



# Technische specificaties voor de opbouw van 3D IMGeo-CityGML

## **auteurs**

Jan Blaauboer, Bentley  
Joris Goos, Gemeente Rotterdam  
Hugo Ledoux, TU Delft  
Friso Penninga, Gemeente Den Haag  
Marcel Reuvers, Geonovum  
Jantien Stoter, Kadaster, Geonovum & TU Delft  
George Vosselman, NCG & ITC, U Twente  
Tom Commandeur, Geonovum & TU Delft

## **Datum**

8 januari 2013

## **Revisie** (beperkte actualisatie)

2 januari 2017

## **versie**

2.0

# Lijst van figuren en tabellen

## Lijst van figuren

Figuur 1: Verticale vlakken die in een TIN benaderd moeten worden met minimaal hellende vlakken	11
Figuur 2: Onderscheid in hoogte per functie wegdeel en ondersteunende wegdelen	12
Figuur 3: Getrianguleerd terrein (links) met daarop gedefinieerd de IMGeo vlakken plus LOD1 gebouwen (rechts)	13
Figuur 4: Het concept relatieveHoogteligging in 3D	13
Figuur 5: Voorbeelden van surfaces onder en boven het maaiveld	14
Figuur 6: Aanvullende voorbeelden van surfaces onder en boven het maaiveld	14
Figuur 7: TIC (de buitenomtrek van de opening (groen)) en getrianguleerde ClosingSurface (groene TINs).	15
Figuur 8: Voorbeeld LOD1 gebouwen	18
Figuur 9: Artificiële doorgang	19
Figuur 10: Links: Een LOD1 solid (zonder surfaces), Rechts: LOD2 solid met bijbehorende gemodelleerde surfaces.	19
Figuur 11: Van links naar rechts: huis met dakoverstek in licht grijs, huis gemodelleerd door aansluiting op BGT, huis gemodelleerd door aansluiting op BAG, huis gemodelleerd door aansluiting op BGT en BAG.	20
Figuur 12: Puntwolk van een gebouw met twee zadeldaken	21
Figuur 13: Optie 1), Optie 2)	21
Figuur 14: Standaard dakvormen	22
Figuur 15: Vier invalide solides (a,b,c,e) en één valide solid (d).	24
Figuur 16: Dakoverstek moet worden geplitst van de roofsurface zodat het volume van een gebouw kan worden gerepresenteerd met een solid.	25
Figuur 17: Voorbeelden van tunnels in LOD1 (linksboven), LOD2 (rechtsboven), LOD3 (linksonder) en LOD4 (rechtsonder) (CityGML, 2012)	26
Figuur 18: Tunnel gemodelleerd met twee tunnelparts	27
Figuur 19: Voorbeelden van CityGML brug modellen: LOD1 (linksboven), LOD2 (rechtsboven), LOD3 (linksonder) en LOD4 (rechtsonder)	27
Figuur 20: Verschil in LOD's voor een type brug	28
Figuur 21: LOD1 van BegroeidTerreindeel, samen met LOD1 gebouwen (bron: iDelft)	29
Figuur 22: Voorbeeld boom in LOD2 en LOD3 (bron Alterra)	30
Figuur 23: Bomen in LOD2 op basis van kroonbreedte en hoogte	31
Figuur 24: Texturering: a. zonder textuur; b. textuur uit (lucht-)fotobeelden; c. textuur op basis van de gemiddelde puntkleur per vlak; d. textuur op basis van gemiddelde kleur en visualisatie IMGeo (inclusief ondergrond)	32
Figuur 25: Voorbeeld van smearing bij muurvlakken getextureerd uit luchtfoto's	42

# Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Scope	6
2.1	Handreiking met basisuitgangspunten en keuzes	6
2.2	Data	6
2.3	IMGeo als basis	6
2.4	LOD's en automatisch genereren	6
3	Eisen en aanbevelingen als input voor technische specificaties	8
3.1	IMGeo 2.1.1 CityGML: generieke eisen	8
3.1.1	Referentiesysteem	9
3.2	Specificaties voor LOD0 representatie	9
3.2.1	LOD0 voor IMGeo vlakobjecten op niveau 0 (=maaiveld)	9
3.2.2	LOD0 representaties van vlakobjecten op niveau ongelijk aan 0	13
3.2.3	Volledigheid van IMGeo vlakken in LOD0	14
3.2.4	Sluiten van het topologische LOD0 vlak m.b.v. TIC's	15
3.3	Specificaties voor Gebouwen	15
3.3.1	LOD0	16
3.3.2	LOD1	17
3.3.3	LOD2	19
3.3.4	Eisen aan de solid geometrie van LOD1 en LOD2 gebouwen	23
3.4	LOD1-LOD3 Tunnels en Bruggen	25
3.4.1	Tunnels	26
3.4.2	Bruggen	27
3.5	Begroeid terreindeel in LOD1 en LOD2	28
3.6	Bomen en andere inrichtingselementen in LOD2 en LOD3	29
3.7	Textuur	31
3.7.1	Type textuur	31
3.7.2	Bestandseigenschappen voor texturen uit beeldinformatie	33
3.7.3	Textuur in CityGML	34
3.7.4	Kwaliteit	34
4	Toepassingen	36
5	Data	38
5.1	Achtergronden bij de inwinning en beschikbaarheid van brongegevens	38
5.1.1	Data, LOD en schaalgrootte van de modellering	38
5.1.2	Ambitieniveau	38
5.1.3	Combinatie van sensoren	39
5.1.4	Voor- en nadelen van brondata direct uit inwinning	39
5.1.5	Overzicht van belangrijkste brondata	39
5.1.6	Brondata (puntenwolk) uit imagematching	39
5.2	Opmerkingen bij het gebruik van brondata voor de opbouw van 3D geo-informatie	40
5.2.1	Opbouw van 3D-modellen van panden (LOD1)	40
5.2.2	Opbouw van 3D-modellen van panden (LOD2)	41
5.2.3	Brondata voor texturering	41
5.3	Data die wordt aangeleverd door de opdrachtgever	42
5.3.1	Brondata	42
5.3.2	Kwaliteit van geleverde brondata	43
5.3.3	Levering in deelgebieden	43
5.4	Data die wordt aangeleverd door de opdrachtnemer	43
5.4.1	Metadata	43
5.4.2	Rapportage	43

5.4.3	Actualiteit en discrepanties in brondata	43
5.4.4	Optionele producten	44
5.5	Bestandseigenschappen, -formaten, -indeling en -namen	44
6	Controles	45
7	Kosten	51
7.1	Relevante factoren voor kosten	51
7.2	Grove kostenindicatie	51

## **Licentie**

Dit document is beschikbaar onder de volgende Creative Commons licentie:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/nl/>

## Inleiding

**Dit hoofdstuk bevat een inleiding op dit rapport en een leeswijzer.**

Deze notitie is de eindrapportage van Activiteit 3 van de zes 3D Pilot NL Fase II activiteiten: Technische specificaties bestekteksten voor de opbouw van IMGeo-CityGML.

De 3D Pilot is een initiatief van het Kadaster, Geonovum, de Nederlandse Commissie voor Geodesie en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, waarin meer dan 100 organisaties ([www.geonovum.nl/dossiers/3d-pilot/deelnemersvervolg](http://www.geonovum.nl/dossiers/3d-pilot/deelnemersvervolg)) het afgelopen jaar hebben samengewerkt om de implementatie van 3D geo-informatie te ondersteunen met hulpmiddelen.

Deze zes activiteiten van de Pilot (1. Maken voorbeeldbestanden IMGeo 2.1.1 - CityGML, 2. Ontwerpen en bouwen 3D validator, 3. Opstellen standaard bestekken voor opbouw 3D IMGeo data, 4. Beschrijven standaard aanpak beheren en updaten 3D data, 5. Verzamelen van 3D killerapplicaties en 6. Afstemming BIM-CityGML-IMGeo standaarden) zijn parallel maar ook in samenwerking uitgevoerd. Van iedere activiteit zijn de ervaringen gerapporteerd in een eindrapport. Inclusief managementsamenvatting, zijn de resultaten van de 3D Pilot dus verwoord in zeven rapportages.

De rapportages zijn bedoeld als ingang naar de belangrijkste resultaten en zijn daarmee niet compleet. Meer details zijn te vinden in de presentaties die tijdens de zes kennissessies zijn gehouden (zie [www.geonovum.nl/dossiers/3dpilot/bibliotheek/presentaties](http://www.geonovum.nl/dossiers/3dpilot/bibliotheek/presentaties)) de [www.3dpilot.nl](http://www.3dpilot.nl) website die voortdurende zal worden aangepast aan recente inzichten en ontwikkelingen alsook documenten waarin dit specifieke rapport naar verwezen zal worden.

Dit rapport beschrijft de eisen en keuzes die gemaakt dienen te worden voordat IMGeo topografie naar de markt wordt gebracht voor het toevoegen van 3D geometrie. Dit rapport bevat op basis van basisuitgangspunten en keuzes een eerste aanzet voor technische teksten die nog een organisatie specifieke nabewerking vragen.

In dit rapport gaat het dus niet om de juridische, contractuele afspraken, beschrijvingen van de gewenste rapportages bij leveringen en beschrijvingen van afspraken over procedure, communicatie of eisen aan organisatie.

### **Revisie**

Deze revisie is een beperkte actualisatie van dit document. De wijzigingen zijn aanpassen van IMGeo versie nummers, links en informatie over de huidige toestand van meldingen en veranderingen in IMGeo en CityGML werkgroepen. Ook is er een aanpassing gedaan in de tekst in **3.3.3** over de correctie van aaneengesloten gebouwen. De overige informatie in dit document is nog actueel.

## Scope

**In dit hoofdstuk wordt de scope van dit document beschreven. Hiermee is het voor de lezer duidelijk wat wel en wat niet van dit rapport kan worden verwacht.**

### 2.1 Handreiking met basisuitgangspunten en keuzes

Dit rapport levert geen besteksteksten op basis waarvan een aanbesteding gemaakt kan worden. Dit rapport geeft een aantal eisen en aanbevelingen. Van de eisen vinden de auteurs dat dit uitgangspunten zijn en de aanbevelingen geven overwegingen mee. Uitgaande van de gewenste toepassingen en data wordt inzicht gegeven in de benodigde ingrediënten voor de technische kant van een te maken bestek.

Dit rapport bevat dus geen kant en klare besteksteksten maar wel waardevolle informatie voor het inrichten en uitvoeren van een aanbestedingstraject voor 3D geo-informatie.

### 2.2 Data

De scope beperkt zich niet tot data die aanwezig is. Er worden suggesties voor extra inwinning gedaan. Het rapport gaat echter wel zoveel mogelijk uit van bronmateriaal dat organisaties al hebben of tegen relatief lage kosten kunnen verkrijgen.

### 2.3 IMGeo als basis

Voor het opbouwen van 3D topografie wordt IMGeo 2.1.1 2D als basis genomen. IMGeo 2.1.1 is een Application Domain Extension (ADE) van CityGML. Dit betekent dat het model semantisch, geometrisch en syntactisch een extensie is van CityGML. Softwarepakketten die CityGML ondersteunen kunnen ook ADE's ondersteunen zoals IMGeo.

De keus had ook gemaakt kunnen worden om 2D topografie zoals de GBKN, GBKX, etc. als basis te nemen. Onze overtuiging is dat het beter is om eerst de huidige 2D topografie op te werken naar 2D IMGeo om dit vervolgens als basis te nemen voor de 3D opbouw.

### 2.4 LOD's en automatisch genereren

Dit rapport richt zich op die LOD's die automatisch gegenereerd kunnen worden en waarmee de meeste toepassingen worden ondersteund. CityGML ondersteunt de LOD's 0 t/m 4. LOD0, LOD1 en LOD2 zijn Levels of Detail die automatisch gegenereerd kunnen worden<sup>1</sup>. Voor LOD3 en LOD4 is intensief handmatig werk vereist.

Het rapport beschrijft LOD0, LOD1 en LOD2 waarbij voor tunnels, kunstwerken, inrichtingselementen en bomen ook LOD3 is uitgewerkt voor de organisaties die hier een stapje verder in willen gaan.

LOD3 is in CityGML het 3D niveau waarbij individuele ramen, deuren van een gebouw, kunstwerken of andere objecten in 3D worden getekend. Het verschil tussen LOD2 en LOD3 is dat LOD3 op dit moment alleen door handwerk kan worden gerealiseerd. LOD3 valt voor de technische eisen aan het bestek buiten de scope. Enerzijds omdat dit niet direct noodzakelijk is voor de toepassingen die worden gezien voor 3D

---

<sup>1</sup> Na het generatieproces zullen, waar nodig, nog handmatig verbeteringen moeten worden aangebracht.

stadsmodellen en anderzijds omdat ook niet algemeen te definiëren is wat hiervoor per organisatie de technische teksten zullen zijn. Dit is direct afhankelijk van het gewenste detailniveau.

LOD 4 waarbij de informatie in het gebouw gemodelleerd kan worden heeft een andere toepassing dan 3D stadsmodellen en valt buiten de scope van dit rapport.

Op het moment dat LOD3 of LOD4 wordt toegepast ontstaat raakvlak met de IFC/IFD standaarden uit de bouwwereld. Hiervoor wordt ook de term BIM gehanteerd maar BIM heeft een veel bredere context dan 3D en staat vooral voor het integraal ontwerpen en beheren van de gebouwelementen, contracten, plannings, projectafspraken, e.d.

## Eisen en aanbevelingen als input voor technische specificaties

**Dit hoofdstuk bevat te maken keuzes die per keuze kunnen leiden tot eisen en aanbevelingen. De organisatie heeft hiermee een belangrijk deel van de technische specificaties beschreven die dan verder aangevuld dienen te worden waar relevant.**

Dit hoofdstuk tracht zo volledig mogelijk te zijn. Het is gemaakt op basis van de kennis en ervaring van de auteurs en een review van de 3D pilot groep. Het uitgangspunt in dit hoofdstuk is de aanwezigheid van een 2D IMGeo-CityGML bestand. 3D IMGeo start met de geometrie van BGT/IMGeo in 2D. De 3D uitbreiding bestaat uit:

- LOD0 representaties van alle IMGeo vlakobjecten, waarbij onderscheid wordt gemaakt in:
  - Objecten op niveau 0 (=maaiveld). Deze vormen samen een topologische structuur (paragraaf 3.2.1)
  - Objecten op niveau ongelijk aan 0, waarbij voor viaducten aansluiting op niveau = 0 wordt gewaarborgd (paragraaf 3.2.2)
- Volume presentaties (LOD1, LOD2, LOD3) die aansluiten op LOD0:
  - LOD0-LOD1-LOD2 Gebouwen (Panden, Overig bouwwerk) (paragraaf 3.3)
  - LOD1-LOD3 Bruggen, Tunnels (paragraaf 3.4)
  - LOD1-LOD2 Begroeid terreindeel (paragraaf 3.5)
  - LOD2-LOD3 Bomen en Inrichtingselementen (paragraaf 3.6)
- Textuur (paragraaf 3.7)

### 3.1 IMGeo 2.1.1 CityGML: generieke eisen

Zoals eerder gesteld is IMGeo-CityGML de basis. De oplevering dient te gebeuren in IMGeo-CityGML.

Eis 1. Oplevering in IMGeo-CityGML.

De standaarden zijn vindbaar op: <http://www.geonovum.nl/dossiers/bgtimgeo/standaard>

Eis 2. Het IMGeo-CityGML bestand moet voldoen aan CityGML 2.0<sup>2</sup>. In sommige gevallen zijn wij strikter dan CityGML. Dit zal worden aangeduid in dit document.

IMGeo-CityGML is enerzijds een uitwisselingsformaat en anderzijds een informatiemodel waarin de te beheren IMGeo objecten beschreven staan.

#### Uitwisselingsformaat

Naast IMGeo-CityGML kan het wenselijk zijn om ook andere uitwisselformaten te hanteren afhankelijk van de toepassing(en). Indien bijvoorbeeld CAD-software wordt gebruikt kan het wenselijk zijn om ook in het betreffende CAD-formaat te laten leveren of in Google KML indien publicatie op Google Earth gewenst is. Het laten leveren in extra formaten is altijd een afweging van de interne conversiekosten (in uren) versus de kosten die de externe uitvoerder in rekening brengt.

---

<sup>2</sup> OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, version 2.0, [www.opengeospatial.org/standards/citygml](http://www.opengeospatial.org/standards/citygml)



Aanbeveling 1. Indien het wenselijk is om naast IMGeo-CityGML ook andere formaten te laten leveren kan dit worden opgenomen.

#### Informatiemodel

In het IMGeo-CityGML informatiemodel staan de objecten die beheerd dienen te worden. Deze IMGeo-CityGML objecten dienen door de gebruikte software (opslag en user-interface) binnen een organisatie representeerbaar te zijn.

#### **3.1.1 Referentiesysteem**

Voor CityGML-IMGeo wordt het Spatial Reference System EPSG:7415<sup>3</sup> gehanteerd. Dit is een samengesteld SRS met RD voor de XY dimensie (EPSG:28992) en NAP voor de Z dimensie (EPSG:5709). Hiernaar moet expliciet gerefereerd worden in het CityGML bestand.

Eis 3. Hanteer het Spatial Reference System (coördinatensysteem), EPSG 7415.

## 3.2 Specificaties voor LOD0 representatie

In CityGML wordt in LOD0 een representatie in 3D weergegeven als een surface. Dit is in feite een 2.5D representatie, waar op iedere x,y coördinaat slechts één z voorkomt. Voor 3D IMGeo geldt dat ieder vlakobject uit 2D IMGeo zijn eigen 2.5D surface heeft in LOD0, gerepresenteerd met een TriangulatedSurface. Dit 2.5D oppervlak **per object** is het resultaat van een "constrained triangulation" van puntdata, zoals AHN, waarbij als breaklines (constraints) de 2D vlakgrenzen van IMGeo zijn gebruikt. Dit betekent dat de IMGeo-object grenzen als een (verzameling van) driehoekzijden terugkomen in het Triangular Irregular Network (TIN). Om voldoende hoogte weer te geven, kunnen vertices op de grenzen toegevoegd te worden. In ieder geval moet de hoogte ook binnen de vlakken worden gerepresenteerd via het TIN.

De LOD0 IMGeo vlakobjecten kunnen twee typen objecten zijn: vlakobjecten op het maaiveld (zie paragraaf 3.2.1) en vlakobjecten boven of onder het maaiveld (paragraaf 3.2.2). Door een combinatie van deze twee typen 2.5D vlakobjecten is het mogelijk meerdere z-waarden op dezelfde x,y locatie te hebben, wat niet mogelijk is binnen een en hetzelfde TriangulatedSurface. Dit zal hieronder nader worden toegelicht.

In de rest van deze paragraaf worden de specificaties gegeven van:

- LOD0 voor IMGeo vlakobjecten op niveau 0 (=maaiveld) (3.2.1)
- LOD0 representaties van vlakobjecten op niveau ongelijk aan 0 (3.2.2)
- De volledigheid van beide typen objecten (3.2.3)
- Het sluiten van het topologische LOD0 vlak m.b.v. TIC's (3.2.4)

#### **3.2.1 LOD0 voor IMGeo vlakobjecten op niveau 0 (=maaiveld)**

Voor LOD0 op maaiveld modelleert BGT alle klassen als opdelend. Dit principe wordt overgenomen in de LOD0 representatie. Dat betekent dat alle opdelende objecten op maaiveldniveau samen een 2.5D topologische gesloten structuur moeten vormen. Omdat hiermee de footprints van alle IMGeo vlakobjecten terugkomen in LOD0 zijn er geen aparte Terrain Intersection Curves nodig. Een Terrain Intersection Curve (TIC) is in CityGML een expliciete surface in het terrein-TIN dat de snijding met maaiveld beschrijft.

De IMGeo klassen die op deze manier een LOD0 representatie krijgen als onderdeel van het maaiveld zijn:

- Wegdeel
- Ondersteunend wegdeel

---

<sup>3</sup> Overeenkomstig het raamwerk van geo-standaarden, versie 2.2

- Onbegroeid terreindeel
- Begroeid terreindeel
- Ondersteunend waterdeel
- Waterdeel
- Ongeclassificeerd object (vervalt na tranche 2<sup>4</sup>)
- Pand (voor meer details over de LOD0 representatie, zie 3.3.1)
- Overig bouwwerk (voor meer details over de LOD0 representatie, zie 3.3.1)
- Kunstwerkdeel
- Scheiding (indien vlak)

Met dit principe breidt CityGML-IMGeo het modelleerprincipe voor topologie dat CityGML hanteert voor LandUse uit naar andere klassen. Dit 2.5D topologieprincipe voor LandUse is in de CityGML specificaties als volgt omschreven:

"*LandUse* objects can be employed to establish a coherent geometric/semantical tessellation of the earth's surface. In this case topological relations between neighbouring *LandUse* objects should be made explicit by defining the boundary *LineStrings* only once and by referencing them in the corresponding *Polygons* using XLinks. The result is a land use tessellation, where the geometries of the land use objects are represented as triangulated surfaces. In fact, they are the result of a constrained triangulation of a DTM with consideration of breaklines defined by a 2D vector map of land use classifications."

Voor CityGML-IMGeo wordt hetzelfde principe gehanteerd maar nu uitgebreid met andere objectenklassen op maaiveldniveau die ook gemodelleerd worden met een LOD0 representatie (soms extra t.o.v. CityGML). Tegelijkertijd wordt de klasse LandUse beperkt tot Onbegroeid Terreindeel zoals dat gebruikt is in IMGeo en worden waarden die feitelijk water, weg, spoor, vegetatie en dergelijke representeren genegeerd en gemodelleerd met de hiervoor bedoelde klassen in IMGeo.

Eis 4. Elk vlakobject uit IMGeo wordt gerepresenteerd met een geometrie in LOD0, d.w.z. een TIN surface (traingulatedSurface) per object. Het LOD0 terrein wordt gevormd door een verzameling aangrenzende driehoeken (TIN), waarin de objectgrenzen herkenbaar zijn (constrained TIN). Als gevolg hiervan zijn alleen platte vlakken en rechte lijnen toegestaan en dus geen gekromde oppervlakten of cirkelbogen<sup>5</sup>.

Eis 5. De LOD0 geometrieën van alle IMGeo vlakobjecten op hoogteniveau 0 te samen vormen een topologisch consistent geheel in 2.5D (geen gaten of overlap).

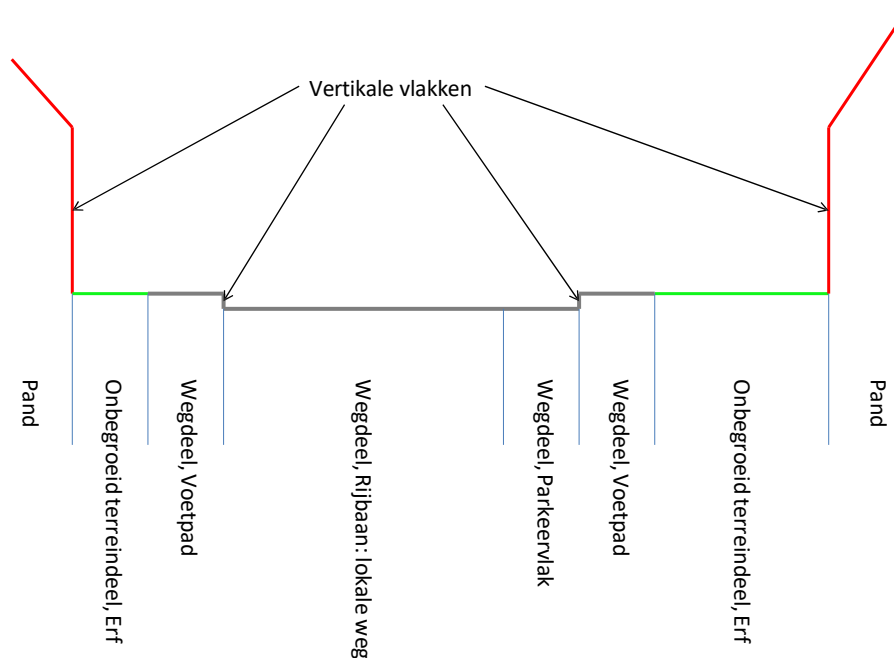
Eis 6. Het hoogteverschil tussen het terrein en de representatie hiervan in TIN's mag maximaal X cm bedragen. X kan afhankelijk zijn van het objecttype (bijvoorbeeld voor verharde oppervlakten met stoepanden kan een andere X gekozen worden dan voor weiland). Individuele uitschieters zijn toegestaan tot 3 maal X, maar aaneengesloten stukken van het TIN van meer dan Y m2 mogen in hoogte niet meer dan deze X cm afwijken.

---

<sup>4</sup> In tranche 1 (2012 t/m 2015) van de opbouw BGT in 2D (wettelijke taak) mogen objecten waarvoor de classificatie onbekend is of nog niet overeenkomt met de classificatie van BGT geclassificeerd worden als Ongeclassificeerd object. In tranche 2 (2016 t/m 2019) moeten deze ongeclassificeerde objecten BGT geclassificeerd worden. Hiermee vervalt na tranche 2 het ongeclassificeerd object.

<sup>5</sup> In IMGeo zijn Arcs toegestaan en deze zijn in een 2.5D terreinrepresentatie niet hanteerbaar omdat een TIN is opgebouwd uit vertices en edges.. Hierdoor gaat de eis om dezelfde breaklines te hanteren niet altijd op. Vanuit de 3D pilot is een melding naar IMGeo gemaakt (<http://www.geonovum.nl/dossiers/bgtimgeo/meldingen-imgeo>) van het probleem dat de arcs geven bij het opwerken naar 3D .

In 2D IMGeo zijn de objecten opdelend op maaiveld niveau. In 3D geldt dat delen van deze grens uitgewerkt in triangulaties bij een hoogtesprong in principe een verticaal vlak moeten zijn (zie *Figuur 1*). Veel algoritmen kunnen echter (nog) niet omgaan met verticale vlakken. Dit geldt dus ook voor TIN-implementaties in software. Veel software struikelt hierover. Dit is op te lossen door te eisen dat de boven- en onderkant onder een minimale schuine (hellende) hoek van elkaar staan.



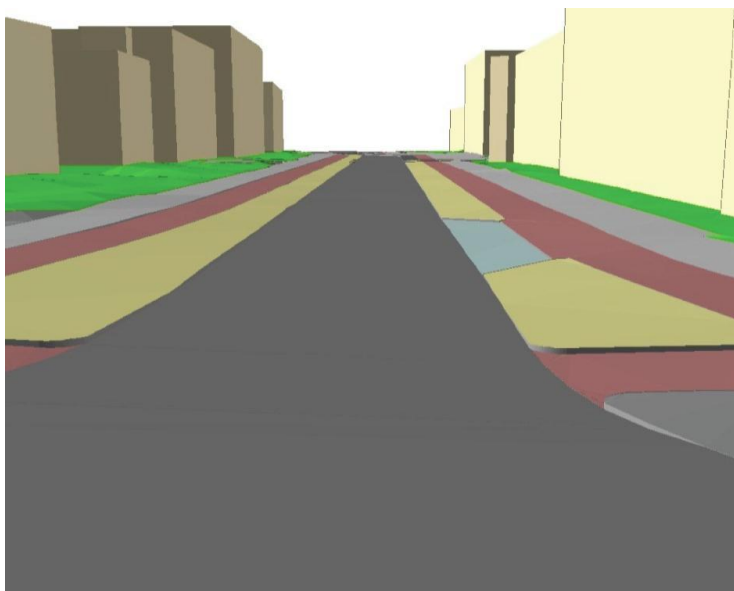
Figuur 1: Verticale vlakken die in een TIN benaderd moeten worden met minimaal hellende vlakken

Eis 7. Verticale vlakken in het TIN mogen niet voor komen, omdat de meeste software hierover struikelt. In plaats daarvan dienen verticale vlakken te worden benaderd via maximaal hellende vlakken. Deze hellende vlakken dienen als volgt te worden toegekend aan de betreffende objecten:

- Grens (ondersteunend) wegdeel - terreindeel, aan (ondersteunend) wegdeel
- Grens (ondersteunend) wegdeel - (ondersteunend) wegdeel, aan het object dat het hoogst ligt
- Grens terreindeel - terreindeel, aan het object dat het hoogst ligt
- Grens (ondersteunend) wegdeel/waterdeel/terreindeel/scheiding - pand, aan pand
- Grens (ondersteunend) wegdeel/waterdeel/terreindeel/scheiding - overig bouwwerk, aan bouwwerk
- Grens (ondersteunend) wegdeel/waterdeel/terreindeel/scheiding - kunstwerk, aan kunstwerk
- Grens (ondersteunend) wegdeel/waterdeel/terreindeel - scheiding, aan scheiding
- Grens objecten - waterdeel, aan objecten

Zeer precieze hoogtesprongen kunnen voor bepaalde toepassingen noodzakelijk zijn. In *Figuur 2* zijn de hoogtesprongen van rijbaan, voetpad, fietsbaan en inritten aangebracht. Een mogelijke toepassing

hiervoor is om bij zware regenbuien de weersoverlast zoveel mogelijk te beperken<sup>6</sup>. Hoe zoekt het regenwater zijn weg en met welke maatregelen kan dit beter opgelost worden.



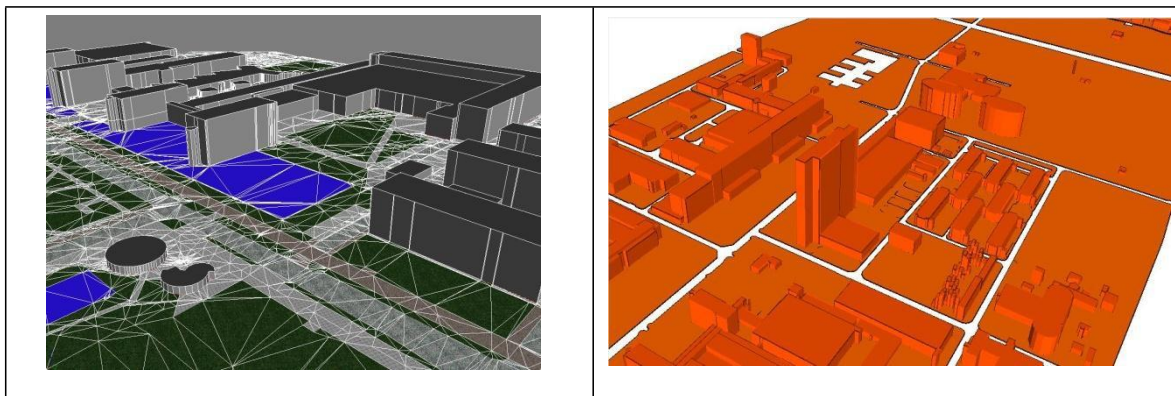
Figuur 2: Onderscheid in hoogte per functie wegdeel en ondersteunende wegdelen

Eis 8. Indien zeer precieze hoogtesprongen noodzakelijk zijn tussen specifieke objecten zal dit in de technische specificaties moeten worden opgenomen waarbij de minimale hoogte waarvoor en situatie waarin hoogtesprongen zichtbaar moeten zijn omschreven dient te worden.

Eis 9. Waterdelen zijn altijd platte, horizontale vlakken.

De eisen voor LOD0 gebouwen (panden en overig bouwwerk), zijn verder uitgewerkt onder 3.3.1.

Figuur 3 toont zo'n 2.5D getrianguleerd oppervlak.



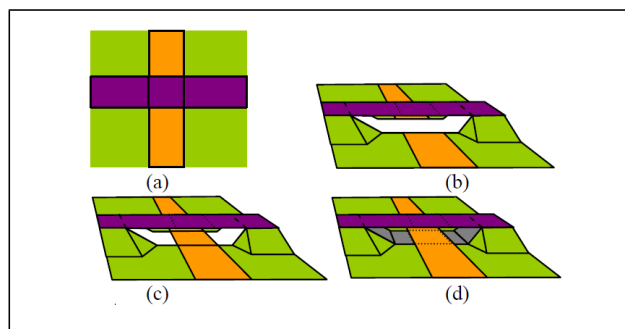
<sup>6</sup> Een uitgewerkte toepassing hiervoor is bijvoorbeeld HydroCity (vervaardigd door Neo en ITC U Twente)

Figuur 3: Getrianguleerd terrein (links) met daarop gedefinieerd de IMGeo vlakken plus LOD1 gebouwen (rechts)

### 3.2.2 LOD0 representaties van vlakobjecten op niveau ongelijk aan 0

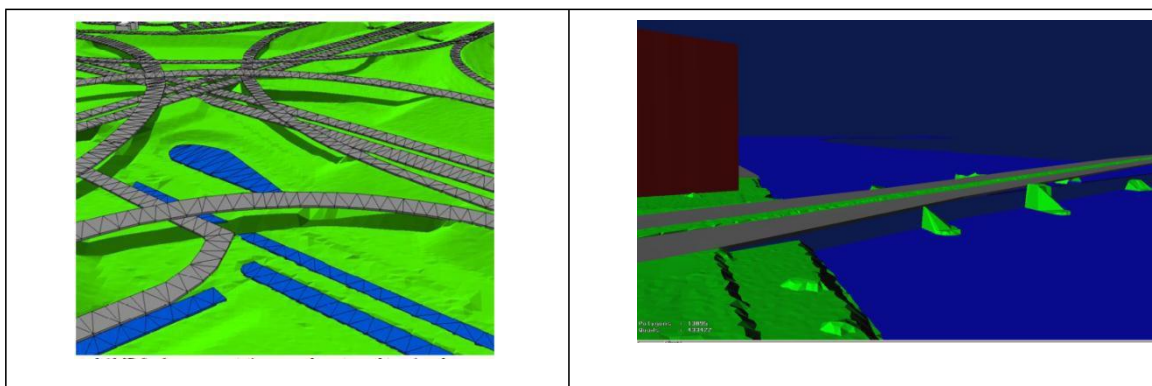
Om in de 2D BGT om te kunnen gaan met objecten die boven en onder elkaar liggen is het attribuut *relatieveHoogteligging* geïntroduceerd. In de regel zal open, bovengronds water niveau 0 hebben. Objecten op een bovenliggend niveau (bijvoorbeeld een overbrugging over water) krijgen een hoger niveaugetal toebedeeld. Objecten op een onderliggend niveau (bijvoorbeeld een tunnel) krijgen een lager niveaugetal. Dit niveaugetal kan gebruikt worden om wegdelen of water- en wegdelen die elkaar ongelijkvloers kruisen in LOD0 te modelleren zoals beschreven wordt in deze paragraaf. De representatie van tunnels en bruggen in hogere LOD's wordt beschreven in 3.4.

Vlakobjecten boven en onder het maaiveld worden in LOD0 als volgt gemodelleerd (gevisualiseerd in Figuur 4; overgenomen uit Oude Elberink 2010). Maaiveld objecten in LOD0 worden gemodelleerd zoals beschreven in 3.2.1. Vlakobjecten boven en onder het maaiveld worden met hun 2.5D LOD0 representatie (*TriangulatedSurface*) in de derde dimensie geplaatst, op hun werkelijke hoogte. Een belangrijke eis hierbij is de aansluiting op het 2.5D IMGeo-surface dat het maaiveld representeert (4.2.1) voor onder- en bovengrondse objecten die ergens het maaiveld raken. Voor deze aansluiting kan het nodig zijn om nieuwe 2D grenzen toe te voegen welke een extra variatie in 3D kunnen beschrijven zoals te zien in Figuur 4 (b). Ook kan het nodig zijn om terreinvlakken onder (of boven) deze objecten aan te brengen daar waar in 2D geen expliciete stapeling van objecten is gemodelleerd om ervoor te zorgen dat de LOD0 representatie op maaiveld geen gaten bevat; zie Figuur 4 (c en d).



Figuur 4: Het concept *relatieveHoogteligging* in 3D

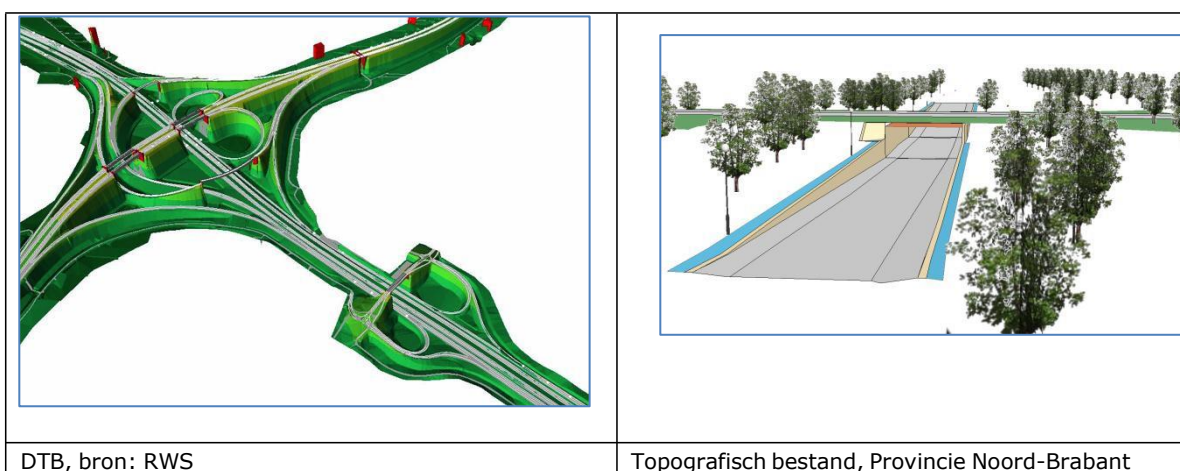
Figuur 5 laat twee voorbeelden zien uit de praktijk waarbij dit principe is gerealiseerd.



Voorbeeld van 3D surface representatie van (kruisende) wegdelen, waterdelen en terreindelen, overgenomen uit <sup>7</sup>	3D model van 3D Pilot testgebied; gegeneerd door Oude Elberink, ITC U Twente op basis van AHN2 en TOP10NL
---	---

Figuur 5: Voorbeelden van surfaces onder en boven het maaiveld

Ook het Digitaal Topografisch Bestand (DTB)<sup>8</sup> van Rijkswaterstaat heeft een soortgelijke aanpak voor een 2.5D modellering voor topografie. Deze modelleertechniek van DTB is overgenomen in het 2.5D topografische bestand van Provincie Noord-Brabant. Voorbeelden zijn te zien in onderstaande figuur. Het DTB kent echter geen hoogte-informatie binnen de vlakken in tegenstelling tot de LOD0 vlakgeometrieën (=TriangulatedSurfaces) zoals voorgesteld in deze handreiking voor IMGeo-CityGML.



Figuur 6: Aanvullende voorbeelden van surfaces onder en boven het maaiveld

Eis 10. IMGeo vlakobjecten die boven of onder het terrein liggen dienen te worden gemodelleerd met een triangulatedSurface aansluitend op het topologische consistente maaiveld. Het resultaat is een stapeling van 2.5D objecten.

### 3.2.3 Volledigheid van IMGeo vlakken in LOD0

De Gegevenscatalogus BGT geeft aan dat in de regel open, bovengronds water niveau 0 zal hebben. Als gevolg zullen bruggen over water op niveau > 0 liggen en geen deel uitmaken van de LOD0 representatie op niveau gelijk aan 0. Vanuit traditionele cartografische weergaven van dergelijke situaties is een gebruiker vaak gewend om een bovenaanzicht te zien, waarbij dus de brug zichtbaar is en niet het waterdeel (waardoor het wegenpatroon herkenbaar blijft). Hierboven is aangegeven hoe ook vlakobjecten op niveau ongelijk aan 0 in LOD0 gerepresenteerd moeten worden. Een correcte en volledige LOD0 IMGeo representatie is alleen mogelijk indien alle vlakobjecten, ongeacht hoogteniveau, worden toegevoegd. Dit is belangrijk om te realiseren, omdat het in tegenspraak is met de gangbare opvatting dat een LOD0 representatie slechts een basale 'drape' is van een 2D bestand over een hoogtebestand. Dergelijke 'drapes' van 2D bestanden (topografisch of luchtfotografie), zoals dat ten tijde van de introductie van het AHN-1 veel gebeurde, draperen op elke locatie het hoogst gelegen object (bovenaanzicht) op het hoogtemodel en resulteren dus niet in IMGeo conforme LOD0 representaties op het maaiveld (hoogteniveau=0).

<sup>8</sup> <http://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/open-data/digitaal-topografisch-bestand>

Eis 11. Alle IMGeo vlakobjecten dienen aan de LOD0 representatie van IMGeo te worden toegevoegd.

### 3.2.4 Sluiten van het topologische LOD0 vlak m.b.v. TIC's

3D objecten kunnen over of in het terreinmodel geplaatst zijn. Om het terreinmodel en 3D objecten goed te kunnen integreren heeft CityGML een Terrein Intersection Curve (TIC) gedefinieerd. Met een TIC wordt aangegeven waar het terreinmodel het 3D object raakt. Vervolgens wordt deze TIC gebruikt om te trianguleren met als waarde een ClosingSurface. Op deze manier ontstaat een gesloten terreinmodel.

TIC's kunnen volgens CityGML<sup>9</sup> gebruikt worden voor building en building parts, bridge, bridge parts en bridge construction elements, tunnel en tunnel parts, city furniture objects en generic city objects. Zoals eerder is aangegeven hoeven deze TIC's niet worden opgenomen in IMGeo-CityGML op locaties waar footprint zijn opgenomen in het terrein. Maar TIC's zijn wel nodig om een gesloten terreinmodel te garanderen op locaties van tunnelingangen.



Figuur 7: TIC (de buitenomtrek van de opening (groen)) en getrianguleerde ClosingSurface (groene TINs).

Eis 12. Terrain Intersection Curves (TIC's) dienen gebruikt te worden om ClosingSurfaces te kunnen maken waar 3D objecten over of in het terreinmodel hangen. Hierdoor ontstaat een gesloten topologisch correct terreinmodel.

## 3.3 Specificaties voor Gebouwen

Bij gebouwen betreft het de volgende objecttypen uit het 3D IMGeo-CityGML bestand:

- Pand
- Overig bouwwerk

Als er in dit document over "gebouw" wordt gesproken, worden beide typen IMGeo objecten bedoeld.

---

<sup>9</sup> Zie 6.5 specificaties CityGML 2.0

Voor gebouwen worden de volgende LOD's uitgewerkt. LOD0 voor footprints en roofedges (zie 3.3.1), LOD1 voor eenvoudige blokkendozen (3.3.2) en LOD2 waar de daken gemodelleerd worden, textuur kan worden toegevoegd (3.3.3), etc. LOD3 waarbij ramen, deuren, e.d. gemodelleerd kunnen worden of LOD4 waar het gebouw van binnen gemodelleerd kan worden vallen buiten de scope van dit document.

In de rest van deze paragraaf staan de volgende specificaties beschreven:

- voor LOD0 representaties van gebouwen (3.3.1)
- voor LOD1 representaties van gebouwen (3.3.2)
- voor LOD2 representaties van gebouwen (3.3.3)
- voor solid geometrie waarmee LOD1 en LOD2 gebouwen worden gemodelleerd (3.3.4)

### **3.3.1 LOD0**

CityGML gebouwen kunnen in LOD0 op twee manieren worden gerepresenteerd: footprint (conform the BGT geometrie) en roofedge (meestal) volgens BAG geometrie. Volgens de CityGML specificaties moet de LOD0 representatie van zowel de building footprint als de roof edge een "horizontal surface" zijn. Bij footprints die in werkelijkheid op een helling liggen moet de laagste waarde worden gebruikt (volgens de CityGML specificaties). Daarnaast staat in de specificaties dat het grondvlak in LOD2 "congruent" moet zijn met de LOD0 footprint.

Alhoewel het modelleren van een horizontale surface van footprints veel voordelen heeft, heeft deze manier van modelleren ook nadelen, vooral bij gebouwen waarbij de footprint in werkelijkheid niet horizontaal is. Deze nadelen zijn bij de OGC CityGML werkgroep ingebracht en worden bij de volgende versie van CityGML (versie 3) geadresseerd. De nadelen zijn:

- a. gebouwen op een helling (dijk, duin) kunnen niet als zodanig worden gemodelleerd. Het hellende grondvlak moet immers benaderd worden door een horizontaal vlak.
- b. om er voor te zorgen dat building footprints in deze gevallen aansluiten het terrein, zullen er vrijwel altijd verticale vlakken vanaf de footprint naar de rand van het terrein toegevoegd moeten worden, in ieder geval bij de hoge resolutie waarmee we in Nederland werken (zoals het AHN2). Deze verticale vlakken zijn niet aanwezig in de werkelijkheid en bovendien kan veel software hier niet mee werken (zie ook eis 7).
- c. twee huizen op een helling die elkaar raken in een vertice kunnen topologisch niet correct worden gemodelleerd. De footprints worden immers gemodelleerd met een hoogtesprong die er in werkelijkheid niet is. In dit geval zou je ervoor kunnen kiezen om beide footprints op dezelfde hoogte te zetten. Maar wat te doen bij een rijtjeshuis op een helling? Zowel de kunstmatige hoogtespongen als het zetten van alle footprints op dezelfde hoogte doet geen recht aan de werkelijkheid.



Besloten is om aan te sluiten bij de huidige CityGML specificaties en eisen voor LOD1 en LOD2, namelijk een footprint van een building is horizontaal. Voor LOD0 is besloten om de footprint te laten bepalen door de aansluiting van het terrein op de building en daarmee wordt afgeweken van CityGML. In de volgende versie van CityGML zal ook dit mogelijk zijn.

Eis 13. De LOD0 footprint van een gebouw op LOD1 en LOD2 moet horizontaal zijn. De footprints dienen wel per pand bepaald te worden en niet per bouwblok (om 'wegzinken' in bijv. een helling van rijtjeshuizen te voorkomen). De footprint heeft de laagste hoogte van de terreintriangulatie op de footprint. Dit om gaten tussen terrein en gebouw te voorkomen. Indien het terrein ergens langs een muur lager wordt dan wordt de laagste hoogte op één van de hoekpunten van die betreffende muur als laagste punt genomen.

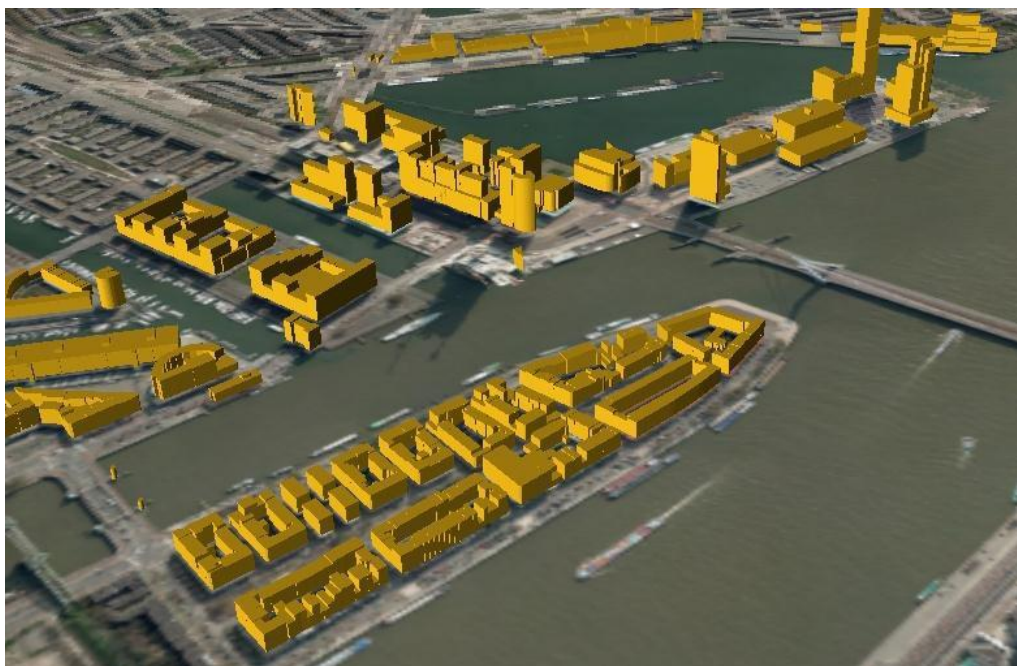
Eis 14. In afwijking van de CityGML specificaties moet de LOD0 footprint zijn aangesloten op het terrein waar de buitenmuur het terrein raakt.

### 3.3.2 LOD1

LOD1 gebouwen kunnen het best omschreven worden als blokkendozen. Aan een 2D gebouwgeometrie wordt één (bijvoorbeeld gemiddelde) hoogte toegekend. Door middel van extrusie kan hieruit een 3D geometrie worden afgeleid. Extrusie is een bewerking waarbij de oorspronkelijke 2D gebouwgeometrie (polygoon) als grondvlak wordt beschouwd en een duplicaat van deze polygoon op de gemiddelde gebouwhoogte als dakvlak wordt geplaatst. Het volume wordt gesloten door verticale vlakken die grondvlak en dakvlak met elkaar verbinden.

Extrusie vindt plaats op basis van de absolute hoogteligging; dus t.o.v. het terrein. Extrusie is een functie die in diverse softwarepakketten wordt ondersteund, waardoor gebruikers met enige GIS-expertise in staat zullen zijn om een LOD1 representatie voor gebouwen op te bouwen.

Vanaf LOD1 representaties worden gebouwen niet langer gemodelleerd als vlakken, maar als volumes. Om alle gewenste bewerkingen op volumes correct te kunnen uitvoeren, dienen de volumes valide te zijn (o.a. een gesloten volume). Paragraaf 3.3.4 gaat dieper in op de eisen die aan topologisch correcte 3D gebouwmodellen gesteld worden.



Figuur 8: Voorbeeld LOD1 gebouwen

Eis 15. Van ieder IMGeo gebouw dient een eigen LOD1 representatie geleverd te worden.

Eis 16. De gebouwhoogte is de mediaan van de hoogte van de punten die binnen de footprint vallen.

Eis 17. Indien een dak van een gebouw veel hoogtesprongen bevat, dienen deze verschillende hoogteniveaus te worden onderscheiden in 3D, in elk geval als de hoogtesprong groter is dan bijvoorbeeld 1,5 meter en de oppervlakte groter is dan 4 vierkante meter.

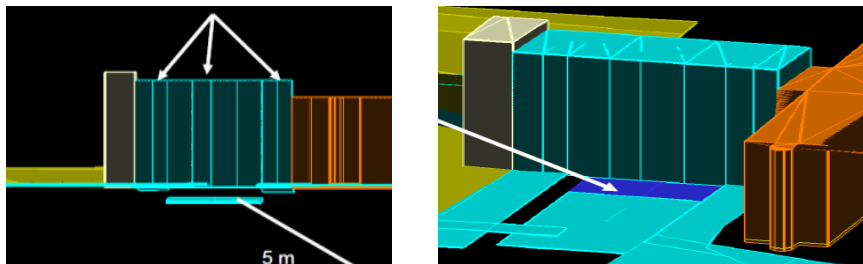
Toelichting: Deze eis is belangrijk, maar heeft ook gevolgen voor het proces. Sommige bestaande algoritmen kunnen hiermee nog niet geheel overweg. Het kan dus zijn dat een opdrachtnemer een aanpassing moet doen in de in te zetten software.

Eis 18. De ondervlakken van de blok-geometrieën van de gebouwen moeten overeenkomen met de 2D en LOD0 (zie 3.3.1) geometrie in IMGeo.

Toelichting: Deze eis impliceert ook dat de geometrie van de vlakken die door panden worden gedeeld (bijvoorbeeld de muur tussen twee aaneengesloten rijtjeshuizen) tweemaal in de data worden gemodelleerd: éénmaal bij het eerste (pand-)object (bijvoorbeeld als *\_WallSurface* voor dat object) en éénmaal bij het naburige (pand-)object (bijvoorbeeld als *\_WallSurface* voor dat object). Alleen als op deze manier wordt gemodelleerd kan bij het beheer van het 3D model het ene object worden gemuteerd, zonder het andere te beïnvloeden.

Eis 19. Het onderste vlak van een LOD1 blok dient horizontaal te zijn waarbij de hoogte bepaald wordt door het laagste punt van de terreintriangulatie op de footprint (zie LOD0 gebouw).

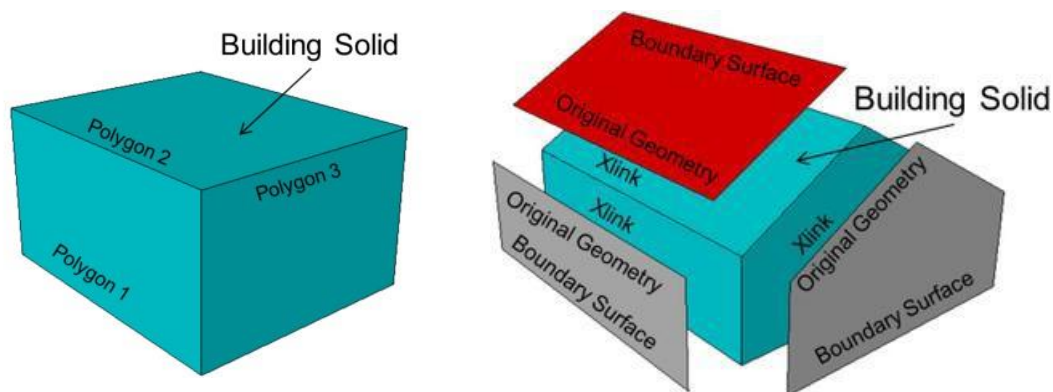
Eis 20. Voor bruggebouwen (gebouwen over wegen en water) moet doorgang worden gegarandeerd. Dat mag artificieel worden aangebracht, bijvoorbeeld door de onderkant van een bruggebouw 5 meter boven de weg te plaatsen zoals in onderstaande figuur gedaan is voor het Nationale Nederlanden gebouw over de A12.



Figuur 9: Artificiële doorgang

Eis 21. LOD1 Gebouwen dienen in CityGML als GML:Solid te worden gedefinieerd (gesloten volumes, ook van onderen) en niet als GML:MultiSurface, wat wel in CityGML wordt toegestaan voor LOD1 gebouwen.

Toelichting: Een GML:solid is een compositesurface welke weer is gemodelleerd als een collectie van aansluitende surfaces. Dat een solid wordt opgeleverd, betekent dus *niet* dat de individuele surfaces niet meer te bereiken zijn. Deze worden namelijk gemodelleerd als onderdeel van de solid-geometrie. Voor visualisatie doeleinden kan de toegang tot de individuele surfaces uitermate handig zijn, bijvoorbeeld het dak een andere textuur / kleur geven. Wanneer de LOD1 en LOD2 representaties daarentegen zouden worden gemodelleerd als multisurfaces bestaat er geen topologisch verband tussen de surfaces, en is de solid ook niet expliciet. Indien de surfaces van een multisurface geometrie een gesloten geheel vormen, kan er wel een solid (compositesurface) van worden gevormd. Echter het feit van geslotenheid wordt niet afgedwongen door het multisurface geometrietype. Daarom is onze eis het leveren van een solid geometrie.



Figuur 10: Links: Een LOD1 solid (zonder surfaces), Rechts: LOD2 solid met bijbehorende gemodelleerde surfaces.

### 3.3.3 LOD2

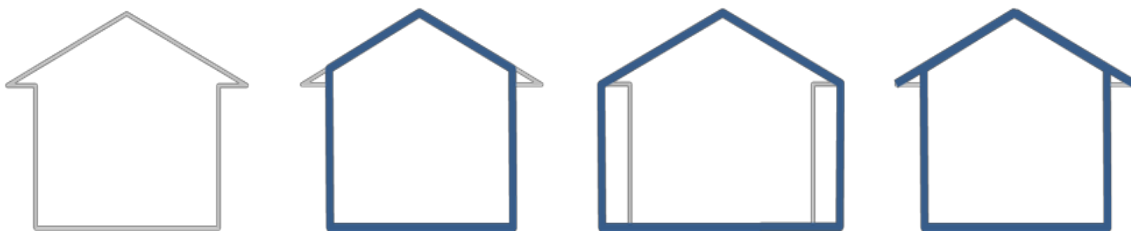
Een LOD2 solid heeft de rechter verschijningsvorm uit Figuur 10.

Eis 22. Elk IMGeo gebouw wordt in LOD2 gemodelleerd met het GML:solid geometrietype, waarbij de semantiek van de begrenzingen (surfaces) expliciet is gemaakt (zoals footprint, roof surface, wall surface etc). Ook kunnen LOD2 gebouwen worden gerepresenteerd als een collectie van een solid met andere geometrietypen zoals multisurface voor dakoverstek (zie verder).

Op LOD2 kunnen gebouwen (en met name de daken en dakvormen van gebouwen) op verschillende manieren gemodelleerd worden. Deze verschillende manieren leiden tot verschillende soorten van afwijkingen tussen de modellen en de werkelijke vorm van gebouwen. Afhankelijk van de beoogde toepassing moet een keuze gemaakt worden voor de modellering met de minst storende afwijkingen. Deze keuzemogelijkheden worden eerst besproken. Daarna volgen mogelijke eisen die aan de gebouwmodellen gesteld kunnen worden.

#### Aansluiten op bestaande 2D gebouwomlijningen

Bij de modellering van gebouwen zal in de regel worden geëist dat de locatie van de muren overeenkomt met de gebouwomlijningen uit een 2D bestand. De 2D en 3D representaties zijn dan consistent. Als bron voor 2D gebouwomlijningen bieden zich de BGT en de BAG aan. In de BGT wordt de omlijning op maaiveldhoogte geregistreerd. In de BAG wordt daarentegen de grootst mogelijke omlijning zoals die uit het bovenaanzicht blijkt opgenomen. De keuze voor het ene of het andere bestand heeft gevolgen voor de modellering wanneer de BAG- en BGT-begrenzingen niet overeenkomen. Dit wordt geïllustreerd in de onderstaande figuur aan de hand van een huis met een dakoverstek. Wordt voor de begrenzing van het 3D model gekozen voor de BGT (tweede plaatje), dan staan de muren van het model op de juiste plaats, maar is het dakoverstek eraf gehaald. De consequentie is dan ook dat de dakgoten in het model hoger liggen dan in de werkelijkheid. Wordt gebruik gemaakt van de BAG (derde plaatje) dan is het dak volledig gemodelleerd en liggen de dakgoten op de juiste plaats. De muren in het model zijn echter naar buiten verplaatst. In beide gevallen levert dit problemen op bij het aanbrengen van textuur op de 3D modellen. Vooral bij gebruik van de BAG zullen dakoverstekken tot een verschuiving van automatisch aangebrachte textuur leiden. Ideaal is daarom om zowel de BGT als de BAG te gebruiken. De BGT kan dan ter bepaling van de voetprint van het gebouw worden gebruikt, terwijl de BAG ondersteunt bij de omlijning van de dakvlakken (vierde plaatje). Alleen in dit geval zullen dakoverstekken expliciet gemodelleerd worden.



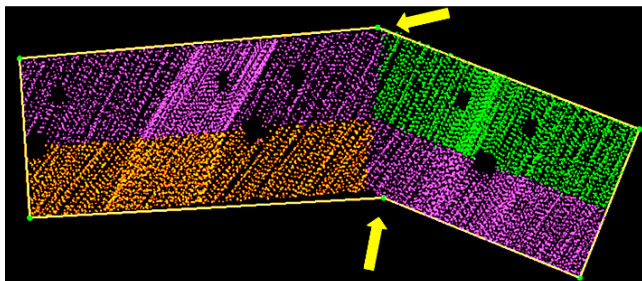
Figuur 11: Van links naar rechts: huis met dakoverstek in licht grijs, huis gemodelleerd door aansluiting op BGT, huis gemodelleerd door aansluiting op BAG, huis gemodelleerd door aansluiting op BGT en BAG.

#### Consequenties van het aansluiten op 2D omlijningen

Door het gebruik van 2D omlijningen zijn de 3D modellen consistent met de 2D representatie. Kleine fouten of afwijkingen in de gebouwomlijningen kunnen echter resulteren in storende fouten of afwijkingen in het 3D model. Wanneer bijv. een rechthoekig huis met een zadeldak in de 2D BGT niet exact rechthoekig is weergegeven, heeft dit tot gevolg dat de dakgoten in het 3D model niet horizontaal lopen. Wanneer de dakgoten in het model toch horizontaal moeten lopen, kan dit alleen worden gerealiseerd door te accepteren dat het vlak door de noklijn en dakgoot gekromd is of een knik bevat. Beide aanpassingen kunnen storend zijn bij visualisaties.

Bij de combinatie van meerdere dakdelen kunnen nog meer storende effecten optreden. Als voorbeeld wordt in de onderstaande figuur de puntwolk van een gebouw met twee zadeldaken weergegeven. De

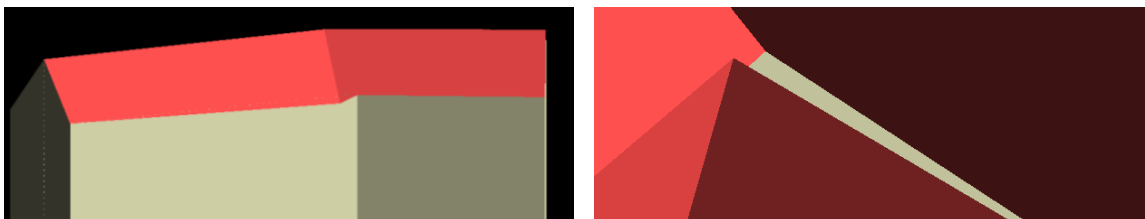
kleuren corresponderen met punten op de vier dakvlakken zoals deze in de puntwolk zijn herkend. In de 2D omlijning zijn de locaties van de hoekpunten bij de pijlen niet geheel correct.



Figuur 12: Puntwolk van een gebouw met twee zadeldaken

Bij de 3D modellering moet dan een keuze gemaakt worden tussen twee mogelijkheden voor de lijn waarlangs de twee zadeldaken met elkaar worden verbonden

- 1) De lijn wordt berekend uit de snijlijnen van de vlakken in de puntwolk
- 2) De lijn is de verbindingslijn tussen de twee hoeken in de 2D omlijning



Figuur 13: Optie 1), Optie 2)

In optie 1 (linker figuur) leidt dit tot aansluitende dakvlakken, maar heeft de dakgoot een vreemde knik. Duidelijk is te zien dat de snijlijn tussen de dakvlakken uit de puntwolk niet aansluit op de snijlijn tussen de muren. In het tweede geval (rechter figuur) zullen de noklijnen van de twee zadeldaken niet op elkaar aansluiten. Als gevolg daarvan komen in het 3D model stukjes muur die in de werkelijkheid niet aanwezig zijn.

Een variant op de tweede optie zou nog kunnen zijn dat de noklijnen per definitie door het midden van de zijden gaan. Dit levert echter problemen met niet-symmetrische daken en zal in het bovenstaande geval nog steeds stukjes muur op het dak opleveren, omdat de twee zadeldaken door fouten in de omlijning niet exact even breed zullen zijn.

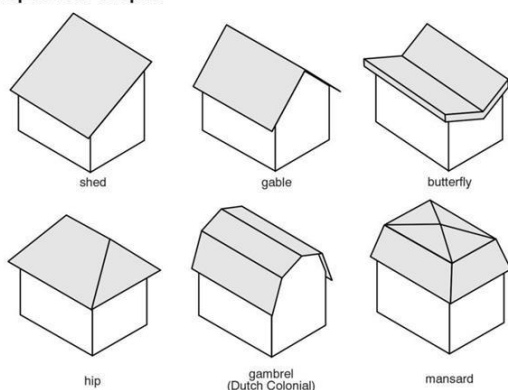
Kortom, een opdrachtgever moet zich realiseren dat het vasthouden aan de 2D geometrie van de BGT of BAG betekent dat de 3D modellen topologisch zullen afwijken van de werkelijkheid ten gevolge van (kleine) foutjes of afwijkingen in de 2D geometrie. Deze topologische afwijkingen zijn alleen te voorkomen wanneer de 2D omlijningen in het kader van de 3D modellering worden aangepast. Wanneer een dergelijke aanpassing ongewenst is zal de opdrachtgever een keuze moeten maken tussen de twee beschreven consequenties.

#### Standaard dakvormen

Sommige methoden voor de reconstructie van dakvormen maken gebruik van een bibliotheek van standaard dakvormen (figuur, bron: <http://www.nachi.org/forum/f11/mitigation-roof-shape-41293/>). Deze methoden delen de 2D gebouwomlijningen op in delen, zodat elk deel door een eenvoudige standaard dakvorm kan worden beschreven. Complexe dakvormen bestaan dan uit combinaties van meerdere eenvoudige dakvormen, zoals in het voorbeeld in de vorige paragraaf het dak kon worden beschreven met twee zadeldaken. De mate van succes bij complexe (samengestelde) dakvormen is sterk afhankelijk van

de mate waarin de 2D gebouwomlijning succesvol gesegmenteerd kan worden. Deze methode heeft als voordeel dat dakvormen ook bij relatief lage punt dichtheden goed uit laseraltimetrische data (zoals AHN2) gemodelleerd kunnen worden. Als nadeel geldt echter dat dakvormen die niet in de bibliotheek voorkomen ook niet gereconstrueerd kunnen worden.

#### Sloped roof shapes



Figuur 14: Standaard dakvormen

Voor andere methoden geldt weer dat ze een zeer grote verscheidenheid van dakvormen toestaan. Deze methoden zijn vaak alleen succesvol bij zeer hoge punt dichtheden. Combinaties van meerder methoden zijn ook mogelijk. Het verdient daarom de voorkeur niet een bepaalde methode van gebouwenreconstructie voor te schrijven, maar alleen aan te geven waaraan de uiteindelijke gebouwmodellen dienen te voldoen.

#### Eenheid van modellering

Bij aangrenzende panden, zoals bij rijtjeshuizen, zal men bij een koppeling aan de BAG graag één 3D gebouwmodel per pand willen hebben. Het is echter niet verstandig om elk pand onafhankelijk van aangrenzende panden te modelleren, omdat dan door de ruis in de data kleine hoogteverschillen zullen ontstaan in de modellen van huizen die in de werkelijkheid even hoog zijn. Daarom wordt aanbevolen om aangrenzende panden gelijk te trekken door na de modellering per pand alle aaneengesloten panden te corrigeren.

#### Mogelijke eisen aan gebouwmodellering

Eis 23. Gevellocaties van 3D gebouwmodellen komen overeen met 2D grenzen uit de BGT of BAG (bij voorkeur de BGT).

Eis 24. Dakbegrenzungen van 3D gebouwmodellen komen overeen met 2D grenzen uit de BGT of BAG (bij voorkeur de BAG).

Eis 25. Gebouwmodellen dienen volledig te zijn in de zin dat de combinatie van alle vlakken van een gebouw gezamenlijk een gesloten volume, een 3D solid vormen. Binnen gebouwmodellen mogen zich geen vlakken van andere gebouwen bevinden. Gebouwmodellen mogen elkaar raken maar niet overlappen.

Toelichting: Dit komt soms voor wanneer meerdere eenvoudige dakvormen met elkaar gecombineerd worden.

Eis 26. Wanneer dakoverstekken expliciet gemodelleerd worden moeten dakvlakken worden gesplitst op de locatie van de dakoverstekken om een valide solid geometrie te krijgen. Deze

dakoverstekken worden gemodelleerd als (multi)surface en de rest van het dak vormt een onderdeel van de begrenzing van de solid geometrie.

Aanbeveling 2. Indien 2D gebouwvlakken bij de modellering worden opgesplitst, dient dit bij voorkeur te gebeuren aan de hand van de vlakken in de beschikbare puntwolk.

Toelichting: Optie 1) in 3.3.3

OF

Aanbeveling 3. Indien 2D gebouwvlakken bij de modellering worden opgesplitst, dient dit bij voorkeur te gebeuren met lijnen tussen hoekpunten in de 2D gebouwomlijning.

Toelichting: Optie 2) in 3.3.3

Eis 27. Dakvlakken met een minimale oppervlakte van  $X \text{ m}^2$  mogen in hoogte niet meer dan  $Y \text{ m}$  afwijken van de corresponderende punten uit de puntenwolk.

Toelichting: Hiermee wordt een eis gesteld aan de minimale mate van detail, maar ook aan de precisie van de modellering. Onder andere wordt met deze eis ondervangen dat een asymmetrisch zadeldak niet door een symmetrisch zadeldak gemodelleerd mag worden. De afwijkingen tussen de punten en het model zullen dan te groot worden. Door de minimale oppervlakte relatief klein te houden (bijv.  $4 \text{ m}^2$ ) wordt impliciet ook aangegeven dat dakkapellen met een groter oppervlak gemodelleerd dienen te worden.

Eis 28. Dakvlakken met een minimale oppervlakte van  $X \text{ m}^2$  mogen niet meer dan  $Y$  graden in de normaalrichting afwijken van een vlak door de corresponderende punten uit de puntenwolk.

Toelichting: Deze eis dient te voorkomen dat bijv. een zeer plat zadeldak door een plat dak gemodelleerd wordt of dat een mansardedak door een zadeldak gemodelleerd wordt.

Eis 29. Gekromde oppervlakken moeten worden gerepresenteerd door een triangulatie waarbij de afwijking tussen het werkelijke oppervlak en de triangulatie niet meer is dan  $X \text{ m}$ .

Eis 30. Hoekpunten van de dakvlakken in het model (voor zover niet afgeleid uit de BAG), moeten binnen een afstand van  $X \text{ m}$  tot de dichtstbijzijnde datapunten liggen.

Toelichting: In Eis 27 wordt gesteld dat datapunten dicht bij de modelvlakken moeten liggen. Dit is echter ook het geval wanneer de begrenzingen van een dakvlak veel te ruim worden genomen, bijvoorbeeld wanneer een opbouw met een plat dak van  $6 \text{ m}^2$  wordt gemodelleerd door een opbouw van  $10 \text{ m}^2$  met juiste hoogte. Om dergelijke afwijkingen te voorkomen wordt hier ook geëist dat de hoekpunten van het model in de buurt van de datapunten moeten liggen.

### 3.3.4 Eisen aan de solid geometrie van LOD1 en LOD2 gebouwen

Alle surfaces van een LOD1 en LOD2 gebouw te samen moeten één of meerdere gesloten volumes vormen, gerepresenteerd door het GML type *Solid*, ook al staat CityGML toe om gebouwen te modelleren met het type *MultiSurface*. Dit is omdat solid de enige mogelijkheid geeft om een gebouw als een volume te representeren.

Een LOD1 gebouw (Building of BuildingPart) kan alleen worden gerepresenteerd met een solid. Een LOD2 gebouw kan worden gerepresenteerd als een mix van een solid met andere geometrietypen zoals een multisurface voor dakoverstekken en een curve voor een antenne.

Eis 31. De solids van gebouwen in LOD1 en LOD2 moeten voldoen aan de eisen die hieronder staan beschreven

#### Valideerregels voor een Solid

Solids die een LOD1 of LOD2 gebouw representeren hebben één buitengrens (exterior boundary) welke bestaat uit meerdere surfaces. Binnengrenzen (interior boundaries) om gaten in solids te representeren zijn niet toegestaan (en ook niet nodig).

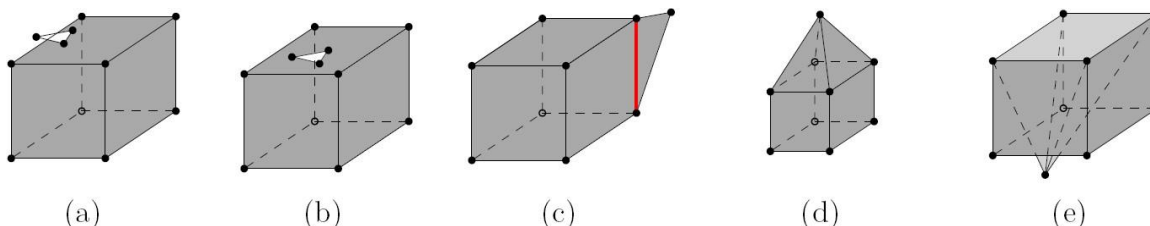
Elke vlak van een buitengrens moet een valide Polygoon zijn zoals gedefinieerd in de Simple Features Specifications (SFS<sup>10</sup>) voor 2D polygoonen. Hierbij moeten de polygoonen worden beschouwd als een 2D surface in de 3D ruimte waarbinnen zij zijn gedefinieerd.

Volgens de SFS moeten deze polygoonen:

- *planar (vlak)* zijn, dat wil zeggen dat alle coördinaten in hetzelfde vlak in 3D moeten liggen.
- topologisch gesloten zijn
- geen dubbele vertices bevatten
- beschreven zijn door middel van LinearRings die zich zelf niet snijden en zonder 'spikes'
- een binnengrens (interior) hebben bestaande uit een verzameling punten die met elkaar zijn verbonden.

Voor het grondvlak (de footprint) geldt tevens dat het een horizontaal vlak moet zijn volgens CityGML 2.0 specificaties.

Figuur 15 (a) laat een voorbeeld zien van een invalide solid. Het bovenvlak heeft een gat (innerring) welke overlapt met de buitengrens.



Figuur 15: Vier invalide solids (a,b,c,e) en één valide solid (d).

Als alle surfaces van een solid op zichzelf een valide Polygoon zijn, dan moeten de volgende regels worden gecontroleerd om vast te stellen of de gehele solid valide is:

**Gesloten grens:** alle vlakken (surfaces) moeten een gesloten buitengrens (closed boundary) vormen, zodat het volume waterdicht is. Elke edge moet dus gedeeld worden door 2 surfaces. Figuur 1b laat een solid zien waarbij dit niet het geval is.

**Geen "dangling" (loshangende) onderdelen:** d.w.z. elk edge moet exact door twee surfaces worden gedeeld. Figuur 1c laat een edge zien welke door 3 vlakken wordt gedeeld wat dus een invalide solid oplevert.

**Geen intersectie:** de surfaces van een solid mogen elkaar niet doorsnijden. Figuur 1e is niet valide omdat de punt van het dak onder het grondvlak ligt resulterend in intersecties.

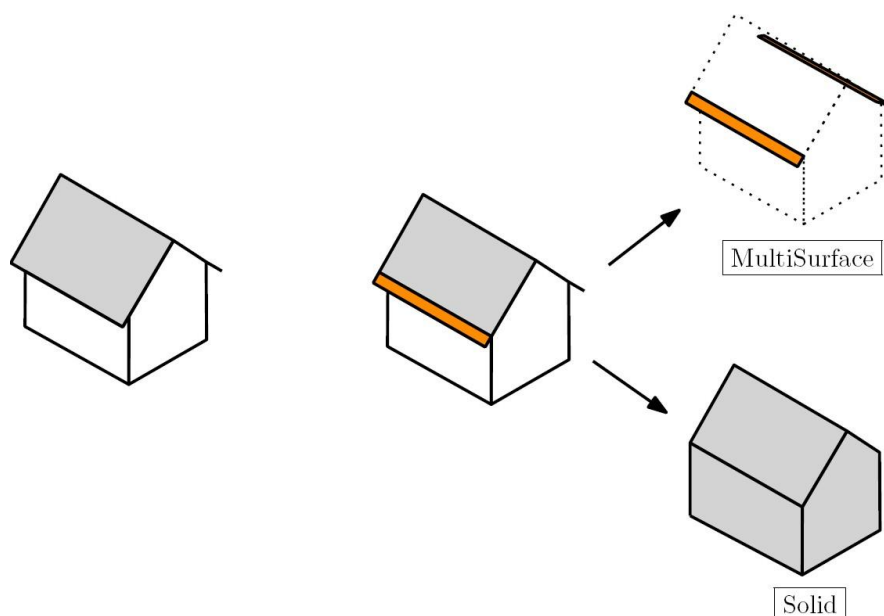
**Oriëntatie van surfaces:** de oriëntatie (volgorde van coördinaten) moeten tegen de klok in zijn gedefinieerd, kijkend naar de solid vanaf de buitenkant. De normaal wijst dus naar buiten. Een veelgemaakte fout is dat de normaal van het grondvlak naar boven wijst (wat in LOD0 wel het geval is). Voor een solid moet deze normaal naar beneden wijzen.

#### Overstek (Overhanging roof)

<sup>10</sup> OGC. OpenGIS implementation specification for geographic information—simple feature access. Open Geospatial Consortium inc., 2006. Document 06-103r3.



LOD2 gebouwen kunnen ook details bevatten als dakoverstek, antennes, schoorstenen. Deze objecten maken van een solid een invalide object. Zie ook Figuur 11 in paragraaf 3.3.3.



Figuur 16: Dakoverstek moet worden geplitst van de roofsurface zodat het volume van een gebouw kan worden gerepresenteerd met een solid.

Figuur 16 laat loshangende (dangling) onderdelen zien van een dak waardoor het gebouw invalide wordt. Volgens de CityGML specificaties moet het dak worden gesplitst zodat het gebouw alsnog met een valide solid kan worden gerepresenteerd. Een andere (niet CityGML conforme) methode is om het dak te modelleren als aparte solid, zoals Figuur 14 laat zien voor het "butterfly" dak. Het dak is hierbij gemodelleerd als een afzonderlijk volume. Deze twee solids (1 voor het dak en 1 voor de rest) zouden nog geaggregeerd kunnen worden zodat er één solid ontstaat voor het gehele gebouw.

NB1: De validator die ontwikkeld is binnen de 3D Pilot checkt alleen of een solid de ISO/OGC regels volgt, inclusief de 2D regels (SFS). Maar het checkt niet of dakoverstek een connectie maakt met het gebouw.

NB2: In de praktijk worden vaak (nog steeds) CityGML buildings opgeleverd met multisurface in plaats van solids. Daarom checkt de validator of the multisurface een valide solid zou opleveren als deze zou zijn gemodelleerd met een solid en geeft tegelijkertijd een waarschuwing af.

### 3.4 LOD1-LOD3 Tunnels en Bruggen

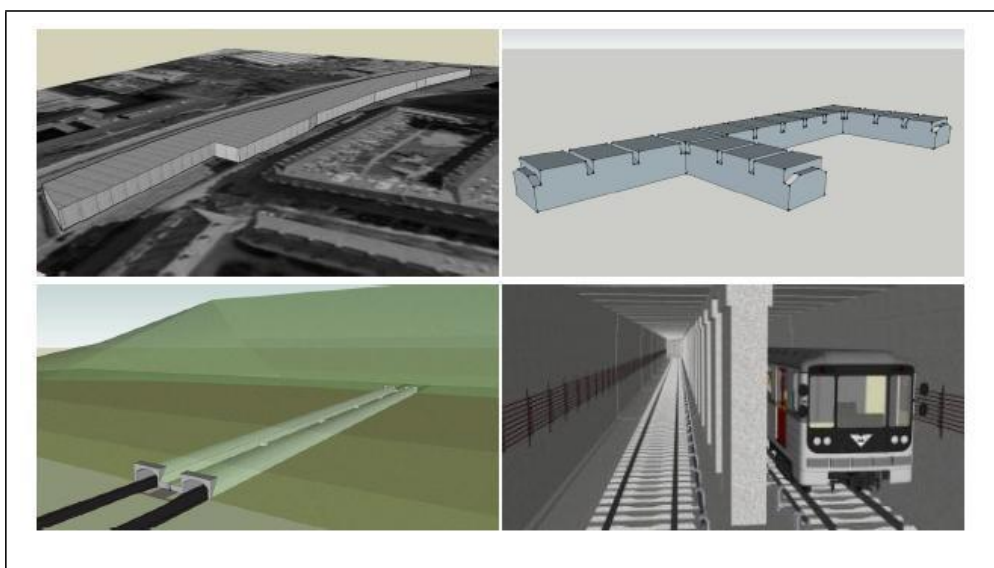
Het in 3D modelleren van Tunnels (paragraaf 3.4.1) en Bruggen (paragraaf 3.4.2) gebeurt volgens de CityGML specificaties voor Tunnels en Bridges (Secties 10.3 respectievelijk 10.4 van de CityGML 2.0 specificaties).

Zowel voor de Bruggen als Tunnels is er in IMGeo voor gekozen om de weg die door de tunnel en over de brug gaat apart te modelleren van het betreffende kunstwerk. Een alternatief hiervoor is het desbetreffende surface slechts eenmaal als geometrie te modelleren en hier vanuit beide objecten (kunstwerk en wegdeel) naar te verwijzen. Dit wordt ook ondersteund door CityGML. Echter het voordeel om de geometrie dubbel op te slaan is dat zowel het wegdeel als het kunstwerk aanwezig zijn als aparte objecten en onafhankelijk van elkaar kunnen worden gebruikt en geëxporteerd. Een nadeel is dat de weg-surfaces redundant worden gemodelleerd. Dat betekent dat de wegsurface op een plek kan worden gewijzigd zonder dat deze impliciet op de tweede plek wijzigt, waardoor een inconsistent model ontstaat.

Daarom is het belangrijk om ervoor te zorgen dat beide surfaces overeenkomen; ook al levert dit problemen op bij visualisatie (flickering vanwege "Z fighting"), vooral als beide surfaces verschillende texturen of kleur hebben. Een mogelijke oplossing kan zijn dat van beide surfaces wordt aangegeven met een vinkje welke surface van de twee gebruikt wordt voor de visualisatie.

### 3.4.1 Tunnels

De klasse Tunnel kent LOD1 tot en met LOD4 representaties in CityGML, zie onderstaande figuur.



Figuur 17: Voorbeelden van tunnels in LOD1 (linksboven), LOD2 (rechtsboven), LOD3 (linksonder) en LOD4 (rechtsonder) (CityGML, 2012)

De IMGeo klasse die voor deze uitbreiding gebruikt moet worden is *Tunneldeel* (*TunnelPart*), in 2D gemodelleerd met een surface. Dit surface vormt bij de uitbreiding naar 3D de footprint van het volume object. Hoe de uitbreiding in de verschillende Levels of Detail eruitziet staat uitgebreid beschreven in Sectie 10.3 van de CityGML 2.0 specificaties. Hier beschrijven we de belangrijkste principes.

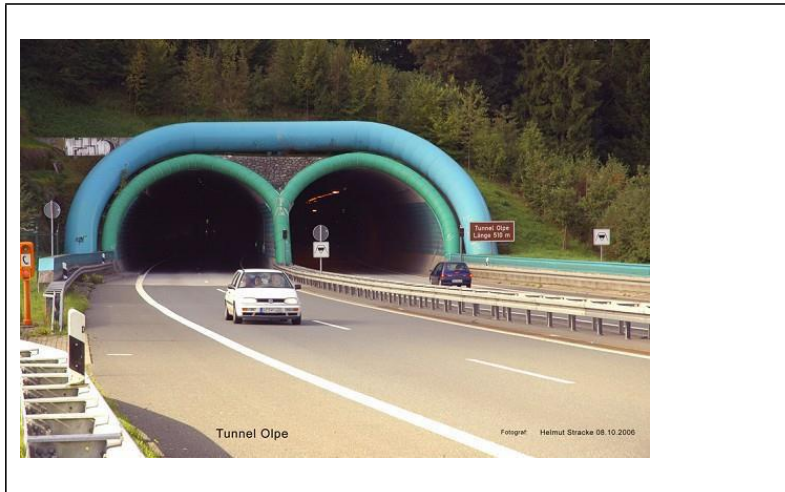
Net als voor gebouwen, wordt bij de tunnel in LOD1-3 alleen de buitenkant beschreven welke bestaat uit de grensvlakken met het ernaast gelegen aarde, water of lucht. De binnenkant van de tunnel wordt alleen gemodelleerd in LOD4. Het gevolg hiervan is dat een ander object zoals wegdeel of spoor de tunnel kan "binnendringen" in LOD1-3.

In LOD1 bestaat een tunnel uit een geometrie die een tunnel volume weergeeft. De *TerrainIntersectionCurve* (die aangeeft waar de tunnel het maaiveld precies snijdt) is niet nodig omdat eerder is uitgelegd dat de footprint van ieder IMGeo object moet worden opgenomen in de LOD0 representatie die het maaiveld beschrijft. In LOD2 wordt de geometrie verfijnd door additionele *MultiSurface* en *MultiCurve* geometrieën.

In LOD2 en hoger kunnen de buitenstructuren van een tunnel verder worden onderverdeeld via de klassen *\_BoundarySurface* en *TunnelInstallation*. Een boundary surface is een deel van de buitenkant van een tunnel met een speciale functie zoals muur (*WallSurface*), dak (*RoofSurface*), grondvlak (*Footprint*), of *ClosureSurface*. *TunnelInstallation* wordt gebruikt voor elementen die belangrijk zijn als element aan de buitenkant van een tunnel zoals een trap. In LOD3 kunnen ook openingen (deuren en ramen) worden gerepresenteerd als *\_BoundarySurface*.

In LOD4 kan ook de ruimte binnen in de tunnel worden gemodelleerd via *HollowSpace*. Hierdoor kan de tunnel ook daadwerkelijk betreden worden zoals bij simulaties voor rampenbestrijding of lichtinval.

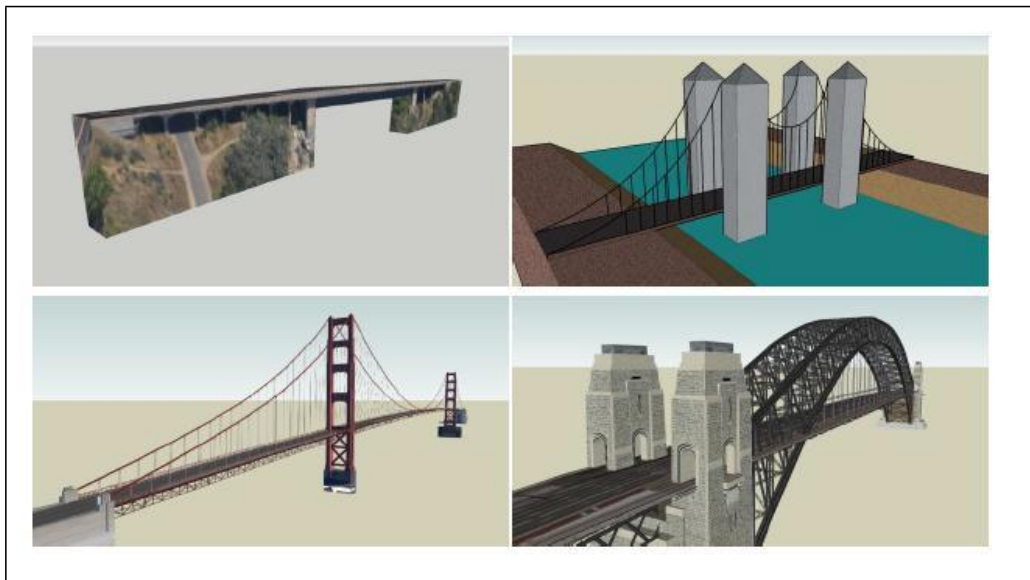
Als een tunnel bestaat uit twee onderdelen die in geometrie en/of attributen van elkaar verschillen, dan kan de tunnel bestaan uit twee *TunnelParts*, zie onderstaande figuur.



Figuur 18: Tunnel gemodelleerd met twee tunnelparts

### 3.4.2 Bruggen

Ook Bruggen kunnen gemodelleerd worden van LOD1 tot en met LOD4, zie onderstaande figuur.



Figuur 19: Voorbeelden van CityGML brug modellen: LOD1 (linksboven), LOD2 (rechtsboven), LOD3 (linksonder) en LOD4 (rechtsonder)

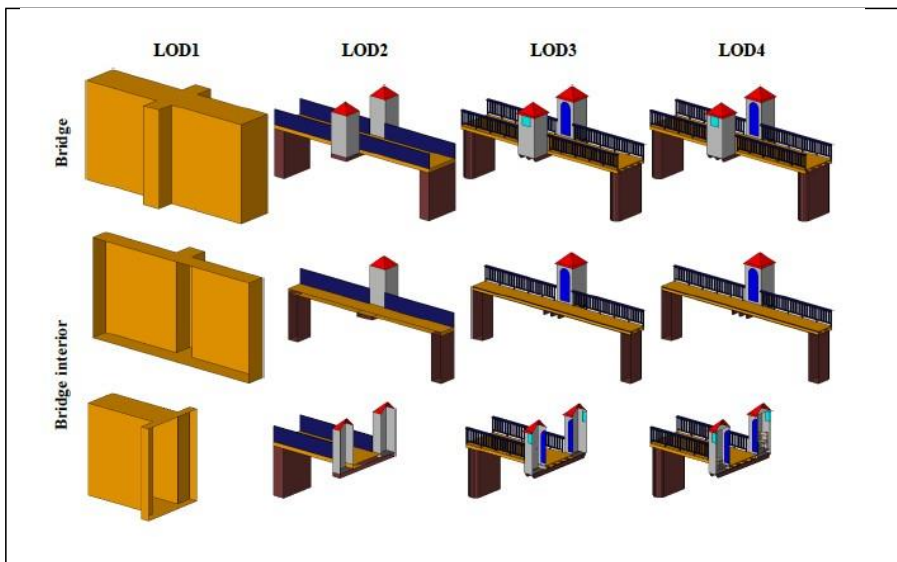
Voor de uitbreiding van 2D IMGeo naar 3D kunnen de verschillende onderdelen van een brug (BridgeConstructionElements) worden gebruikt die worden onderkend in IMGeo, nl: dek, landhoofd, pyloon, sloof, pijler. Deze hebben in 2D een surface geometrie. De onderdelen van een brug op niveau 0

moeten als footprint worden geïntegreerd in het terrein (zie 3.2.1) om te zorgen dat de brug op de juiste 3D positie aansluit (waardoor een *TerrainIntersectionCurve* overbodig wordt).

Een brug wordt in 3D uitgebreid via de principes van CityGML. Deze staan in detail uitgelegd in paragraaf 10.4 van de CityGML 2.0 specificaties. Hieronder worden de belangrijkste principes samengevat.

Zowel beweegbare als niet-beweegbare bruggen worden gemodelleerd met de CityGML klasse *Bridge* en - net zoals bij *Tunnel* - kent ook een brug een representatie op LOD1 t/m 4. Voor een brug (in het geval van IMGeo de *BridgeConstructionElements*) kent iedere LOD in ieder geval het 'solid' geometrie type. Voorbeelden van ieder LOD zijn hieronder afgebeeld. In LOD4 worden mogelijke ruimten binnenin een brug gemodelleerd.

Niet alle onderdelen van een brug kunnen als dichte volumes worden gerepresenteerd. In die gevallen kan 'multisurface' worden gebruikt (*lod1MultiSurface* tot *lod4MultiSurface*). Naast de solids, kunnen multicurves gebruikt worden voor onderdelen als touw.



Figuur 20: Verschil in LOD's voor een type brug

### 3.5 Begroeid terreindeel in LOD1 en LOD2

In paragraaf 3.2 is beschreven hoe een LOD0 terrein beschrijving verkregen kan worden van vlakobjecten op niveau 0. Van Wegdelen, Waterdelen en Onbegroeide terreindelen heeft een volumerepresentatie weinig zin. Van het objecttype Begroeid terreindeel kan een volumerepresentatie echter zinvol zijn. Een voorbeeld van een LOD1 representatie van Begroeid Terreindeel in bebouwd gebied is in figuur 14 weergegeven. Voor deze LOD1 representatie is per 2D Begroeid Terreindeel surface de gemiddelde hoogte bepaald en vervolgens -zoals beschreven bij LOD1 gebouwen- met extrusie de polygoon omgezet in een volume.

De LOD2 representatie van een Begroeid Terreindeel beperkt zich niet tot één hoogte per object, maar staat variatie toe in de hoogte. Dit kan zowel door segmentatie bereikt worden (en per segment een hoogte te bepalen) als door triangulatie, waarbij bijvoorbeeld op basis van laserscandata het hoogteverloop binnen het Begroeid Terreindeel wordt beschreven.

Voor zowel de LOD1 als LOD2 representatie geldt dat ze -wederom analoog aan LOD1 gebouwen- met zowel relatieve als absolute hoogteligging kunnen voorkomen, alleen zal de relatieve variant meer

voorkomen. De relatieve variant is bruikbaar als het Begroeid Terreindeel (bijvoorbeeld samen met LOD1 gebouwen met relatieve hoogteligging) op een plat vlak worden geplaatst (2D IMGeo bestand of luchtfoto).

Met absolute hoogteligging is het aansluiten op een LOD0 terreinbeschrijving complexer. Een hybride tussenvorm is denkbaar waarbij het Begroeid Terreindeel in LOD0 wordt beschreven, maar waarbij als input niet de maaiveldhoogten (uit bijvoorbeeld gefilterde AHN data) maar de kruinhoogten (uit ongefilterde AHN data) worden gebruikt. Deze hybride vorm kan toegevoegde waarde hebben vanuit het oogpunt van visualisatie, maar de eventuele meerwaarde van volumeberekeningen (voor bijvoorbeeld milieutoepassingen:  $m^3$  vegetatie) mist men in deze hybride vorm.



Figuur 21: LOD1 van BegroeidTerreindeel, samen met LOD1 gebouwen (bron: iDelft)

### 3.6 Bomen en andere inrichtingselementen in LOD2 en LOD3

In IMGeo komen de volgende inrichtingselementen voor:

- Bak
- Bord
- Installatie
- Kast
- Mast
- Paal
- Sensor
- Straatmeubilair

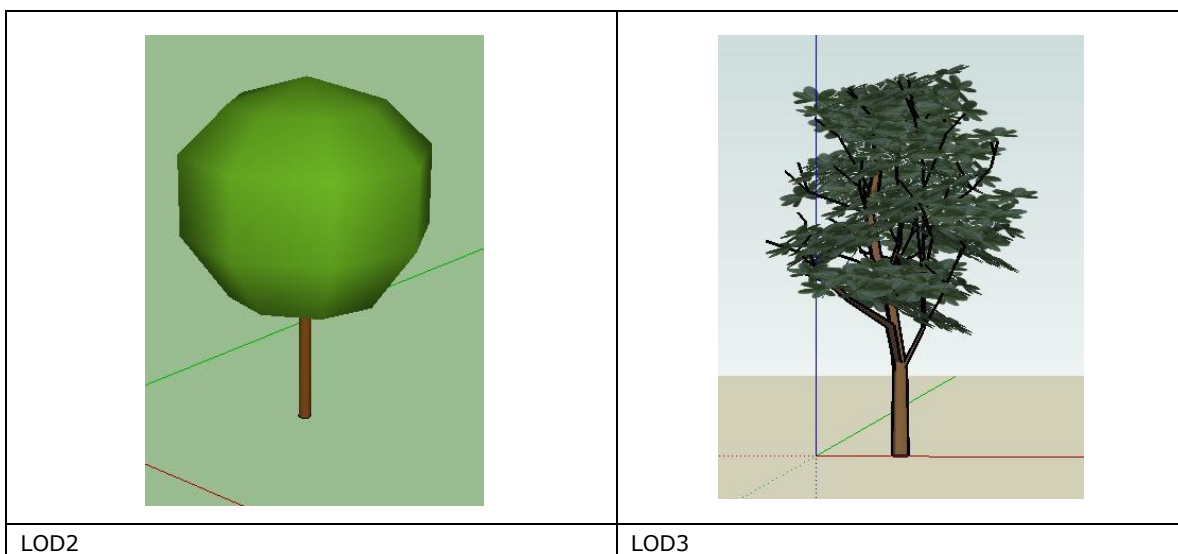
Boom is een aparte objecttype in IMGeo.

De inrichtingselementen kunnen met een beperkt aantal basisvarianten in 3D worden beschreven. In wezen is dit nu ook gedaan voor 2D. De visualisatie die is gemaakt voor 2D IMGeo bestaat uit pictogrammen.



Deze objecten kunnen ook in 3D objectenbibliotheken worden opgebouwd of worden aangeschaft. IMGeo classificeert bijvoorbeeld een reclamezuil. Het kan zijn dat vanuit de beheer informatie van een organisatie ook inzichtelijk is welke soort reclamezuil het is waardoor verschillende 3D soorten reclamezuil gerepresenteerd kunnen worden. Dit vraagt de beschikbaarheid van een 3D inrichtingselementen symboolbibliotheken.

Het verschil in LOD2 en LOD3 is dat bij LOD3 ingewikkelde parametrische modellen de grondslag vormen voor de 3D visualisatie waar bij LOD2 eenvoudiger symboolbibliotheken (of modellen) de basis zijn. De scheidslijn tussen LOD2 en LOD3 is voor de inrichtingselementen niet altijd eenvoudig te trekken omdat CityGML hierin niet expliciet genoeg is.



Figuur 22: Voorbeeld boom in LOD2 en LOD3 (bron Alterra)

Het gebruik van beheer informatie is nodig voor bomen (in IMGeo wordt alleen het coördinaat als attribuut opgenomen). Figuur 23 is een uitwerking van Alterra voor bomen waarbij op basis van kroonbreedte en hoogte bomen gerepresenteerd zijn.



Figuur 23: Bomen in LOD2 op basis van kroonbreedte en hoogte

Indien wenselijk kan dit bijvoorbeeld nader verbijzonderd worden door het soort boom hieraan toe te voegen met per boomtype bijvoorbeeld een groeimodel. Dit vraagt echter wel duidelijk vooraf gedefinieerde 3D modellen per boomsoort die op dit moment naar weten van de auteurs nog niet als standaard voorhanden zijn. Op deze wijze wordt elke boom beschreven door een uniek 3D model. Deze modellen worden automatisch opgebouwd aan de hand van een beperkt aantal basiseigenschappen en bijbehorende parameters, waardoor het beslag op ICT voorzieningen gering blijft, en tegelijkertijd een meer realistisch beeld ontstaat van elke boom.

Aanbeveling 4. Afhankelijk van de toepassing kan het verstandig zijn om voor bepaalde inrichtingselementen (benoem ze expliciet 1 voor 1) en bomen een 3D model te genereren. Dit kan vrij eenvoudig mits goede 3D bibliotheken hieraan ten grondslag liggen. Deze zijn bij de auteurs van dit document niet bekend en zal dus overleg vragen binnen uw organisatie of dit meegenomen moet worden in de uitvraag van de aanbesteding.

### 3.7 Textuur

Aan 3D geo-informatie kan textuurinformatie worden toegevoegd. Textuurinformatie bestaat uit kleuren of beelden. Het belangrijkste doel van het toevoegen van textuurinformatie is natuurlijk het daardoor treffender kunnen visualiseren van de gegevens. Dat is echter niet per definitie het enige doel; textuurinformatie in CityGML kan ook voor analyse worden gebruikt.

Het is altijd aan te bevelen om textuurinformatie toe te voegen aan 3D geo-informatie. Daarbij geldt nog dat als meerdere typen textuur worden gebruikt een zo breed mogelijk aantal toepassingen kan worden bediend.

#### 3.7.1 Type textuur

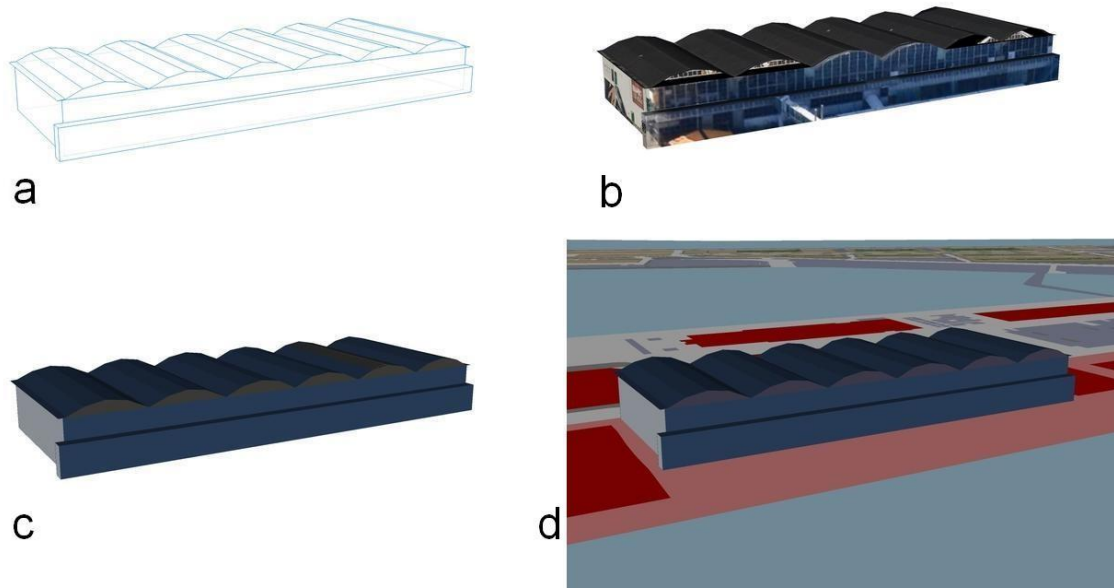
Textuur kan op verschillende manieren worden toegekend:

1. Op basis van beeldinformatie (meestal foto's)
2. Op basis van de gemiddelde puntkleur per vlak
3. Op basis van de visualisatie IMGeo

ad 1. Het proces bij de opbouw van textuurinformatie uit beeldinformatie bestaat ruwweg uit het gebruik van beeldinformatie uit klassieke luchtfoto's, oblique luchtfoto's of panoramafoto's of -video's. Een kostentechnische interessant proces wordt alleen bereikt als bij de in te zetten beeldinformatie ook alle oriënteringsgegevens (stand en positie bij de opname) bekend zijn, en een voldoende geometrische kwaliteit bezitten.

ad 2. Soms kan beeldinformatie in sterk vereenvoudigde vorm worden gebruikt (een vlak krijgt een enkele kleur, die het gemiddelde is van de projectie op dat vlak van beeldinformatie). Deze wijze van textureren is een logische tweede optie als ook met beeldinformatie wordt gewerkt.

ad 3. De semantische eigenschappen van 3D geo-informatie worden gebruikt (een vlak krijgt de kleur rood, omdat het vlak een dakvlak betreft).



Figuur 24: Texturering: a. zonder textuur; b. textuur uit (lucht-)fotobeelden; c. textuur op basis van de gemiddelde puntkleur per vlak; d. textuur op basis van gemiddelde kleur en visualisatie IMGeo (inclusief ondergrond)

Normaliter wordt textuurinformatie uit beeldinformatie opgeslagen in separate bestanden in gecomprimeerde grafische formaten (zoals jpg), en worden aan de 3D objecten alleen attribuutgegevens (link naar jpg, projectiegegevens voor eenduidige mapping op object) toegevoegd. Het gebruik van beeldinformatie betekent dan een fors beslag op hard- en software en bemoeilijkt de eenvoudige grafische presentatie van de 3D geo-informatie: in een complex 3D model navigeren is dan lastiger te realiseren of zelfs onmogelijk. Het spreekt voor zich dat de foto-eigenschappen (detaillering of resolutie en kleurruimte) een grote impact hebben op de detaillering van de textuurinformatie. Daarnaast heeft ook de kwaliteit van de foto-positioneringsgegevens (stand en oriëntatie) invloed op de kwaliteit van de texturen.

Textuurinformatie in de vorm van computer graphics is vele malen efficiënter op te slaan en te gebruiken dan textuurinformatie uit beeldinformatie. Deze wijze van werken is afkomstig uit de computer game industrie en is geënt op de efficiënte grafische presentatie: in een complex 3D model navigeren is dan veel eenvoudiger. Textuurinformatie in de vorm van computer graphics zorgt dan wel voor een minder realistisch beeld in het 3D model. Toch zal textuurinformatie in de vorm van computer graphics, en specifiek op basis van de visualisatie IMGeo, zorgen voor een duidelijker "kaartbeeld" (zoals dat ook op gaat voor de vergelijking tussen een representatie van TOP10NL en een luchtfoto) en de interpretatie dus makkelijker maken.

- |  |
|--|
| <p>Aanbeveling 5.      Gebruik texturen op basis van de visualisatie IMGeo (uit de handreiking Visualisatie), want dat maakt interpreteren eenvoudiger en visualiseren gebruiksvriendelijker.</p>  |
| <p>Aanbeveling 6.      Voor het meest realistische beeld van de stad zijn texturen uit beeldinformatie (in combinatie met een op het terrein geplaatste luchtfoto) de beste oplossing. Deze informatie is echter alleen bruikbaar op kleine schaal.</p>  |
| <p>Aanbeveling 7.      Mits al om texturen uit beeldinformatie wordt gevraagd, dan is het nuttig om ook te vragen om texturen uit de gemiddelde puntkleuren per vlak. Daarmee ontstaat een fotorealistisch beeld van de stad als geheel, dat toch snel te visualiseren en dus gebruiksvriendelijk is.</p>  |
| <p>Aanbeveling 8.      Doordat het op te leveren CityGML IMGeo bestand bestaat uit klassen en classificaties kan de standaardvisualisatie van IMGeo gehanteerd worden (<a href="http://www.geonovum.nl/sites/default/files/20140104_Handreikingvisualisatie-v1-">http://www.geonovum.nl/sites/default/files/20140104_Handreikingvisualisatie-v1-</a></p> |



gevraagd te worden op oplevering omdat elk GIS- en/of CAD softwarepakket/viewer kan visualiseren op basis van klasse/classificatie.

Aanbeveling 9. Uit de geleverde texturen uit beeldinformatie kan een gemiddelde puntkleur aan de opdrachtnemer worden gevraagd voor visualisatie.

Afhankelijk van de gemaakte keuzes kunnen de volgende eisen worden gebruikt:

Eis 32. Er moet textuurinformatie worden geleverd op basis van beeldinformatie. Per object wordt altijd alleen beeldinformatie van het betreffende object gebruikt.

Toelichting: Welke broninformatie moet worden gebruikt moet worden gespecificeerd. Het kan zijn dat opdrachtgever deze broninformatie al in bezit heeft en aanlevert. Het kan ook zijn dat nieuwe broninformatie moet worden verzameld.

### 3.7.2 Bestandseigenschappen voor texturen uit beeldinformatie

Textuurinformatie uit beeldinformatie is rasterinformatie en bestaat uit op de objecten geprojecteerde fotografie. Dit soort informatie wordt niet als zodanig in CityGML opgenomen, maar er wordt naar gerefereerd. Deze referentie kan zijn naar een webservice of naar separate (beeld-)bestanden.

Eis 33. Het 3D model moet alle data bevatten die nodig zijn om de volledige en eenduidige relatie te leggen tussen textuurinformatie en geometrie.

Er zijn een aantal aanvullende eisen m.b.t. bestandseigenschappen (volledigheid, dekking, formaat, indeling, naamgeving) nodig. Afhankelijke van de wens van de opdrachtgever kunnen de volgende eisen worden gebruikt:

Eis 34. Aan alle objectvlakken wordt een textuur toegekend, uitgezonderd het grondvlak van objecten (gelijk aan de snijding van object met maaiveld) en uitgezonderd (delen van) objecten waarvoor geen broninformatie beschikbaar is.

Eis 35. Er wordt ook textuurinformatie opgebouwd en geleverd wanneer voor een objectvlak geldt dat er onvoldoende brongegevens zijn om het objectvlak in zijn geheel te bedekken.

Toelichting: In dit geval kan de ontbrekende textuurinformatie in een te bepalen kleur worden weergegeven, of niet worden geleverd. In dit laatste geval kunnen deze delen dan als transparant worden opgenomen in CityGML (met eigenschap *wrapMode=border/none*).

Wanneer een objectvlak in zijn geheel niet met enige textuurinformatie bedekt kan worden, kan alsnog textuurinformatie worden geleverd in een te bepalen kleur, of wordt er geen textuurinformatie geleverd en worden vlakken transparant weergegeven. Dit kan op dezelfde wijze.

Eis 36. Wanneer een objectvlak in zijn geheel niet bedekt kan worden met enige textuurinformatie, wordt er wel/geen textuurinformatie geleverd (in de kleur *<kleur>*).

Eis 37. Alle textuurinformatie wordt geleverd in hetzelfde formaat *<formaat>*.

Toelichting: Formaatpecificaties zoals compressie en kleurruimte moeten nader worden beschreven. Het bestandsformaat kan bijvoorbeeld jpg of png zijn. Het is gezien het moeilijk kunnen visualiseren van 3D modellen met fototexturen aan te raden om voor een formaat te kiezen dat relatief weinig ruimte inneemt en een flinke mate van compressie kan toestaan.

Eis 38. De bestanden die textuurinformatie bevatten krijgen elk een unieke filenaam volgens de structuur *<structuur>*.

Toelichting: De structuur kan bijvoorbeeld worden beschreven als {#####}.*{jpg/png}* (#-tekens worden vervangen door cijfers en/of letters). Niet alle software kan omgaan met bestandsnamen van meer dan 8 karakters. Het verdient daarom aanbeveling om de bestandsnamen te laten bestaan uit (maximaal) 8 karakters.

### 3.7.3 Textuur in CityGML

Texturen worden in CityGML met de extensiemodule *Appearance* gemodelleerd (zie CityGML 2.0 specificaties). Er kan in CityGML worden gerefereerd naar webservices of naar (beeld-)bestanden als het gaat om texturen uit beeldinformatie. Textuurinformatie op basis van de visualisatie IMGeo, of een enkele gemiddelde kleur per vlak, kunnen in CityGML zelf worden opgenomen.

De module *Appearance* maakt het mogelijk om meerdere texturen op te nemen. Dat kan zowel per object, als voor alle objecten ineens. Het kan ook opnieuw voor elk LOD. En het kan in meerdere thema's, die bijvoorbeeld kunnen verwijzen naar IMGeo, of juist naar fotomateriaal, of naar andere bijzondere eigenschappen die niet alleen visueel zijn (zoals geluidsoverlast of infrarode straling).

Een *Appearance* bestaat uit gegevens voor elke geometrisch (oppervlakte-) object, dus bijvoorbeeld voor elk vlak in het 3D model. Aan een enkel vlak kunnen meerdere kleuren of texturen worden toegekend. Maar andersom kunnen meerdere vlakken ook verwijzen naar dezelfde kleur of textuur. Dat laatste is interessant voor het gebruik van kleuren uit de visualisatie IMGeo: deze hoeft dus niet per object opnieuw te worden gespecificeerd.

In CityGML 2.0 wordt gesproken over *material*, als het gaat om constante eigenschappen zoals kleur, en wordt gesproken over *texture*, als het gaat om eigenschappen die afhangen van de locatie binnen het oppervlak, zoals het geval is bij texturen uit beeldinformatie. Elk (vlak-)object in CityGML kan zowel een *material* als een *texture* bezitten, en dat zowel per thema als per zijde (bij panden: binnen- en buitenkant).

CityGML 2.0 voorziet dus in maximale flexibiliteit, en textuurinformatie kan zowel voor visualisatie als voor analyse worden gebruikt.

De extensiemodule *Appearance* is nieuw in CityGML 2.0. In CityGML 1.0 werd de class *TexturedSurface* gebruikt. CityGML 2.0 voorziet nog in een vervangende module *TexturedSurface*, maar het gebruik ervan wordt afgeraden. De module *Appearance* heeft dezelfde mogelijkheden en meer.

Eis 39. Alle textuurinformatie wordt gemodelleerd in CityGML 2.0 met de extensiemodule *Appearance*.

Om het visualiseren (renderen) van (pand-)objecten niet onnodig moeilijk te maken kan gespecificeerd worden dat alleen textuurinformatie naar buiten gericht wordt opgenomen.

Eis 40. Textuurinformatie voor (pand-)objecten wordt alleen gemodelleerd voor het naar buiten gerichte deel van elk vlak. Er wordt geen textuurinformatie gedefinieerd voor het naar binnen gerichte deel van elk vlak.

### 3.7.4 Kwaliteit

De geometrische kwaliteit van de textuurinformatie wordt in eerste instantie door de geometrische kwaliteit van de broninformatie beïnvloed.

Bij de conversie van beeld- naar textuurinformatie kan in ieder geval een proces worden ingericht dat alle kwaliteit (precisie) in de oriënteringsgegevens (stand in hoeken en positie in coördinaten van beelden) bij de broninformatie benut.

Eis 41. Bij de texturering (de projectie van de broninformatie (beeldinformatie) op de vlakken in het 3D model) moeten alle bestaande/aangeleverde oriënteringsgegevens zonder afronding worden gebruikt.

Om de kwaliteit van de projectie te verbeteren kan worden besloten om de oriënteringsgegevens bij de broninformatie te verrijken. Dat kan dan op twee manieren:

- door een additionele geometrische correctie in de brongegevens, bijvoorbeeld wanneer luchtfoto's worden gebruikt door een extra en stringenter triangulatie en blokvereffening;
- door een handmatige aanwijzing (kartering) van de hoekpunten van vlakken in de broninformatie.

Tijdens de aankoop van broninformatie zoals luchtfoto's kan al rekening worden gehouden met deze toepassingen en bijvoorbeeld een stringenter triangulatie en blokvereffening worden uitgevoerd. In dat geval is een geometrische correctie bij opbouw van het 3D model niet meer nodig of nuttig. De handmatige wijziging is over het algemeen kostbaar, tenzij het model slechts uit weinig objecten bestaat.

Evenzogoed bevat ook de onderliggende 2D-informatie geometrische fouten, die de geometrische kwaliteit van de texturering beïnvloeden. Die fouten moeten worden geaccepteerd omdat wordt geëist dat de locatie van de muren van panden overeenkomt met de gebouwomlijningen in de 2D BGT of BAG (de 2D en 3D representaties zijn dan consistent).

Aanbeveling 10. Als de oriënteringsgegevens van de broninformatie relatief eenvoudig kunnen worden verrijkt door een additionele geometrische correctie (bijvoorbeeld bij luchtfoto's een stringenter triangulatie en blokvereffening) dan wordt aanbevolen om deze correctie ook uit te voeren.

Over het algemeen zal voor texturering bij de (eerste) opbouw van een 3D model een enkele set broninformatie worden gebruikt. Worden er meerdere bron datasets gebruikt, dan kan per dataset een afweging worden gemaakt over hoe er met de geometrische kwaliteit wordt omgegaan.

Naast geometrische kwaliteit kent beeldmateriaal ook een radiometrische kwaliteit (kleurechtheid, doortekening). De radiometrische kwaliteit van broninformatie kan niet worden verbeterd bij de conversie naar textuurinformatie maar hoogstens worden aangepast (lichter worden gemaakt, van iets meer doortekening worden voorzien).

De detaillering van de broninformatie (resolutie) bepaalt ook de detaillering van de textuurinformatie.

Tenslotte wordt de kwaliteit (of passendheid) van de texturering nog door diverse andere factoren beïnvloed. Er zijn natuurlijk allerlei objecten die in beeldmateriaal worden 'vastgelegd' maar niet in het 3D (pand-)model worden gemodelleerd, zoals bomen, auto's, mensen en schoorstenen, schotels, dakkapellen, erkers en serres voor zover niet gemodelleerd.

## Toepassingen

**In dit hoofdstuk zijn voor een aantal toepassingen (de lijst is een greep uit de vele use cases) de benodigde eisen aangegeven. Dit is een indicatie. Degene die de eisen opneemt in het bestek zal in overleg met gebruikers exact moeten bepalen welke requirements benodigd zijn om de use cases in te vullen. Onderstaande lijst kan hierin een eerste aanzet zijn.**

Voorbeeld use cases:

- i. Berekening overstromingsgebieden
- ii. Herkenning terreinstructuren
- iii. Bepaling maaibestekken (prijs afhankelijk van helling)
- iv. Afwateringsberekeningen (stedelijk water)
- v. Stedenbouwkundige visualisaties
- vi. Ruimtelijke plannen in beginfase
- vii. Midschalige ruimtelijke analyses (geluid-, zonne- en overstromingsstudies)
- viii. Halffabricaat
- ix. Bepaling bouwvergunning
- x. Berekeningen (x,x,x)
- xi. Bepalen goot- en nokhoogten t.b.v. bestemmingsplannen
- xii. Geluid- en milieuanalyses
- xiii. Bezonningsstudies
- xiv. Ontwerpprocessen voor stads- en gebiedsontwikkeling;
- xv. De toetsing van stedelijke ontwerpen;
- xvi. De ondersteuning van (bouw)projecten;
- xvii. De visualisatie van vraagstukken en oplossingen in de stad;
- xviii. Het ontwerp en beheer van objecten in de buitenruimte;
- xix. Simulaties ten behoeve van openbare orde en veiligheid;
- xx. Stads promotie (grafisch, via maquette en interactief).
- xxi. Volumebepaling van gebouwen voor OZB
- xxii. 3D Kadaster
- xxiii. Makelaardij (voorselectie van woningen door klanten)
- xxiv. Telecommunicatie (plaatsing GSM zenders)
- xxv. Urban heat analyse (hangt samen met (vii))
- xxvi. Wind rond hoge gebouwen
- xxvii. Civieltechnische werkvoorbereiding

Groep eisen	Benodigde eisen	Use cases
A	Eis 1, Eis 2, Eis 3, Eis 4, Eis 5, Eis 6, Eis 7, Eis 9, Eis 10, Eis 11, Eis 12, Eis 13, Eis 14, Eis 15, Eis 16, Eis 17, Eis 18, Eis 19, Eis 20, Eis 21, Eis 31,	Voor alle use cases minimaal benodigd
B	Eis 22, Eis 23, Eis 24, Eis 25, Eis 26, Eis 27, Eis 28, Eis 29, Eis 30	v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii, xviii, xx, xxi, xxii, xxiii, xxv,
C	Eis 8,	iii, iv, x, xxvii
D	Eis 32, Eis 33, Eis 34, Eis 35, Eis 36, Eis 37, Eis 38, Eis 39, Eis 40, Eis 41	v, xvii, xx,

**Op basis van bovenstaande tabel worden de eisen die horen bij de groepen A en B als minimale aanbestedingsset geadviseerd.**

## Hoofdstuk 5

# Data

**Dit hoofdstuk gaat in op diverse aspecten die spelen rond de broninformatie die voor opbouw van 3D informatieobjecten kan worden gebruikt. Soms worden suggesties voor extra inwinning gedaan, maar de nadruk ligt bij bronmateriaal waarover organisaties al beschikken.**

### 5.1 Achtergronden bij de inwinning en beschikbaarheid van brongegevens

#### 5.1.1 Data, LOD en schaalgrootte van de modellering

Deze rapportage richt zich vooral op opbouw van LOD0, LOD1 en LOD2 modellen. Over het algemeen wordt dan gemodelleerd voor een heel beheersgebied of voor een hele gemeente. Er zijn in dat geval diverse geo-registraties beschikbaar die als inputdata kunnen worden gebruikt, zoals klein- of grootschalige topografie en het AHN2.

In dit hoofdstuk wordt niet verder ingegaan op aspecten die te maken hebben met data voor de opbouw van LOD3 en LOD4 modellen. In die gevallen is altijd hoog gedetailleerde informatie aanwezig die soms tijdsintensief uit bestanden kan worden herleid maar ook vaak om handmatige opbouw vraagt (zoals via landmeetkundige inwinning of terrestrische laseraltimetrie). Als gevolg van de mogelijkheden van bestaande registraties als inputdata, het proces van modelleren en de gemoeide toepassing zal opbouw van LOD3 en LOD4 informatie vaker plaatsvinden op kleine schaal en in projecten. 3D informatie op LOD3 en LOD4 kan altijd worden toegevoegd aan 3D informatie op bijvoorbeeld LOD2: van een enkel pand kunnen tegelijkertijd meerdere representaties bestaan. Ook als opbouw van een 3D model in LOD4 voor een pand het ultieme doel is, ligt opbouw van 3D basisinformatie in kleinere LOD voor de hand.

Uitgangspunt in dit hoofdstuk is dus de opbouw van 3D informatie in LOD1 en LOD2 en voor het gehele beheersgebied.

#### 5.1.2 Ambitieniveau

Hoewel de toepassing van de gegevens het uitgangspunt is, bepaalt de beschikbare brondata ook vaak het ambitieniveau van de modellering. Als gebruik kan worden gemaakt van data waarover de organisatie al beschikt of van data die tegen relatief lage kosten kan worden ingewonnen zijn ook de kosten van de opbouw van 3D modellen laag.

Ruwweg kunnen:

- panden in LOD1 worden gemodelleerd als een of meerdere topografische datasets beschikbaar zijn die objectgeoriënteerd zijn gestructureerd (zoals TOP10NL, GBK of BAG);
- panden in LOD2 worden gemodelleerd als ook hoogte-informatie van een voldoende detaillering beschikbaar is en tot op het niveau van dakvormen en (grotere) dakkapellen (zoals uit AHN2 of eigen inwinning);
- panden worden getextureerd als beeldinformatie inclusief nauwkeurige oriënteringsgegevens beschikbaar zijn (luchtfoto's met voldoende langs- en dwarsoverlap, oblique foto's of panoramafoto's die precies zijn georiënteerd);
- een 2.5D terrein worden gemodelleerd als voldoende hoogte-informatie beschikbaar is (uit AHN2, eigen inwinning of image matching in stereo-luchtfoto's);
- groenobjecten (bijvoorbeeld bomen) worden gemodelleerd als punttopografie beschikbaar is (uit systemen voor het beheer van de buitenruimte of uit een analyse op basis van bijvoorbeeld AHN2).

In 3D Pilot Eindrapport "werkgroep 3D aanbod van geo-informatie" (2011) zijn de meest bekende mogelijke databronnen voor de opbouw van 3D geo-informatie uitgebreid beschreven. Daar is ook een

beschrijving gegeven van de platformen die worden gebruikt bij inwinning van brondata en de verschuiving die daar plaatsvindt (van statisch naar mobiel).

### **5.1.3 Combinatie van sensoren**

Steeds vaker worden bij inwinning sensoren gecombineerd. Hoewel die combinatie kostentechnisch natuurlijk interessant is, betekent ze over het algemeen ook extra beperkingen bij de inwinning: het dekkend inwinnen van oblique luchtfoto's stelt bijvoorbeeld voorwaarden aan het vliegplan die strijdig kunnen zijn met de meest geschikte configuratie voor inwinning van (stereo-)luchtfoto's. Een vliegplan kan maar voor één van beide resulterende datasets geoptimaliseerd worden.

In (vooral) stedelijke gebieden speelt occlusie (de schaduwwerking door omvalling in de fotogrammetrie en in de laseraltimetrie) een grote rol. Het is wenselijk om bij het opstellen van het vliegplan rekening te houden met occlusie, zodat weinig (of geen) locaties op maaiveld resteren waarop geen metingen kunnen worden of zijn verricht en/of zodat een voldoende groot aantal muren van panden met beeldinformatie wordt bedekt.

### **5.1.4 Voor- en nadelen van brondata direct uit inwinning**

Het al dan niet al in de organisatie beschikbaar zijn van de broninformatie heeft gevolgen voor het opbouwen van 3D geo-informatie, omdat:

- brongegevens direct uit inwinning de opdrachtgever de mogelijkheid bieden om de inwinning te sturen naar de voor diens proces meest optimale gegevens (een voordeel);
- brongegevens direct uit inwinning betekenen dat de opdrachtgever opdracht moet geven en doorgaans meer kosten moet maken dan het geval zou zijn bij afname of inkoop van brongegevens uit al bestaande bronnen (een nadeel).

### **5.1.5 Overzicht van belangrijkste brondata**

Dit zijn de belangrijkste, meest geschikte of vaakst voor handen zijnde brondata direct uit (eigen) inwinning:

1. Laseraltimetrische data
2. Laserscandata uit dynamische inwinning
3. Oblique luchtfoto's
4. 360° panoramafoto's of -video's
5. Puntenwolken uit stereoluchtfoto's (imagematching)

Dit zijn de belangrijkste, meest geschikte of vaakst voor handen zijnde brondata (registraties) direct uit bestaande processen:

1. GBKN of BGT
2. BAG
3. TOP10NL
4. AHN2
5. DTB
6. (Stereo)Luchtfoto's en afgeleide orthofoto's

Al deze brondata worden zoals gezegd behandeld in 3D Pilot Eindrapport "werkgroep 3D aanbod van geo-informatie".

### **5.1.6 Brondata (puntenwolk) uit imagematching**

Naast laseraltimetrie (bijvoorbeeld in AHN of AHN2) kunnen ook gedetailleerde puntenwolken uit stereoluchtfoto's worden bepaald. Het resultaat kan dan een puntenwolk zijn die net als bij laseraltimetrie het "bovenaanzicht" van het terrein (inclusief objecten) beschrijft.

Voor de succesvolle opbouw van gedetailleerde puntenwolken uit imagematching zijn tenminste stereo-luchtfoto's nodig:

- die zijn ingewonnen met een relatief grote langsoverlap (bijvoorbeeld 80%), zodat punten overtalig kunnen worden bepaald (een grote dwarsoverlap van bijvoorbeeld 60% verbetert het resultaat maar is niet essentieel);
- die scherp zijn, helder zijn en een breed kleurbereik tonen;
- die een hoge resolutie bezitten;
- die niet (overmatig) zijn gecomprimeerd;
- waarvoor nauwkeurige oriënteringsgegevens zijn bepaald in een kwalitatief hoogwaardige triangulatie- en blokvereffening.

Het vliegplan voor stereo-luchtfoto's die geschikt zijn voor imagematching is vaak ook geschikt voor het produceren van luchtfoto's die geschikt zijn om 3D-modellen (vooral muurvlakken) te textureren.

Puntenwolken uit imagematching hebben als nadeel dat occlusie optreedt bij groen terwijl bij laseraltimetrie soms met meerdere returns ook bij dicht groen (zoals struikgewas) punten op het maaiveld kunnen worden ingewonnen. Bij de opbouw van 3D geo-informatie voor panden zal dit minder een rol spelen, tenzij in situaties waarbij het bladerdak van bomen boven een dak ligt.

De kwaliteit (precisie in XYZ) van de puntenwolk is afhankelijk van de kwaliteit van de oriëntering van de (stereo-)luchtfoto's en het matchingsalgoritme en over het algemeen lager dan die van door laseraltimetrie ingewonnen datasets zoals het AHN2. Daar tegenover kan een puntenwolk vaak tegen weinig additionele kosten worden geëxtraheerd omdat doorgaans voor bestaande processen al luchtfoto's worden ingewonnen.

## 5.2 Opmerkingen bij het gebruik van brondata voor de opbouw van 3D geo-informatie

### 5.2.1 Opbouw van 3D-modellen van panden (LOD1)

De opbouw van panden in LOD1 is eenvoudiger (uiteraard mits beschreven brondata beschikbaar zijn) dan de opbouw in LOD2 en kan tegen lage kosten worden verkregen of in de eigen organisatie met een GIS-analyse worden uitgevoerd.

Een dergelijke GIS-analyse kan minder of meer complex zijn als bijvoorbeeld wel of geen rekening wordt gehouden met hoogtesprongen in de daken. De (meer complexe) analyse kan bijvoorbeeld zo zijn opgebouwd:

- Aanwijzen topografie (2D) die dient als vertrekpunt;
- Snijden van de (2D) geometrieën van panden om met hoogtesprongen om te kunnen gaan;  
Toelichting: De benodigde brondata kan bijvoorbeeld BAG zijn of VectorNL. Het is ook mogelijk om met een algoritme de buitengrenzen van panden door trekken naar binnen en zo de pandgeometrie (soms) te snijden. De meest intelligente methode is om op basis van hoogte-informatie, bijvoorbeeld uit laseraltimetrie, de dakvlakken te segmenteren. Dan is overigens ook de opbouw van panden in LOD2 binnen bereik gekomen;
- Bepalen van hoogtes voor de dakvlakken.  
Toelichting: Dat kan als gemiddelde van de brondata uit laseraltimetrie, of uit fotogrammetrische metingen. In het geval van laseraltimetrie is het wel verstandig om rekening te houden met de mismatch tussen pandgeometrie en laseraltimetrische brondata door bijvoorbeeld de geometrieën van de dakvlakken eerst te bufferen (bijvoorbeeld met een buffer van 1 m groot), daarna hoogtes te bepalen, en dan een oplossing te genereren voor uitzonderingsgevallen (zoals kleine dakvlakken waar door de buffer geen hoogte-informatie meer kan worden meegenomen). Bij het bepalen van de hoogtes kan voor een gemiddelde hoogte worden gekozen, maar ook voor bijvoorbeeld een maximale hoogte. Een maximale hoogte kan meest bruikbaar zijn in bijvoorbeeld geluidsstudies. Bij het bepalen van een maximale hoogte is het weer verstandig om outliers in de brondata te negeren door



bijvoorbeeld de top 10% hoogtes te verwijderen en de eerstvolgende maximale hoogte te gebruiken.

### **5.2.2 Opbouw van 3D-modellen van panden (LOD2)**

Bij de opbouw van 3D geo-informatie zal ook zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van al beschikbare broninformatie. Soms kan de opbouw van LOD2 primair met laseraltimetrische gegevens worden uitgevoerd, soms met hoogte-informatie uit stereofotogrammetrie. Als beide brondatasets beschikbaar zijn is het verstandig om bij de opbouw in LOD2 niet te specificeren op welke manier het model moet worden opgebouwd, maar juist in eindtermen te beschrijven waaraan het 3D model moet voldoen. Een hybride aanpak (zoals stereofotogrammetrie voor goothoogtes en daarna AHN2 voor dakvormen) blijft dan mogelijk.

Segmentatie (het bepalen van groepen van punten die in hetzelfde vlakdeel liggen) is de meest succesvolle methode om met alle, ook meer complexe, dakvormen om te gaan maar stelt extra eisen aan de in te zetten software.

De topografische registraties BAG en BGT (GBK) voor opbouw van 3D-modellen van panden in LOD2 zijn in hoofdstuk 4 behandeld. Een intelligent gebruik van beide datasets zal tot de meest nauwkeurige modellen leiden maar wordt ook gehinderd door de (definitie-)verschillen tussen BAG en BGT (GBK).

Niet alle panden of objecten (bijvoorbeeld industriële installaties zoals silo's) zijn altijd in BGT (GBK) en/of BAG bekend. Kleinschalige topografie kan dan als aanvulling worden gebruikt.

### **5.2.3 Brondata voor texturering**

Zonder nauwkeurige oriënteringsgegevens is beeldinformatie (luchtfoto's, oblique foto's of panoramafoto's) ongeschikt voor texturering. Meest aan te bevelen is om rekening te houden met de toepassing texturering bij de aankoop van beeldinformatie. Als dat niet kan, kunnen bewerkingen op de data zoals beschreven in hoofdstuk 4 nog zorgen voor verbeterde oriënteringsgegevens.

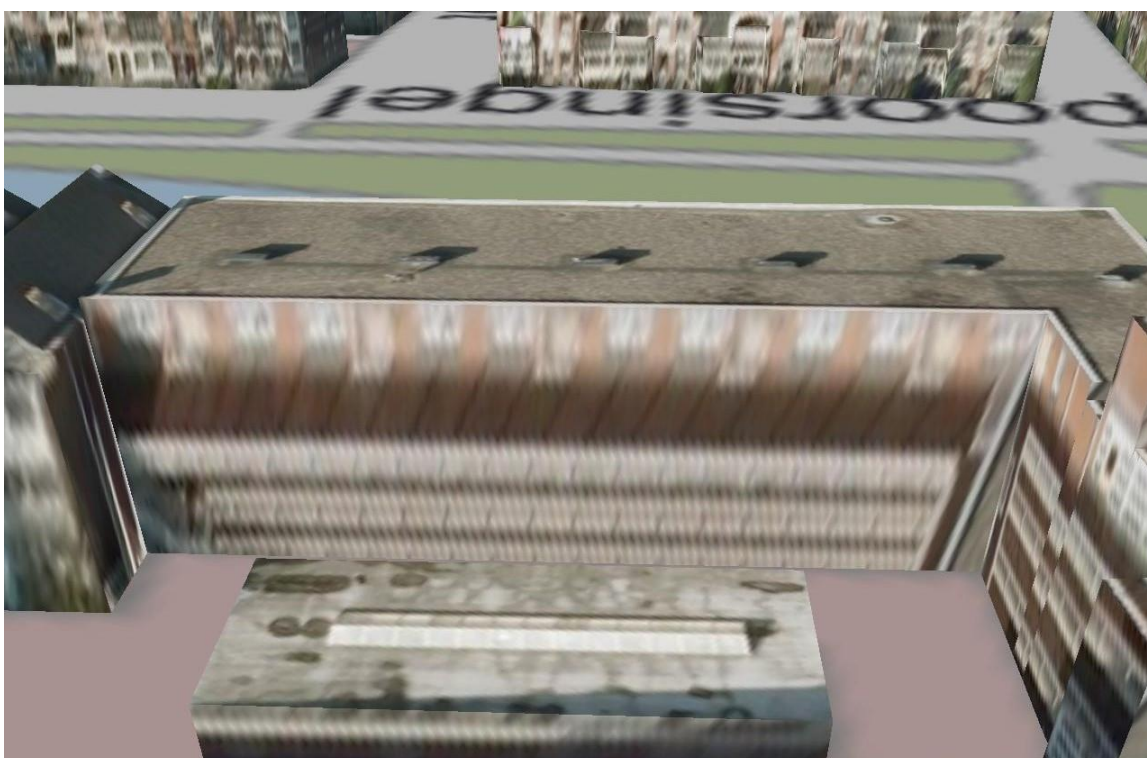
Het is wellicht ongewenst om toch automatisch textuurinformatie uit beeldinformatie te produceren als deze van gebrekkige kwaliteit zal zijn.

De voor- en nadelen van het gebruik van verschillende beeldinformatie voor texturering zijn beschreven in 3D Pilot Eindrapport "werkgroep 3D aanbod van geo-informatie".

Bij het gebruik van textuurinformatie zijn nog een aantal bijzondere effecten te vermelden:

1. Smearing: Wanneer een fotobeeld wordt gebruikt voor de texturering van vlakken die vrijwel in het verlengde van de kijkrichting van het fotobeeld liggen worden pixels als het ware uitgesmeerd over het vlak. Dit ziet eruit als lange vegen in het getextureerde beeld. Smearing kan vooral optreden als luchtfoto's uit een voor texturering niet optimale vlucht worden gebruikt voor de texturering van muurvlakken.
2. Z-fighting: Wanneer twee vlakken bestaan op een enkele locatie en waaraan in beide gevallen texturen zijn toegekend, treedt wanneer in het 3D-model wordt genavigeerd een effect op dat ook wel flickering wordt genoemd. Dit effect is vooral zichtbaar als beide gevisualiseerde vlakken verschillende texturen (of kleuren) hebben. Een mogelijke oplossing voor dit effect is het toevoegen van een paramater (0 of 1) die visualisatie van beide vlakken controleert, zodat niet beide vlakken gelijktijdig worden gevisualiseerd. Software moet hiermee wel om kunnen gaan.
3. De visualisatie van CityGML stelt eisen aan hard- en software. Het is aan te raden om stil te staan bij methoden om de visualisatie efficiënter te laten verlopen (en in sommige gevallen mogelijk te maken) door vlakken niet aan beide zijden (inward en outward facing) te textureren, door wellicht zwaar of zwaarder te comprimeren en door bijvoorbeeld per object of pand textuurinformatie samen te voegen in een enkel bestand (één texture wrap per object).

4. CityGML is niet het meest geschikte formaat voor visualisatie, maar vooral een uitwisselingsformaat en informatiemodel. Voor efficiëntere visualisatie zijn andere formaten, die werken op basis van getrianguleerde modellen (alle geometrie in de vorm van driehoeken), meer geschikt. Een eventuele conversie is dus nodig en het is aan te raden om hier in aanbestedingsdocumenten bij stil te staan.
5. Als conversie van CityGML bestanden mogelijk moet zijn (en dat is aan te raden) dan zijn te lange namen voor textuurbestanden af te raden. Sommige grafische formaten verwachten geen bestandsnamen langer dan 8 karakters (uitgezonderd extensie). In de aanbestedingsdocumenten kan hierom worden gevraagd.



Figuur 25: Voorbeeld van smearing bij muurvlakken getextureerd uit luchtfoto's

### 5.3 Data die wordt aangeleverd door de opdrachtgever

#### 5.3.1 Brondata

De opdrachtgevers zouden bijvoorbeeld (voor zover beschikbaar) de volgende gegevens kunnen aanleveren:

1. grens beheersgebied (zoals gemeentegrens) en grenzen van deelgebieden (zoals buurtgrenzen)
2. objectgeoriënteerde topografische 2D informatie over te modelleren objecten (zoals hoofd- en bijgebouwen) uit bijvoorbeeld BGT (GBK) en/of BAG
3. laseraltimetrische gegevens uit bijvoorbeeld AHN2 (als DSM, DEM en/of DTM)
4. stereofotografie en/of orthofotografie
5. 360°-fotografie vanaf straatniveau

Bij het aanleveren kan de brondata worden beschreven aan de hand van allerlei eigenschappen, zoals hieronder genoemd, zodat de inschrijver een passende inschrijving kan voorbereiden:

- aantal en type objecten
- dimensionering
- datatype

- aantal bestanden
- bestandsformaten
- actualiteit
- absolute tolerantie / geometrische kwaliteit
- absolute en relatieve precisie in XY en in Z
- referentie- (coördinaten-)stelsel
- gebruikte camera
- langs- en dwarsoverlap
- resolutie
- formaat oriënteringen
- precisie oriënteringen horizontaal en verticaal

### **5.3.2 Kwaliteit van geleverde brondata**

De brondata heeft een wisselende kwaliteit. Het is aan te bevelen om in aanbestedingsdocumenten aan te geven dat onvolkomenheden alleen gecorrigeerd dienen te worden als zij het gevolg zijn van het door de opdrachtnemer uitgevoerde werk. De opdrachtnemer hoeft dan onvolkomenheden die het gevolg zijn van fouten in het bronmateriaal niet kosteloos te corrigeren.

### **5.3.3 Levering in deelgebieden**

Visualisatie en beheer van grote gebieden aan 3D informatie in bijvoorbeeld LOD2 kunnen al problematisch zijn (gegeven in de organisatie beschikbare hard- en software). Daarnaast zal ook de opbouw aan de zijde van de opdrachtnemer bij grote gebieden niet in een enkele procesgang kunnen geschieden. Het kan handig zijn om afspraken te maken over de verdeling van het op te bouwen gebied. Deze zou bijvoorbeeld aan kunnen sluiten bij natuurlijke grenzen (zoals buurt- of wijkgrenzen).

## **5.4 Data die wordt aangeleverd door de opdrachtnemer**

Naast uiteraard de opbouwde 3D informatie in CityGML, kan de opdrachtnemer worden gevraagd om metadata, een rapportage inclusief beschrijving van de kwaliteit van gegevens, een rapportage over discrepanties in de aangeleverde brondata en om optionele producten.

### **5.4.1 Metadata**

Het verdient aanbeveling om de opdrachtnemer ook te vragen om metadata leveren, bijvoorbeeld in XML en volgens de Nederlandse metadatastandaard voor geografie. De metadata kan dan bestaan uit een verplichte kernset metadata-elementen en een optionele set metadata-elementen.

### **5.4.2 Rapportage**

Een rapportage bevat bijvoorbeeld een beschrijving van de uitgevoerde werkzaamheden, de uitgevoerde kwaliteitscontroles en resultaten daarvan en de resulterende kwaliteit van de geleverde gegevens. Beschreven kan worden of aan eisen m.b.t. de kwaliteit van de levering (zoals geometrische precisie, volledigheid, leesbaarheid en bestandseigenschappen) is voldaan.

### **5.4.3 Actualiteit en discrepanties in brondata**

De aangeleverde gegevens zijn altijd behept met fouten in de data, verschillen in definities en zijn verschillend in actualiteit. Zo kunnen bijvoorbeeld:

- vlakken in BGT (GBK) of BAG groter of kleiner zijn dan het object zoals zichtbaar in de luchtfoto en/of laseraltimetrische data;
- er meer of minder vlakken in BGT (GBK) of BAG zijn opgenomen dan er objecten zichtbaar zijn in de luchtfoto en/of laseraltimetrische data.

Gevraagd kan worden om een rapportage waarin deze "discrepanties" worden vermeld en in verschillende categorieën worden ingedeeld. Per categorie kan de opdrachtnemer dan eventuele vervolgcities

voorbereiden en uitvoeren. Deze rapportage hoeft niet volledig te zijn maar kan beperkt worden tot die discrepanties waarop de opdrachtnemer tijdens de opbouw van de 3D informatie stuit.

#### **5.4.4 Optionele producten**

Het kan zijn dat in het proces van opbouw van 3D informatie gebruik wordt gemaakt van aanvullende gegevens. Ook kunnen tijdens het proces optionele (bij-)producten ontstaan. Daarmee worden geen producten bedoeld waarvoor aanvullende werkzaamheden of processen noodzakelijk zijn, zoals renders, studies, analyses of simulaties.

Een voorbeeld van optionele informatie waar de opdrachtgever om kan vragen is de toevoeging van diverse attributen in de 3D-modellen om specifieke toepassingen gemakkelijker te maken. Het zou bijvoorbeeld kunnen gaan om de expliciete vastlegging in attributen van oriëntatie en helling per vlak.

Bij inschrijving kan om een lijst aanvullend benodigde en optionele producten worden gevraagd inclusief beschrijving van de eigenschappen en kwaliteit van die gegevens.

### **5.5 Bestandseigenschappen, -formaten, -indeling en -namen**

Het is gebruikelijk om in de aanbestedingsdocumenten eisen aan bestandseigenschappen, -formaten, -indeling en -namen op te nemen. Bestandseigenschappen zijn in hoofdstuk 4 behandeld. Onder bestandsformaat kan bijvoorbeeld de beschrijving vallen van de exact gemodelleerde vlakken en de eis dat alleen uitwendige vlakken worden gemodelleerd (geen snijlijnen of snijvlakken). Onder bestandsformaten kunnen de noodzakelijke attributen van het CityGML schema worden genoemd en eventuele optionele attributen worden beschreven. Onder bestandsindeling kan worden beschreven voor welke (delen van) beheersgebieden welke bestanden worden geleverd en eventueel in welke bestandsformaten (als aanvulling op CityGML). Onder bestandsnamen kan bijvoorbeeld worden gespecificeerd hoe bestandsnamen in CityGML worden opgebouwd en hoe bestandsnamen voor textuurinformatie uit fotobeelden worden bepaald.

## Controles

In dit rapport zijn eisen en aanbevelingen opgenomen. Indien u als organisatie de opbouw van 3D geo-informatie uitbesteedt is het noodzakelijk dat controles plaatsvinden. In dit hoofdstuk zijn voor verschillende eisen controles opgenomen. U kunt deze controles:

- Zelf uitvoeren; of
- Door een hiervoor gespecialiseerd bureau met mogelijk een aantal additionele controles voor u uit laten voeren; of
- U vraagt de leverancier zelf om controles uit te voeren en de controle resultaten te leveren.

De leverancier kan gevraagd worden extra producten (zoals een kleurgecodeerde puntenwolk met viewer) te leveren aan de hand waarvan eenvoudig visueel gecontroleerd kan worden.

In het onderstaande zijn voor eisen controlemogelijkheden aangegeven. Criteria om een levering al dan niet goed te keuren worden echter niet gegeven. Deze zullen sterk van de gewenste toepassing af hangen.

Deze controles zijn op basis van een eerste inzicht gemaakt. Zodra meer ervaring is vanuit het controleren door organisaties op basis van onderstaande eisen kunnen controles worden toegevoegd of veranderden. Door aanvullende controles of verbeteringen met elkaar te delen in de SIG3D (Special Interest Group 3D) ontstaan in de loop der tijd steeds betere (automatische) controle mogelijkheden.

Eis	Beknorte omschrijving	Controle
3.1 IMGeo 2.1.1 CityGML: generieke eisen		
Eis 1	Oplevering in IMGeo-CityGML.	Controle m.b.v. de ontwikkelde validatietool
Eis 2	Het IMGeo-CityGML bestand moet voldoen aan CityGML 2.0. In sommige gevallen zijn wij strikter dan CityGML. Dit zal worden aangeduid in dit document.	Controle m.b.v. de ontwikkelde validatietool
Eis 3	Hanteer het Spatial Reference System (coördinatensysteem), EPSG 7415.	Controleer of de EPSG code 7415 voorkomt in het CityGML bestand.
3.2 Specificaties voor LOD0 representatie		
Eis 4	Elk vlakobject uit IMGeo wordt gerepresenteerd met een geometrie in LOD0, d.w.z. een TIN surface (traingulatedSurface) per object. Het LOD0 terrein wordt gevormd door een verzameling aangrenzende driehoeken (TIN), waarin de objectgrenzen herkenbaar zijn (constrained TIN). Als gevolg hiervan zijn alleen platte vlakken en rechte lijnen toegestaan en dus geen gekromde oppervlakten of cirkelbogen.	Controleer of aantal vlakobjecten in LOD0 overeenkomst met de vlakobjecten in 2D IMGeo CityGML.

Eis	Beknopte omschrijving	Controle
Eis 5	De LOD0 geometrieën van alle IMGeo vlakobjecten op hoogteniveau 0 te samen vormen een topologisch consistent geheel in 2.5D (geen gaten of overlap).	Visuele controle op gaten en overlap.
Eis 6	Het hoogteverschil tussen het terrein en de representatie hiervan in TIN's mag maximaal X cm bedragen. X kan afhankelijk zijn van het objecttype (bijvoorbeeld voor verharde oppervlakten met stoepranden kan een andere X gekozen worden dan voor weiland). Individuele uitschieters zijn toegestaan tot 3 maal X, maar aaneengesloten stukken van het TIN van meer dan Y m <sup>2</sup> mogen in hoogte niet meer dan deze X cm afwijken.	Gevraagd kan worden een kleurgecodeerd puntenbestand te leveren waarin de terreinpunten zijn gekleurd als functie van de hoogteafwijking t.o.v. het objectvlak dat het terrein modelleert. Visueel kan dan eenvoudig gecontroleerd worden of gebieden (groter dan Y m <sup>2</sup> ) grotere afwijkingen vertonen.
Eis 7	Verticale vlakken in het TIN mogen niet voorkomen, omdat de meeste software hierover struikelt. In plaats daarvan dienen verticale vlakken te worden benaderd via maximaal hellende vlakken. Deze hellende vlakken dienen als volgt te worden toegekend aan de betreffende objecten:	Toetsing op Z-component van normaalvectoren van de TIN-driehoeken. Deze Z-component mag niet gelijk aan 0 zijn. Een alternatieve, maar niet complete controle is te controleren op punten met dezelfde XY-coördinaten, maar verschillende Z-coördinaten.
Eis 8	Indien zeer precieze hoogtesprongen noodzakelijk zijn tussen specifieke objecten zal dit in de technische specificaties moeten worden opgenomen waarbij de minimale hoogte waarvoor en situatie waarin hoogtesprongen zichtbaar moeten zijn omschreven dient te worden.	Steekproefsgewijs controleren of kleine hoogtesprongen gemodelleerd zijn.
Eis 9	Waterdelen zijn altijd platte, horizontale vlakken.	Toetsing op de X- en Y-component van de normaalvectoren van de vlakken. Deze moeten gelijk zijn aan 0.
Eis 10	IMGeo vlakobjecten die boven of onder het terrein liggen dienen te worden gemodelleerd met een triangulatedSurface aansluitend op het topologische consistente maaiveld. Het resultaat is een stapeling van 2.5D objecten.	Overlappende objecten met verschillende niveaus mogen elkaar niet snijden in hoogte.
Eis 11	Alle IMGeo vlakobjecten dienen aan de LOD0 representatie van IMGeo te worden toegevoegd.	Controleer of aantal vlakobjecten in LOD0 overeenkomst met de vlakobjecten in 2D IMGeo CityGML.
Eis 12	Terrain Intersection Curves (TIC's) dienen gebruikt te worden om ClosingSurfaces te kunnen maken waar 3D objecten over of in het terreinmodel hangen. Hierdoor ontstaat een gesloten	
3.3 Specificaties voor Gebouwen		

Eis	Beknopte omschrijving	Controle
Eis 13	De LOD0 footprint van een gebouw op LOD1 en LOD2 moet horizontaal zijn. De footprints dienen wel per pand bepaald te worden en niet per bouwblok (om 'wegzinken' in bijv. een helling van rijtjeshuizen te voorkomen). De footprint heeft de laagste hoogte van de terreintriangulatie op de footprint. Dit om gaten tussen terrein en gebouw te voorkomen. Indien het terrein ergens langs een muur lager wordt dan wordt de laagste hoogte op één van de hoekpunten van die betreffende muur als laagste punt genomen.	
Eis 14	In afwijking van de CityGML specificaties moet de LOD0 footprint zijn aangesloten op het terrein waar de buitenmuur het terrein raakt.	
Eis 15	Van ieder IMGeo gebouw dient een eigen LOD1 representatie geleverd te worden.	Eenvoudig te controleren wanneer de IMGeo ID van een gebouw als attribuut bij de LOD1 representatie wordt opgeslagen.
Eis 16	De gebouwhoogte is de mediaan van de hoogte van de punten die binnen de footprint vallen.	Steekproefsgewijze controle of de mediaan van de hoogte van de punten op een dak binnen een marge van X cm van de hoogte in het model ligt.
Eis 17	Indien een dak van een gebouw veel hoogtesprongen bevat, dienen deze verschillende hoogteniveaus te worden onderscheiden in 3D, in elk geval als de hoogtesprong groter is dan bijvoorbeeld 1,5 meter en de oppervlakte groter is dan 4 vierkante meter.	
Eis 18	De ondervlakken van de blok-geometrien van de gebouwen moeten overeenkomen met de 2D en LOD0 (zie 3.3.1) geometrie in IMGeo.	
Eis 19	Het onderste vlak van een LOD1 blok dient horizontaal te zijn waarbij de hoogte bepaald wordt door het laagste punt van de terreintriangulatie op de footprint (zie LOD0 gebouw).	
Eis 20	Voor bruggebouwen (gebouwen over wegen en water) moet doorgang worden gegarandeerd. Dat mag artificieel worden aangebracht	
Eis 21	LOD1 Gebouwen dienen in CityGML als GML:Solid te worden gedefinieerd (gesloten volumes, ook van onderen) en niet als GML:MultiSurface, wat wel in CityGML wordt toegestaan voor LOD1 gebouwen.	Elk gebouw object bestaat uit precies één solid.
Eis 22	Elk IMGeo gebouw wordt in LOD2 gemodelleerd met het GML:solid geometrietype, waarbij de semantiek van de begrenzingen (surfaces) expliciet is gemaakt (zoals footprint, roof surface, wall surface etc). Ook kunnen LOD2 gebouwen worden gerepresenteerd als een collectie van een solid met andere geometrietypen zoals multisurface voor dakoverstek (zie verder).	Elk gebouw object bestaat uit minimaal één solid.

Eis	Beknopte omschrijving	Controle
Eis 23	Gevellocaties van 3D gebouwmodellen komen overeen met 2D grenzen uit de BGT of BAG (bij voorkeur de BGT).	Steekproefsgewijs toetsen of begrenzingen uit de BGT of BAG zijn overgenomen.
Eis 24	Dakbegrenzingen van 3D gebouwmodellen komen overeen met 2D grenzen uit de BGT of BAG (bij voorkeur de BAG).	
Eis 25	Gebouwmodellen dienen volledig te zijn in de zin dat de combinatie van alle vlakken van een gebouw gezamenlijk een gesloten volume, een 3D solid vormen. Binnen gebouwmodellen mogen zich geen vlakken van andere gebouwen bevinden. Gebouwmodellen mogen elkaar raken maar niet overlappen.	Controle m.b.v. de ontwikkelde validatietool
Eis 26	Wanneer dakoverstekken expliciet gemodelleerd worden moeten dakvlakken worden gesplitst op de locatie van de dakoverstekken om een valide solid geometrie te krijgen. Deze dakoverstekken worden gemodelleerd als (multi)surface en de rest van het dak vormt een onderdeel van de begrenzing van de solid geometrie.	
Eis 27	Dakvlakken met een minimale oppervlakte van X m <sup>2</sup> mogen in hoogte niet meer dan Y m afwijken van de corresponderende punten uit de puntenwolk.	De leverancier kan gevraagd worden een kleurgecodeerde puntenwolk aan te leveren waarin de kleur van punten binnen BAG/BGT-polygonen een functie is van het hoogteverschil met het gemodelleerde dak. Grotere afwijkingen kunnen dan visueel snel gevonden worden. Met wat meer inspanning kan ook het oppervlak van elke "connected component" van punten die te veel afwijken worden berekend.
Eis 28	Dakvlakken met een minimale oppervlakte van X m <sup>2</sup> mogen niet meer dan Y graden in de normaalrichting afwijken van een vlak door de corresponderende punten uit de puntenwolk.	Controle is mogelijk net als bij de vorige eis met een kleurgecodeerd bestand, deze keer met een kleur afhankelijk van het hoekverschil tussen normaalvectoren die geschat worden uit punten die binnen een bepaalde straal liggen en normaalvectoren van de gemodelleerde vlakken.
Eis 29	Gekromde oppervlakken moeten worden gerepresenteerd door een triangulatie waarbij de afwijking tussen het werkelijke oppervlak en de triangulatie niet meer is dan X m.	Controle als bij eis 31.
Eis 30	Hoekpunten van de dakvlakken in het model (voor zover niet afgeleid uit de BAG), moeten binnen een afstand van X m tot de dichtstbijzijnde datapunten liggen.	Controle of binnen een straal van X m vanaf een hoekpunt (en binnen de BAG-omlijning) datapunten aanwezig zijn vereist een 3D query-mogelijkheid of toegesneden software.
Eis 31	De solids van gebouwen in LOD1 en LOD2 moeten voldoen aan de eisen die hieronder staan beschreven in 4.3.4.	Controle m.b.v. de ontwikkelde validatietool



Eis	Beknopte omschrijving	Controle
3.7 Textuur		
Eis 32	Er moet textuurinformatie worden geleverd op basis van beeldinformatie. Per object wordt altijd alleen beeldinformatie van het betreffende object gebruikt.	
Eis 33	Het 3D model moet alle data bevatten die nodig zijn om de volledige en eenduidige relatie te leggen tussen textuurinformatie en geometrie.	
Eis 34	Aan alle objectvlakken wordt een textuur toegekend, uitgezonderd het grondvlak van objecten (gelijk aan de snijding van object met maaiveld) en uitgezonderd (delen van) objecten waarvoor geen broninformatie beschikbaar is.	
Eis 35	Er wordt ook textuurinformatie opgebouwd en geleverd wanneer voor een objectvlak geldt dat er onvoldoende brongegevens zijn om het objectvlak in zijn geheel te bedekken.	
Eis 36	Wanneer een objectvlak in zijn geheel niet bedekt kan worden met enige textuurinformatie, wordt er wel/geen textuurinformatie geleverd (in de kleur <kleur>).	
Eis 37	Alle textuurinformatie wordt geleverd in hetzelfde formaat <formaat>.	
Eis 38	De bestanden die textuurinformatie bevatten krijgen elk een unieke filenaam volgens de structuur <structuur>.	
Eis 39	Alle textuurinformatie wordt gemodelleerd in CityGML 2.0 met de extensiemodule <i>Appearance</i> .	
Eis 40	Textuurinformatie voor (pand-)objecten wordt alleen gemodelleerd voor het naar buiten gerichte deel van elk vlak. Er wordt geen textuurinformatie gedefinieerd voor het naar binnen gerichte deel van elk vlak.	
Eis 41	Bij de texturering (de projectie van de broninformatie (beeldinformatie) op de vlakken in het 3D model) moeten alle bestaande/aangeleverde oriënteringsgegevens zonder afronding worden gebruikt.	

Aanbeveling	Controle
3.1 IMGeo 2.1.1 CityGML: generieke eisen	
Aanbeveling 1	Indien het wenselijk is om naast IMGeo-CityGML ook andere formaten te laten leveren kan dit worden opgenomen.

Aanbeveling		Controle
3.3 Specificaties voor Gebouwen		
Aanbeveling 2	Indien 2D gebouwvlakken bij de modellering worden opgesplitst, dient dit bij voorkeur te gebeuren aan de hand van de vlakken in de beschikbare puntwolk.	
Aanbeveling 3	Indien 2D gebouwvlakken bij de modellering worden opgesplitst, dient dit bij voorkeur te gebeuren met lijnen tussen hoekpunten in de 2D gebouwomlijning.	
3.6 Bomen en andere inrichtingselementen in LOD2 en LOD3		
Aanbeveling 4	Afhankelijk van de toepassing kan het verstandig zijn om voor bepaalde inrichtingselementen (benoem ze expliciet 1 voor 1) en bomen een 3D model te genereren. Dit kan vrij eenvoudig mits goede 3D bibliotheken hieraan ten grondslag liggen. Deze zijn bij de auteurs van dit document niet bekend en zal dus overleg vragen binnen uw organisatie of dit meegenomen moet worden in de uitvraag van de aanbesteding.	
3.7 Textuur		
Aanbeveling 5	Gebruik texturen op basis van de visualisatie IMGeo (uit de handreiking Visualisatie), want dat maakt interpreteren eenvoudiger en visualiseren gebruiksvriendelijker.	
Aanbeveling 6	Voor het meest realistische beeld van de stad zijn texturen uit beeldinformatie (in combinatie met een op het terrein geplaatste luchtfoto) de beste oplossing. Deze informatie is echter alleen bruikbaar op kleine schaal.	
Aanbeveling 7	Mits al om texturen uit beeldinformatie wordt gevraagd, dan is het nuttig om ook te vragen om texturen uit de gemiddelde puntkleuren per vlak. Daarmee ontstaat een fotorealistisch beeld van de stad als geheel, dat toch snel te visualiseren en dus gebruiksvriendelijk is.	
Aanbeveling 8	Doordat het op te leveren CityGML IMGeo bestand bestaat uit klassen en classificaties kan de standaardvisualisatie van IMGeo gehanteerd worden ( <a href="http://www.geonovum.nl/sites/default/files/20140104_Handreikingvisualisatie-v1-2.pdf">http://www.geonovum.nl/sites/default/files/20140104_Handreikingvisualisatie-v1-2.pdf</a> ). Dit hoeft niet gevraagd te worden op oplevering omdat elk GIS- en/of CAD softwarepakket/viewer kan visualiseren op basis van klasse/classificatie.	
Aanbeveling 9	Uit de geleverde texturen uit beeldinformatie kan een gemiddelde puntkleur aan de opdrachtnemer worden gevraagd voor visualisatie.	
Aanbeveling 10	Als de oriënteringsgegevens van de broninformatie relatief eenvoudig kunnen worden verrijkt door een additionele geometrische correctie (bijvoorbeeld bij luchtfoto's een stringenter triangulatie en blokvereffening) dan wordt aanbevolen om deze correctie ook uit te voeren.	

## Kosten

**De markt voor het al dan niet automatisch genereren van 3D modellen ontwikkelt zich snel. Daarmee is het vrijwel ondoenlijk om op deze plaats betrouwbare, kwantitatieve uitspraken te doen over de hoogte van de kosten die aan een dergelijk model verbonden zijn. Toch is dit hoofdstuk wel degelijk relevant voor elke organisatie die overweegt te starten met de ontwikkeling van een 3D model, omdat uit de ervaringen van de 'early adaptors' blijkt dat de kosten lager zijn dan menigeeen verwacht.**

### 7.1 Relevante factoren voor kosten

De hoogte van de kosten voor de vervaardiging van een 3D model is afhankelijk van diverse factoren:

- de mate van automatisering van het productieproces. In hoeverre een 3D model automatisch vervaardigd kan worden, is afhankelijk van:
  - Level of detail (bijvoorbeeld gebouwen in LOD1 en LOD2 zijn goed automatisch te vervaardigen, maar LOD3 vraagt vaker om handwerk)
  - Nauwkeurigheid (indien grotere geometrische afwijkingen getolereerd worden, is minder vaak handmatige nabewerking noodzakelijk)
  - Objecttypen die gemodelleerd dienen te worden (bijvoorbeeld tunnels en bruggen zijn vaak complexer dan gebouwen)
  - Kwaliteit en kwantiteit van brondata (bijvoorbeeld stereoluchtfoto's en laserscandata kunnen elkaar nuttig aanvullen)
  - Texturering (kwalitatief hoogwaardige texturering is lastig automatisch aan te brengen)
- de productiemethodiek: bijvoorbeeld methoden die werken met een bibliotheek met dakvormen zijn goedkoper (maar kwalitatief minder goed) dan methoden die dakvormen proberen te detecteren in bijvoorbeeld puntenwolken
- de leverancier: omdat methoden vaak nog in ontwikkeling zijn en de markt nog niet uitgekristalliseerd is, komen er prijsverschillen voor tussen leveranciers die niet alleen op basis van de kwaliteit van het model te verklaren zijn

### 7.2 Grove kostenindicatie

Inmiddels zijn in Nederland de eerste ervaringen opgedaan met het vervaardigen van 3D modellen. Met volledige 3D IMGeo CityGML modellen zijn nog geen ervaringen bekend, maar diverse gemeenten hebben al wel gebouwen in LOD2 laten modelleren. Alhoewel er grote variatie bestaat in de kosten, is de overheersende reactie op de kosten vaak dat deze lager zijn dan verwacht. Voor het semiautomatisch vervaardigen van LOD2 modellen van gebouwen zijn prijzen bekend die omgerekend in de range van 0,35 – 2 euro per gebouw liggen.