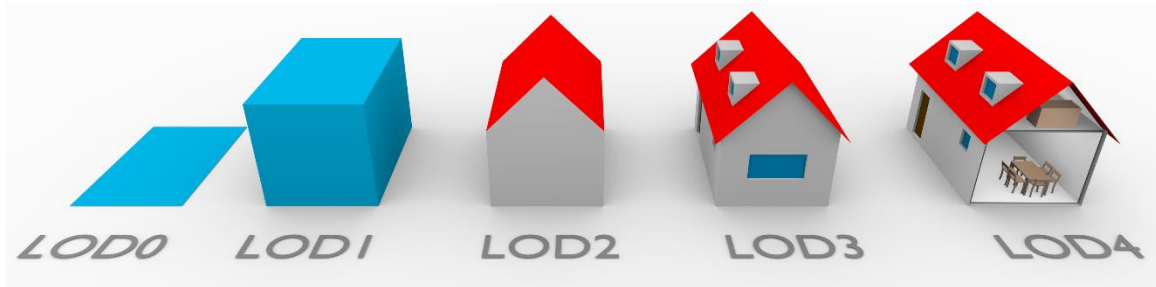
De Generics klasse kan worden gebruikt om het model uit te bereiden met nieuwe typen objecten en attributen. Een andere mogelijkheid is het definiëren van een Application Domain Extension (ADE). Het gebruik van een ADE biedt meer mogelijkheden omdat gebruik-specifieke onderdelen kunnen worden vastgelegd (geometrie, semantiek, topologie en uiterlijk voorkomen). Bij een ADE wordt er een schema gedefinieerd als xsd en dit heeft als bijkomend voordeel dat een schemavalidatie kan worden gedaan op de door de gebruiker uitgebreide klassen en attributen.

Het datamodel van CityGML is gebaseerd op GML3 en alle geometrie definities zijn overgeërfd. Zoals in paragraaf 3.1.1 staat beschreven heeft GML3 ondersteuning voor 0D-3D primitieven (point, curve, surface en solid) en ook voor samengestelde oppervlakken (CompositeSurface). Vooral de laatste wordt vaak gebruikt om gebouwen, stads objecten en waterlichamen te modelleren. Deze samengestelde oppervlakken kunnen worden beplakt met texturen welke uit zowel artificieel materiaal als foto's kunnen bestaan. 3D objecten kunnen ook als vaste objecten (solid) worden beschreven. Deze vaste objecten



moeten waterdicht zijn en de software die de CityGML maakt moet hier zorg voor dragen. Indien de surfaces van een solid expliciet zijn gemodelleerd, kunnen ook deze worden getextureerd.

**Figuur 1: CityGML LOD's voor gebouwen**



Een belangrijk concept in CityGML is LOD (Level of Detail). Dit concept wordt gebruikt voor het modelleren van 3D data. CityGML definieert 5 verschillende detail niveaus (Level of Detail, LOD) zoals te zien in **Figuur 1**. De niveaus gaan voor gebouwen van LOD0, een 2.5D terrein model, tot LOD4 met inpandigie modellering. De CityGML definitie van een detail niveau verschilt significant van detail niveaus in computer graphics. De LOD's beschrijven de details van een model waarin deze benodigd is voor een specifieke toepassing. Zo is voor een simulatie op grondniveau een extrusie van gebouwen (LOD1) al voldoende waarbij voor een zonnepaneel potentiaal berekening dakvormen (LOD2) van belang zijn. De verschillende detail niveaus zijn niet bedoeld voor versnellen van visualisaties zoals bij computer graphics het geval is. De intentie van de niveaus is het representeren van de nauwkeurigheid van de objecten waarbij LOD0 de laagste resolutie heeft van een aantal meters en LOD4 millimeter nauwkeurigheid.

Recent is er een revisie-model voorgesteld bij OGC om de Levels of Detail te reduceren tot 4: LOD0 t/m LOD3, waarbij ieder type object in iedere LOD kan voorkomen (dat is in de huidige versie van CityGML niet het geval) en waarbij ook op ieder LOD (dus van 0 tot en met 3) de binnenkant van objecten kan worden gemodelleerd.

Het conceptuele model van CityGML bestaat op moment van schrijven in twee implementaties, als GML-bestanden en als schema voor DBMS. Lezen en schrijven van CityGML bestanden wordt door steeds meer software ondersteund. Zo wordt dit ondersteund in de software van bedrijven als Safe Software, Autodesk, ESRI en Bentley Systems. Daarnaast wordt er door universiteiten onderzoek gedaan naar implementatie in DBMS (TU Berlin en TU Delft) met open source oplossingen als resultaat. De TU Berlin heeft 3DCityDB ontwikkeld voor PostGIS (een ruimtelijke extensie voor PostgreSQL). Een importer en exporter voor de 3DCityDB is beschikbaar. De software converteert de CityGML bestanden naar het database model en exporteert de data uit de database naar verschillende bestandsformaten (e.g. CityGML, KML en glTF).

### 3.1.3 glTF

Het gl Transport Format (glTF) is een nieuwe standaard van de Khronos Group welke ook het COLLADA-formaat heeft ontwikkeld. De standaard is uitermate geschikt voor web toepassingen en wordt dan ook in verschillende 3D web standaarden gebruikt (zie Hoofdstuk 4). De doelstelling van de standaard is om een lichtgewicht bestandsformaat te definiëren waarbij er aan de kant van de cliënt weinig tot geen rekenkracht benodigd is. Doordat meshes en animaties als binaire data kunnen worden verzonden op een manier zodat deze direct klaar is voor visualisatie, is het mogelijk om data zeer snel in te laden.

Het formaat is zo ontwikkeld dat het neutraal is voor implementatie in alle verschillende programmeertalen en applicaties. Hierdoor kan er zowel voor lokale visualisatie in bijvoorbeeld C++ als web visualisatie in JavaScript een applicatie worden gemaakt. Daarnaast biedt glTF ondersteuning voor materialen, animaties, camera en licht instellingen. De data wordt opgeslagen in een JSON-bestand met beschrijving van alle elementen en er wordt naar de data verwezen via URI's welke op hun beurt zorgen voor een extra downloadverzoek. De data kan ook worden opgeslagen in dit JSON-bestand. Maar door de Base64 encoding ervan neemt dit extra ruimte in beslag.





In de gITF standaard is het mogelijk om extensies te ontwikkelen. De extensies kunnen worden gebruikt voor het verhogen van performance in specifieke applicaties of voor het specificeren van veel gebruikte informatie. Wanneer een extensie wordt gebruikt kan deze in het gITF bestand worden gespecificeerd waarna deze wordt ingeladen. Een veelgebruikte extensie is Binary gITF waarbij de JSON en alle binaire data worden samengevoegd en opgeslagen als little-endian bestand. Doordat dit bestand geen base64 encoding heeft is het niet nodig om tijdens het gebruik de data te decoderen wat vervolgens weer voor snelle data toegang zorgt.

#### **3.1.4 KML**

Keyhole Markup Language (KML) is een XML-formaat voor het opslaan van geografische data en visualisatie van objecten in Google Maps en Google Earth (nu ArcGIS Earth). Het KML-formaat is ontwikkeld door Keyhole Inc., dat is overgenomen door Google. Na de overname is het ondergebracht als standaard bij OGC. Geometrieën in KML zijn in lijn met die in GML. De standaard is toepasbaar voor web toepassingen. Een belangrijke beperking van KML is dat geometrieën worden weergegeven zonder semantische informatie.

Wanneer KML wordt gecomprimeerd tot KMZ is er ook een mogelijkheid de geometrie te combineren met informatie uit COLLADA-bestanden. COLLADA is een open standaard welke door Sony is ontwikkeld en veel door Google wordt toegepast in Google Earth en SketchUp. COLLADA kan opzichzelfstaande 3D data opslaan met beschrijving van geometrie, topologie en texturen. Belangrijk hierbij is dat ook COLLADA geen ondersteuning biedt voor semantische informatie.

#### **3.1.5 IFC**

Een van de bekendste en meest gebruikte Building Information Model (BIM) is de standaard Industry Foundation Classes (IFC, ISO16739). Een BIM kan worden beschreven als een digitale representatie van de fysieke en functionele karakteristieken van bouwwerk. Het wordt gebruikt om samenwerking te stimuleren tussen alle partijen tijdens de levensspan van een gebouw. IFC is een technische uitwerking van dit concept. Het is een standaard welke communicatie, kosten, ontwerp- en bouwkwaliiteit moet verbeteren.

Een gebouw is in IFC gemodelleerd als een collectie van objecten die samen een deel van een gebouw vormen. De 3D geometrie is maar een van de eigenschappen (maar kan ook 2D zijn) net als de informatie van de eigenaar en kosten. De IFC-objecten kunnen een beschrijving zijn van elk onderdeel van een gebouw, e.g. een muur, raam, deur of de materialen gebruikt in een muur. Meestal is de modellering van zeer hoog detail waardoor het is in te zetten tijdens constructiewerkzaamheden. Een IFC-model beslaat dan ook vaak een enkel gebouw of bouwlocatie en niet een groter gebied zoals in GIS-toepassingen vaak het geval is.

#### **3.1.6 InfraGML**

De InfraGML standaard is momenteel in ontwikkeling door een samenwerking van OGC and buildingSMART International. De standaard is bedoeld voor land en infrastructuur en zou het gat tussen LandXML, CityGML en IFC standaarden moeten dichten. LandXML is een standaard welke niet door een standaardisatie organisatie wordt ondersteund en is niet geïntegreerd met een OGC of IFC standaard. De standaard wordt wereldwijd gebruikt voor opslag en uitwisseling van data voor land ontwikkeling en infrastructuur gerelateerde informatie. Met InfraGML wordt een nieuwe start gemaakt om de missende geo-informatie onderdelen van LandXML op te vullen met kennis uit OGC en IFC standaarden. GML biedt een feature model en goede ondersteuning voor geometrieën waar IFC gedetailleerde modellering van attributen en parametrische primitieven toevoegt. De uitkomst van InfraGML is geen geo- of BIM standaard maar een combinatie van beide.

#### **3.1.7 SLPK**

Sinds een aantal jaar is Esri bezig met de ontwikkeling van scene layers welke kunnen worden opgeslagen in een Scene Layer Package (SLPK). Een SLPK bestaat uit metadata die de verschillende onderdelen zoals geometrieën, attributen en texturen beschrijft. In het archief is de data opgesplitst in nodes waarbij elke node ongeveer een gelijk gebied beschrijft. De gebieden zijn geïndexeerd waardoor de juiste data snel



beschikbaar is. Elke node heeft zijn eigen metadata welke de beschrijving van de node en de lagere nodes bevat. Het archief is normaal niet gecomprimeerd maar alle onderdelen in het archief op zichzelf wel. Zowel de Json als de binaire bestanden in elke node zijn gecomprimeerd waardoor voor de toegang tot een node geen decompressie hoeft te worden uitgevoerd maar alleen bij toegang tot de data. Deze manier van opsplitsen van informatie kan ook gebruikt worden voor de generalisatie van zoomniveaus. Door op hogere niveaus een selectie van lagere nodes te maken kan detaillering voor een zoomniveau worden vastgelegd. De geometrieën in een SLPK zijn gebaseerd op de Khronos Typed Array zoals deze ook in glTF word toegepast waardoor deze voorbereid zijn voor direct renderen.

### **3.1.8 Vergelijking van de standaarden voor opslag en uitwisseling<sup>1</sup>**

De in de voorgaande paragrafen beschreven standaarden voor 3D dataopslag zijn zoals eerder vermeld een selectie van alle beschikbare formaten geschikt voor het geo-informatie domein. Alle standaarden zijn ontstaan uit verschillende noodzaken en dus bieden ze elk een oplossing voor een ander probleem.

Uit de vergelijking is gebleken dat standaarden zoals IFC en KMZ (met COLLADA) de meeste mogelijkheden hebben voor wat betreft geometrieën. Daarnaast hebben KMZ (KML met COLLADA) en glTF de meest geavanceerde ondersteuning voor realistische texturen gevolgd door IFC en CityGML die ook ondersteuning bieden voor texturen.

Het kunnen onderscheiden van objecten, zoals beschreven in paragraaf 2.2, is uiteenlopend. KML-bestanden kunnen wel objecten ontsluiten maar dit kost zoveel precisie bij het maken van het bestand dat de beste optie is om de objecten in aparte bestanden op te slaan. Voor IFC, CityGML en glTF zijn objecten apart te identificeren en bij IFC en CityGML zijn zelfs alle objectklassen vooraf gedefinieerd. Ook is bij IFC en CityGML een goede ondersteuning voor attributen aanwezig.

Het is uit het onderzoek duidelijk dat CityGML op alle fronten relatief goede ondersteuning biedt. Ook is glTF met een opmars bezig als het gaat om een standaard met bestand- en web- ondersteuning door de mogelijkheid van binaire bestanden en beschikbaarheid in meerdere web visualisatie standaarden (zie Hoofdstuk 4). De nadelen van glTF zijn het niet ondersteunen van solids en coördinatensystemen.

SLPK dat is gebaseerd op glTF's binaire data opslag, is een standaard welke wel coördinatensystemen ondersteund en ook een directe integratie biedt met I3S (zie 4.1.3) voor web visualisatie. Ook is compressie mogelijk en het indexeren van data is geïntegreerd in de standaard waardoor SLPK de missende punten van glTF aanvult.

## **3.2 Puntenwolken**

De definitie van een puntenwolk is een groep van punten in een driedimensionaal coördinatensysteem. Er zijn verschillende manieren om een puntenwolk te verkrijgen, bijvoorbeeld land/lucht LiDAR en dense matching technieken van stereo luchtfoto's. Doordat een puntenwolk fundamenteel verschilt van een object geometrie, worden ze hier apart onderdeel behandeld. Er zijn binnen puntenwolken geen topologische verbindingen waardoor de punten moeten worden gegroepeerd. Door deze specifieke eigenschap kan de dataopslag op een andere manier worden geoptimaliseerd dan de opslag van een object. Deze paragraaf beschrijft de bestaande standaarden voor opslag en uitwisseling van punten wolken en sluit af met een vergelijking hiervan.

### **3.2.1 LASer**

Het LASer formaat, beter bekend als LAS, bestaat ongeveer 15 jaar. Sinds het ontstaan van dit bestandsformaat wordt het gebruikt om LiDAR data op te slaan en uit te wisselen. De standaard is een open formaat dat door de ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) wordt onderhouden. Het formaat is binair en er zijn verscheidene GIS-software en open-source libraries welke het lezen en schrijven van LAS bestanden ondersteunen. Er is een groot nadeel van LAS bestanden: er

---

<sup>1</sup> Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in bijlage I.



wordt geen compressie toegepast bij het opslaan van de gegevens. De AHN2 dataset in LAS formaat is voor alle 640 miljard punten met alleen x,y,z waarden ongeveer 12TB groot. Voor de AHN3 welke zich op dit moment in de afrondende fase bevindt, zullen er nog enkele attributen worden toegevoegd: klasse, intensiteit, tijd, etc. Het toevoegen van deze attributen zal leiden tot een stijging in bestandsgrootte met een factor 2 of 3.

De oplossing van deze tekortkoming is het comprimeren van de LAS bestanden. Er is een open-source library beschikbaar, LASzip, welke onder LGPL geïmplementeerd kan worden in software. LASzip kan bestanden zonder dataverlies comprimeren met een factor 20. AHN2 heeft in LAZ-formaat een bestandsgrootte van 978GB ten opzichte van de 12TB in LAS formaat. Een belangrijk voordeel is dat de gecomprimeerde data in een LAZ-bestand niet hoeft te worden gedecomprimeerd alvorens het kan worden gelezen.

Belangrijk: er is recent door ESRI een compressieformaat voor LAS uitgebracht als alternatief voor LASzip welke Optimized LAS (zlas) is genoemd. Volgens ESRI is dit formaat sneller voor compressie en heeft het een hogere compressieratio. Een belangrijke kanttekening is dat dit formaat gesloten is en er dus geen documentatie is voor het compressiealgoritme en formaat beschrijving.

### 3.2.2 Hierarchical Data Format

Voor het opslaan van puntdata wordt er op meerdere vlakken onderzoek gedaan naar een alternatief voor LAS. De OGC Point Cloud Domain Working Group (DWG) is bijvoorbeeld bezig met inventarisatie van het Hierarchical Data Format versie 5 (HDF5) voor het opslaan van 3D puntenwolken. Dit bestandsformaat is een standaard voor het opslaan van data maar bevat geen datamodel om de inhoud te beschrijven. HDF5 is ontwikkeld voor het opslaan van multidimensionale data en bijbehorende attributen. Het bevat een Advanced Programming Interface (API) voor het lezen en schrijven van de data welke beschikbaar is in verschillende programmeertalen: C++, Java, Python, MATLAB en IDL. NASA gebruikt het HDF5 formaat voor het opslaan van bijna al hun remote sensing en astronomische data.

Er zijn op dit moment twee datamodellen in ontwikkeling op basis van HDF5, namelijk Sensor Independent Point Cloud (SIPC) en Modality Independent Point Cloud (MIPC). De SIPC-standaard is een geavanceerd formaat dat is ontwikkeld voor de uitwisseling van LiDAR data welke bewerkt is voor het uitvoeren van analyses. Het metadatumodel dat wordt toegepast, is het Conceptual Model and Metadata Dictionary (CMMD) en de metadata voor foutmarges is gebaseerd op het Universal LIDAR Error Model (ULEM). De datastructuur is een combinatie van een 8-dimensionale puntenwolk gebaseerd op fysica en redundantie van informatie (x, y, z, t, i, λ, u, n). De invloed van de fysica is dat langzamer veranderende variabelen hoger in de hiërarchie te vinden zijn. De standaard is beoordeeld door de LIDAR Interoperability Working Group (LIWG) en de LIDAR Community of Practice (LCoP).

De MIPC-standaard is vergelijkbaar met SIPC waarbij het voornaamste verschil is dat dit formaat ontwikkeld is voor het de uitwisseling van alle soorten puntenwolken ongeacht het type inwinning. De metadata beschrijving is afhankelijk van het type data waarbij de best passende gekozen wordt. Belangrijk aspect is dat alle data vanuit het perspectief van de grond is opgeslagen. Ook deze standaard is beoordeeld door de LIDAR Interoperability Working Group (LIWG) en de LIDAR Community of Practice (LCoP).

### 3.2.3 Binary Point File

Binary Point File (BPF) is ontwikkeld door het John Hopkins Applied Physics Laboratory (APL) om als lichtgewicht, snel en binair formaat ongeorganiseerde puntenwolken te kunnen opslaan. Wegens verandering van gebruik zijn er reeds twee revisies geweest van de standaard waarbij in versie 2 structurering van de data en Universal LIDAR Error Model (ULEM) zijn geïmplementeerd. De volgende verandering die tot BPF3 leidde is naast een verbeterde ondersteuning voor ULEM het implementeren van het Generic Point Cloud Model (GPM). GPM is de opvolger van ULEM.

Er is ondersteuning voor vier coördinatensystemen: Cartesian, Universal Transverse Mercator (UTM), Terrestrial Centered Rotational (TCR) en East North Up (ENU). Ook is compressie mogelijk door gebruik van FastLZ of Zlib waarbij de data bij de eerste sneller comprimeert en de tweede kleinere bestanden oplevert. Bij gebruik van de data zal eerst decompressie moeten worden uitgevoerd.



De standaard is relatief nieuw (December 2015) en daardoor is het nog niet veelvuldig toegepast. Op dit moment kan de PDAL bibliotheek het formaat lezen en schrijven.

### **3.2.4 Entwine**

Entwine is een data organisatie bibliotheek voor puntenwolken. Het doel van Entwine is het bruikbaar maken van grote puntenwolken op eenzelfde gemakkelijke manier als kleine puntenwolken. Door het indexeren van de puntenwolk, ondersteunen van elk door Point Data Abstraction Library (PDAL) leesbaar formaat, en het herordenen van de data wordt een structuur opgebouwd welke zorgt voor schaalbaarheid naar terabytes grote datasets. Het ontsluiten van de geïndexeerde data gaat via de 3D Tiles standaard (zie 4.2.1) of Greyhound (zie 4.2.34.2.3). Als visualisatie zijn er verschillende JavaScript clients beschikbaar die de kracht van Entwine kunnen laten zien; Plas.io, Potree en Cesium.

### **3.2.5 Vergelijking van de standaarden voor puntenwolken<sup>2</sup>**

Op moment van schrijven zijn er weinig veelgebruikte standaarden voor het opslaan en ontsluiten van puntenwolken. Ook de OGC is tot deze conclusie gekomen waardoor de Point Cloud DWG in het leven is geroepen. De meest gebruikte standaarden zijn LAS en LAZ maar er is ruimte voor BPF3 om zich te ontwikkelen als alternatief mits er verdere ondersteuning komt vanuit bestaande software.

---

<sup>2</sup> Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in bijlage I.



## Hoofdstuk 4

# Standaarden voor visualisatie via het web

**Voor het ontsluiten ofwel visualiseren van 3D geo-informatie via het web zijn er verschillende standaarden in omloop, in ontwikkeling en in het midden van een standaardisatieproces. Dit hoofdstuk beschrijft de meest belovende 3D web standaarden, weer onderscheid makend tussen objecten en puntenwolken (respectievelijk 4.1 en 4.2). Dit hoofdstuk beschrijft ook de virtual globes die worden gebruikt om 3D data op te visualiseren (4.3).**

## 4.1 Objecten

### 4.1.1 3D Portrayal Service

De 3D Portrayal Service (3DPS) is een OGC-standaard (vastgesteld in 2015) welke de belangrijkste onderdelen van (Web 3D Service) W3DS en Web View Service (WVS) samenvoegt in een enkele standaard. Deze twee standaarden zijn vergelijkbaar met Web Feature Service respectievelijk Web Mapping Service voor het opvragen van een 3D web scene. De W3DS standaard beschrijft het opvragen van object geometrieën waar WVS deze objecten omzet in afbeeldingen als uitkomst van een query (verzoek). Door het samenvoegen van deze standaarden en het herdefiniëren van de verzoeken zijn er twee opties voor het opvragen van data vanuit 3DPS: GetScene voor de objecten en GetView voor afbeeldingen.

De standaard voorziet in de mogelijkheid tot het opvragen van scenes in verschillende formaten. De ondersteunde formaten zijn X3D in zowel VRML als XML encoding, VRML en CityGML. Zowel een scene als een view wordt opgevraagd door het meegeven van een 3D viewpoint. Dit coördinaat geeft de locatie van de camera aan en bepaalt welke objecten worden teruggegeven door gebruik van zichtlijnen. Bij het bevroegen van de service kan er ook een Level Of Detail (LOD) worden gedefinieerd. Dit attribuut bepaalt het detailniveau van de opgevraagde objecten. De in huidige revisie beschikbare LOD's zijn een op een overgenomen van CityGML. Een van de onderdelen welke mist in de 3DPS standaard is het opdelen van data in zogenoemde tiles. Tiles zorgen ervoor dat data tegelijkertijd via verschillende verzoeken kan worden opgevraagd, wat de laadtijd aanzienlijk verkort.

### 4.1.2 3D Tiles

Vanuit de Technische Universiteit Berlijn is de 3D Tiles standaard ontwikkeld als open source project. De standaard ligt op dit moment ter goedkeuring bij de OGC als community standard. Er is veel tijd besteed aan optimalisatie voor renderen en streamen van 3D data waarbij de Hierarchical Level of Detail (HLOD) zorgt voor het serverside berekenen van zichtbaarheid van de objecten en deze objecten pas terugstuurt wanneer deze zich in het zicht bevinden. Er is ondersteuning voor 3D gebouwen, bomen, TIN terrein, vector data en puntenwolken. Deze data kan worden opgeslagen volgens een specifiek tiling schema dat is geoptimaliseerd voor dit type data.

De standaard beschrijft de data response bestaande uit een Json bestand met een beschrijving van de scene en glTF bestanden met daarin de modellen en texturen (zie 3.1.3). Er is een mogelijkheid om de data welke 3D Tiles terugstuurt te gebruiken binnen de 3DPS standaard als alternatief voor de daar ondersteunde formaten. Binnen de standaard is er de mogelijkheid voor ontsluiten van tijdsgebonden datasets. Hierbij kan in het verzoek de tijd worden opgegeven waarna de service de best passende objecten voor dat tijdstip terugstuurt. Voor de visualisatie van de objecten is het mogelijk om in de service styling te definiëren om objecten te kleuren of voorzien van texturen. Er is ondersteuning voor 3D Tiles beschikbaar in verschillende software; Cesium, CyberCity3D, virtualcitySYSTEMS virtualcityMAP, Cityzenith, Fraunhofer's GeoToolbox, Bentley Systems ContextCapture en Vricon.



#### 4.1.3 Indexed 3D Scene Layers

De Indexed 3D Scene Layers (I3S) standaard is ontwikkeld door ESRI Inc. vanaf 2013 waarna de open specificatie via GitHub beschikbaar werd gemaakt in april 2015. Recent is deze als community standard ingediend bij de OGC. Er zijn veel overeenkomsten met de 3D Tiles standaard (zie 4.1.2). De I3S standaard is geoptimaliseerd voor het streamen van objecten en gebruikt een index schema voor het bepalen van de beste Level Of Detail (LOD). Er is ondersteuning voor 3D objecten, TIN terrein en vector data (polygoenen en lijnen), maar ook puntenwolken worden vanaf december 2016 ondersteund. Al deze objecten kunnen worden voorzien van texturen. Maar andere styling is niet mogelijk binnen I3S vanuit de service en zal moeten worden toegepast in de client. Een belangrijk voordeel van de I3S specificaties is de mogelijkheid om de scene op te slaan als bestand in het SLPK-formaat (zie 3.1.7) waardoor deze scenes lokaal kunnen worden gebruikt en worden uitgewisseld.

De data welke de service terugstuurt, is in het formaat van Array Buffers en Array Buffer View welke binnen glTF zijn gespecificeerd. De I3S standaard is geïmplementeerd in alle ArcGIS software en platformen, Bentley Systems ContextCapture en Vricon.

#### 4.1.4 Web Feature Service

Een bekende standaard voor het ontsluiten van 2D geo-informatie is de Web Feature Service (WFS). Dit is een open standaard van OGC die verzoeken en antwoorden definieert voor het opvragen van data over het web. WFS maakt gebruik van GML3 welke 3D objecten kan beschrijven en daardoor zijn alle mogelijkheden die GML3 (zie 3.1.1) biedt via WFS te ontsluiten.

Het belangrijkste verschil tussen WFS en 3DPS is de manier van opvragen van de data. Bij WFS wordt gebruik gemaakt van een 2D rechthoek om een selectie te maken omdat voor 2D de data altijd van bovenaf wordt bekeken. Voor 3D data kan de kijkhoek van de data anders zijn waardoor er bij gebruik van een 2D rechthoek geen rekening gehouden wordt met zichtlijnen. Bij 3DPS wordt er een 3D kubus gebruikt waardoor de selectie duidelijker gemaakt kan worden.

#### 4.1.5 Vergelijking van de standaarden voor web visualisatie van objecten<sup>3</sup>

Alle standaarden welke hiervoor behandeld zijn hebben een link met de OGC en zijn volledig ontwikkeld voor het visualiseren van geo-informatie. Het voornaamste verschil ligt tussen de WFS en 3DPS standaarden en de 3D Tiles en I3S standaarden. De eerste zijn ontwikkeld door de OGC waar de laatste twee zijn ontwikkeld door externe partijen en daarna als community standard ingediend. Dit blijkt voornamelijk uit het gebruik van (onderdelen van) de glTF standaard van de Khronos Group voor 3D Tiles en I3S. De glTF standaard is geoptimaliseerd voor het renderen van 3D informatie over het web. Door gebruik te maken van glTF wordt de benodigde rekenkracht aan de kant van de client behoorlijk gereduceerd.

De standaarden 3D Tiles en I3S lijken wat betreft specificaties veel op elkaar en zowel het standaardisatieproces van de OGC als het gebruik van de standaarden door de community zullen uiteindelijk doorslaggevend zijn voor welke standaard het meest gebruikt en ondersteund zal gaan worden. De sterke kant van 3DPS is dat deze ook afbeeldingen kan maken (GetView). Dit levert voordeel op ten opzichte van het versturen van objecten omdat er minder dataoverdracht nodig is en geen rekenkracht bij de client.

---

<sup>3</sup> Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in bijlage I.



## 4.2 Puntenwolken

### 4.2.1 3D Tiles

De standaard 3D Tiles bevat de mogelijkheid voor het ontsluiten van puntenwolken. De punten worden opgeslagen in een lineaire buffer en kan behalve de 3D positie ook kleur, normaal vectoren en batch id's bevatten. De batch id's kunnen worden gebruikt om punten te groeperen als behorende tot hetzelfde object. Voor deze batch kan dan gezamenlijke metadata of stijlen worden gedefinieerd. Voor het ontsluiten van puntenwolken via 3D Tiles moet de data dus worden opgeslagen in een specifiek formaat waardoor data eerst her berekend moet worden voordat het kan worden ontsloten. Voor meer informatie over de standaard zie 4.1.2.

### 4.2.2 Indexed 3D Scene Layers

Het visualiseren van puntenwolken gaat binnenkort mogelijk zijn via Indexed 3D Scene Layers (I3S). De ondersteuning voor puntenwolken zou beschikbaar moeten zijn vanaf december 2016. Op dit moment is er weinig informatie over de ondersteuning van puntenwolken in I3S. Meer informatie over deze standaard is te lezen in paragraaf 4.1.3.

### 4.2.3 Greyhound

Greyhound is een open source project om grote puntenwolken te kunnen streamen over het web. De data wordt met behulp van de Point Data Abstraction Library (PDAL) ingelezen en met Entwine geïndexeerd (zie 3.2.4). Als de data in Entwine formaat is opgeslagen kan deze via Greyhound worden ontsloten als web service. De service kan worden bevraagd waarbij de 3D bounding box kan worden opgegeven en zelfs compressie kan bij het verzoek worden aangezet. De Level Of Detail (LOD) wordt bepaald door de octree diepte te specificeren in het verzoek. Als client zijn er twee implementaties beschikbaar, namelijk Plas.io en Potree.

### 4.2.4 Vergelijking van de standaarden voor het ontsluiten van puntenwolken<sup>4</sup>

Voor het ontsluiten van puntenwolken via het web zijn er standaarden die overlap hebben met objecten zoals 3D Tiles en Indexed 3D Scene Layers waarbij naar verwachting voor de laatste ondersteuning beschikbaar komt in het laatste kwartaal van 2016. Allebei deze standaarden zijn op dit moment in behandeling bij de OGC om tot Community Standard te worden benoemd. Naast deze twee zijn er ook nog projecten die gericht zijn op het streamen en visualiseren van alleen puntenwolken over het web. Een voorbeeld daarvan is het open source project Greyhound.

## 4.3 Virtual globes

Voor het visualiseren van geo-informatie worden vaak topografische kaarten of luchtfoto's gebruikt als ondergrond. Voorbeelden van deze kaarten zijn Open Street Maps, Bing Maps en Google Maps. Voor het visualiseren van 3D geo-informatie is het gebruik van deze 2D kaarten niet voldoende. Om dit gat te vullen zijn er verschillende projecten bezig om een virtual globe te creëren welke de aardbol in 3D visualiseert. Deze virtual globes gebruiken dezelfde 2D topografische kaarten of luchtfoto's gedrapeerd over een aardbol gebruikmakend van een 3D coördinatensysteem. In de volgende paragrafen worden verschillende virtual globes besproken.

### 4.3.1 NASA World Wind

Het open source virtual globe World Wind is door de NASA ontwikkeld en heeft een Software Development Kit (SDK) op basis van Java. De achtergrondkaarten voor World Wind komen van Blue Marble (1km/pixel resolutie) en wanneer er verder wordt ingezoomd is de LandSat 7 data zichtbaar (15m/pixel resolutie). Deze LandSat7 satellietbeelden worden gecombineerd met Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

---

<sup>4</sup> Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in bijlage I.





hoogte informatie waardoor reliëf ontstaat op deze virtual globe. In World Wind zijn Shapefile, KML, COLLADA, GML en vele andere bestandsformaten te openen voor het tonen van 3D informatie naast de ondersteuning voor WMS en WFS. De laatste versie 2.0.0 is uitgebracht in April 2014.

#### **4.3.2 Google Earth**

Net zoals het bekende Google Maps voor 2D data heeft Google ook een virtual globe genaamd Google Earth. Deze 3D visualisatie van de aarde maakt gebruik van dezelfde informatie als Google Maps voor de topografische kaarten en luchtfoto's. Hiernaast zijn ook monumenten in 3D, de maan, Mars en het zonnestelsel te bezichtigen. Heel Nederland is sinds 2006 te bekijken in een minimale resolutie van 40cm/pixel. Voor het openen van data is er ondersteuning voor KML en KMZ (met COLLADA) met daarnaast WMS en WFS.

#### **4.3.3 WebGL Earth**

De 3D globe van WebGL Earth is een spin-off van de bekende JavaScript API LeafletJS welke gebruikt kan worden voor het maken van interactieve kaarten op het web. WebGL Earth is een open source project gemaakt met HTML5 en Canvas WebGL technologie. De bijgeleverde JavaScript API is te vergelijken met die van LeafletJS waardoor de overstap naar 3D voor ontwikkelaars met deze API gemakkelijker is. Het is mogelijk om markers te plaatsen, pop-ups te genereren en een vliegroute te visualiseren. Als achtergrondkaart kan gekozen worden voor OpenStreetMap, MapBox, Bing of eigen rasterdata in GeoTIFF, ECW en MrSID formaat. Deze virtual globe gebruikt als achterliggende bibliotheek CesiumJS (zie 4.3.5) om alle data te renderen.

#### **4.3.4 OpenWebGlobe**

OpenWebGlobe is een open source project geschreven in WebGL. Er is ook een OpenWebGlobe SDK om een eigen virtual globe applicatie te creëren. De SDK is een JavaScript API waarmee in een aantal regels code een aardbol wordt getoond met daaroverheen gedrapeerd bijvoorbeeld de NASA Blue Marble dataset. De kaartlagen worden ingeladen via TMS, WMS, WMTS of i3D (3D Tiles) web services. Hiernaast kunnen ook puntenwolken worden ontsloten via een OpenWebGlobe server script. Ook worden 3D objecten, markers en vector data ondersteund. Een voordeel van OpenWebGlobe is de parallelisatie en schaalbaarheid van de server omgeving. Hierdoor zijn zeer grote datasets van tot een Terabyte te processen. Hier ligt ook gelijk het grote nadeel: de data moet worden voorberekend om het beschikbaar te maken in de virtual globe.

#### **4.3.5 Cesium**

Een veel gebruikte open source virtual globe is Cesium. Ook dit project maakt gebruik van WebGL en biedt een JavaScript API voor het maken van een eigen 3D omgeving. Er is een ruime ondersteuning voor standaarden in terreinhoogte, kaartlagen en 3D modellen. Voor kaartlagen zijn beschikbaar Google Earth, Open Street Maps, Bing Maps, ArcGis Map Server, WMS, WMTS etc. Vector data wordt ondersteund via GeoJSON en TopoJSON en 3D modellen via COLLADA en glTF. Naast de ondersteuning van deze vele standaarden heeft het Cesium project ook geleid tot een tweetal eigen standaarden; CZML en 3D Tiles. De CZML-standaard geeft ondersteuning voor op tijd gebaseerde dynamische scenes waardoor bijvoorbeeld het visualiseren van bewegende objecten mogelijk wordt. De 3D Tiles standaard (zie 4.1.2) is ontwikkeld om 3D modellen en puntenwolken op te vragen als web service net zoals WMS en WFS dat doen voor 2D geo-informatie.





## Hoofdstuk 5

# Conclusies en aanbevelingen

**Voor de totstandkoming van dit rapport zijn er vele 3D standaarden voor dataopslag en uitwisseling alsook visualisatie via het web vergeleken. Hieruit kunnen conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan voor het gebruik van deze standaarden. Dit hoofdstuk beschrijft deze conclusies en aanbevelingen voor 3D data standaarden (5.2) en 3D web standaarden (5.3). Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in bijlage I.**

## 5.1 Data standaarden

### 5.1.1 Objecten

De uitgebreide vergelijking welke is uitgevoerd tijdens dit onderzoek geeft als belangrijkste conclusie dat er twee standaarden veel mogelijkheden bieden voor de dataopslag van 3D objectinformatie. Dit zijn CityGML en SLPK welke beide een goede ondersteuning bieden voor geometrieën, semantiek en attributen. Voornamelijk zitten de verschillen in het geavanceerde object georiënteerde datamodel dat CityGML beschrijft met als voordeel van SLPK dat het over binaire data opslag met compressie beschikt welke voorbereid is voor het direct renderen van modellen. Een nadeel van SLPK is dat er geen mogelijkheid is voor het opslaan van solids. Beide standaarden bieden mogelijkheid tot het gebruiken van texturen voor objecten en er zijn implementaties beschikbaar voor web visualisatie.

### 5.1.2 Puntenwolken

De meest gebruikte standaard voor het opslaan van puntenwolken is LAS en de gecomprimeerde versie LAZ. Dit formaat is open en is in veel software ondersteund. Het OGC is bezig met het opzetten van een werkgroep voor standaardisatie van een nieuw datamodel. Deze standaard zal gebruik gaan maken van het HDF formaat voor de opslag van puntenwolken. Uit dit onderzoek blijkt ook BPF3 een goede standaard te zijn welke een aantal tekortkomingen van LAS/LAZ oplost. Mits er meer software is dat BPF3 gaat ondersteunen is dit een goed alternatief totdat de OGC met een HDF gebaseerde standaard komt.

## 5.2 Web standaarden

### 5.2.1 Objecten

Er zijn verschillende web standaarden voor het opvragen en visualiseren van objecten. De meest praktisch uitgewerkte standaarden zijn 3D Tiles en I3S. De standaarden ondersteunen 3D objecten, meshed surfaces, puntenwolken, vector data (polygonen en lijnen) en Instanced 3D models (handgemaakte objecten welke geplaatst worden op de feature locatie). Ook is er indexering en optimalisatie voor streaming geïmplementeerd samen met onderliggend gebruikte (onderdelen van de) glTF standaard. 3DTiles heeft de mogelijkheid tot ontsluiten van tijdsgebonden datasets en het meesturen van stijlen vanuit de webservice. Daarentegen kan I3S een laag ook als bestand opslaan voor uitwisseling. De standaarden 3D Tiles en I3S zijn beide recent bij de OGC ingediend ter goedkeuring als Community Standard.

### 5.2.2 Puntenwolken

De hiervoor behandelde standaarden voor ontsluiten van objecten, 3DTiles en I3S, zijn ook in staat om puntenwolken beschikbaar te maken voor web visualisatie. Deze standaarden zijn hiervoor wel geoptimaliseerd maar niet specifiek ontwikkeld. Het voordeel van deze ondersteuning is dat er geen specifieke standaard voor puntenwolken nodig is.



## Bijlage 1

**Tijdens het onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen veel meer 3D standaarden dan vermeld in dit rapport. Een volledig overzicht van de standaarden en criteria welke zijn meegenomen in dit onderzoek zijn te vinden in deze bijlage.**

Deze bijlage is te vinden in het Excel document *Tabel\_ standaarden\_voor\_3D\_geo-informatie\_v1.0.pdf*.