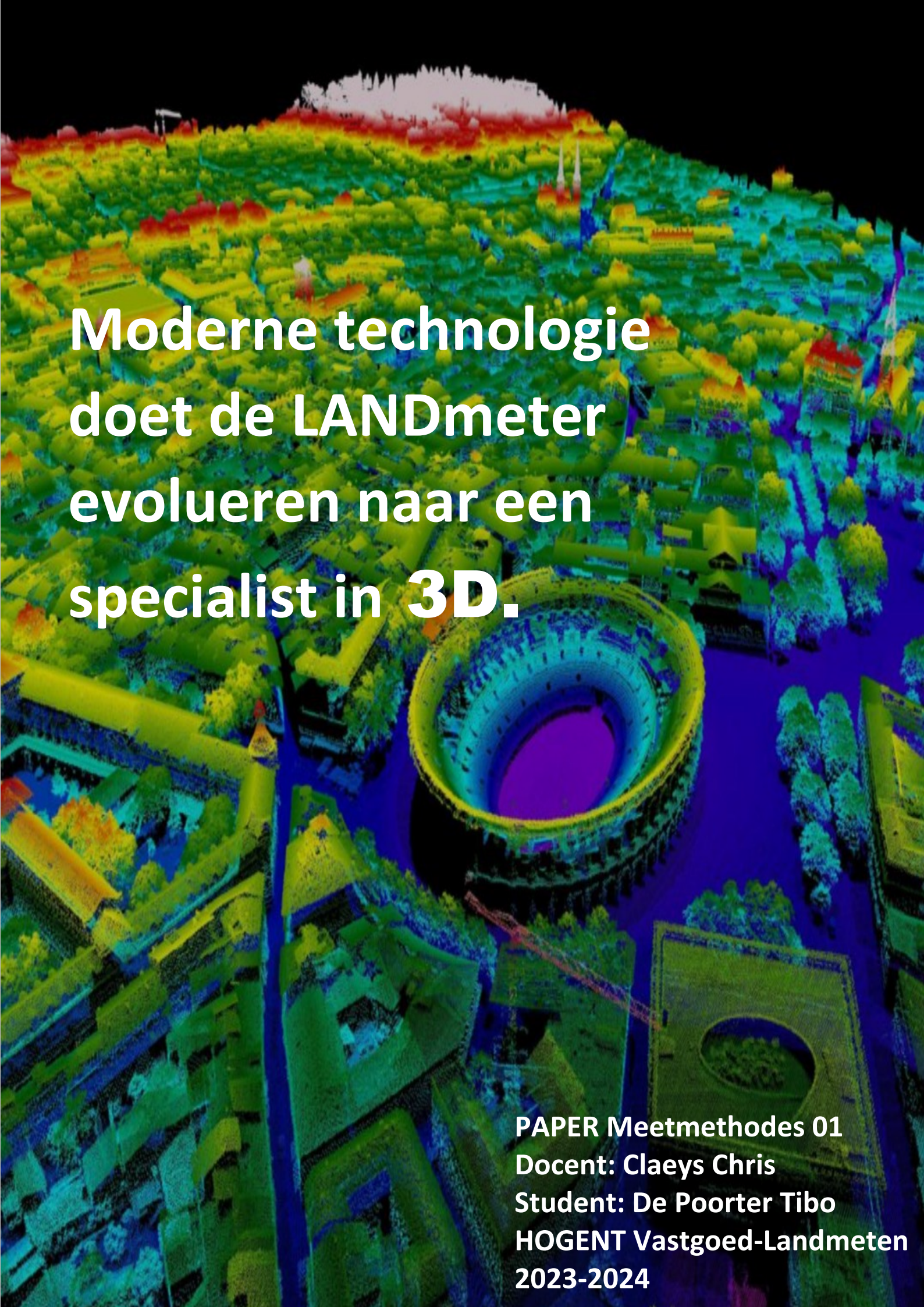




**Moderne technologie  
doet de LANDmeter  
evolueren naar een  
specialist in 3D.**

**PAPER Meetmethodes 01  
Docent: Claeys Chris  
Student: De Poorter Tibo  
HOGENT Vastgoed-Landmeten  
2023-2024**

## INHOUD

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INLEIDING .....</b>                                                                                         | <b>2</b>  |
| <b>2. HET INSTRUMENTARIUM VAN DE LANDMETER: EEN HISTORISCH OVERZICHT .....</b>                                    | <b>2</b>  |
| <b>3. WAT IS FOTOGRAMMETRIE, 3D-SCANNING, LIDAR? .....</b>                                                        | <b>7</b>  |
| 3.1. Fotogrammetrie .....                                                                                         | 7         |
| 3.2. 3D-scanning / Lidar .....                                                                                    | 9         |
| <b>4. FOTOGRAMMETRIE OF 3D-SCANNEN ? .....</b>                                                                    | <b>12</b> |
| <b>5. ENKELE CASES.....</b>                                                                                       | <b>16</b> |
| 5.1. Case 1 – Fotogrammetrie : 3D-model en pointcloud .....                                                       | 16        |
| 5.2. Case 2 – Fotogrammetrie : bepalen van volumes grond .....                                                    | 16        |
| 5.3. Case 3 – Fotogrammetrie : orthofoto van gebouwprofiel.....                                                   | 17        |
| 5.4. Case 4 – Fotogrammetrie : orthofoto erfgoed .....                                                            | 17        |
| 5.5. Case 5 – 3D-scanning : pointclouds .....                                                                     | 18        |
| 5.6. Case 6 – 3D-scanning : pointcloud en 3D-model van het Forum in Pompeii .....                                 | 18        |
| 5.7. Case 7 – 3D-scanning : reconstructie van de Notre Dame, Parijs.....                                          | 19        |
| 5.8. Case 8 – Habitat 67, Montréal, Canada .....                                                                  | 20        |
| 5.9. Case 9 – Fotogrammetrie : een eigen experiment .....                                                         | 21        |
| <b>6. ZULLEN FOTOGRAMMETRIE EN 3D-SCANNEN DE TRADITIONELE LANDMEETKUNDIGE<br/>INSTRUMENTEN VERDRINGEN ? .....</b> | <b>22</b> |
| <b>7. WAT ZAL DE TOEKOMST BRENGEN ? .....</b>                                                                     | <b>25</b> |
| <b>8. CONCLUSIE .....</b>                                                                                         | <b>27</b> |
| <b>9. BRONNEN .....</b>                                                                                           | <b>28</b> |

# Moderne technologie doet de **LAND**meter evolueren naar een specialist in **3D**.

## 1. INLEIDING.

Nieuwe technologieën komen steeds sneller af op de landmeter.

Die snelle evolutie creëert nieuwe uitdagingen en maakt het beroep van landmeter uitermate boeiend.

Vroeger was de landmeter iemand die zich bezig hield met het opmeten van percelen, of, zoals de naam het zelf zegt, van LAND.

De landmeter maakte dan ook hoofdzakelijk plannen in 2D.

Op heden zien we dat een landmeter specialist wordt in het opmeten en voorstellen van 3D-objecten. Landmeters zullen daardoor in de toekomst in steeds meer uiteenlopende domeinen nuttige gegevens kunnen aanleveren.

In deze paper wordt eerst een kort historisch overzicht weergegeven van de evolutie van de verschillende landmeetkundige technieken.

Daarna zullen de nieuwste technologieën zoals fotogrammetrie en 3D-scanning uitvoerig worden besproken, gevolgd door enkele concrete cases.

Nadien komt er een afweging of de traditionele meettechnieken uit het verleden nog wel zullen stand houden. En tenslotte volgt een reflectie over de te verwachten evoluties in de nabije toekomst.

## 2. HET INSTRUMENTARIUM VAN DE LANDMETER: EEN HISTORISCH OVERZICHT.

Om de nieuwste ontwikkelingen te kunnen plaatsen binnen het historische kader, geef ik hierna een kort overzicht van de evolutie van het instrumentarium van de landmeter.

Landmeten wordt aanzien als één van de oudste beroepen ter wereld.

Reeds bij de primitieve sedentaire stammen was er de behoefte om hun territorium af te bakenen. Algauw ontstonden eigendomsbetwistingen tussen naburige volkeren.

In deze context is de oorsprong van het landmeten te zoeken. De eerste landmeters moesten gebieden afbakenen, grenzen bepalen, en opmetingen verrichten bij de bouw van eenvoudige bouwwerken. Ze gebruikten hierbij vaak het menselijk lichaam als meetreferentie: de voet, de schrede ( een stap), de vadem (6 voeten), enz.



Img1: Landmeters in het Oude Egypte

De oudste vondsten van landmeetkundige activiteiten dateren van circa 3.000 v. Chr. in het oude Egypte.

Archeologen hebben er beeldjes en muurschilderingen gevonden van landmeters. Landmeters werden in het

oude Egypte steeds voorgesteld met een grote bol meetkoord. De landmeters in het oude Egypte werkten met eenvoudige middelen, maar bereikten een hoge precisie, om te kunnen komen tot de bouw van indrukwekkende piramides en tempels. Ze kenden tevens al een systeem van waterpassing.

Ook in Mesopotamië hebben archeologen verschillende vondsten gedaan die verband houden met landmeetpraktijken anno 1.200 v. Chr. bij de Babyloniërs. Ze hebben er grensstenen terug gevonden, alsook kleitabletten met vermelding van hoeken en afstanden van stukken land.



Img2: Babylonische kudurru



Img3: Heron's Dioptra

De Grieken hebben de meettechnieken van de Egyptenaren en de Babyloniërs verder ontwikkeld, en ze hebben deze aangevuld met nieuwe meetmethodes. De Grieken waren ook de uitvinders van de meetkunde en trigonometrie. De Grieken gebruikten ook reeds een meetinstrument voor het meten van hoeken met grote precisie. Dit toestel kan gezien worden als de voorganger van onze theodoliet.

De Romeinse landmeters namen de technieken van de Grieken over en breidden het instrumentarium uit. De Romeinen konden afstanden meten, hoeken meten, rechte hoeken uitzetten, lijnen uitzetten en waterpassen. Het landmeten werd toegepast bij burgerlijke en militaire werken. Gezien de vele monumentale bouwwerken in het Romeinse Rijk, zoals aquaducten, tempels, theaters, enz., moet de landmeetkunde zeker al vergevorderd geweest zijn.

Na de val van het Westromeinse Rijk (476 na Chr.) komen de middeleeuwen. De verdere vooruitgang van wetenschappelijke kennis kwam gedurende een periode van 1.000 jaar tot stilstand in West-Europa. In de Arabische Wereld daarentegen kon de wetenschap wel verder evolueren. De opgebouwde wetenschappelijke kennis ging bij ons in die periode verloren. Ook in het landmeten kwam er gedurende 1.000 jaar bijna geen vernieuwing in onze contreien. De oude, bestaande instrumenten werden verder gebruikt. Er kwamen hooguit enkele verbeteringen aan het bestaande instrumentarium van de landmeter.

Pas in de Renaissance komt er in West-Europa terug interesse in de cartografie en het landmeten. Via Arabische Geschriften wordt de wetenschappelijke kennis van de Klassieke Oudheid terug geïntroduceerd in West-Europa. Mede dankzij de vele ontdekkingsreizen in de 15<sup>de</sup> eeuw, was er nood aan nieuwe geografische informatie.

Men wilde kaarten maken met zeeroutes, kaarten van veroverde continenten, enz.

Het planchet, een tekenplank op statief met een beweegbaar vizierlineaal, was een revolutionaire uitvinding voor het in kaart brengen van grote gebieden.



Img4: meettafel met vizierlineaal



Img5: theodoliet met telescoop

Vanaf de 16<sup>de</sup> eeuw kon de geografische kennis gemakkelijker verspreid worden dankzij de boekdrukkunst.

Andere nieuwe meetinstrumenten uit die periode zijn de meetketting, de eerste driepikkels en een toestel om horizontale hoeken te meten, dat 'theodolitus' werd genoemd. In de loop der tijd werd de meetketting vervangen door een meetband, die werd opgerold op een haspel.

Na de uitvinding van de telescoop in de 17<sup>de</sup> eeuw, werden revolutionaire optische meetinstrumenten ontwikkeld. Zo ontstonden in die tijd de eerste theodoliet met telescoop, het luchtbelwaterpas (waarmee alle toestellen zouden worden waterpas opgesteld), de schroefmicrometer (voor precieze afstellingen van het toestel).

In de 19<sup>de</sup> eeuw tot midden 20<sup>ste</sup> eeuw beschikte de landmeter over een groot aantal toestellen, die vanaf de 17<sup>de</sup> eeuw werden ontwikkeld. Deze toestellen bleven de meestgebruikte toestellen tot 1960-1970. In de loop der jaren werden ze wat geoptimaliseerd op vlak van nauwkeurigheid, gebruiksvriendelijkheid en vormgeving.

Vanaf de jaren 1970-1980 doen de electronica en de computer hun intrede in de landmeettoestellen. De traditionele toestellen op dat ogenblik kunnen hierdoor vlugger en veel nauwkeuriger gaan meten. Het tekenen van de plannen gebeurde in de beginfase van de electronica nog met de hand.

Er werden totaalstations ontwikkeld die zowel hoeken als afstanden konden meten.

De allereerste digitale totaalstations werkten met ponskaarten om de meetgegevens op te slaan. Eén van de oudste digitale totaalstations was te zien op Intergeo 2023 te Berlijn.

Later werd de software van de totaal stations verder ontwikkeld. En werden er modernere opslagmedia gebruikt.



Eigen foto's:



Img6: Sokkia ix500

Vervolgens kwamen er robotische totaalstations, GNSS (Global Navigation Satellite System), ....

Het tekenwerk van plannen evolueerde naar CAD.

Maar de evolutie was niet meer te stoppen en gebeurde steeds maar sneller en sneller....



Img7: Sokkia GCX3

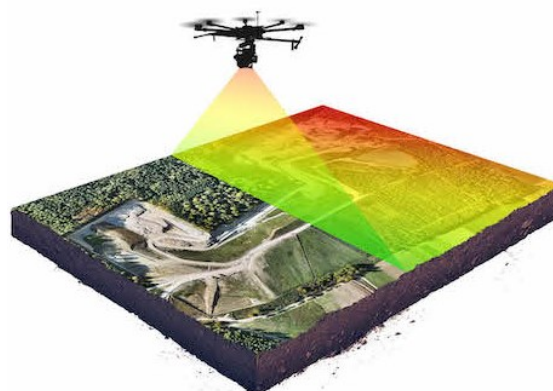
Tot nu toe had de landmeter altijd, gedurende reeds honderden jaren, zelfs enkele duizenden jaren, hoofdzakelijk opmetingen gedaan van **LAND**, en hij gaf een weergave van zijn metingen op een **2D**-plan. De x, y,z coördinaten werden de laatste decennia meestel vermeld op het 2D-plan.

Vanaf de 21<sup>ste</sup> eeuw wordt de 3de dimensie veel belangrijker in de opmetingen en weergaves van de landmeter.

Fotogrammetrie, 3D-scanning en drones zijn de nieuwe technologieën die hun intrede hebben gedaan in de landmeetkunde.

De landmeter maakt 3D-modellen van percelen, gebouwen, infrastructuur, enz.

Naast de traditionele opmetingen van land met de klassieke apparatuur, is de landmeter een specialist geworden in het nauwkeurig opmeten en voorstellen van allerlei ruimtelijke objecten. Door deze nieuwe technologieën is het werkterrein van de landmeter extreem uitgebreid geworden.



Img8: drone met 3d scanner

### 3. WAT IS FOTOGRAMMETRIE, 3D-SCANNING, LIDAR?

#### 3.1 Fotogrammetrie

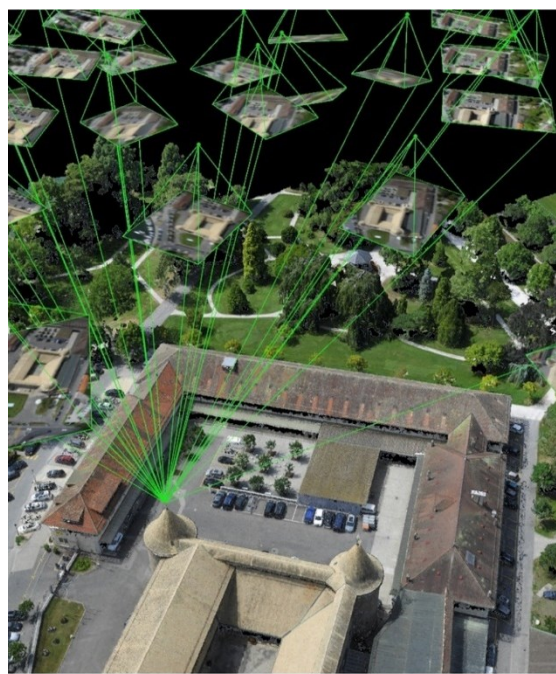
Fotogrammetrie is een techniek die gebruik maakt van foto's om de vorm en locatie van objecten of landschappen te bepalen. In het verleden werd deze techniek vooral toegepast binnen de geodesie. Hierbij werd de vorm van de aarde in beeld gebracht of werden kaarten gemaakt uit luchtfoto's. Tegenwoordig heeft de fotogrammetrie zich ontwikkeld tot een meetmethode die kan worden ingezet binnen heel wat disciplines, zoals civiele techniek, archeologie, architectuur, landmeten, enz.

Bij fotogrammetrie worden in eerste instantie een reeks overlappende foto's gemaakt vanuit verschillende hoeken met een camera. De gemaakte foto's worden vervolgens verwerkt door speciale software, die zowel de 2D-orthofoto, de 3D-puntenwolk als een getextureerd 3D-model van het object kan aanmaken.

Een 2D-orthofoto is vergelijkbaar met een satellietkaart, luchtfoto of Google Earth, maar dan wel vele, vele malen scherper.

Een orthofoto is een geografische kopie van de werkelijkheid, met centimeter precisie. Op de orthofoto kan worden ingezoomd tot op centimeterniveau. Daarom is de orthofoto zeer geschikt om bestaande toestanden vast te leggen (met het oog op latere claims na uitvoering van bouwwerken), om de voortgang van werven op te volgen, om bouwfouten op te sporen of om gebouwschade te inspecteren.

Een orthofoto is een foto die geometrisch gecorrigeerd is. Dat wil zeggen dat de foto's het object loodrecht bekijken: verticaal of horizontaal. We krijgen aldus een haaks bovenaanzicht of zijaanzicht van het object. De orthofoto is dus een 2D-foto op schaal.

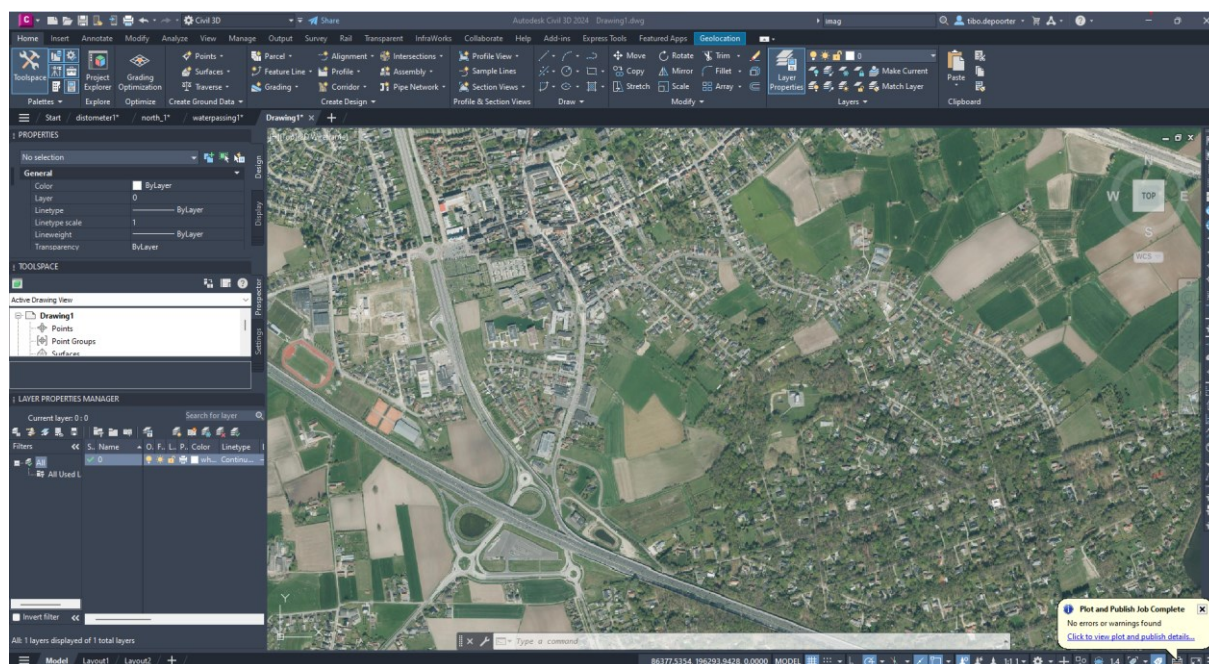


Img9: project foto's fotogrammetrie

Daardoor kan de 2D-orthofoto ook gebruikt worden als onderlegger in CAD-programma's voor het ontwerpen van gebouwen of stedenbouwkundige projecten.

Door te tekenen over een orthofoto kan bijvoorbeeld ook direct een gevelaanzicht of grondplan op schaal getekend worden.

De orthofoto laat hierbij tevens de werkelijke locatie zien waar je ontwerpt, en dit met zeer grote precisie, zodat de kans op ontwerpfouten aanzienlijk wordt verminderd.



Img10: orthofoto als achtergrond in autocad

Een puntenwolk of pointcloud is een verzameling van meetpunten.

Via fotogrammetrie worden vele duizenden punten per vierkante meter opgenomen.

Door het aanduiden van enkele referentiepunten in het object, waarvan de coördinaten gekend zijn en/of waarvan de onderlinge afstanden gekend zijn, kunnen van alle andere punten in de foto's de coördinaten berekend worden, met behulp van gespecialiseerde software.

Op die manier zijn van elk afzonderlijk punt de coördinaten (x, y,z) gekend.

Omdat de puntenwolk wordt gereconstrueerd op basis van foto's kan elk punt worden ingekleurd tot een realistisch visueel geheel. De software zorgt ervoor dat er een uiterst realistisch en getextureerd 3D-model kan worden afgeleid.



Img11: 3d puntenwolk

Tegenwoordig kent de drone-fotogrammetrie een zeer grote opmars. Onderaan de drone wordt hierbij een camera bevestigd. De referentiepunten op het object, hier genaamd groundcontrolpoints, worden meestal ingemeten met een GNSS.

### 3.2 3D-scanning / Lidar

3D-laserscanning is een techniek die het mogelijk maakt om objecten of landschappen zeer gedetailleerd vast te leggen. Een 3D-scanner zendt laserstralen uit met hoge snelheid onder een veranderende horizontale en verticale hoek.

Laserlicht verlaat de zender en wordt weerkaatst op een object. Het teruggekaatste licht wordt in de scanner opgevangen. Door de tijd te meten tussen de uitgestuurde puls en de ontvangen puls, wordt de afstand bepaald tussen de scanner en het object. De basis van een 3D-scanner is aldus een laser-afstandsmeter.

Het tijdsverschil tussen het uitzenden van de laserlichtstraal en het terug opvangen van de gereflecteerde laserlichtstraal is een maat voor de afstand, volgens hiernavolgende formule:  $2 * d = c * t / n$

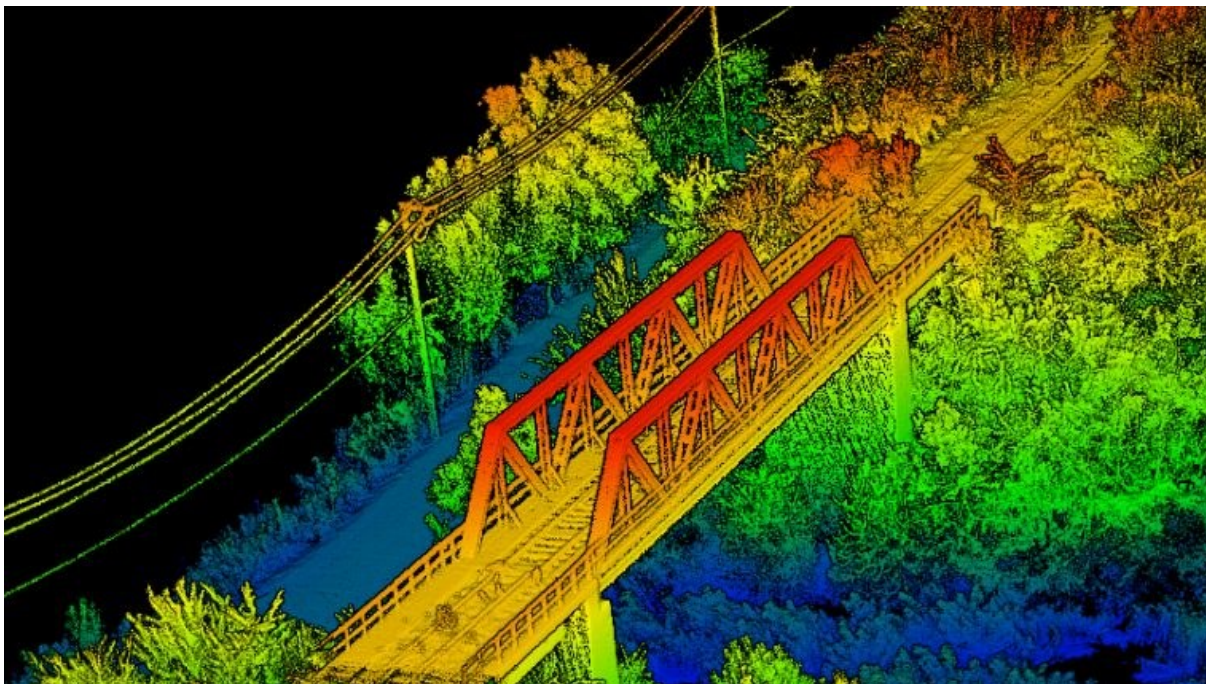
$$d = c * t / (2 * n)$$

Met  $d$  = de afstand tussen de 3D-scanner en het reflecterende object in m

$c$  = de lichtsnelheid in vacuüm (299.792.458 m/s)

$t$  = het gemeten tijdsverschil in s

$n$  = brekingsindex



Img12: lidar puntenwolk

Elk punt dat gescand wordt, wordt omgezet naar een pixel met (x,y,z)-coördinaten. Bij laserscanning worden er tienduizenden laserpulsen per seconde uitgezonden en teruggekaatst.

Dit levert een puntenwolk of pointcloud op van miljoenen punten.

Deze puntenwolk wordt verder verwerkt tot 3D-modellen en 2D-plannen.

3D-laserscanning, ook genaamd lidar techniek, verschilt significant van de methode bij fotogrammetrie, waar de puntenwolk wordt gegenereerd uit overlappende foto's. Lidar staat voor '**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging' of '**L**aser **I**maging **D**etection **A**nd **R**anging'.

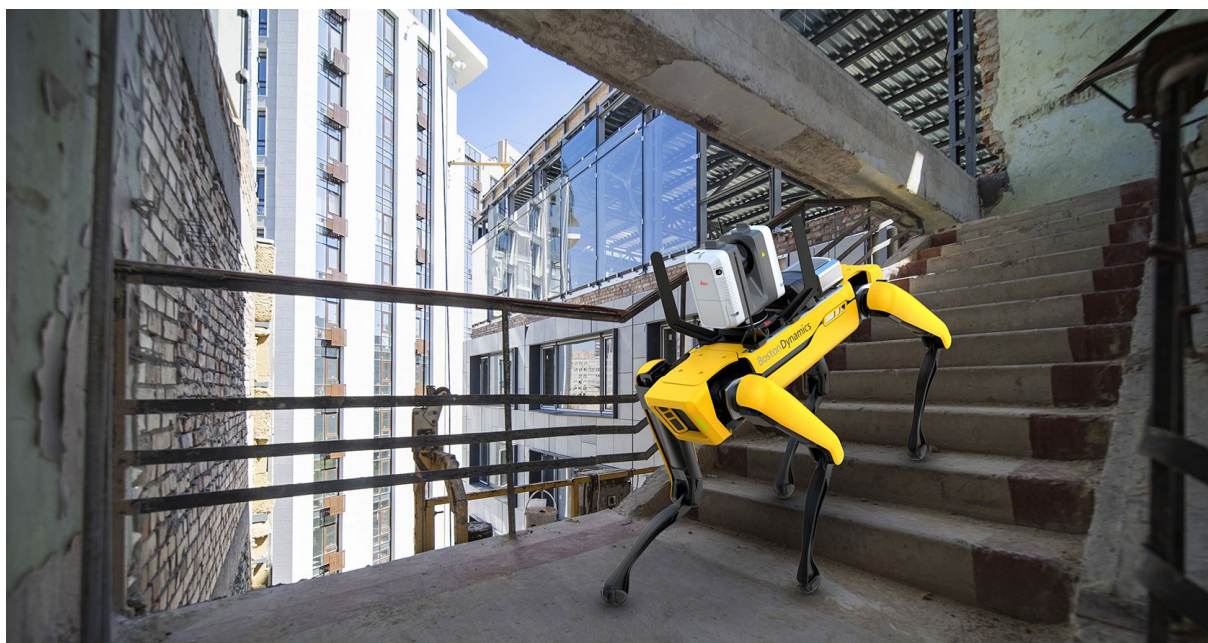
In de landmeetkunde onderscheiden we 2 types laserscanning. Enerzijds is er de statische terrestrische laserscanning, waarbij de scanner wordt opgesteld op een vaste positie. Deze werkwijze bereikt de hoogste nauwkeurigheid en grootste puntendichtheid.

Anderzijds is er ook de dynamische laserscanning, waarbij de scanner wordt opgesteld op een mobiel platform. De dynamische methode wordt aangewend bij laserscannen met



Img13: Trimble X9

drones, bij mobile mapping systems, bij draagbare scanners, ...



Img14: RTC360 3D laserscanner op Spot-robot

De lidar-techniek maakt het mogelijk om een enorme massa geodata te verzamelen over een object in zeer korte tijd, en met een uiterst hoge nauwkeurigheid.

Voor terrestrische laserscanners, bijvoorbeeld Leica RTC360 3D laserscanner, bedraagt de nauwkeurigheid 1 mm. Deze heeft een bereik tot 130 m.

De Leica BLK360 3D heeft een nauwkeurigheid van 4 tot 6 mm, en een bereik tot 60m.



Img15: leica-rtc360 vs leica-blk360

Voor dynamische laserscanners, bijvoorbeeld DJI Zenmuse L2, de nieuwste scanner van DJI die voor het eerst werd voorgesteld aan het publiek op INTERGEO 2023 te

Berlijn, bedraagt de verticale nauwkeurigheid 4 cm en de horizontale nauwkeurigheid 5 cm.



Img16: DJI matrice 350rtk + zenmuse L2

Bij 3D-laserscanners zijn er grote verschillen in de kostprijs van de toestellen. Over het algemeen is het wel zo dat de duurste toestellen de grootste betrouwbaarheid hebben : meest aantal punten per seconde, grootste nauwkeurigheid, grootste snelheid, ....

Er zijn ook toestellen op de markt die zichzelf een 3D-laserscanner noemen, maar wegens het zeer beperkte aantal punten per seconde, nauwelijks een 3D-laserscanner kunnen genoemd worden. Dergelijke goedkope toestellen leveren dan ook geen betrouwbare resultaten.

#### **4. FOTOGRAMMETRIE OF 3D-SCANNEN ?**

Fotogrammetrie met drones is zeker interessant voor het in kaart brengen van grote terreinen, waarbij een maataccuratie van enkele centimeters volstaat. Deze techniek is wel slechts toepasbaar voor onbegroeide terreinen. Beboste gebieden kunnen dus niet opgemeten worden met drone-fotogrammetrie.

Fotogrammetrie wordt ook steeds vaker gebruikt voor 3D-opname van gebouwen, objecten en installaties. Voor BIM is de fotogrammetrie-techniek in elk geval zeer

goed bruikbaar. Wegens de doorbraak van BIM in de bouwsector, zal de vraag naar fotogrammetrie alleen maar verder toenemen in de nabije toekomst.

Voor de buitenkant van de gebouwen zal vaak gebruik gemaakt worden van drone-fotogrammetrie. Voor het vastleggen van de binnenkant van gebouwen bestaan 360-gradencamera's. Dit zijn statische terrestrische camera's die in één keer alle wanden, het plafond en de vloer kunnen vastleggen. Op die manier kan een volledige werf of gebouw in enkele minuten worden gedocumenteerd.

Met fotogrammetrie kan ook een digitale tweeling, digital twin, worden gemaakt, welke quasi niet van het echte te onderscheiden is. Dit wordt bijvoorbeeld gebruikt voor het vastleggen van cultureel erfgoed en archeologische sites. De miljoenen meetpunten vormen hier een bijna exacte kloon van de werkelijkheid.

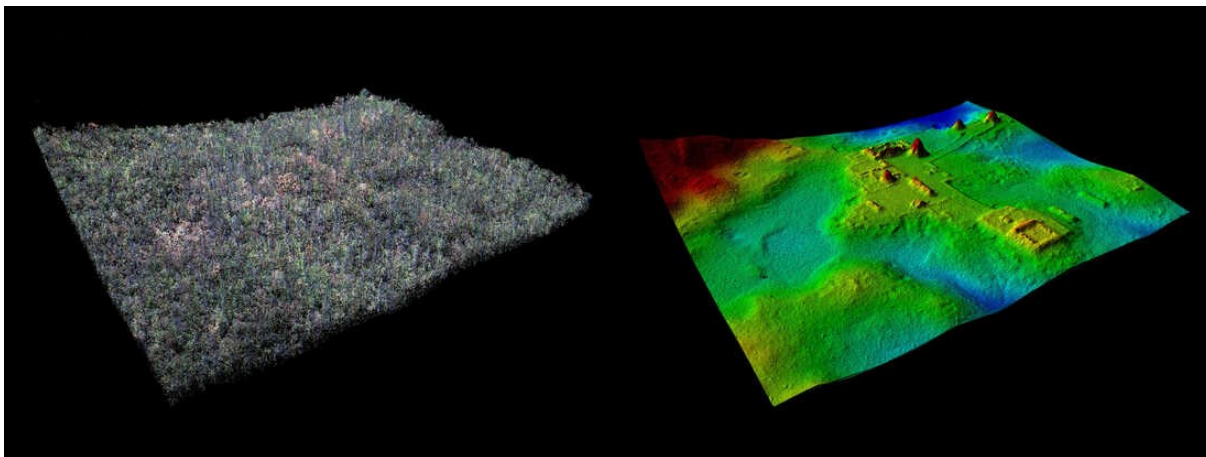
Een andere veelgebruikte toepassing van drone-fotogrammetrie is de 2D-orthofoto van grondplannen of van gevels van gebouwen. Voor architecten is dit een snelle manier om veel details van bestaande gebouwen uiterst snel en correct te kunnen vastleggen in een plan.

Met specifieke software kan ook een zeer realistisch en getextureerd 3D-model worden bekomen van de gebouwen.

Fotogrammetrie heeft echter ook enkele nadelen. Als de foto's onvoldoende scherp zijn of te weinig overlappen, dan kan de software geen goed resultaat leveren. Ook is het resultaat soms onvoldoende bij te weinig daglicht of te veel schaduwen.

Voor sommige toepassingen heeft lidar zeker voordelen. Als men een zeer nauwkeurig 3D-model nodig heeft dan is de statische terrestrische 3D-laserscanning zeker de nauwkeurigste meetmethode.

Lidar kan ook langs begroeiingen meten. Zo heeft men in de jungle verborgen steden gevonden dankzij lidar. Lidar kan ook gebruikt worden voor het inmeten van bomen in een bos.



Img17: scan van Maya site

Ook schaduwen en donkere plekken zijn geen hindernis bij 3D-scanning. De objecten worden hierdoor altijd op dezelfde wijze vastgelegd, dus zonder schaduwen. Daardoor kunnen de objecten worden gebundeld in een groep door herkenning-algoritmen, hetgeen wordt aangeduid met classificeren.

Smalle objecten, zoals bijvoorbeeld hoogspanningskabels, vormen eveneens geen probleem bij 3D-laserscanning.

Lidar wordt, naast fotogrammetrie, ook steeds vaker gebruikt in de bouwsector, waar steeds meer grote projecten worden uitgevoerd met BIM. Door het periodiek 3D-scannen van de werf, kan het BIM-model worden aangevuld met de noodzakelijke informatie voor alle bouwpartners.

Lidar heeft echter ook enkele nadelen. De laserpulsen registreren bij het scannen geen kleuren. Daardoor heeft een lidar pointcloud geen kleuren. Om dit probleem te verhelpen wordt lidar vaak gecombineerd met fotogrammetrie. De software gebruikt dan de foto's om de lidar pointcloud in te kleuren.

Lidar kan ook niet gebruikt worden voor orthofotos. Deze worden bekomen via fotogrammetrie.

Een ander nadeel van lidar is dat de nodige scanapparatuur vele malen duurder is dan een camera bij fotogrammetrie. Daarnaast is ook de gespecialiseerde software

bij lidar meestal complexer, gezien het enorme groot aantal meetpunten uit de lidar pointcloud (vaak miljoenen punten) die door de software moeten verwerkt worden. Bij fotogrammetrie is er vooreerst speciale software nodig om de foto's op hun plaats te zetten in de ruimte, om zo een 3D-model te maken. Daarna is er bij fotogrammetrie software nodig om het 3D-model om te zetten naar een pointcloud, waarvan je zelf de vereiste densiteit, de hoeveelheid punten, kan bepalen.

Uit voorgaande beschouwingen kunnen we stellen dat beide meetmethodes, die uitgaan van een heel andere techniek, toch behoorlijk wat overeenkomsten hebben. Beide methodes maken het mogelijk om van ruimtelijke objecten pointclouds en 3D-modellen te maken, via geavanceerde software.

Afhankelijk van de toepassing is de ene techniek vaak meer geschikt dan de andere. Bij de keuze van de juiste meetmethode moeten we rekening houden met heel wat factoren, zoals wat is de vereiste nauwkeurigheid, welke zijn de fysische omstandigheden van het object of het terrein (toegankelijkheid van het terrein, bebossing aanwezig, ...) , welk eindresultaat heeft men nodig (een orthofoto, een ingekleurd 3D-model, ...), wat mag de opmeting kosten, enz.

Tegenwoordig zal voor het beste resultaat te bekomen, vaak gebruik gemaakt worden van een combinatie van beide technieken. Hierbij zal lidar worden aangewend voor het nauwkeurig inscannen van een lidar pointcloud, en worden foto's gemaakt met camera's voor het realistisch inkleuren van het 3D-model.

Bij mobile mapping systems, waarbij een rijdend voertuig data inwint voor toepassingen zoals Google Street View, worden meerdere technologieën gecombineerd : 360°-camera's, 3D-laserscanners, GPS, ...



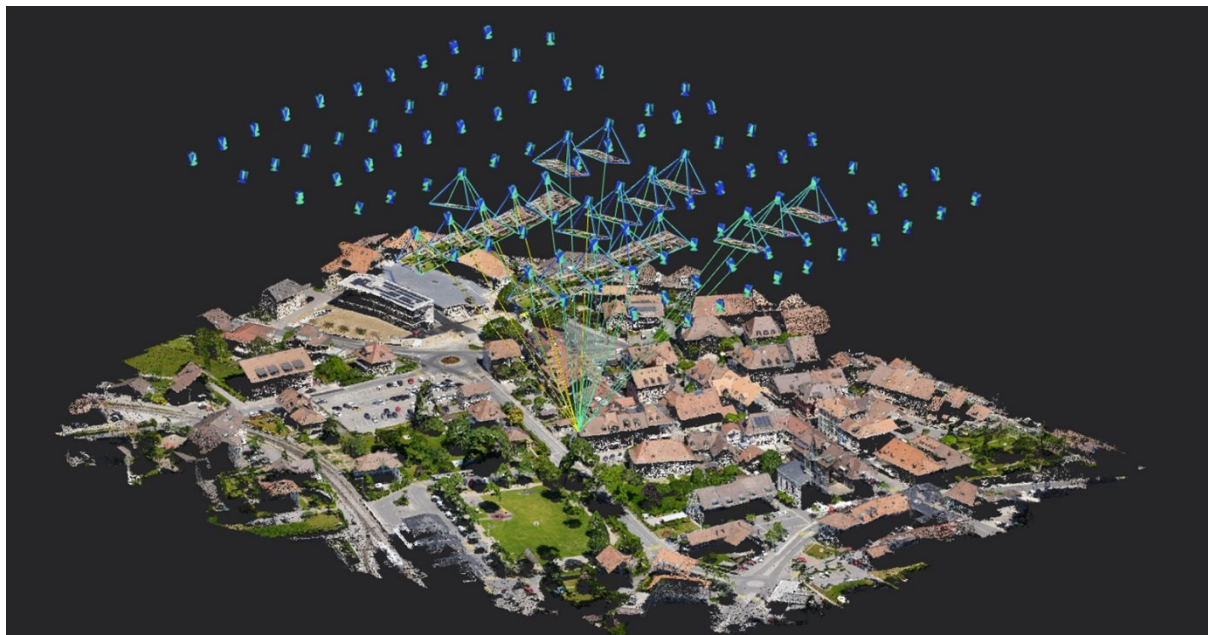
Img18: mobiele mapper google maps

Fotogrammetrie en lidar zijn aldus geen concurrerende technieken, maar zullen in de toekomst meer en meer gebruikt worden om elkaar aan te vullen, om aldus de meest volledige en meest betrouwbare resultaten te bekomen.

## 5. ENKELE CASES

### 5.1 Case 1 - Fotogrammetrie : 3D-model en pointcloud

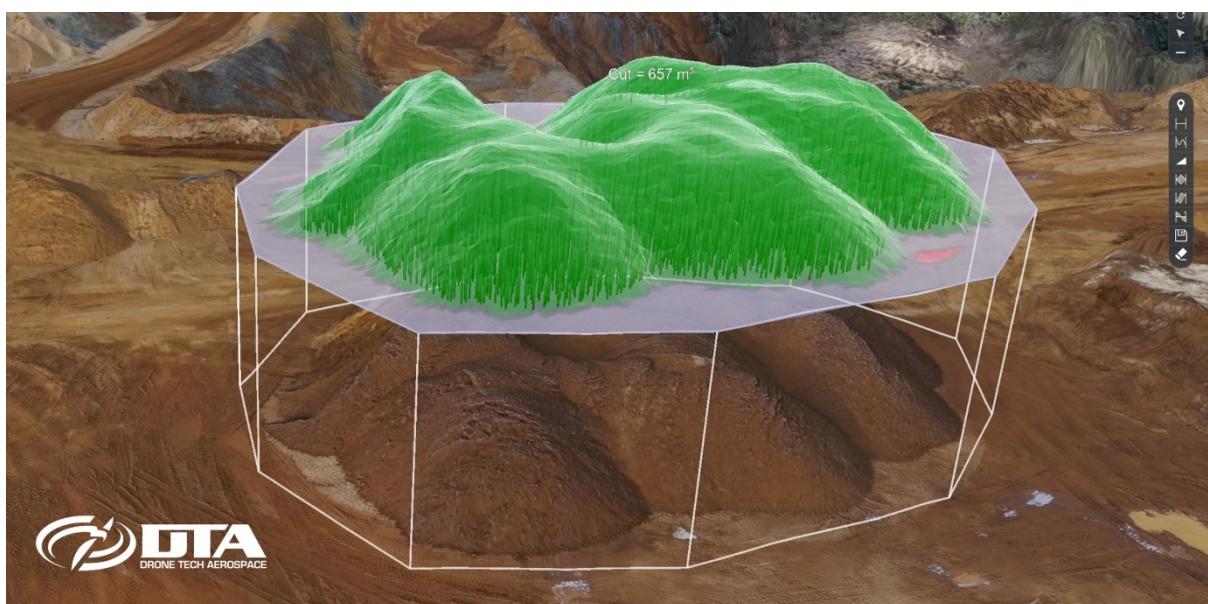
Op de afbeelding zien we een pointcloud bekomen met fotogrammetrie. De opnameplaatsen van de foto's werden eveneens aangegeven.



Img19: voorbeeld fotogrammetrie

### 5.2 Case 2 – Fotogrammetrie : bepalen van volumes grond

Via fotogrammetrie kan een 3D-model bekomen worden, waarmee de volumes kunnen bepaald worden van de gestockeerde hoeveelheden grond.

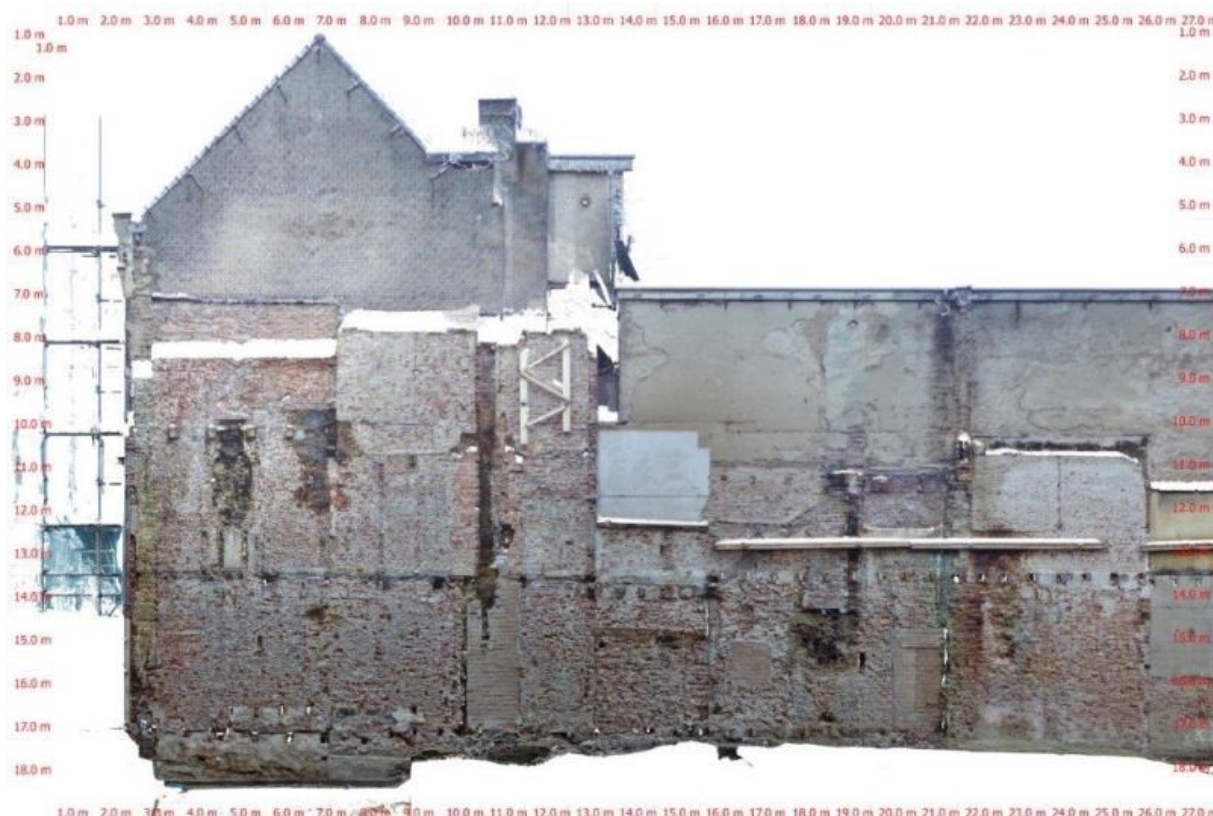


Img20: volume bepaling met fotogrammetrie

### 5.3 Case 3 – Fotogrammetrie : orthofoto van gebouwprofiel

Via fotogrammetrie werd hier een orthofoto bekomen. Deze orthofoto maakt het mogelijk om het profiel te tekenen van de aanpalende woning bij een nieuw bouwproject.

Ook kan met behulp van deze foto de oppervlakte bepaald worden voor een muurovername.



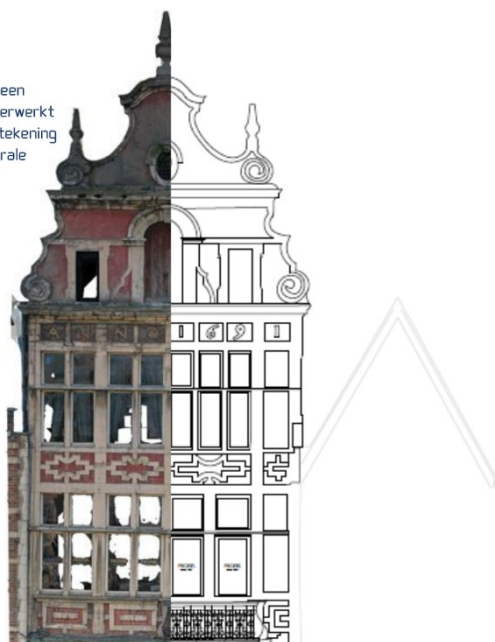
Img21: voorbeeld fotogrammetrie: zijgevel

### 5.4 Case 4 – Fotogrammetrie : orthofoto erfgoed

Bij deze toepassing kan een orthofoto gebruikt worden om een gevelaanzicht te tekenen van een historisch gebouw.



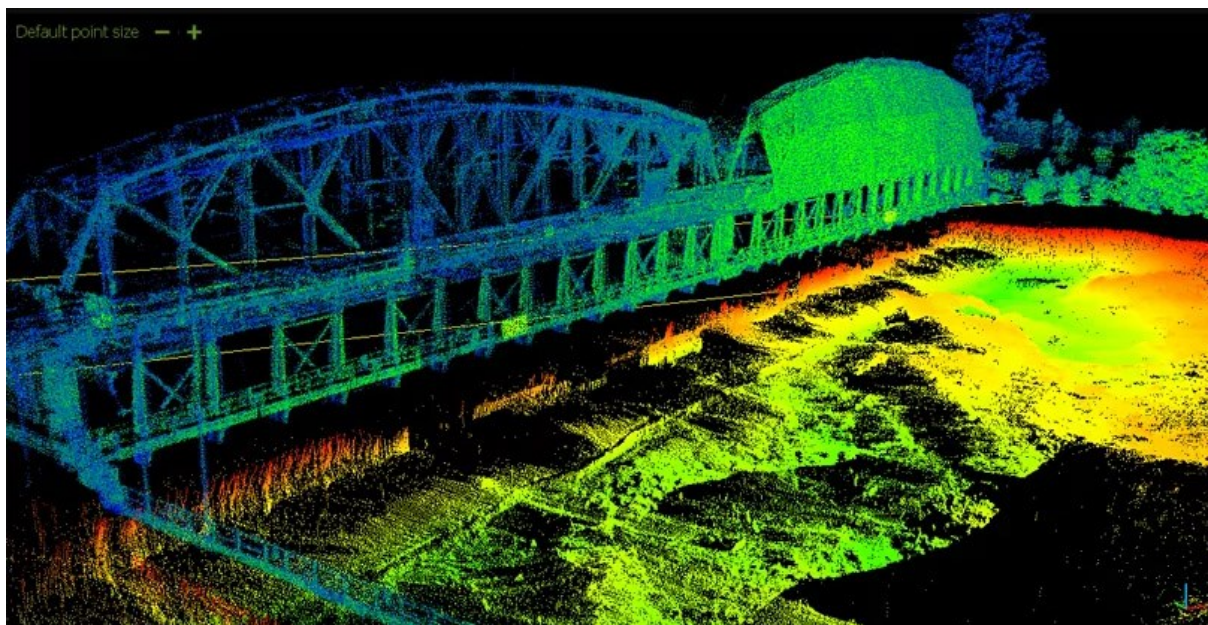
Digital twin van een erfgoed gevel verwerkt tot een 2D CAD tekening voor architecturale toepassingen.



Img22: voorbeeld fotogrammetrie: voorgevel

## 5.5 Case 5 – 3D-scanning : pointclouds

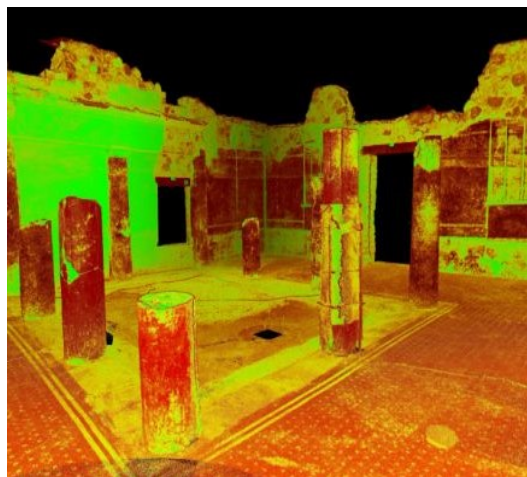
Pointclouds bij laser-scanning bevatten miljoenen punten. Deze pointclouds worden vervolgens verwerkt door zeer geavanceerde software tot bruikbare 3D-modellen. Deze puntenclouds bevatten enorme hoeveelheden data over de ingescande objecten. Dit kunnen zijn bouwterreinen, delen van een stad, bruggen, enz.



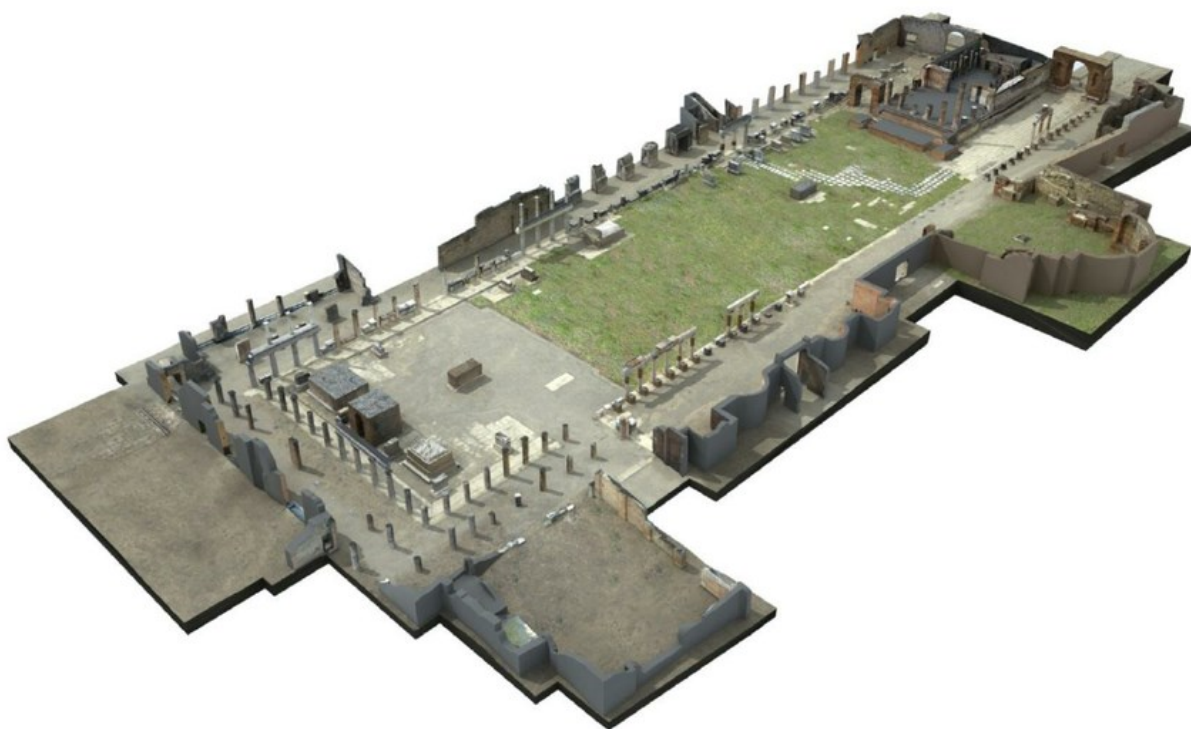
Img23: lidar scan brug

## 5.6 Case 6 – 3D-scanning : pointcloud en 3D-model van het Forum in Pompeii

In Pompeii is een terrestrische 3D-laserscanning uitgevoerd van de archeologische site om de meer dan 350 vondsten, de nog rechtopstaande muren en hun details te kunnen digitaal conserveren. Er werd een pointcloud gemaakt alsook een 3D-model van het Forum. Er kan gedetailleerd worden ingezoomd op alle onderdelen van het 3D-model.



Img24: 3D scan Stabiae in Pompeii



Img25: 3D model van forum in Pompeii

## 5.7 Case 7 – 3D-scanning : reconstructie van de Notre Dame, Parijs

Op 15 april 2019 stond één van de beroemdste bezienswaardigheden ter wereld, de Notre Dame-kathedraal te Parijs, in brand. Het was voor de brandweer een hele klus om deze brand onder controle te krijgen. Gelukkig kon een groot deel van het bouwwerk gered worden van de vlammen. De Franse president Emmanuel Macron beloofde om het bouwwerk zo snel mogelijk te reconstrueren. Maar hoe kan je dergelijk groot en ingewikkeld bouwwerk herbouwen zonder dat er oude bouwplannen van bestaan.

Een Amerikaanse professor en historicus, Andrew Tallon, die gefascineerd was door het indrukwekkende bouwwerk, had in 2010 wel vijf dagen besteed aan het maken van een uiterst nauwkeurige en zeer volledige 3D-laserscan van de structuur van de kathedraal. Ze gebruikten hierbij Scanstation C10 van Leica. Ze scanden vanuit meer dan 50 opstelpunten, zowel aan de buitenkant als aan de binnenkant van het gebouw, en ze werkten vanuit alle mogelijke hoeken en kanten om een zo volledig mogelijk beeld vast te leggen van de kathedraal. Op die manier beschikten ze over een miljardenpuntenwolk van dit historische gebouw. Deze laserpuntenwolk is een bijzonder hulpmiddel en is van cruciaal belang om de kathedraal te kunnen heropbouwen en om de ingewikkelde structuur correct te kunnen renoveren.



Img26: punten wolk van Nôtre Dam

## 5.8 Case 8 – Habitat 67 te Montréal, Canada

De gekende Canadese architect Moshe Safdie heeft voor de Wereldtentoonstelling van 1967 in Montréal, een zeer inspirerend project ontworpen. Het stadsproject was zeer innovatief en vooruitstrevend voor die tijd. Hij was tot de conclusie gekomen dat buitenwijken voor een stad op lange termijn niet haalbaar waren. Ze verbruikten te veel land, energie en transport. Zijn idee bestond uit een stapeling van geprefabriceerde appartementen, modules, waarbij elk appartement beschikte over een tuin en open ruimte naar de hemel. Deze constructies met gestapelde modules zouden boven de openbare ruimtes zweven. Tevens werden in die gestapelde constructies straten aangebracht. De constructies moesten de levenskwaliteit verbeteren, en er werden ook alle andere nodige functies in onder gebracht, zoals scholen, kantoren, winkels, musea, enz.

In werkelijkheid werd slechts een beperkt budget toegekend aan het project, en kon er slechts een fragment worden gerealiseerd. Heden is Habitat 67 een zeer gewilde woonomgeving in Montréal.

56 jaar later, Safdie was intussen 84 jaar oud, werd het project volledig gerealiseerd in een virtuele omgeving. Een drone met camera en lidar vloog een

voorgeprogrammeerd pad en heeft het bestaande gebouw vastgelegd. Een tweede drone maakte meer dan 4.000 detailbeelden. Krachtige software heeft alle data verwerkt tot een realistisch 3D-model, waardoor het gerealiseerde project veilig bewaard blijft voor de toekomst. Daarna werd het concept verder uitgewerkt, waardoor het originele idee van Safdie, meer dan 50 jaar later, nu volledig werd gerealiseerd in een digitale werkelijkheid.



Img27: 3D Habitat 67

## 5.9 Case 9 – Fotogrammetrie : Een eigen experiment

Met mijn eigen goedkope drone Tello van DJI (categorie 'hobby') heb ik een reeks foto's, een 90-tal, gemaakt van een oud landelijk hoevetje. Ik heb vervolgens gebruik gemaakt van Agisoft Metashape om een puntenwolk te maken. Ik was ten eerste verrast dat ik met mijn eenvoudige, niet-professionele apparatuur een redelijk behoorlijk resultaat heb kunnen verkrijgen.



Img28: eigen puntenwolk

## **6. ZULLEN FOTOGRAMMETRIE EN 3D-SCANNEN DE TRADITIONELE LANDMEETKUNDIGE INSTRUMENTEN VERDRINGEN ?**

De landmeetkundige instrumenten die zijn ontstaan vóór de 21<sup>ste</sup> eeuw, zoals uitgelegd in het historisch overzicht in hoofdstuk 2 van deze paper, zijn dit voornamelijk de theodoliet, de automatische waterpas, het totaalstation, het robotische totaalstation en de GNSS.

Deze toestellen hebben reeds vele decennia hun diensten bewezen en werden in de loop der tijd ook steeds meer gesofisticeerd. Door ze in de loop der jaren altijd maar te verbeteren, hebben ze dan ook een zeer hoge graad van nauwkeurigheid bereikt.

Om die reden zullen de traditionele meetmethodes altijd blijven bestaan, en voor sommige toepassingen zullen ze de beste oplossing blijven.

Bij opmetingen met drones, die zowel fotogrammetrie als lidar kunnen aanwenden, zijn de belangrijkste voordelen tijdwinst, kostenbesparingen en verbetering van de veiligheid.

Als men bijvoorbeeld grote gebouwen met veel details wenst in te meten, zal dit met de traditionele apparatuur vele uren, zelfs meerdere dagen, in beslag nemen. Met een drone, kan men het volledige gebouw, inclusief alle zichtbare details, in zeer korte tijd en met grote nauwkeurigheid inmeten. Dergelijke opmeting kan gebeuren door 1 persoon, vaak in slechts enkele uren of zelfs minder. Dit betekent aldus een grote tijdbesparing, en bijgevolg ook een kostenbesparing voor dergelijke opdracht. Ook is het uit veiligheidsoogpunt een grote vooruitgang om de opmeting met een drone uit te voeren. Gebouwdelen zijn niet steeds goed bereikbaar voor opmeten met traditionele apparatuur, zodat de operant soms gevaarlijke posities moet innemen om de opdracht te kunnen uitvoeren.

Drones zijn dus zeker belangrijk voor opmetingen op plaatsen waar landmeters op de grond in gevaar kunnen komen. Vorige zomer kwam ik op een bergwandeling in Zwitserland een landmeter tegen die de positie van de pylonen van een kabelbaan aan het opmeten was met een lidar-drone. De pylonen stonden op een steile rotsflank. Met traditionele landmeetapparatuur zou dit een zeer gevaarlijke opdracht geweest zijn. Met een drone had hij in slechts enkele minuten alle nodige data ingewonnen op een veilige wijze.



Img29: Landmeter in Zwitserland met DJI matice 300 rtk

De landmeter vertelde mij tevens dat hij elk jaar de gletsjer boven het dorp scande met zijn drone om zo de afsmelting ingevolge de opwarming van onze planeet te kunnen opvolgen. Ook dit is een quasi ontoegankelijk en gevaarlijk gebied voor landmeters met traditionele apparatuur.

Andere situaties waarbij drones ervoor zorgen dat de meetopdracht op een veilige manier kan gebeuren, zijn bijvoorbeeld opmetingen vlakbij spoorlijnen, drukke verkeerswegen, ...ook opmetingen op hoogte zoals windmolens, hoogspanningsmasten, daken, steile taluds, ...

Bij terrestrische 3D-scanning kunnen gevaarlijke situaties (bv. in de industrie) gescand worden met een mobiele lidar die gemonteerd wordt op een robot. Tijdens mijn bezoek aan Archi Fusion, een technologie-event dat 21/09/2023 op de gloednieuwe Innovatiecampus van Living Tomorrow te Vilvoorde, zag ik de robot-hond Spot (Boston Dynamics Spot) rondlopen met een mobiele 3D-scanner van Leica BLK ARC. Deze robot kan vanop afstand aangestuurd worden voor het inscannen van data, zodat de operant op een veilige plek kan blijven tijdens de inmeting.



Img30: Leica scanning robot

Opmetingen met 3D-scanners of fotogrammetrie bieden heel wat voordelen, maar anderzijds dient men ook na te gaan welke informatie men effectief nodig heeft. Indien men van een terrein enkel de hoekpunten van het perceel wenst te kennen in één of ander coördinatenstelsel, dan is het ook niet nodig om duizenden, soms

miljoenen punten van dat terrein in te meten. 3D-scanning en ook fotogrammetrie, zal in dergelijk geval leiden tot veel te veel data, die voor die opdracht overbodig is. De kostprijs van de apparatuur en software voor lidar of fotogrammetrie, is dan ook niet te verantwoorden in dergelijke opdracht.

Aangezien er slechts een zeer klein aantal punten dienen ingemeten te worden, zal de tijdswinst zeker geen doorslaggevende factor zijn om de duurdere toestellen voor fotogrammetrie of lidar in te zetten.

De traditionele landmeetkundige instrumenten, zoals totaalstation en GNSS, zullen in de toekomst zeker verder gebruikt worden voor dergelijke kleinere meetopdrachten. Ook voor het uitzetten van punten zullen traditionele meettoestellen noodzakelijk blijven, aangezien dit niet mogelijk is met drones en/of lidar.

In de meeste professionele drones wordt er heden RTK (= Real-time Kinematic) technologie ingebouwd. Bij dergelijke technologie wordt GPS-informatie vastgelegd, tijdens de drone-opmeting zelf. Met deze methode bereikt men heden een nauwkeurigheid tot 5 cm. Voor hogere nauwkeurigheden, tot op enkele millimeter, blijven de traditionele meettoestellen noodzakelijk voor het opmeten van referentiepunten.

Tevens blijven de traditionele totaalstations en GNSS zeker noodzakelijk voor het zeer nauwkeurig inmeten van referentiepunten of groundcontrolpoints, die gebruikt worden om de correctheid en nauwkeurigheid van de uitgevoerde metingen met fotogrammetrie of lidar a posteriori te controleren. Dergelijke controles door bijkomende opmetingen met totaalstation of GNSS, zijn steeds aan te raden om de gewenste nauwkeurigheden te controleren en om fouten in de data te vermijden.



Img31: ground control point

We mogen er dus zeker van zijn dat de traditionele landmeetkundige toestellen in de toekomst in elk geval nog verder van groot belang zullen blijven. Deze traditionele toestellen zijn ook noodzakelijk in combinatie met fotogrammetrie en lidar, voor het uitvoeren van de essentiële controles op de ingewonnen data.

## 7. WAT ZAL DE TOEKOMST BRENGEN ?

In hoofdstuk 2 heb ik een historisch overzicht gegeven van het instrumentarium van de landmeter. Hierin zien we dat er zich een grote evolutie heeft voorgedaan vanaf 1970-1980, namelijk vanaf het ogenblik dat de computer is binnengedrongen in het landmeetkundige instrumentarium. Vanaf de 21<sup>ste</sup> eeuw is de evolutie nog sneller beginnen gaan met de verdere ontwikkeling van de fotogrammetrie en de nieuwe technologie van lidar.

Maar we zitten nog steeds in een periode van enorme technologische innovaties. De evolutie gaat op heden steeds maar sneller en sneller.

We kunnen heden moeilijk voorspellen over welke apparatuur de toekomstige landmeter zal beschikken, toch weten we dat er zich zeker nog belangrijke innovaties zullen voordoen op relatief korte termijn.

Volgende vernieuwingen kunnen zeker worden verwacht in de komende jaren :

- De bestaande traditionele apparatuur zal nog meer geautomatiseerd worden, en zal nog beter samenwerken met software-pakketten voor verdere dataverwerking. Tilt-functie zal volgens mij standaard worden ingebouwd in alle meetstokken voor totaalstations en ontvangers van GNSS, zodat het perfect waterpas opstellen van deze stokken niet meer noodzakelijk zal zijn en waardoor de meetresultaten zeker betrouwbaarder zullen worden. De meettoestellen zullen in de toekomst wellicht ook worden voorzien van een automatisch waterpas, zodat de gebruiker het niet meer zelf dient waterpas op te stellen. Ook het waterpas opstellen boven een specifiek opstelpunt zou kunnen gerobotiseerd worden bij de traditionele toestellen. Dit zou een grote tijdswinst kunnen uitmaken in opdrachten met meerdere opstelpunten.
- Fotogrammetrie zal volgens mij verder evolueren tot grotere nauwkeurigheden. Wellicht zullen in de toekomst nauwkeurigheden mogelijk worden van enkele millimeters in plaats van enkele centimeters zoals op heden.

- Lidar zal wellicht ook nog efficiënter en nauwkeuriger worden door nog dichtere puntenwolken, door toename van de snelheid om al deze data te verwerken, en door nog betere software, die vlot samenwerkt met data verkregen van andere apparatuur.

- Er zullen in de toekomst ongetwijfeld nog verbeteringen komen om alle data vlotter te kunnen verwerken naar 3D BIM-modellen. BIM zal in de toekomst een veel grotere rol gaan spelen, vanaf het voorontwerp van een project, misschien ook wel bij de stedenbouwkundige aanvraagdossiers en uiteindelijk tijdens de realisatie van het project, en zelfs erna in de gebruiksfase van het project.

- Om de gigantische hoeveelheden data te kunnen verwerken, zullen ook zeer krachtige ICT- systemen vereist zijn, zoals ultra snelle processoren, media met immense opslagcapaciteiten, supersnel internet, enz. Ook op vlak van informatica zal een grote vooruitgang nodig zijn om alle data van de nieuwste technologieën te kunnen opslaan, verwerken en doorzenden.

- Verder denk ik dat AI (= artificiële intelligentie) ook in landmeetkundige toepassingen steeds meer aan belang zal winnen. Zo zal de software van de toestellen mogelijks bepaalde elementen zelf herkennen, en deze bijkomende data opslaan voor verdere verwerking. Meettoestellen zullen zelf herkennen dat opgemeten punten afkomstig zijn van grenspaaltjes, afsluitingen, bomen, rand van een weg, enz. Door AI zal deze herkenningsssoftware na veelvuldig gebruik ook uit zichzelf steeds slimmer worden.

Ook bij inmeten van gebouwen zal de software via AI wellicht zelf al kunnen herkennen of er gebreken zijn aan een gebouw, zoals scheurtjes in metselwerk, gebroken ruiten, afwijkingen ten opzichte van bouwplannen, enz.

Persoonlijk geloof ik erin dat we ons in de nabije toekomst zeker nog aan revolutionaire vooruitgang mogen verwachten in de landmeetkundige meettechnieken, dataverwerking en databeheer.

Deze nieuwe technologieën zullen ervoor zorgen dat de landmeter een zeer gespecialiseerde kennis heeft voor het opmeten van allerlei objecten, zowel in 2D als in 3D.

## 8. CONCLUSIE

De landmeetkundige instrumenten hebben doorheen de eeuwen een grote evolutie ondergaan.

Gedurende vele honderden jaren deed de landmeter hoofdzakelijk opmetingen van **LAND**, en hij gaf een weergave van zijn metingen op een **2D**-plan.

Vanaf de 21<sup>ste</sup> eeuw doen nieuwe technologieën, zoals fotogrammetrie, 3D-scanning en drones hun intrede in de landmeetkunde.

De landmeter is een specialist geworden in het nauwkeurig opmeten en voorstellen van allerlei ruimtelijke objecten. Hij maakt pointclouds, 3D-modellen, digitale twins, enz. De landmeter is geëvolueerd naar een **specialist in 3D**. Door deze nieuwe technologieën is zijn werkterrein sterk uitgebreid.

Fotogrammetrie en lidar hebben ieder hun eigen voor- en nadelen, waardoor bij aanvang van een opdracht dient nagegaan te worden welke techniek het meest geschikt is voor de specifieke toepassing.

Om het beste resultaat te bekomen, worden fotogrammetrie en lidar vaak gecombineerd.

De traditionele toestellen, zoals waterpastoestel, totaalstation, GNSS, ... blijven zeker belangrijk voor de landmeter, o.a. voor het inmeten van groundcontrolpoints bij fotogrammetrie en lidar, maar ook voor kleine, nauwkeurige opmetingen waarvoor zoveel data niet vereist is.

In de nabije toekomst mogen we ons verwachten aan verdere revolutionaire ontwikkelingen van de landmeetkundige instrumenten, van de dataverwerking, en van de data-opslag.

Deze verdere evolutie zal zeker leiden tot nog betere en nog nauwkeurigere meettechnieken voor de landmeter.

## 9. BRONNEN

### Research:

#### Web:

Yumpu.com. (z.d.). Gentin3d\_publicatie\_geschiedenis\_van\_het\_landmeten. yumpu.com.

<https://www.yumpu.com/nl/document/view/29442000/gentin3d-publicatie-geschiedenis-van-het-landmeten>

JWtopo. (2020, 12 mei). Landmeten Geschiedenis | JWTopo. <https://jwtopo.be/landmeten-geschiedenis/#:~:text=De%20Romeinen%20bouwden%20verder%20op,van%20een%20hoog%20niveau%20waren>.

Courbon Paul. (z.d.). Topographie : un demi-siècle d'évolution technologique. Revue XYZ.

<https://www.aftopo.org/download.php?type=pdf&matricule=aHR0cHM6Ly93d3cuYWZ0b3BvLm9yZy93cC1jb250ZW50L3VwbG9hZHMvYXJ0aWNsZXMvcGRmL2FydGlibGU0MTEwMDEucGRm>

PelserHartman. (2020, 29 december). Fotogrammetrie. PelserHartman. <https://meet-tekenwerk.nl/fotogrammetrie/>

Workshop 3D Photogrammetry voor Everyone. (z.d.). UPA-BUA. <https://upa-bua-arch.be/en/activities/past-activities/workshop-photogrammetry-voor-everyone>

PelserHartman. (2023, 12 juli). Orthofoto Pointcloud met 3D scanner. <https://meet-tekenwerk.nl/oplossingen/orthofoto-pointcloud/>

SkyWise. (2023, 12 oktober). Orthophoto - SkyWise. <https://skywisegeodata.nl/orthophoto/>

PelserHartman. (2020a, juni 10). PHODAR – (Drone) Pointcloud uit fotogrammetrie. PelserHartman. <https://meet-tekenwerk.nl/phodar-drone-fotogrammetrie-pointcloud/>

SkyWise. (2023a, oktober 3). PointCloud - SkyWise. <https://skywisegeodata.nl/pointcloud>

GISGeography. (2023, 21 oktober). What is photogrammetry? GIS Geography. <https://gisgeography.com/what-is-photogrammetry/>

PelserHartman. (2020c, december 29). Fotogrammetrie. PelserHartman. <https://meet-tekenwerk.nl/fotogrammetrie/>

Laseraltimetrie (LIDAR). (z.d.). www.vlaanderen.be. <https://www.vlaanderen.be/digitaal-vlaanderen/onze-oplossingen/earth-observation-data-science-eodas/remote-sensing-technieken/laseraltimetrie-lidar>

Van Oers, B. (2023, 1 november). Statisch vs Mobiel 3D Laserscannen Factsheet. PelserHartman. <https://meet-tekenwerk.nl/statisch-vs-mobiel-3d-laserscannen/>

PelserHartman B.V. (z.d.). 3D scannen basics “Wat je zou moeten weten voor je begint”. [https://meet-tekenwerk.b-cdn.net/wp-content/uploads/2016/05/PelserHartman-3D-scannen-basics-Whitepaper\\_2.1.pdf](https://meet-tekenwerk.b-cdn.net/wp-content/uploads/2016/05/PelserHartman-3D-scannen-basics-Whitepaper_2.1.pdf)

ZenMuse L2 - DJI. (z.d.). DJI. <https://enterprise.dji.com/zenmuse-l2>

Leica RTC360 3D Laserscanner | Leica Geosystems | Scherpe prijs. (2023, 14 november). Geodeet. <https://www.geodeet.be/product/leica-rtc360-3d-laserscanner/>

3D Laserscanning | . (z.d.). <http://3d-laserscanning.be/nl/contact/veelgestelde-vragen.aspx>

LiDAR Laser: Wat is LiDAR en hoe werkt het? | Sensor Partners. (z.d.). Sensor Partners. <https://sensorpartners.com/kennisbank/lidar-laser-werking/>

SkyWise. (2023a, juni 5). Case: Bomen inmeten met drones en Lidar - SkyWise. <https://skywisegeodata.nl/case-bomen-inmeten/>

3D laserscanning | Wat doet een 3D laserscanner? (z.d.). <http://3d-laserscanning.be/nl/techniek/wat.aspx>

LaserscanService. (2023b, juli 11). FAQ » LaserscanService. <https://laserscanservice.nl/faq/>

PelserHartman. (2020a, juni 10). 3D scannen Basics: de meerwaarde van werken met PointClouds. PelserHartman. <https://meet-tekenwerk.nl/meerwaarde-werken-met-pointclouds/>

Leica BLK360 3D Laserscanner | Leica Geosystems | Scherpe prijs. (2023, 14 november). Geodeet. <https://www.geodeet.be/product/leica-blk360-3d-laserscanner/>

Geozicht. (2022, 23 augustus). Drone | PointClouds | LiDAR | Fotogrammetrie | GeoZICHT. <https://geozicht.nl/diensten/puntenwolken/>

PelserHartman. (2020a, mei 4). 3D laserscannen en orthofoto's Oudste boerderij - PelserHartman. <https://pelserhartman.nl/project/3d-laserscannen-en-orthofotos-oudste-boerderij/>

SkyWise. (2023b, juni 5). Case: Lidar vs. fotogrammetrie - SkyWise. <https://skywisegeodata.nl/case-lidar-vs-fotogrammetrie/>

3D GEO DATA. (2023, 24 oktober). Digital Twin - 3D GEO DATA. <https://3dgeodata.com/digital-twin/>

Cao, H., Chu, K., Le-Khac, N., Kechadi, T., Laefer, D. F., & Truong-Hong, L. (2015). Toward a new approach for massive LiDAR data processing. 1. <https://doi.org/10.1109/icsdm.2015.7298040>

Landmeet drones vs. total stations: Voor welk type landmeetkundige projecten zijn drones ideaal? (2023, 12 juli). Drone Enterprise BV. [https://www.droprise.be/en\\_GB/blog/blog-2/landmeet-drones-vs-total-stations-voor-welk-type-landmeetkundige-projecten-zijn-drones-ideaal-56](https://www.droprise.be/en_GB/blog/blog-2/landmeet-drones-vs-total-stations-voor-welk-type-landmeetkundige-projecten-zijn-drones-ideaal-56)

Tech helpt bij herbouw Notre-Dame. (2020, 31 oktober). De Tijd. <https://www.tijd.be/dossier/krant/tech-helpt-bij-herbouw-notre-dame/10262021.html>

Engine, U. (2023b, mei 30). Dream Builders: Recreating the original vision for Habitat 67 with an Unreal engine and RealityCapture sample project. Unreal Engine. <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/dream-builders-recreating-the-original-vision-for-habitat-67-with-an-unreal-engine-and-realitycapture-sample-project>

#### Tijdschrift:

Courbon Paul. (z.d.). Topographie : un demi-siècle d'évolution technologique. Revue XYZ. <https://www.aftopo.org/download.php?type=pdf&matricule=aHR0cHM6Ly93d3cuYWZ0b3BvLm9yZy93cC1ib250ZW50L3VwbG9hZHMvYXJ0aWNsZXMvcGRmL2FydGlibGU0MTewMDEucGRm>

#### Boeken:

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Boehm, J. Close-range photogrammetry and 3D imaging. . <https://catalogus.hogent.be/catalog/hog01:000621761>

Shan, J., & Toth, C. K. Topographic laser ranging and scanning : principles and processing. Second edition. . <https://catalogus.hogent.be/catalog/hog01:000729560>

Alberda, J. E, & Ebbinge, J. (2003). Inleiding landmeetkunde. 7de dr. Delft: VSSD. <https://catalogus.hogent.be/catalog/hog01:000192849>

#### Masterscriptie:

Rozek, J., & De Wulf, A. (2011). Onderzoek naar historisch topografisch instrumentarium .. : studie in het kader van de twintigste verjaardag van de opleiding Geomatica en Cartografie. <https://lib.ugent.be/nl/catalog/rug01:001787495>

Belien, E., & Goossens, R. (2012). Methodologisch onderzoek naar de optimalisatie van documentatie van archeologische opgravingen door middel van fotogrammetrie en fotomodellering (Altai – Rusland) [Masterscriptie]. Universiteit Gent. <https://www.scripriebank.be/scriptie/2012/optimalisatie-van-documentatie-van-archeologische-opgravingen-dmv-fotogrammetrie-en>

## Afbeeldingen:

img1: Brock, J. F. (2023, 6 december). The surveyors of our world. GIM International. <https://www.gim-international.com/content/article/the-surveyors-of-our-world>

img2: Wikipedia-bijdragers. (2023, 4 september). Kudurru. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Kudurru>

img3: Exhibition of Ancient Instruments - Athens, May 22-27, 2004. (z.d.). [https://www.fig.net/news/archive/news\\_2004/athens/ancient\\_exhibit.asp](https://www.fig.net/news/archive/news_2004/athens/ancient_exhibit.asp)

img4: Wikipedia-bijdragers. (2023a, februari 2). Meettafel. Wikipedia. <https://nl.wikipedia.org/wiki/Meettafel>

img5: Made up in Britain: Theodolite : Leonard Digges 1551. (z.d.). <https://madeupinbritain.uk/Theodolite>

img6: IX Series Total Station from: Sokkia Corporation. (2017, 20 maart). For Construction Pros. <https://www.forconstructionpros.com/construction-technology/product/12251948/sokkia-corporation-ix-series-total-station>

img7: Sokkia GCX3 GNSS - Laser Liquidators. (z.d.). Laser Liquidators. <https://laserliquidators.com/product/5508/>

img8: Loosli, E. (2023, 31 oktober). Photogrammetry vs. LIDAR: What sensor to choose for a given application. Wingtra. <https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/>

img9: Vansteelandt, B. (2019, 19 februari). Drone Fotogrammetrie - Digital Creations Agency. Digital Creations Agency. <https://dca.lu/drone-fotogrammetrie/>

img10: eigen foto, kaart: wmts digitaal vlaanderen middenschale winteropnames 2022

img11: Just showing off a point cloud! (2020, 29 december). OpenDroneMap Community. <https://community.opendronemap.org/t/just-showing-off-a-point-cloud/6325>

img12: Robert, N. (2022, 18 mei). Using LIDAR definition and applications of 3D Sensing - C2MI. C2MI. [https://www.c2mi.ca/en/saviez\\_vous\\_que/using-lidar-definition-and-applications-of-3d-sensing/](https://www.c2mi.ca/en/saviez_vous_que/using-lidar-definition-and-applications-of-3d-sensing/)

img13: Trimble advances reality capture with the new X9 3D laser Scanner. (2023, 5 juni). <https://geospatial.trimble.com/en/resources/blog/trimble-advances-reality-capture-with-the-new-x9-3d-laser-scanner>

img14: Leica Geosystems. (2021, 20 februari). Leica Geosystems creëert mobiele 3D reality capture oplossing met spot-robot. [https://leica-geosystems.com/nl-nl/about-us/news-room/news-overview/2021/02/2021\\_02\\_22\\_boston\\_dynamics](https://leica-geosystems.com/nl-nl/about-us/news-room/news-overview/2021/02/2021_02_22_boston_dynamics)

img15: Van Oudtshoorn, A. (2023, 24 oktober). Laser Scanner comparison: Leica RTC360 vs Leica BLK360 - Global Survey. Global Survey. <https://globalsurvey.co.nz/surveying-gis-news/laser-scanner-comparison-leica-rtc360-vs-leica-blk360/>

img16: Singh, I. (2023, 10 oktober). DJI unveils ZenMuse L2 drone LiDAR module for 3D data collection. DroneDJ. <https://dronedj.com/2023/10/10/dji-zenmuse-l2-lidar-price/>

img17: Kennedy, M. (2018, 2 februari). "Game Changer": Maya cities unearthed in Guatemala Forest using lasers. NPR. <https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2018/02/02/582664327/game-changer-maya-cities-unearthed-in-guatemala-forest-using-lasers>

img18: Reuters. (2022, 30 juli). Google Maps launches Street View in India after 11-Year wait. carandbike. <https://www.carandbike.com/news/google-maps-launches-street-view-in-india-after-11-year-wait-3201005>

img19: Pix4D. (2023, 31 mei). Pix4D Labs: Meet OPF - the PDF of Photogrammetry. Pix4D. <https://www.pix4d.com/labs/opf-open-photogrammetry-format/>

img20: Drone Stockpile Volume Surveys | UK Wales | Drone Tech Aerospace. (z.d.). Drone Tech Aerospace. <https://www.dronetechaerospace.co.uk/drone-stockpile-volume-survey>

img21: LaserscanService. (2023, 21 juni). Orthofoto van Point Cloud » LaserScanService.

<https://laserscanservice.nl/diensten/point-cloud/orthofoto-van-point-cloud/>

img22: TOPO4D, Landmeter en Drone-piloot - 3DLaserscanning en gerechtsexpertises. (2021, 13 november). 3D

laserscanning en puntenwolken voor verschillende opmetingen. Topo4D.be. <https://www.topo4d.be/3d-laserscanning-en-puntenwolken/>

img23: Khemlani, L. (2022, 14 april). How Point Cloud meshing software benefits the AEC industry. AECbytes Blog.

<https://aecbytes.blog/2022/04/14/how-point-cloud-meshing-software-benefits-the-aec-industry/>

img24: Griffiths, S. (2013, 21 oktober). CYArk will digitally 3D scan more than 500 culturally important sites over the next

five years. Mail Online. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2470060/CyArk-digitally-3D-scan-500-culturally-important-sites-years.html>

img25: Figure 5. 3D modeling results of the complex archaeological site of the. . . (z.d.). ResearchGate.

[https://www.researchgate.net/figure/3D-modeling-results-of-the-complex-archaeological-site-of-the-forum-in-Pompeii-Italy\\_fig4\\_228617407](https://www.researchgate.net/figure/3D-modeling-results-of-the-complex-archaeological-site-of-the-forum-in-Pompeii-Italy_fig4_228617407)

img26: Matamoros, C. A. (2019, 9 mei). Unique 3D model of Notre Dame Cathedral could help reconstruction efforts.

euronews. <https://www.euronews.com/2019/04/18/unique-3d-model-of-notre-dame-cathedral-could-help-reconstruction-efforts>

img27: Engine, U. (2023, 30 mei). Dream Builders: Recreating the original vision for Habitat 67 with an Unreal engine and

RealityCapture sample project. Unreal Engine. <https://www.unrealengine.com/en-US/spotlights/dream-builders-recreating-the-original-vision-for-habitat-67-with-an-unreal-engine-and-realitycapture-sample-project>

img28: eigen puntenwolk

img29: Landmeter in Zwitserland met DJI matic 300 rtk

img30: Leica BLK Autonomy Demo. (z.d.). <https://shop.leica-geosystems.com/es/es-ES/leica-blk/leica-blk/landing-page-blk-autonomy-day-2021>

img31: Digital, H. (2022, 25 mei). A guide to using ground control points for surveying. heliguyTM.

<https://www.heliguy.com/blogs/posts/guide-to-using-ground-control-points>