

Het gebruik van 3D-laserscanning voor ontwerp en analyses in de architectuur en bouw

Jeffrey Mulier

Essay met als doel het onderzoek tussen gebruik van mobiele laserscanners (MLS) en terrestrische laserscanners (TLS) in de architectuur en bouw.

Bachelor in het Vastgoed, Afstudeerrichting Landmeten

I.s.m. Landmetersbureau Opsomer / Scantrix



Academiejaar 2022-2023

1^o Examenkans – 1^o Examenperiode

Praktijkstudie

Lectoren; Vanhoutte N. / Janssens R. / Verbeke M.

Inhoud

1.	Inleiding.....	4
2.	Literatuur.....	4
2.1	Statische Terrestrische Laserscanning (STLS).....	4
2.1.1	Laserscanning op basis van pulsmetingen	5
2.1.1.1	Principe.....	5
2.1.1.2	Courante toestellen	6
2.1.2	Laserscanning op basis van fasemetingen	6
2.1.2.1	Principe.....	6
2.1.2.2	Courante toestellen	7
2.1.3	Wave Form Digitizing	7
2.1.3.1	Principe.....	7
2.1.3.2	Courante toestellen	7
2.2	Mobiele Terrestrische Laserscanning (MTLS)	8
2.2.1	Principe	8
2.2.1.1	Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)	8
2.2.2	Courante toestellen	9
3.	Data-acquisitie	10
3.1	Gebruikte software.....	10
3.1.1	Leica producten	10
3.1.2	NavVis product	11
3.1.3	Verwerking van snedes	11
4.	Methodologie	12
4.1	Nauwkeurighedsanalyse	12
4.2	Architectuurmeting met mobiele laserscanners.....	12
4.3	Gebruik van mobiele laserscanners in de bouwsector	12
5.	Onderzoek en resultaten	13
5.1	Nauwkeurighedsanalyse	13
5.1.1	Nauwkeurighedsanalyse RTC360 en BLK2GO.....	13
5.1.1.1	Leica product RTC360.....	13
5.1.1.2	Leica product BLK2GO	14
5.1.1.3	Besluit.....	14
5.1.2	Nauwkeurighedsanalyse RTC360 en VLX	15
5.1.2.1	Leica product RTC360.....	15
5.1.2.2	NavVis product VLX	16

5.1.2.3	Besluit.....	16
5.2	Architectuurmeting met laserscanner.....	17
5.2.1	Architectuurmeting met RTC en BLK2GO.....	18
5.3	Vraagstelling landmeetbureau.....	18
6.	Discussie.....	19
6.1	<i>Mobiele laserscanners bieden een snellere en nauwkeurige manier dan statische laserscanners om 3D-data te verzamelen</i>	19
6.1.1	Voor-argumenten.....	19
6.1.2	Tegenargumenten.....	20
6.2	<i>De beperkingen van laserscanners als tegenargument</i>	21
7.	Besluit.....	23
8.	Referentielijst.....	23
9.	Bijlagen.....	25

1. Inleiding

3D scannen is de laatste jaren enorm vooruit gegaan en daarbij ook de breedte van de gebieden waar de technologie een geschikte toepassing vindt, zoals voor driedimensionale modellering en analyse in de architectuur en bouw. Ook binnen de landmeetkunde winnen laserscanners aan populariteit en wordt dit alsmear meer als standaard apparatuur gezien. Op verschillende beurzen worden scanners in veelvoud tentoongesteld. Op dit moment zijn fabrikanten zelf zo ver dat zij zowel de functies van een traditioneel totaalstation willen combineren met de functies van een laserscanning, zoals de MS60 van het merk Leica. Voor een landmeter kan dit echter overdonderend zijn en zelf een lichte drang veroorzaken om ook op “de trein van de toekomst” te springen. Echter komen hier veel parameters aan te pas om uiteindelijk voor het juiste toestel te kiezen. Daarnaast zijn er tal van verschillende soorten scanners met telkens hun aandachtspunten en dient de verwerking zeer precies en gedetailleerd te gebeuren.

Deze essay biedt een vergelijking van de verschillende soorten scanners en hun aandachtspunten zodat elke landmeter kan oordelen of hij al dan niet nood heeft aan een laserscanner en welk type het best bij zijn specifieke opdrachten past. Op basis van een kritische analyse van de soorten laserscanners zal getracht worden een algemeen besluit te vormen op het gebruik van 3D laserscanning voor ontwerp en analyses in de architectuur en bouw.

2. Literatuur

2.1 Statische Terrestrische Laserscanning (STLS)

Statische terrestrisch laserscanning (STLS) kan worden omschreven als een sterk geautomatiseerde, actieve teledetectietechniek waarbij de gehele omgeving wordt opgemeten vanuit meerdere vaste posities met behulp van een laserscanner. Laserscanning of LIDAR (Light Detection And Ranging) gebruikt lasertechnologie om een object en zijn omgeving te meten. Daaruit verkrijgt men een (of meerdere) puntenwolk(en) waarin elk punt gedefinieerd wordt in een absolute of relatieve driedimensionale ruimte. Statische terrestrische laserscanning binnen de landmeetkunde kunnen we onderverdelen in twee soorten actieve meettechnologieën: (1) pulsgebaseerd of ook wel Time-of-Flight(ToF) genoemd en (2) continue golf of ook wel faseverschuiving(PS) genoemd (Petrie et al.2018).

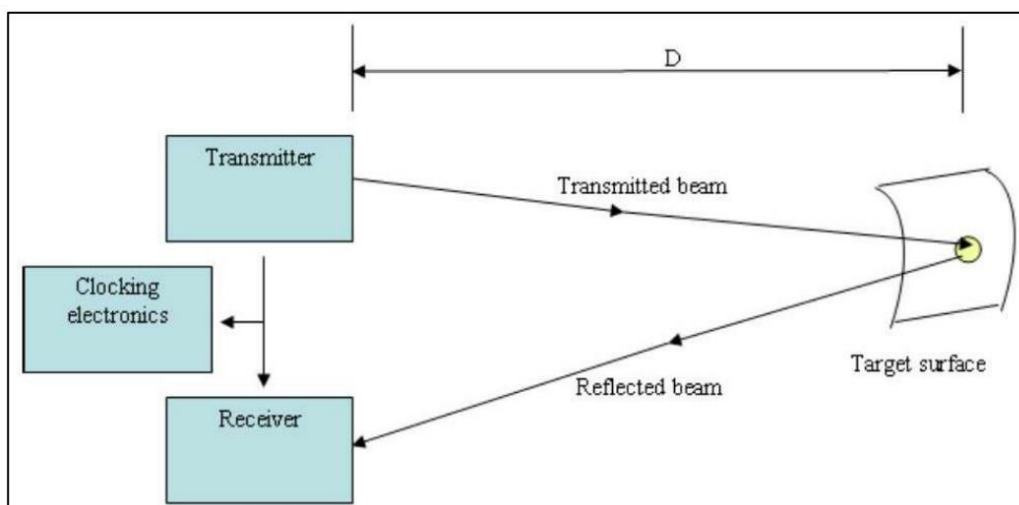
2.1.1 Laserscanning op basis van pulsmetingen

2.1.1.1 Principe

ToF-scanners vinden hun werking door een laserstraal uit te zenden naar het te kennen object waarbij er telkens een terugkerende laserstraal (of laserpuls) wordt ontvangen. Hierbij wordt via een uiterst nauwkeurig klokmechanisme het tijdsverschil gemeten tussen de uitgaande en inkomende laserpuls. Naast deze tijdsmeting wordt eveneens de horizontale en verticale richting van de puls geregistreerd waardoor men de x-, y- en z-coördinaat kan bepalen. Het dient echter op te merken dat laserscanners op basis van pulsmetingen geen gebruik maken van een continue laserstraal, maar maken gebruik van korte en krachtige laserspulsen. Zij scannen het gehele gezichtsveld (Field Of View) punt per punt door de oriëntatie van de zender aan te passen.

Bij klassieke ToF-scansystemen is de maximale frequentie waarmee een puls of straal wordt uitgezonden beperkt. De scanner kan maar een nieuwe puls uitzenden nadat de echo van de voorgaande puls is ontvangen. Hierdoor wordt verwarring bij terugkerende pulsen vermeden (Van Genechten et al., 2008). Moderne systemen maken nu al reeds gebruik van “fasecodering” bij het uitzenden van de puls, zo wordt de verwarring van terugkerende pulsen vermeden en neemt de snelheid voor dataverzameling toe. Het maximale bereik bij dit type scanners hangt af van de duur van de puls en zijn frequentie waarmee hij de puls uitstuurt.

Tot slot dient er nog vermeld te worden dat het aantal uitgezonden punten per seconde sterk varieert van toestel tot toestel. Een voorbeeld hiervan is de Leica C10 pulsscanner die tot 50.000 punten per seconde scannen.



Figuur 1: Principe van een ToF-laserscanner (Bron: Van Genechten et al., 2008)

2.1.1.2 Courante toestellen

Vandaag de dag bieden verschillende fabrikanten een Tof-scanner aan. De voornaamste zijn; Leica (P40), Trimble (X7) en Riegl (VZ-600i).



Figuur 2 : Beschikbare Time-Of-Flight laserscanners (Bron: Google)

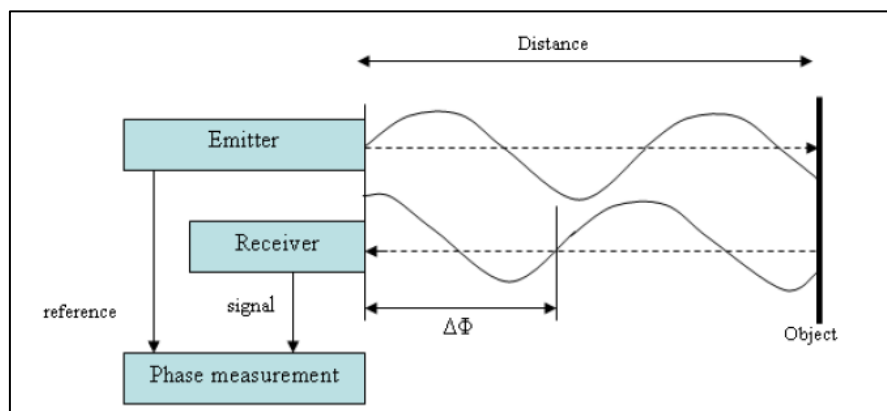
2.1.2 Laserscanning op basis van fasemetingen

2.1.2.1 Principe

Laserscanners op basis van fasemeting vinden hun werking door het gebruik van een continue, gemodelleerd signaal. Hierin zijn twee modulaties te onderscheiden; Amplitude gericht (AM) en Frequentie gericht (FM).

De laserstraal stuurt continue een amplitudegemoduleerd signaal uit waarbij het ontvangen, teruggekaatste, signaal vergeleken wordt op basis van een faseverschil door een elektronisch circuit. Hieruit kan men een tijdsverschil waarnemen en kan, net zoals bij een Tof-scanner, de afstand berekend worden.

Deze toestellen kunnen, bij sommige modellen, meer dan 1 miljoen punten per seconde scannen.



Figuur 3: Principe van een fase gebaseerde-laserscanner (Bron: Van Genechten et al., 2008)

2.1.2.2 Courante toestellen

Ook phase-based scanners bieden verschillende fabrikanten aan. De meest voornaamste voor deze zijn; Leica (HDS7000), Z+F (Imager 5016) en Faro (Faro Focus 3D).



Leica, HDS7000



Z+F, Imager 5016



Faro, Focus 3D

Figuur 3: Beschikbare Phase-based laserscanners (Bron: Google)

2.1.3 Wave Form Digitizing

2.1.3.1 Principe

Wanneer we echter een vergelijking maken tussen zowel een scanner met pulsmetingen als op fase gebaseerd zien we dat beide toestellen zowel voor-als nadelen heeft. Zo heeft een Tof-scanner een groter bereik dan een PS-scanner, maar een PS-scanner heeft dan een grotere snelheid dan een Tof-scanner. Beide types worden nog steeds bijgewerkt waardoor het verschil tussen beide types echter zeer klein wordt. Om van de voordelen van beide type scanners gebruik te kunnen maken is er een nieuwe techniek ontwikkeld met een combinatie van zowel pulsmetingen als fasemetingen. Deze techniek noemt men “*Wave Form Digitizing*”. Hiermee wordt dus een hogere nauwkeurigheid en mindere scantijd bereikt (Maar & Zogg, 2014). Dit type toestellen kunnen tot 2 miljoen punten per seconde opmeten.

2.1.3.2 Courante toestellen

Ook hier zetten fabrikanten erg op in zoals fabrikant Leica met zijn P40 (links) en RTC 360 (rechts).



Figuur 4: Beschikbare WFD-laserscanners (Bron: Google)

2.2 Mobile Terrestrische Laserscanning (MTLS)

Mobiele Terrestrische laserscanners kunnen worden omschreven als statische terrestrische laserscanners op een bewegend platform. Het doel is, net zoals bij de terrestrische scanner, het vastleggen van 3D-gegevens van objectvlakken door rekening te houden met volgende eisen; snelle gegevensverwerking, automatische registratie van 3D gegevens in een gemeenschappelijk coördinatensysteem en bijkomstig een hoge resolutie en nauwkeurigheid van de opgemeten punten. Deze systemen worden toegepast in verschillende uitvoeringen zoals; in de hand (handheld), op een rugzak, draagbaar op de schouders en zelf op een trolley.

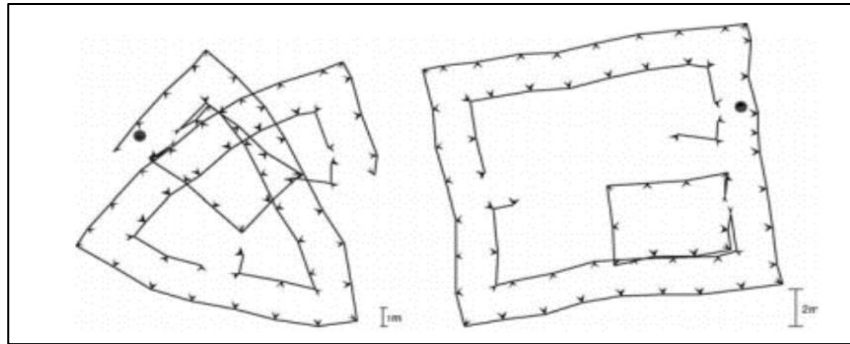
2.2.1 Principe

Zoals voorheen gezegd is rust het principe van een mobiele (dynamische) laserscanner op een statische scanner op een mobiel platform, waarbij dit ook de operator zelf kan zijn. Echter vereisen deze systemen een traagheidsmeeteenheid (IMU) en ontvanger(s) van het wereldwijde satellietnavigatiesysteem GNSS.

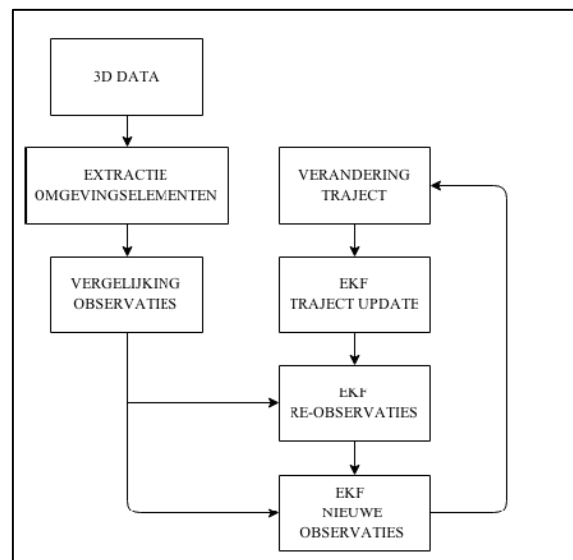
De door de mobiele laserscanner vastgelegde datapunten worden nauwkeurig gelokaliseerd door een combinatie van bijkomende positioneringssystemen als INS (Inertial Navigation System) en 3D simultane lokalisatie en mapping (SLAM). Aangezien het INS, die bestaat uit verschillende IMU's, fouten met zich meebrengt en daardoor vervorming teweegbrengt worden de metingen gecombineerd met het SLAM-algoritme waarmee de zes vrijheidsgraden (translatie en rotatie) en beweging van de sensor nauwkeurig kunnen geschat worden.

2.2.1.1 Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)

Het SLAM-algoritme maakt gebruik van de vooraf opgemeten omgevingselementen om zo de positie van de mobiele scanner te bepalen. Dit algoritme bepaalt zowel het gevolgde traject van de mobiele scanner gelijklopend met de data-acquisitie. Hierdoor wordt de verkregen 3D-data meteen geregistreerd binnenin de ruimte (Bosse et al., 2012). De basis van dit algoritme vinden we terug in de Extended Kalman Filter (EKF), wat de trajectaanpassing bepaalt op basis van herkende elementen in de omgeving. Om een acceptabele globale nauwkeurigheid te verkrijgen, wordt bij SLAM meestal gewerkt volgens data-acquisitie in een gesloten kring of 'closed loops' (figuur 5). Een schematische voorstelling van het SLAM algoritme is terug te vinden in onderstaande figuur 6.



Figuur 5: Geïntegreerde meetgegevens, voor (links) en na het sluiten van de kring (rechts)



Figuur 6: Principe SLAM

2.2.2 Courante toestellen

Ook binnen de mobiele laserscanners bestaan veel soorten waar tal van fabrikanten dan ook graag op inspelen. De voornaamste zijn; Leica, NavVis, GeoSLAM, en Viametris.



BLK2GO (Leica)



VLX (NavVis)



ZEB (GeoSLAM)



BMS3D-HD (Viametris)

Figuur 7: Beschikbare Mobile laserscanners (Bron: Google)

3. Data-acquisitie

Om het onderzoek te kunnen uitvoeren werd, in samenwerking met landmetersbureau Opsomer, data ingewonnen met zowel een statische terrestrische laserscanner (STL) alsook met een mobiele terrestrische laserscanner (MTL) beiden van de fabrikant Leica. Omdat de markt de laatste tijd dusdanig veel inzet op mobiele laserscanners zal er een bijkomend onderzoek gedaan worden tussen twee mobiele laserscanners van fabrikant Leica en NavVis.



RTC 360, Leica [STL]

BLK2GO, Leica [MTL]

VLX, NavVis [MTL]

Figuur 8: Gebruikte toestellen (Bron: Google)

3.1 Gebruikte software

Hieronder bespreken we kort via welke software de ingewonnen data wordt verwerkt en met welke software de snedes aangemaakt worden om de vergelijking tussen verschillende datasets te kunnen maken. Het dient op te merken dat voor het luik “verwerken van de opgemeten data” dit dezelfde software is, eigen aan de fabrikant. Echter voor het aanmaken van snedes, met als doel opmaken van architectuurplannen, zijn verschillende software mogelijk. Hier bespreek ik enkel de software die gebruikt werd om tot een duidelijke vergelijking te komen.

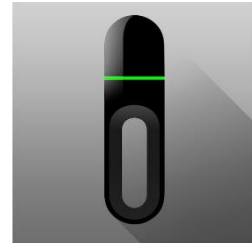
3.1.1 Leica producten

Na het inwinnen van de data aan de hand van de statische scanner is er nog niet meteen een bruikbare puntenwolk ter beschikking. Deze , wat men noemt ruwe scandata, dient dus eerst verder verwerkt te worden tot een bruikbare puntenwolk. Hier dien zeer veel aandacht aan besteed te worden bij het “linken” van verschillende scanopstellingen en toewijzen van gebruikte “targets”. Hiervoor wordt het programma Leica Register 360 aangeboden door de fabrikant.



Echter kunnen bij een statische scanner al reeds voorafgaand scanposities gekoppeld worden via de applicatie. Via de software bekomt men dan al reeds een eerste puntenwolk die verder dient gekoppeld te worden in de software om een zo hoog mogelijk nauwkeurigheid te behalen met behulp van targets.

Als we kijken naar het verwerken van de data afkomstig van de mobiele scanner kunnen we aan de hand van de app “BLK2GO Live” de meting meevolgen. Hier dienen we vanzelfsprekend geen scanposities te koppelen en verkrijgen we bij het inladen van de data één puntenwolk. De verdere verwerking gebeurt echter ook verder in de software Leica Register 360.



3.1.2 NavVis product

In tegenstelling tot tijdrovende verwerking bij de Leica producten is de verwerking van de data afkomstig van de VLX zeer snel en efficiënt. Bij NavVis maken zij gebruik van een cloud namelijk NavVis IVION. Wanneer de data ingewonnen is dient deze via de aangewezen stappen. Hier is het ook mogelijk om puntenlijsten toe te voegen die gekoppeld worden aan de targets die ingemeten werden en externe puntenwolken afkomstig van andere instrumenten die samengevoegd kunnen worden. Wanneer alles opgeladen is wordt deze verder softwarematig verwerkt waarbij ook meteen de tijd die nodig is wordt meegedeeld. Nadat de puntenwolk verwerkt is kan men daar meteen verdere aanpassingen in doen en tot slot een export maken om bijvoorbeeld snedes te genereren.



3.1.3 Verwerking van snedes

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende soorten scanners maken we gebruik van de software PointCab Origins. Deze software heeft tot doel het binnentrekken van puntenwolken om vervolgens gewenste snedes aan te maken zodat met 2D producten kan afleveren, waaraan men in Vlaanderen nog steeds aan vasthoudt.

Het valt echter op te merken dat Pointcab een zeer gebruiksvriendelijke interface is met een no-nonsense strategie.



4. Methodologie

Deze essay heeft als doel een inzicht te bieden in het verschil tussen statische en mobiel laserscanners en hun specifieke doeleinden. Om een zo goed als mogelijk antwoord te kunnen bieden worden twee datasets bekeken waarbij eenzelfde site zowel met een Statische Terrestrische Laserscanner en Mobiele Terrestrische laserscanner wordt opgemeten. Daarnaast wordt ook de recente literatuur nagekeken waarbij de bevindingen al dan niet gestaafd kunnen worden. Tot slot wordt een vraagstelling gehouden met een expert in het gebruik van laserscanning omtrent zijn inzichten bij het scannen van zowel mobiele als statische laserscanners.

De opzet van de opmetingen worden in deze essay niet besproken. Enkel de verwerving en verwerking van de data wordt in detail behandeld.

4.1 Nauwkeurighedsanalyse

Om een analyse uit te voeren naar de verschillen in nauwkeurigheid tussen de gekozen systemen werden metingen uitgevoerd in dezelfde omstandigheden en hetzelfde gebouw. Hierbij werden datasets reeds beschikbaar gesteld voor zowel de statische- als dynamische laserscanners.

4.2 Architectuurmeting met mobiele laserscanners

Met de toenemende populariteit van Building Information Modelling (BIM) is het inwinnen en modelleren van data op bestaande bouwwerken daaruit mee gegroeid. BIM heeft tot doel een betere samenwerking tussen verschillende partners in de bouwsector te bieden bij het realiseren van nieuwe bouwwerken of bestaande bouwwerken waaronder renovatie. Hier wordt aan de hand van literatuur en rondvraag bij Landmeter-Experten onderzoek naar verricht.

4.3 Gebruik van mobiele laserscanners in de bouwsector

Ook in de bouwsector wordt meer en meer beroep gedaan op laserscanners, dit zowel binnen de civiele, residentiële of commerciële projecten. Door het gebruik van laserscanning in de bouw speelt men vooral in op kostenbesparing en veiligheid. Men verkrijgt meer dan nodig en men kan hiermee op niveau van time-management de planning beter afstellen. Echter zijn hieraan ook aandachtspunten en negatieve aspecten verbonden waar de Landmeter-Expert bij aanschaffing zeker rekening moet houden.

5. Onderzoek en resultaten

5.1 Nauwkeurighedsanalyse

Om een nauwkeurighedsanalyse uit te voeren zullen we, zoals besproken in punt 4.1, een dataset van drie toestellen bekijken en vergelijken. Hierbij werd eenzelfde gebouw ingemeten waarbij er duidelijke verschillen zichtbaar zijn. We beperken ons hier echter tot nazicht van de verkregen data en gaan deze toestel per toestel bespreken.

5.1.1 Nauwkeurighedsanalyse RTC360 en BLK2GO

5.1.1.1 Leica product RTC360

Als statische scanner maken we gebruik van de RTC360 van de fabrikant Leica. Hierbij werd de kathedraal in Ieper ingemeten. We kunnen zien dat bij de verkregen puntenwolken van de statische scanner een dichte wolk ontstaat die volledig is een hoge kwaliteit. In de specificatietabel (bijlage 1) kunnen we afleiden dat de nauwkeurigheid van deze scanner $\pm 1,9\text{mm}$ bedraagt op 10m afstand en maximaal 5,3mm op een afstand van 40m. Deze scanner 2.000.000 punten per seconde wat een verklaring geeft voor een dichte wolk met hoog detail. Tot slot kunnen we bemerken dat er foto's in HDR genomen worden. Dit zorgt voor een gepaste kleur en duidelijk detail.



Figuur 9: Puntenwolk kleur scanner (links) en panoramisch beeld in HDR (rechts)

5.1.1.2 Leica product BLK2GO

Als dynamische scanner maken we gebruik van de BLK2GO eveneens van fabrikant Leica. Hier werd dezelfde kathedraal opgemeten. Hier zien we een minder dense puntenwolk die niet volledig is en op het eerste zicht minder kwaliteit bevat. In de specificatietabel (bijlage 2) kunnen we afleiden dat de nauwkeurigheid van deze scanner +/- 1cm bedraagt. Deze scanner 420.000 punten per seconde wat een verklaring geeft voor een minder dense wolk met geen/weinig detail. Deze dynamische scanner heeft vier ingebouwde camera's maar bevatten een lagere resolutie en kunnen geen panoramische beelden maken in HDR.



Figuur 10: Puntenwolk kleur scanner (links) en panoramisch beeld (rechts)

5.1.1.3 Besluit

Als we beide datasets vergelijken kunnen we toch stellen dat op basis van detail de RTC360 de koploper is. We zien meer detail in de dataset van de RTC360. Ook het beeldmateriaal bij de RTC360 is zichtbaar veel duidelijker, wat zeer belangrijk is in kader van erfgoed archivering. Uit onderzoek blijkt dat de dynamische scanner gevoeliger is aan ruis en een lagere dichtheid van puntenwolk heeft. Daarnaast is de BLK2GO niet geschikt voor detailmetingen. Desondanks is dit toestel zeker geschikt voor mapping waar geen grote nauwkeurigheid vereist is (Lau Jit Sung et al., 2022). Als we dan echter kijken naar de duur van scannen merken we een toch een verschil op. Bij de BLK2GO werd de opmeting in +/-10 minuten voltooid, waarbij dit bij de RTC360 echter +/- 60 min duurde.

5.1.2 Nauwkeurighedsanalyse RTC360 en VLX

Omdat er binnen het landmeetbureau nog een andere dataset van een ander type dynamische scanner beschikbaar was leek het handig om ook een analyse te maken van deze scanner. Hierbij werd een appartementsgebouw opgemeten en zullen we de verkregen data bekijken en analyseren. Hieruit kunnen we nagaan of ook bij dit type mobiele scanner hetzelfde verschil voorkomt met de statische scanner, zijnde de Leica RTC360. Hier werd de data geïmporteerd in de software PointCab om de puntenwolk te analyseren. Let op hier werd louter op visueel vlak de bevindingen vermeld. De nauwkeurigheid van de puntenwolk hangt echter af van meerdere factoren zoals invalshoek tussen laserstraal en oppervlakte en de inwendige telemeter (Loux en Van der Elst, 2014).

5.1.2.1 Leica product RTC360

Als we de puntenwolk van de statische scanner evalueren kunnen we bevestigen dat ook hier terug een dichte puntenwolk verkregen is. Deze opmeting werd niet in kleur gescand en is bijgevolg dus enkel in zwart-wit. De nauwkeurigheid bij de RTC360 bedraagt 1,9mm op 10m waarbij hier dus een zeer grote graad van detail is. Dit kunnen we ook zien op onderstaande afbeeldingen, gegenereerd in PointCab Origins. Op de panorama foto zien wij hier duidelijk dat het gebouw in detail is gescand alsook het gebouw op de achtergrond zeer goed zichtbaar is opgemeten. Het bereik van deze scanner is dan meteen ook één van de sterke punten van deze scanner. De bestandsgrootte voor deze opmeting bedraagt 35Gb. Het valt dus zeker aan te kaarten dat een krachtige processor vereist is met de nodige grafische kaart.



Figuur 11: Puntenwolk RTC360 in PointCab Origins

5.1.2.2 NavVis product VLX

NavVis VLX is een recente mobiele laserscanner die, zoals de BLK2GO, op basis van SLAM-technologie werkt. Dit type mobiele scanner wordt op de schouders gedragen en scant de omgeving in via 2 LIDAR-scanner die zich op het toestel bevinden. Daarbij werken de camera's met de scan mee zodat de puntenwolk steeds in kleur beschikbaar is. Daarnaast zorgt dit er ook voor dat er 360° foto's beschikbaar zijn waardoor het gebruik van de viewer zeer aangenaam is. Het voordeel hier met bijvoorbeeld de BLK2GO is dat het koppelen van de scandata volledig autonoom in de cloud gebeurt. Hierdoor wordt echter veel tijd en dure hardware uitgespaard (Navvis.com).

Wanneer we echter naar de puntenwolk kijken kunnen we concluderen dat deze een relatief dichte wolk voorgesteld en wordt, zoals vele onderzoeken ook aangeven, deze in kleur gevisualiseerd met een aanzienlijke graad van detail. Echter dient hier opgemerkt te worden dat het bereik van deze scanner beduidend lager ligt dan bij de statische scanner. Dit is dan ook te zien op onderstaande afbeelding. De fabrikant geeft hier een nauwkeurigheid van 6mm op. Deze opmeting heeft bijgevolg een bestandsgrootte van 3,5Gb en is zeer goed verwerkbaar met een relatief goed uitgeruste pc.



Figuur 12: Puntenwolk VLX in PointCab Origins

5.1.2.3 Besluit

We kunnen dus besluiten dat de puntenwolk van de mobiele scanner relatief hoge nauwkeurigheid en visualisatie biedt. In vergelijking met de BLK2GO scanner zien we toch een zeer groot verschil naar mate de dichtheid van de puntenwolk. De bestandsgrootte speelt hier zeker ook een grote rol in de verwerking en visualisatie. Het autonoom scannen in kleur bij de NavVis VLX is toch wel een handig gegeven zonder

dat hiervoor extra tijd mee gepaard gaat. Om een voorbeeld te geven bij de RTC360 komt hier al meteen een extra minuut bij per opstelling. Als we echter de vergelijking maken met de nauwkeurigheid en detail dient toch vermeldt te worden dat ook hier de statische scanner, RTC360, een grotere nauwkeurigheid biedt. Deze vergelijking kunnen we zeker zien in de afbeeldingen hieronder. Een mogelijke reden hiervoor is het aantal punten die toestel meet. De RTC360 meet 2.000.000 punten per seconde, de VLX echter twee maal 300.000 punten per seconde. Ook de snelheid waarmee men een voorwaartse beweging maakt kan de nauwkeurigheid beïnvloeden. (Bolkas et al., 2022)



Figuur 13: Panorama RTC360 (links) en panorama VLX (rechts)

Een groot struikelblok, die ikzelf ervaren heb tijdens mijn stage, is de invloed van de temperatuur. Bij beide komt dit natuurlijk niet te goede maar de mobiele scanner heeft hier duidelijk meer moeite mee. (Boehler et al.,2003)

5.2 Architectuurmeting met laserscanner

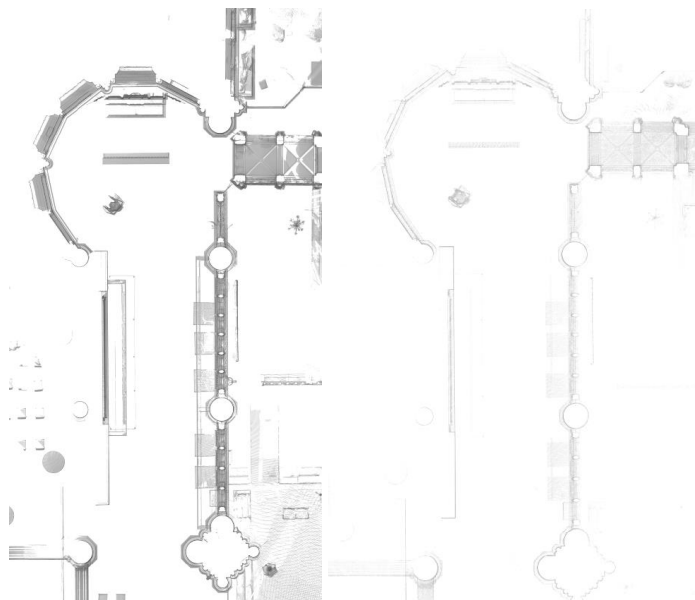
Visualisatie en nauwkeurigheid zijn uiterst belangrijk in het proces naar aanmaken van snedes en zichten. Zeker in de wereld van BIM (Building Information Modelling). Architectuurmetingen in zijn geheel is een tijdrovende opdracht voor de Landmeter-Expert. Dit door de vele ruimtes in een gebouw en men verplicht is om doorheen het gebouw te polygoneren zowel met totaalstation als met de statische terrestrische laserscanner. Hierdoor is een mobiele scanner zeer efficiënt naar tijd en dataverzameling. Denk maar aan kleine openingen of hoeken waar je met uw statische scanner of totaalstation niet bij kan.

Architectuurmetingen worden, ondanks de sterke innovatie naar 3D, nog steeds in twee dimensionele (2D) plannen gevraagd. Dit is nog steeds een tijdrovend werk om vanuit aangemaakt snedes een grond- of

zichtplan te verwerken. Hieronder wordt een vergelijking gemaakt tussen een grondplan van een statische scanner (RTC360) en een dynamische scanner (BLK2GO).

5.2.1 Architectuurmeting met RTC en BLK2GO

De snede is aangemaakt met dezelfde software, zijnde PointCab Origins. Als we onderstaande snede vervolgens in een tekenprogramma inladen zien we grote verschillen. We zien hier duidelijk meer detail in de linkse snede waarbij de muren goed en duidelijk verwerkt kunnen worden. Wanneer we echter naar de rechtse snede kijken zien we zeer weinig detail en zijn bijkomstig de muren minder zichtbaar. Naar zekerheid toe in verwerking geniet de statische scanner hier nog steeds de voorkeur. Afhankelijk van het gewenste detail en de gewenste nauwkeurigheid is de mobiele scanner zeker ook een goede optie.



Figuur 14: Grondplan RTC360 (links) en grondplan BLK2GO (rechts)

5.3 Vraagstelling landmeetbureau

Binnen het landmeetbureau werd aan de collega's ook nagegaan wat hun bevindingen zijn bij het gebruik van 3d laserscanning en welke de voor- of nadelen zijn tussen het gebruik van statische of mobiele laserscanners. Deze bevindingen zullen als voor-argument of tegenargument gebruikt worden in de sectie discussie.

6. Discussie

6.1 Mobiele laserscanners bieden een snellere en nauwkeurige manier dan statische laserscanners om 3D-data te verzamelen

Het is duidelijk dat laserscanners niet meer weg te denken zijn in de landmeterswereld. Hier zijn alle landmeters het over eens. Ook fabrikanten weten dit en spelen hier massaal op in. Daardoor wordt dan ook veel onderzoek verricht naar de verschillen in terrestrische en mobiele laserscanning in verschillende vakdomeinen.

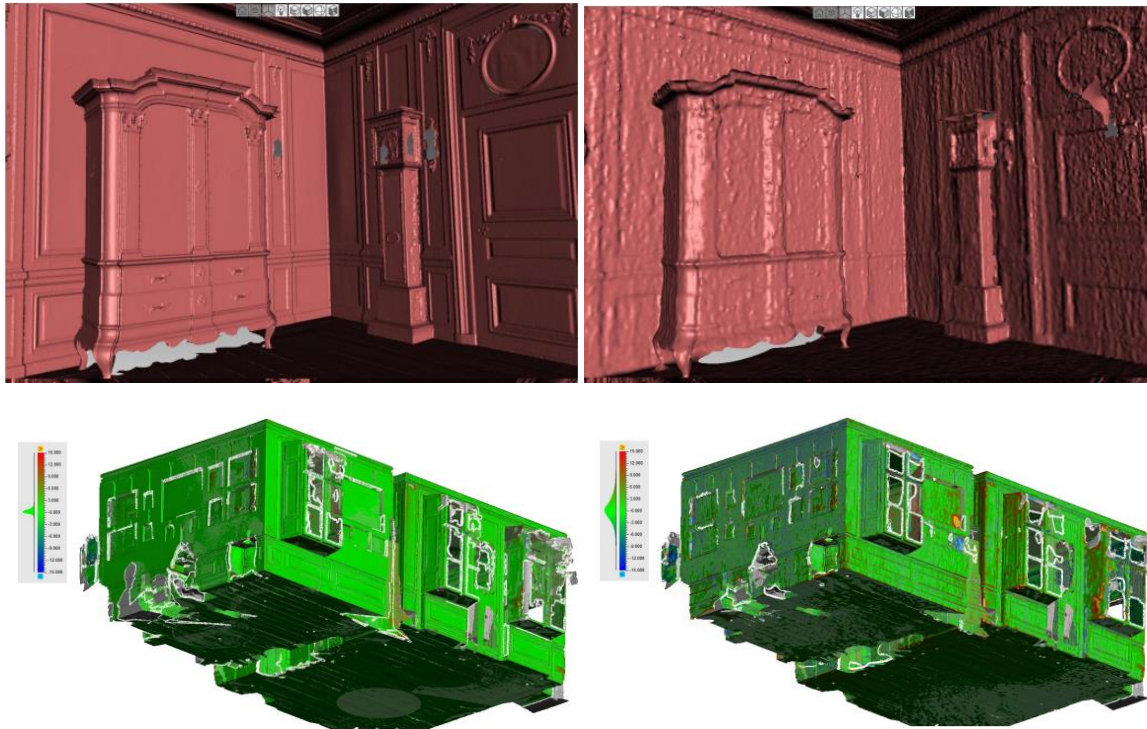
6.1.1 Voor-argumenten

Ten eerste blijkt uit het praktijkonderzoek van Yannick Vandebroek (2016) dat mobiele laserscanners een grote meerwaarde hebben om op een snelle manier driedimensionale data te verzamelen. Hoewel ze een toegeving moeten doen in nauwkeurigheid zijn ze een grote verbetering bij de efficiëntie en daarbij ook de uiteindelijke kostprijs van een project (Stal et al, 2020). Bijkomend bezit een mobiele laserscanner een IMU en GNSS systeem waardoor de plaatsbepaling automatisch bepaalt wordt. Hierbij is het echter belangrijk om een gesloten kring te maken zodoende drift op de IMU voorkomen. De minimale distorsie wordt dan eveneens weggewerkt door het SLAM-algoritme.

Ook het onderzoek van Cabo et al.(2018) bevestigt dat mobiele laserscanners een grote meerwaarde zijn naar efficiëntie met een toegeving in nauwkeurigheid. Echter blijkt dat ieder systeem van mobiele laserscanners apart dient beschouwd te worden omdat zowel de hardware als software een eigen specifieke configuratie hebben. In deze studie werden drie mobiele scanners getest die telkens een andere uitkomst hadden. We kunnen stellen dat er geen eenduidig antwoord is op de vraag welk mobiele scanner de nauwkeurigste is aangezien dit afhankelijk is van het bereik van de scanner die nodig is om het oppervlak te scannen.

Ervaringsdeskundigen bevestigen eveneens dat een mobiele laserscanner het proces van dataverzameling aanzienlijk versnelt. In vergelijking met een statische scanner kan dit minimaal de helft van de tijd bedragen. Daarbovenop is, afhankelijk van het soort systeem, naar naverwerking toe uiterst gemakkelijk zoals bij de NavVis VLX. Echter zijn verschillende externe factoren zeker in acht te nemen bij het gebruik van een mobiele scanner zoals invloed van het weer, het bereik en LOD (Level Of Detail). Ook bij punt 5 zien we in de data aanzienlijke verschillen in nauwkeurigheid en dichtheid van de wolk.

Tot slot blijkt echter uit onderzoek van Hageus (2020) dat, alhoewel de mesh van de puntenwolk zeer veel ruis bevat, de geometrie van een BLK2GO (dynamische scanner) zeer goed overeen komt met de geometrie van de RTC360 (statische scanner). Hier werd het onderzoek vergeleken met een andere statische laserscanner (Faro Fokus) waarbij de resultaten van beide scanners identiek waren.



Figuur 15: Mesh en hoogtemodel RTC360 (links) en BLK2GO (rechts) (Bron: Hageus, 2020)

6.1.2 Tegenargumenten

Wat in ieder onderzoek terugkomt is meteen ook wel een eerste tegenargument wanneer met het heeft over de nauwkeurigheid van een mobiele scanner. Alhoewel mobiel laserscannen een snellere en efficiënte manier is, is er toch een aanzienlijk lagere nauwkeurigheid (Hageus, 2020).

Daarnaast kunnen we over ons eigen praktijkonderzoek (punt 5) stellen dat naast het feit dat er met een statische scanner een hogere nauwkeurigheid behaald wordt, ook het bereik een stuk hoger ligt. Dit geeft als gevolg dat er een grotere veiligheid is bij opmeting op de werf en men over bijkomende informatie beschikt wanneer er bijvoorbeeld extra opleveringen van de klant gevraagd worden (denk maar aan gabarit van de buur).

Tot slot blijkt uit het onderzoek van Widyastuti et al., (2022) dat mobiele laserscanners een grotere RMSE-waarde (Root Mean Square Error) weergeven. Dit werd vergeleken met de punten gemeten door een totaalstation. Deze fouten waren vooral te wijten aan metingen met hoogteverschillen.

Ook hier dient et vermeld te worden dat dit niet voor iedere mobiele scanner van toepassing is. De technologie staat echter niet stil en onderzoek zijn volop bezig om ook deze fouten doormiddel van algoritmes te voorkomen.

Uit eigen ervaring kan ik nog meegeven dat ook het gebruik van een statische scanner een voordeel biedt bij bepaalde weersomstandigheden. Daarmee wil ik zeggen dat dit ook in buitenomgeving kan gebruikt worden bij regenweer. Bij een mobiele scanner is dit echter niet aan te raden (vanuit de fabrikant zelf) omdat de kans op reflectie en ruis groter is met een minimaal aan bereik.

6.2 De beperkingen van laserscanners als tegenargument

Laserscannen in zijn geheel vindt ook tegenstanders. Huber et al., (2010) merkt op dat bij het lezen van productliteratuur voor commerciële laserscanners men kan concluderen dat deze apparaten perfect zouden werken voor de detectie van alle oppervlaktes. In werkelijkheid hebben laserscanners moeite met het scannen van veel soorten oppervlaktes, waaronder laag reflecterende oppervlaktes (zwart geschilderde oppervlaktes), speculaire oppervlaktes (spiegels) en transparante oppervlaktes (ramen). Ook dient er steeds aandacht besteed te worden want ook bij goedaardige oppervlakten kunnen artefacten optreden. In dit onderzoek worden 2 bekende problemen bij laserscanners uiteen gelegd. Een eerste probleem is de “mixed pixels” detectie waarbij het gebruikte algoritme structuren doet ontstaan die er niet zijn en veroorzaken daardoor zeer grote fouten in een gemodelleerd oppervlak. Ten tweede zijn er fantoommetingen die niet overeenkomen met het fysieke oppervlak bij dieptegrenzen, waarbij dus de nauwkeurigheid van de meting beïnvloed wordt. Voor deze problemen zijn natuurlijk oplossingen voor handen, maar door het softwarematige is dit natuurlijk een zeer groot aandachtspunt wat je niet altijd zelf in de hand hebt.

Daarnaast legt ook Pflipsen (2006) enkele pijnpunten in het laserscannen bloot. Hier werd onderzoek gedaan naar de beste methode om een volume meting uit te voeren. Hiervoor werd dit met een traditioneel totaalstation en een laserscanner uitgevoerd. Hier kwam uit voort dat het opmeten van een volume (400m³) een aanzienlijk grote dataset met zich mee brengt. Dit resulteert in de nood aan een krachtige processor en grafische kaart. Daarbij komt dat bij de laserscanning het nodig was om het aantal punten te reduceren

waardoor nauwkeurigheid ook zal afnemen. Naast de nood aan een krachtige processor is het ook zo dat een laserscanner een grotere kostprijs met zich meedraagt in vergelijking met een totaalstation. Daarbij is de verwerking vele malen sneller bij de opmeting met totaalstation. Het is echter de vraag welk toestel juist is voor welke opdracht. Hieruit kan ik alvast concluderen dat een laserscanner niet gemaakt is om een volumemeting uit te voeren.

Tot slot kan ik door opgedane ervaring en rondvraag bij andere landmeters ook opmaken dat laserscannen op zich een gemakkelijk taak is. Echter moet dit met een korreltje zout genomen worden. Zo is het scannen op de site ook een kunst en vereist dit de nodige ervaring om met een statische terrestrische scanner elke hoek van het gebouw op te meten. Als we echter kijken bij het gebruik van een mobiele is dit vele malen efficiënter (geen constante verplaatsing van de driepikkel en in sommige gevallen het ook niet hoeven waterpas plaatsen van de scanner) maar struikelen we dan op interne problemen waardoor bijvoorbeeld drift en vervorming kan optreden. Wanneer de opmeting dan volbracht is kan ook niet meteen nagekeken worden of alles daadwerkelijk correct is opgemeten. Er is wel degelijk een applicatie waarbij je de verkregen data kan zien, maar omwille van grote bestandsgrootte wordt maar 20% van de data voorgesteld. Wanneer men data van een degelijke bestandsgrootte wil verwerken neemt dit ook een grote verwerkingstijd in beslag. In tegenstelling met totaalstation en toegepaste codering kan men meteen de meting bekijken en heeft men zelf controle over wat is opgemeten en wat niet. Natuurlijk wordt dit bij een architectuurmeting een grote opdracht in functie van polygoneren en targets plaatsen. Zonder de spreken over het meten op moeilijk bereikbare plaatsen (Stal et al, 2020; Grimonprez, 2021).

6.3 Conclusie

Alle argumenten in overweging genomen kan ik mij perfect aansluiten bij het feit dat het belangrijk is zich voorafgaand goed de vraag te stellen welke opdracht men moet uitvoeren en dan pas op basis hiervan de overweging maken om een laserscanner te gebruiken (of aan te kopen). Het spreekt voor zich dat dit een uiterst duur toestel is die het werk van de landmeter, op het werkveld althans, zeer vergemakkelijkt. Aan de andere hand is het bij de verwerking van de verkregen data zeer belangrijk om over een krachtige pc en software te beschikken wat ook een kost met zich meebrengt. Wanneer men de aandachtspunten van het scannen, is het nu statisch of dynamisch, kent kan met als landmeter zeker nauwkeurige metingen uitvoeren. Daarbij komt ook dat ook de producenten alles in werk zetten om de software zo te ontwerpen dat deze ook geschikt wordt voor minder krachtige computers. (wat zeker niet altijd ten goede komt!)

7. Besluit

Als besluit kan ik dus stellen dat de keuze om een laserscanner te gebruiken zeker in overweging genomen moet worden met de daarvoor voorzien opdrachten. Wanneer men de keuze moet maken tussen een statische en dynamische scanner kan ik besluiten om de keuze te maken van een statische. Ook al neemt dit meer werk in beslag op de site, toch biedt dit meer voordelen dan met een mobiele. Zo is er een groter bereik en betere nauwkeurigheid. Daarnaast is er meer controle bij de verwerking om bepaalde opstellingen al dan niet te gebruiken.

Toekomstgericht ben ik me er zeker van bewust dat de mobiele scanners de bovenhand zullen nemen. Momenteel wordt er dan ook zeer veel onderzoek naar gevoerd om de verwerking automatisch te laten verlopen en nauwkeuriger resultaat te behalen, zoals het geval is met de NavVis VLX, die naar mijn mening toch een uitschieter is als we dit vergelijken met andere mobiele terrestrische laserscanners.

8. Referentielijst

- A. Bienert, L. Georgi, M. Kunz, H. Maas, G. von Oheimb (2018) "*Comparison and Combination of Mobile and Terrestrial Laser Scanning for Natural Forest Inventories* "
- B. Van Genechten, H. Caner, R. Poelman, E. Heine, J.L. Lerma, H. Reiner, J.M. Biosca Taronger, M. De Bruyne, M. Hankar (2008) "Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning – Training material based on practical applications". M. Santana Quintero, J.L. Lerma, E. Heine, B. Van Genechten (Eds.); Vlaams Leonardo Da Vinci Agentschap v.z.w. Valencia, Spanje, Universidad Politecnica de Valencia Editorial 2006–2008.
- C. Stal, J. Verbeurgt, L. De Sloover, A. De Wulf (2020) "*Assessment of handheld mobile terrestrial laser scanning for estimating tree parameters*"
- D. Bolkas, M. O'Banion, C. J. Belleman (2022) "*Combination of TLS and SLAM LIDAR for levee monitoring*"
- D. Huber, A. Burcu, P. Tang, A. Adan, B. Okorn, X. Xiong "*Using laser scanners for modeling and analysis in architecture, engineering, and construction*", April 2010.
- H. Maar, H. Zogg (2014) "*Wave from digitizer technology*"

L. Inigo, J.J. Pérez, M. Senderos (2020) “*Advanced Techniques for Fast en Accurate Heritage Digitisation in Multiple Case Studies*”

L.J. Sung, Z. Majid, M.F. Mohd Ariff, A. Firdaus Razali, R. Wong Chen Keng, M. Ariff Wook, M. Ikhwan Idris (2022) “*Assessing Handheld Laser Scanner for Crime Scene Analysis*”

L. Loux, N. Van der Elst (2014) “*Tijd gebaseerde terrestrische 3D laserscanners: onderzoek naar de positienuwkeurigheid van black-and-white targets en naar de invloed van de reflectiviteit, afstand en invalshoek op de geregistreeerde afstand*”

M. R. James, J. N. Quinton (2013) “*Ultra-rapid topographic surveying for complex environments: the hand-held mobile laser scanner(HMLS)*”

N. Grimonprez (2021) “*De toepassingen en efficiëntie van 3D-laserscannen*”

G. Petrie, C.K. Toth (2018) Boek: “*Topographic laser ranging and scanning*”

R. Widyastuti, A. Yusup Saptari, A. Rahman (2022) “*Registration of strategy of handheld scanner and terrestrial laser scanner integration for building utility mapping*”

S. Bauwens, H. Bartholomeus, K. Calders, P. Lejeune (2016) “*Inventory with Terrestrial Lidar: A comparison of static and hand-held mobile laser scanning*”

T. Grazia, D. Visintini, V. Bonora, E.I. Parisi (2018) “*Examination of Indoor Mobile Mapping Systems in a Diversified Internal/External Test Field*”

V. Lehtola, H. Kaartinen, A. Nüchter, R. Kaijaluoto, A. Kukko, P. Litkey, E. Honkavaara, T. Rosnell, M.T. Vaaja, J.P. Virtanen, M. Kurkela, A. El Issaoui, L. Zhu, A. Jaakkola, J. Hyypä (2017) “*Comparison of the Selected State-Of-The-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Generation Methods*”

Y. Vandenbroeck “*De mogelijkheden van draagbare driedimensionale data-acquisitiesystemen*”, Mei 2016

9. Bijlagen

- Bijlage 1: Datasheet RTC360, Leica

Leica RTC360 Product Specifications

GENERAL	
3D laser scanner	High-speed 3D laser scanner with integrated HDR spherical imaging system and Visual Inertial System (VIS) for real time registration
PERFORMANCE	
Data acquisition	< 2 mins for complete full dome scan and spherical HDR image at 6mm @ 10 m resolution
Real time registration	Automatic point cloud alignment based on real time tracking of scanner movement between setups based on Visual Inertial System (VIS) by video-enhanced inertial measurement unit
Double scan	Automatic removal of moving objects
SCANNING	
Distance measurement	High-speed, high dynamic time of flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1:2014), 1550 nm (invisible)
Field of view	360° (horizontal) / 300° (vertical)
Range	Min. 0.5 - up to 130 m
Speed	Up to 2,000,000 pts / sec
Resolution	3 user selectable settings (3/6/12 mm @ 10 m)
Accuracy*	Angular accuracy 18" Range accuracy 1.0 mm + 10 ppm 3D point accuracy 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m
Range noise**	0.4 mm @ 10 m, 0.5 mm @ 20 m
IMAGING	
Camera	36 MP 3-camera system captures 432 MPx raw data for calibrated 360° x 300° spherical image
Speed	1 minute for full spherical HDR image at any light condition
HDR	Automatic, 5 brackets
NAVIGATION SENSORS	
Visual Inertial System	Video enhanced inertial measuring system to track movement of the scanner position relative to the previous setup in real time
Tilt	IMU based, Accuracy: 3' for any tilt
Additional sensors	Altimeter, Compass, GNSS

OPERATION	
On scanner	Touch-screen control with finger touch, full colour WVGA graphic display 480 x 800 pixels
Mobile devices	Leica Cyclone FIELD 360 app for iPad or Android tablets including: - Remote control of scan functions - 2D & 3D data viewing - Tagging - Automatic alignment of scans
Wireless	Integrated wireless LAN (802.11 b/g/n)
Data storage	Leica MS256, 256 GB exchangeable USB 3.0 flash drive
DESIGN & PHYSICAL	
Housing	Aluminium frame and sidecovers
Dimensions	120 mm x 240 mm x 230 mm / 4.7" x 9.4" x 9.1"
Weight	5.35 kg / 11.7 lbs, nominal (without batteries)
Mounting mechanism	Quick mounting on 5/8" stub on lightweight tripod / optional tribrach adapter / survey tribrach adapter available
POWER	
Internal battery	2 x Leica GEB361 internal, rechargeable Li-Ion batteries. Duration: Typically up to 4 hours Weight: 340 g per battery
External	Leica GEV282 AC adapter
ENVIRONMENTAL	
Operating temperature	-5° to +40°C
Storage temperature	-40° to +70°C
Dust/Humidity***	Solid particle/liquid ingress protection IP54 (IEC 60529)



Leica Cyclone
FIELD 360



Leica Cyclone
REGISTER 360



Leica ScanStation
P50

LEICA BLK2GO

HANDHELD IMAGING LASER SCANNER

DESIGN & PHYSICAL

Housing	Black anodized aluminium
Dimensions	Height: 279 mm / Diameter: 80 mm
Weight	650 g (775 g including battery)
Transport cover	BLK2GO transportation case

OPERATION

Stand-alone operation	One-button operation
Mobile device	BLK2GO Live app for iOS and Android including: live 2D and 3D while scanning, device status and data management.
	iOS 12.1 or higher recommended devices: iPhone series 8, X, 11, 12 Android 9 or higher. Recommended devices: Samsung Galaxy series S10, S20, S21
Communication	Wireless (app connection)
Internal memory	24 hours of scanning (compressed data) / 6 hours (uncompressed data)
Battery	Exchangeable, rechargeable Li-Ion battery (Leica GEB821) 45-50 minutes

LiDAR & IMAGING

Laser class	1 (in accordance with IEC 60825-1)
Wavelength	830 nm
Field of view	360° (horizontal) / 270° (vertical)
Range	Min. 0.5 - up to 25 m
Point measurement rate	420,000 pts/sec
High resolution camera	12 Mpixel, 90° x 120°, rolling shutter
Panoramic vision system	3-camera system, 4.8 Mpixel 300° x 135°, global shutter

SYSTEM PERFORMANCE (GRANDSLAM BASED)

Range noise **	+/-3 mm
Accuracy indoor ***	+/-10 mm

ENVIRONMENTAL

Robustness	Designed for indoor and outdoor use
Operating temperature	0 to +40 °C
Dust & humidity protection	IP54 (IEC 60529)

DATA PROCESSING

Data transfer	Wireless and USB 3.0
Desktop software	Leica Cyclone REGISTER 360 and Cyclone REGISTER 360 (BLK Edition)

All specifications are subject to change without notice.
All accuracy specifications are one sigma unless otherwise noted.
*at 78% albedo
**environment dependent
***controlled environment (scan duration 2 minutes)
Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland 2019.

Apple and iPhone are trademarks of Apple Inc., registered in the U.S. and other countries.
iOS is a trademark or registered trademark of Cisco in the U.S. and other countries and is used under license.

Leica BLK
Geosystems

PRODUCT DATA SHEET

NavVis VLX

2nd generation



Physical

Design	Wearable
Dimensions (H × W × L)	108 × 33 × 56 cm
Weight	8.7 kg
Frame	Powder coated & anodized aluminum, carbon frame

System operation

Batteries	2 × 2 Li-ion V-Mount Micro, hot swappable
Operating time	1.5 hours (with 1 set of 2 batteries)
Storage	Portable SSD with 1 TB storage
Sensors	WiFi, Bluetooth, IMU
Field of view	360° horizontal, 360° vertical

Laser Scanners

Number of laser scanners	2 × 16-layer
Laser class	1, eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014
Wavelength	903 nm
Range	Max. 100 m
Points per second	2 × 300,000

Cameras

Number of cameras	4
Image resolution	4 × 20 megapixel
Focus	Fixed
Lens	Fisheye, 3.3 mm, aperture f/2.4

Accuracy

Accuracy of point cloud	6 mm in a dedicated test environment of 500 m ² ⁽¹⁾
Control point support	Ground and wall

Output

Images	JPEG
Point cloud	E57, LAS, PTS, XYZ, PLY

Environment

Operating temperature	0°C to 35°C extended temperature range -10° to 40° ⁽²⁾
Operating environment	Indoor and outdoor urban environments
IP classification	IP 42

Display

Type	AMOLED capacitive multi-touch display
Size	5.5"
Resolution	1080 × 1920

Transport Case

Dimensions (H × W × L)	43 × 54 × 82 cm
Weight (fully equipped)	24.8 kg
Weight (excluding batteries)	22.6 kg

⁽¹⁾ All accuracy statements are 1 sigma. More details on the dedicated environment and accuracy metric can be found in our whitepaper (navvis.is/accuracy)

⁽²⁾ may required warm up / cool down times