

Low-Cost-Workflow zum Laserscanning mit Smartphone und Tablet zur Effizienzsteigerung im Garten- und Landschaftsbau

Jonas Straub, Olaf Schroth

(Jonas Straub, jonas@garten-straub.de)

(Prof. Dr. Olaf Schroth, Hochschule Weihenstephan- Triesdorf, Am Weihenstephaner Berg 5, 85354 Freising, olaf.schroth@hswt.de)

1 ABSTRACT

Unter LIDAR (Light Detection and Ranging) Scanning wird eine Scanningmethode verstanden, welche auf Messung der Zeit zwischen Absenden und Auffangen des reflektierten Laserstrahls basiert (Petschek 2019). Die Technologie wird inzwischen in vielen Bereichen eingesetzt und ist unter anderem in einigen der neuesten Smartphones und Tablets seit 2020 verbaut. Aufgrund des niedrigen Investitionsaufwandes steht die Technologie der breiten Bevölkerung zur Verfügung und kann so auch von kleineren Firmen eingesetzt werden. Gerade für den Garten- und Landschaftsbau besitzt diese Technologie großes Potential, da die erreichbare Genauigkeit der Scans für die Planung im Garten- und Landschaftsbau ausreicht wie dieser Beitrag zeigt. Für kleinere Objektplanungen, z.B. ein Haus mit Garten wie hier im Beispiel, können die erforderlichen Flächen ausreichend mit den in mobilen Geräten verbauten low cost LIDAR-Scannern erfasst werden. Zudem sind die mobilen Endgeräte einfach zu bedienen.

Die Ergebnisse des Scans können deshalb zur Dokumentation, als Planungsgrundlage für die herkömmliche 2D-Planung sowie für die 3D-Planung verwendet werden und bieten dadurch einen großen Mehrwert.

Keywords: Digitalisierung im Handwerk, Nachhaltigkeit durch Effizienz, Effizienzsteigerung, Low Cost, LIDAR Scanning

2 GENAUIGKEITSBETRACHTUNGEN FÜR LASERSCANNER IN MOBILEN GERÄTEN

Für eine Verwendung des Scanners im Arbeitsalltag spielt dessen Genauigkeit eine entscheidende Bedeutung. Da die Begrifflichkeiten Genauigkeit, Präzision und Richtigkeit oftmals unterschiedliche Verwendung finden, werden sie für die weitere Verwendung folgendermaßen entsprechend ihrer Verwendung in der Vermessungskunde definiert:

	Richtigkeit	Präzision	Genauigkeit
englisch	trueness, accuracy of the mean	precision	accuracy
Aussage	Abstand des Mittelwerts vom Referenzwert	Streuung von Einzelwerten um den Mittelwert	Abstand eines Einzelwerts vom Referenzwert
-	Lageparameter	Streuparameter	beides
-	Datensatz	Datensatz	Einzelwert
Fehlerart	Systematische Fehler	Zufällige Fehler	beide
Kenngroße	Mittelwert	Standardabweichung	-

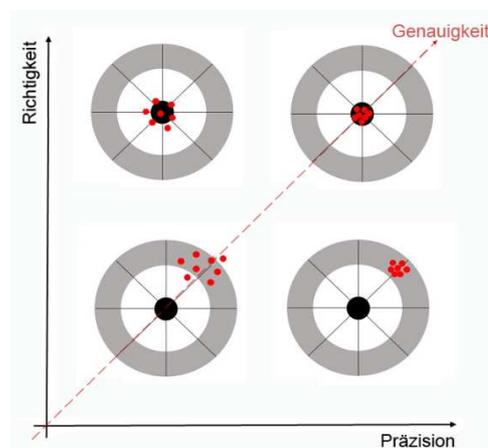


Abbildung 1: Abgrenzung, Zusammenhänge und zugrunde liegende Fehlerarten der Begrifflichkeiten Richtigkeit, Präzision und Genauigkeit (Quelle: <https://mpl.loesungsfabrik.de/blog/methodenvalidierung/richtigkeit-genauigkeit-precision>; Abgerufen am 19.09.2022)

Die Präzision gibt damit den zufälligen Fehler einer Reihe von Messungen an, wohingegen die Richtigkeit ein Maß für systematische Fehler ist. Die Genauigkeit ergibt sich aus der Kombination von Richtigkeit und Präzision.

Es existieren bereits einige Untersuchungen und Messungen im Zusammenhang mit der Präzision und Anwendbarkeit des LIDAR-Scanners in verschiedenen Szenarien, welche zunächst vorgestellt werden. Bei einer Untersuchung der Fähigkeiten des Scanners im Rahmen einer Architekturaufnahme (Spreatico et al., 2021) wurde festgestellt, dass die erzeugten Ergebnisse eine nach den allgemein anerkannten italienischen Standards (Präzision ± 2 cm, Genauigkeit ± 4 cm,) ausreichende Genauigkeit für die Kartierung im Maßstab 1:200 haben. Das iPad wurde somit als vielversprechend im Rahmen von architektonischen Vermessungen bezeichnet, da es tragbar, kostengünstig, schnell und einfach zu bedienen ist.

In Gollob et al. (2021) wurde die Technologie im Hinblick auf die Waldinventur untersucht, mit dem Ergebnis, dass die App „3D- Scanner Pro“ mit einer Erkennungsrate von 97,3 % für die Anwendung am besten geeignet ist. Bedeutend sind außerdem die Messungen von Díaz Vilariño et al. (2022), welche die Präzision beim mobilen Kartieren von Indoor und Outdoorbereichen untersucht haben. Hierbei wurde auch die App „3D- Scanner Pro“ verwendet, wobei sowohl im Indoor- als auch im Outdoorbereich ähnliche gute Genauigkeiten erreicht werden konnten.

Bei Messungen im Rahmen der Geowissenschaften wurden festgestellt, dass kleine Objekte mit einer Genauigkeit von ± 1 cm erfasst werden, während größerflächige Bereiche ($130 \times 15 \times 10$ m) mit einer Genauigkeit von ± 10 cm abgebildet werden können (Luetzenburg et al, 2021). Bei einer Untersuchung der relativen Genauigkeit der Scandateien ist R.Tamimi zu dem Ergebnis gekommen, dass pro 200 Feet (60.96 m) ein Foot (0.30m) Abweichung zu erwarten ist (Tamimi, 2022).

3 SOFT- UND HARDWARE

Für die Erstellung der Scans wurde ein iPad Pro der zweiten Generation verwendet. Generell sind LIDAR Scanner nur in den iPad und iPhone Pro Geräten seit 2020 verbaut. Unterschiede der Scanner zwischen den einzelnen Geräten konnten bislang nicht festgestellt werden. (Luetzenburg et al, 2021)

Genaue technische Daten wurden bisher nicht von Apple veröffentlicht, jedoch gibt es bereits einige Untersuchungen, welche den LIDAR- Scanner als „solid-state LiDAR“ charakterisieren (Murtiyoso et al, 2020). Mittlerweile gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Apps für unterschiedliche Anwendungszwecke, welche den LIDAR-Scanner nutzen. Für die Aufnahme von großflächigen Gebieten, folglich auch für den Garten- und Landschaftsbau, hat sich die „3D- Scanner App“ von Laan Labs bewährt. Im Vergleich zu anderen Softwarelösungen ist die App kostenlos und eignet sich gut für die Erstellung von Planungsgrundlagen und des Aufmaßes sowie zur Dokumentation.

Die Umgebung kann entweder als Punktwolke oder als Dreiecksvermaschung abgebildet werden. Zweiteres hat sich für die weitere Verwendung im Arbeitsalltag bewährt, da das erstellte Netz automatisch mit aufgenommenen Fotos der Hauptkamera texturiert wird.

Neben dem LIDAR-Scanner ist die App außerdem in der Lage, die verbaute „TrueDepth“ Kamera zur Erstellung von 3D- Modellen zu verwenden. Ursprünglich hauptsächlich für die Gesichtserkennung entwickelt, kann diese auch zum Scannen von Kleinteilen verwendet werden (Vogt et al., 2021). Für den Garten- und Landschaftsbau ist diese Funktion jedoch nicht von Bedeutung, weshalb im folgenden lediglich auf die Verwendung des LIDAR- Scanners eingegangen wird.

4 ÜBERPRÜFUNG DER GENAUIGKEIT

Grundsätzlich fallen, je nach eingestellter Auflösung des Scans, die erreichbare Genauigkeit und die insgesamt aufgenommene Fläche unterschiedlich aus. Insgesamt ist die Aufnahmeleistung auf ca. 1,5 GB bzw. ca. 1,5 Millionen Vertex begrenzt. Folglich gilt: Umso kleiner das Aufnahmeraster ist, desto höhere Genauigkeiten ermöglicht der Scan, desto kleiner wird jedoch auch der Aufnahmebereich (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). Bei dem Probescan konnte mit der kleinsten möglichen Auflösung ein Bereich von ca. 150 m² aufgenommen werden. Mit Vergrößerung der Rasterweiten können umfangreichere Gebiete aufgenommen werden (bis zu ca. 1000 m²), wobei hierbei die Qualität des Scans sinkt und keine so hohen Genauigkeiten mehr erreicht werden können.

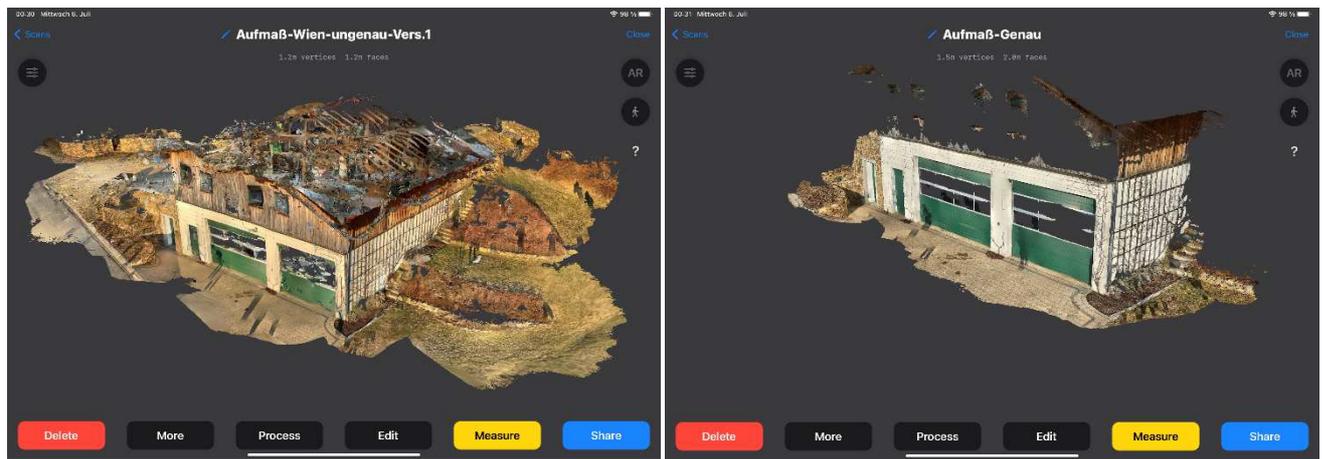


Abbildung 2: Vergleich Aufnahmebereich bei 20 mm Auflösung (links) und 5 mm Auflösung (rechts)

Die vorliegenden Untersuchungen lassen darauf schließen, dass die Technik für die meisten Anwendungszwecke im Garten- und Landschaftsbau eine ausreichende Genauigkeit erreicht. Bei den Messungen wurden jedoch hauptsächlich das erzeugte Netz bzw. die erzeugte Punktwolke mit der Realität verglichen. Für viele Anwendungen sind aber visuelle Marken (z.B. Pflasterwechsel, Farbwechsel o.ä.), welche nicht durch die Geometrie alleine abgebildet werden können, entscheidend.

Wichtig ist daher, ob die Dreiecksvermaschung richtig mit den entsprechenden Fotos texturiert wurde. Aus diesem Grund wurden zwei Scans, einmal mit maximal möglicher und einmal mit minimal möglicher Auflösung, angefertigt und die jeweiligen Längen mit den realen Maßen verglichen. Diese wurden per Maßband aufgenommen. Als Festpunkte wurden sowohl geometrische als auch visuelle Marken verwendet, was bedeutet, dass mögliche Fehler nicht zwingend auf eine Abweichung des Gitternetzes zurückzuführen sind, sondern ebenso durch eine fehlerhafte Texturierung entstehen können.

Bei den Probemessungen mit der kleinsten möglichen Auflösung (5mm) wurde eine durchschnittliche Abweichung von 0,58 cm pro m ermittelt.

Maße des Scans Rasterweite 5mm	Maße in Realität	Abweichung in cm
0,96 m	0,97 m	1
2,24 m	2,26 m	3
3,07 m	3,09 m	2
3,96 m	3,98 m	2
4,96 m	4,98 m	2
13,74 m	13,81 m	7
	Gesamte Länge: 29,09 m Abweichung gesamt: 17cm	0,58 cm pro m Abweichung

Tabelle 1: Durchschnittliche Abweichung bei minimaler Rasterweite

Mit der maximal möglichen Rasterweite von 20mm wurde eine durchschnittliche Abweichung von 1,82 cm pro m ermittelt.

Maße des Scans Rasterweite 20mm	Maße in Realität	Abweichung in cm
0,99 m	0,97 m	2
2,25 m	2,26 m	1
3,04 m	3,09 m	5
3,91 m	3,98 m	7
4,92 m	4,98 m	6
13,49 m	13,81 m	32
	gesamte Länge: 29,09m Abweichung gesamt: 53 cm	1,82 cm pro m Abweichung

Tabelle 2: Durchschnittliche Abweichung bei maximaler Rasterweite

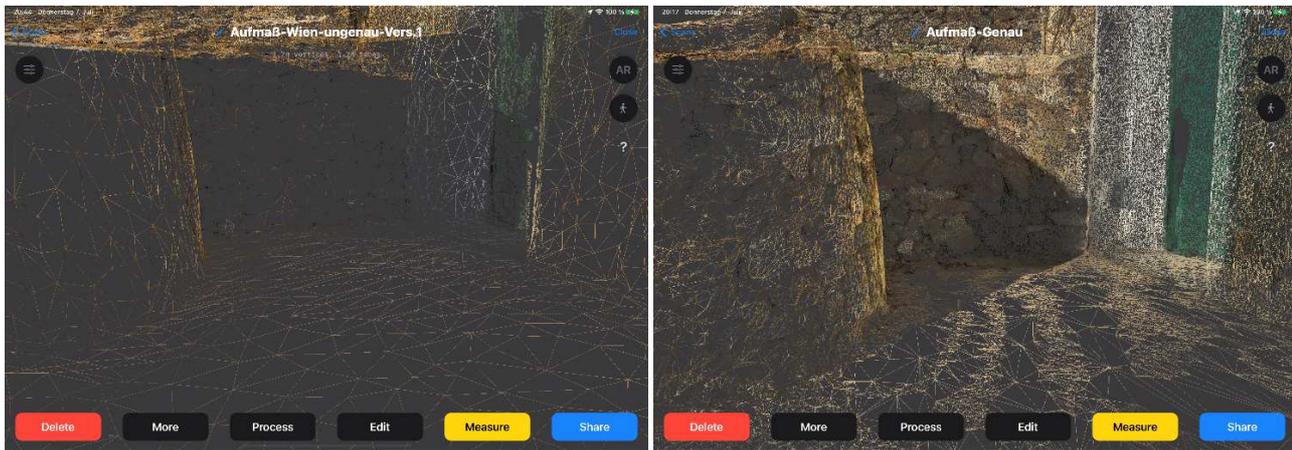


Abbildung 3: Vergleich des Detailgrades bei 20 mm Auflösung (links) und 5 mm Auflösung (rechts)

Nach diesen Messungen ist zu vermuten, dass die Technologie für die meisten Anwendungsfälle im Garten- und Landschaftsbau eine ausreichend hohe Genauigkeit erlaubt. Dazu werden im Folgenden typische Anwendungsfälle genauer betrachtet.

5 DOKUMENTATION UND WEITERVERARBEITUNG DER SCANERGESBNISSE

5.1 Dokumentation

Der Baustellendokumentation kommt im modernen Bauwesen große Bedeutung zu. Durch die Verwendung des LIDAR- Scannings können verschiedene Baustände einfach und unkompliziert festgehalten und abgespeichert werden. Dadurch sind alle Abhängigkeiten, Maße und Details in einem Scan enthalten und können jederzeit abgerufen werden. Gerade die einfache und schnelle Verwendung ist hierbei von großem Vorteil, da so jeder Baustellenbeteiligte in der Lage ist, 3D-Dokumentationen zu erstellen.

Auch wenn Laserscanner im Hochbau bereits vielerorts zur Dokumentation eingesetzt werden, ist diese Technologie kompliziert in der Bedienung und mit hohen Kosten verbunden. Gerade im Garten- und Landschaftsbau wird aus diesem Grund zumeist auf fotografische Aufnahmen zurückgegriffen.

5.2 Verarbeitung des Scans in 2D

Die Erstellung konventioneller Planungsgrundlagen ist erfahrungsgemäß einer der Problempunkte im Arbeitsprozess von Garten- und Landschaftsbauunternehmen, denn bisherige moderne Vermessungstechnik ist nach wie vor kostspielig und steht so vor allem größeren Betrieben zur Verfügung.

Mit der hier verwendeten Kombination aus low-cost Hard- und Software ist es möglich aus dem 3D-Modell eine 2D-Draufsicht zu generieren. Dies ermöglicht wiederum, dass der Scan direkt auf dem Tablet als 2D Planungsgrundlage verwendet werden kann. Dadurch ist ein durchgängiger Planungsworkflow möglich. Vor Ort können das Planungsgebiet aufgenommen, erforderliche Zeichnungen angefertigt und das fertige Endergebnis direkt an die Kunden bzw. Baustellenbeteiligten exportiert werden. Der Prozess von der Aufnahme bis hin zur fertigen Planungsgrundlage dauert, je nach Größe des Gebietes, zwischen fünf und fünfzehn Minuten und verkürzt den herkömmlichen Prozess der Grundlagenermittlung immens.

Dieser Workflow bietet somit Firmen, welche nach wie vor Handzeichnungen anfertigen, die Möglichkeit Ihre bisherige Arbeitsweise auf eine weitaus effektivere Art digital fortzuführen. Durch die Kombination der technischen Hilfsmittel eines aktuellen Tablets gelingt es somit, dass die traditionelle Handzeichnung wieder Aktualität erlangt und gleichzeitig mit CAD- und BIM-Prozessen kompatibel ist.

5.3 Verarbeitung des Scans in 3D

Da die Scans das Planungsgebiet mit Maßen und Zusammenhängen abbilden, eignen sich die Scans gut als 3D-Planungsgrundlage im Sinne der 3D-Planung oder BIM (Muertha et al. 2018; Urech et al. 2020). Zwar gibt es mittlerweile auch auf dem Tablet 3D-Planungsprogramme (z.B. SketchUp), jedoch ist für ein effektives Arbeiten der Export auf einen passenden PC bzw. Mac notwendig.

Da die Dateien oftmals relativ groß sind, ist für die Verwendung manchmal außerdem eine Vergrößerung der Netzweite vonnöten. Die im Kapitel zuvor beschriebene Genauigkeit kann dann aber nicht mehr erreicht

werden. Für den Garten- und Landschaftsbau sind die 3D-Planungsgrundlagen in den meisten Anwendungsfällen ausreichend genau und können zudem mit anderen 3D-Daten (beispielsweise von Tachymetern) ergänzt werden.

6 AKTUELLE PROBLEMSTELLUNGEN

Zum aktuellen Zeitpunkt sind die Sensoren des iPhones nicht für das Scannen optimiert, wodurch im größeren Maße Driftfehler entstehen (ca. 1 Foot auf 200 Feet). Driftfehler entstehen durch die Akkumulation von Fehlern des verbauten Gyroskops und des Beschleunigungsmessers, wodurch sich die berechnete Position von der realen Position unterscheidet. Mithilfe eines handelsüblichen Dreiaxengimbels können diese signifikant verringert werden (Tamimi, 2022). Viele mobile Scanstationen verwenden für eine bessere Genauigkeit Techniken wie das Loop Closing. Dadurch wird durch Schleifenschluss ein zuvor bereits eingescannter Bereich erkannt und so die Fehler herausgerechnet.

In naher Zukunft ist deshalb davon auszugehen, dass diese Verbesserungsmöglichkeit auch bei mobilen Endgeräten zum Einsatz kommt.

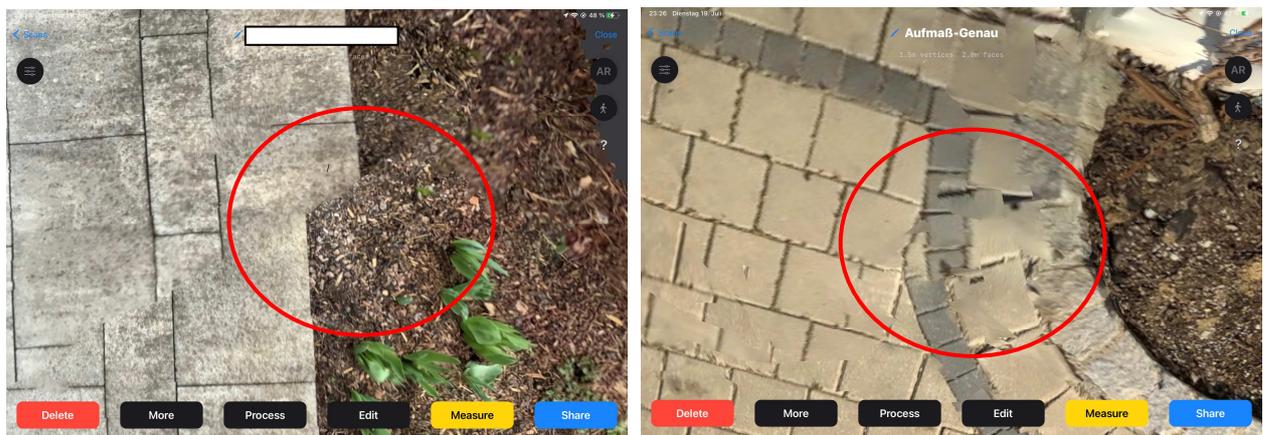


Abbildung 3: Fehler beim 3D-Scan

Bei der Nutzung traten in den gekennzeichneten Bereichen Probleme auf, wie in der Abbildung 3 zu sehen ist. Dabei wurden Sektionen des Scans falsch im Kontext angeordnet.

In der Literatur wurde dieser Punkt bislang nicht behandelt. Nach eigenen Untersuchungen kann jedoch die Vermutung aufgestellt werden, dass weniger die Texturierung, sondern Trackingfehler die Ursache für die auftretenden Abweichungen sind. Diese entstehen wahrscheinlich aufgrund der einheitlichen Oberfläche, beispielsweise des Pflasters. Weiterhin ist bekannt, dass auch Reflexionen zu Fehlern in Laserscans führen. Diesbezüglich ist jedoch noch weitere Forschung notwendig, um mögliche Fehlerquellen und Lösungen zu untersuchen.

Durch die Fehler entstehen deutliche Abweichungen von der Realität, wobei diese jedoch meistens relativ offensichtlich sind. Doppeltes oder gar mehrfaches Scannen eines Gebietes kann helfen, für alle Bereiche brauchbare Daten zu erhalten.

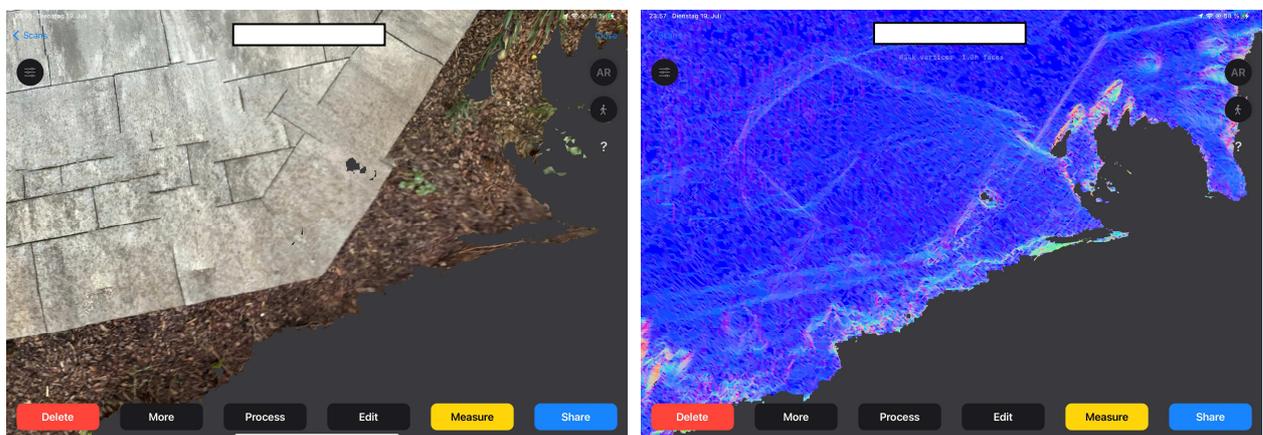


Abbildung 4: Trackingfehler; Links texturiert, rechts Höhenprofil

7 FAZIT

Neue mobile Standardgeräte ermöglichen es, ein zentimetergenaues, digitales 3D Abbild der Umgebung zu erstellen und diese Umgebung direkt als Planungskontext zu verwenden. Auch wenn die Technologie erst im Anfangsstadium steckt, kann bereits jetzt gesagt werden, dass sie das Potential hat, die Arbeitsweise im Garten- und Landschaftsbau zu verändern. Nicht nur, dass der herkömmliche Workflow der 2D-Handzeichnung digitalisiert und dadurch wesentlich effektiver gestaltet wird, sondern auch, dass der gleiche Scan direkt in das 3D- Planungsprogramm eingelesen bzw. zur Dokumentation des Urzustandes genutzt werden kann, zeigt, wie die Technik bereits zum jetzigen Zeitpunkt der Branche in Sachen Digitalisierung und Effizienzsteigerung helfen kann.

Während die Technologie für den Garten- und Landschaftsbau aufgrund verschiedener Faktoren besonders gut geeignet ist, ist eine Verwendung in anderen Branchen mit ähnlichen Anforderungen an Genauigkeit und Projektgröße ebenfalls denkbar. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielseitig, denn der Scanner funktioniert sowohl innen als auch außen und in den nächsten Jahren ist zudem mit einer rasanten Weiterentwicklung der Hard- und Software zu rechnen. Es ist zu vermuten, dass in Zukunft weitere teure Vermessungstechnik durch handelsübliche Tablets und Smartphones ersetzt werden wird. Für den Garten- und Landschaftsbau bietet sich bereits jetzt die Möglichkeit, von der Miniaturisierung und Integration von LiDAR Scannern in mobilen Geräten zu profitieren.

8 QUELLEN

- Díaz Vilariño, Lucia & Tran, Ha & Frías, Ernesto & Balado Frias, Jesus & Khoshelham, Kourosh: 3D MAPPING OF INDOOR AND OUTDOOR ENVIRONMENTS USING APPLE SMART DEVICES. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLIII-B4-2022. 303-308. 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2022-303-2022, 2022.
- Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., Nothdurft, A.: Measurement of Forest Inventory Parameters with Apple iPad Pro and Integrated LiDAR Technology. *Remote Sens.*, 13, 3129. <https://doi.org/10.3390/rs13163129>, 2021.
- Luetzenburg, G., Kroon, A., Bjork, A.: Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Nature Scientific Reports*, 11:22221, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9> Murtiyoso, A., Grussenmeyer, P., Landes, T., & Macher, H. (2021). First Assessments Into the Use of CommercialGrade Solid State LIDAR for Low Cost Heritage Documentation. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 599-604. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-599-2021>, 2021.
- Murtha, T., Golden, C., Cyphers, A., Klippel, A., & Flohr, T.: Beyond Inventory and Mapping : LIDAR , Landscape and Digital Landscape Architecture. In E. Buhmann, S. M. Ervin, S. Hehl-Lange, & J. Palmer (Eds.), *Digital Landscape*, 2018.
- Petschek, P.: Grading BIM. *landscapingSMART. 3D-Machine Control Systems. Stormwater Management. Birkhäuser*, 2019.
- Tamimi, R.: RELATIVE ACCURACY FOUND WITHIN IPHONE DATA COLLECTION. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLIII-B2-2022. 303-308. 10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2022-303-2022, 2022.
- Urech, P. R. W., Dissegna, M. A., Girot, C., & Grêt-Regamey, A.: Point cloud modeling as a bridge between landscape design and planning. *Landscape and Urban Planning*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103903>, 2020.
- Vogt, M., Rips, A., Emmelmann, C.,. Comparison of iPad Pro®'s LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies* . <https://doi.org/10.3390/technologies902002>, 2021