

Untersuchungen zum Genauigkeitspotential des terrestrischen Laserscanners Leica BLK360

Robert BLASKOW, Maren LINDSTAEDT, Danilo SCHNEIDER und Thomas KERSTEN

Zusammenfassung

Dieser Beitrag fasst die Untersuchungen zum terrestrischen Laserscanner Leica BLK360 zusammen und gibt neben der Beurteilung des geodätischen Genauigkeitspotentials einen Überblick über die Handhabung und die Datenerfassung. Zur Abschätzung der Abhängigkeit der Punktmessung von sich verändernder Objektgeometrie wurde das 3D-Punktrauschen und Intensitätsrauschen über einen definierten Entfernungsbereich und unter verschiedenen Auftreffwinkeln analysiert. Ein Soll-Ist-Vergleich von 3D-Strecken stellt den kombinierten Einfluss von Strecken- und Winkelgenauigkeit sowie die Qualität der automatischen Referenzpunktmessung im Programm ReCap Pro dar. Eventuell vorhandene Systematiken in der Streckenmessung wurden durch Scans auf der Komparatorbahn aufgedeckt. Als Referenzkörper fanden ebene Platten hoher Reflektivität, Kugeln sowie einfache Zielmarken Verwendung. Die Untersuchungen zeigten überwiegend die zu erwartenden und von anderen Laserscannern in ähnlicher Form bekannten Ergebnisse. Bei der Analyse der aus den Laserscans über ein Targetfitting abgeleiteten Strecken erwies sich die Erkennung der Zielmarken in ReCap Pro als eher unzuverlässig und verursachte starke Ausreißer in den Messdaten.

1 Einleitung

Die Weiterentwicklung von terrestrischen Laserscannern unterliegt einem stetigen Wandel. Standen zu Beginn der Entwicklung von terrestrischen Laserscannern vorrangig sensorische Aspekte wie Verbesserung der Strecken- und Winkelmessung, Steigerung der Messrate und der Auflösung im Vordergrund, wurden diese im Laufe der Zeit auch von ergonomischen Verbesserungen wie dem Handling und der Systemlaufzeit ergänzt. Es rückt vermehrt die direkte Anwendung und der Anwender selbst in den Fokus der Hersteller und es entstehen Messsysteme, welche stark auf spezielle Einsatzgebiete zugeschnitten sind. Ein Vertreter dieser, für spezielle Marktsegmente entwickelte, Laserscanner ist der in diesem Beitrag untersuchte Leica BLK360, welcher als äußerst kleiner, leichter und ohne spezielles Vorwissen zu bedienender Laserscanner für Architekten und Bauingenieure konzipiert ist.

Mit einer Bauhöhe von 16,5 cm, einem Durchmesser von 10 cm und einem Gewicht von 1 kg ist das Instrument ein äußerst kompakter und portabler Laserscanner. Zur Vereinfachung der Bedienung wurden die physischen Bedienelemente auf eine Taste reduziert. Die wichtigsten technischen Systemparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Im Leica BLK360 ist zusätzlich ein RGB-Kamerasystem verbaut, welches aus drei zueinander kalibrierten 5 Mpixel RGB-HDR-Kameras besteht. Das entstehende sphärische Bild ist mit dem Field-of-View (FoV) des Laserscanners identisch. Die verbaute thermische (TIR) Kamera vom Hersteller FLIR besitzt eine Sensorauflösung von 160×120 Pixeln und eine thermale

Empfindlichkeit¹ von 0,05°C (50 mK). Punktwolken mit thermischen Attributen sind mit Blick auf Gebäudeinspektionen (WESTFELD et al. 2015) und für Bauwerksüberwachung (MADER et al. 2016) ein interessantes Werkzeug. Der interne Speicher des Leica BLK360 fasst mit 64 GB rund 100 Scans, welche auch die RGB- und TIR-Bilddaten beinhalten. Das Gesamtkonzept des Leica BLK360, bestehend aus sehr kompakter Abmessung, der verbauten Bildsensorik und der Anbindung an die Software ReCap Pro von Autodesk, zeigt die Marktausrichtung des Scanners auf das Segment der AEC-Anwendungen (Architecture, Engineering & Construction).

Tabelle 1: Technische Spezifikationen Leica BLK360

Leica BLK360	Spezifikationen	
	<i>Scaneinheit</i>	
	Messbereich	0,6m – 60m, FoV horiz. 360° vert. 300°
	Distanzmessverfahren	Pulslaufzeit mit Waveform-Digitizing
	Messrate	360.000 Punkte/sek
	3D-Punktgenauigkeit	6 mm @ 10 m / 8 mm @ 20 m
	Streckenmessgenauigkeit	4 mm @ 10 m / 7 mm @ 20 m
	<i>Kameraeinheit</i>	
	RGB-Kamerasystem	FoV horiz. 360° vert. 300°
	Thermalkamera	FoV horiz. 360° vert. 70°

2 Datenaufnahme

Die Datenaufnahme wurde benutzerorientiert auf das allerwesentlichste reduziert. Der Laserscanner wird aufrecht oder kopfüber aufgestellt, ein Scan wird ausgelöst und nach Beendigung des Scanvorgangs am nächsten Standpunkt wiederholt. Bei Messungen mit mehr als einer Aufstellung muss lediglich auf den Überlappungsbereich zwischen den Einzelscans geachtet werden. Eine Kontrolle der Messung kann im Feld nur bei Verwendung des optionalen iPad mit ReCap Pro oder der BLK360 App erfolgen. Mit der ReCap Pro App ist es möglich, die generierten Daten zu prüfen, die Ergebnisse der automatischen Registrierung zu kontrollieren oder geometrische Grundmaße wie zum Beispiel Strecken, Winkel oder Flächen zu bestimmen. Die Steuerung des Scanners beschränkt sich, bei Nutzung der App, auf die Festlegung der Scanauflösung und den Start der Messung.

Gescannt wird mit dem Leica BLK360 immer über das gesamte Gesichtsfeld. Eine Einschränkung des Messbereichs kann nicht vorgenommen werden. Eine Kombination von geringer aufgelösten Übersichtscans mit hochauflösenden Detailscans ist deshalb nicht möglich. Die durchschnittliche Dauer für einen Scan mittlerer Auflösung inklusive Bildaufnahme beträgt rund drei Minuten.

¹ Auch *Noise-Equivalent Temperature Difference* (NETD) entspricht der kleinsten Temperaturdifferenz, die der Sensor auflösen kann.

Für die Untersuchung des Genauigkeitspotentials und der Evaluierung der vom Hersteller angegebenen Messperformance wurden folgende Datensätze aufgenommen:

- Scans einer Platte in verschiedenen Entfernungen zur Untersuchung der Distanzabhängigkeit des 3D-Punktrauschens und der Signalintensität
- Scans einer schrittweise drehbaren Platte mit hohem Albedo zur Untersuchung der Winkelabhängigkeit des 3D-Punktrauschens und der Signalintensität
- Scans im Außenbereich des TU Dresden Campus zur Untersuchung der Aspekte des praktischen Messablaufes
- Scans in einem 3D-Testfeld zur Untersuchung der 3D-Strecken und des Targetfittings
- Scans auf einer Komparatorbahn auf Zieltafeln und Kugeln zur Bestimmung der Streckenmessgenauigkeit

Die Messkampagne im Außenbereich der TU Dresden (Abbildung 1) zeigte auf, dass die Bedienung und die Generierung der Daten den Herstellerangaben entspricht und dass eine sehr zügige Aufnahme von großflächigen und komplexen Objekten ohne spezielle Vorkenntnisse möglich ist. Für die Beurteilung des Handlings wurden 9 Standpunkte in hoher / mittlerer Auflösung inklusive Umbau und Erkundung der Standpunkte in unter 2 Stunden durchgeführt. Einzige Einschränkungen waren die bereits erwähnte nicht mögliche Begrenzung des Messbereichs auf Teilscans und eine aufgetretene Überbelichtung der Bilddaten auf einem Standpunkt an einem Gebäudedurchgang mit sehr starken Beleuchtungsunterschieden.

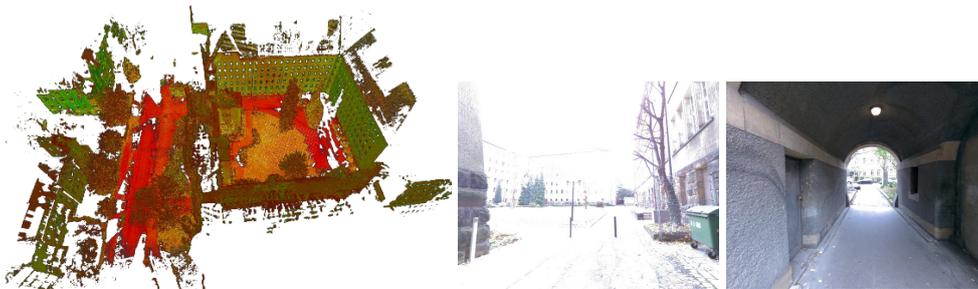


Abb. 1: Punktwolke auf dem TU-Dresden-Campus und Beispiele für Überbelichtung durch starke Helligkeitsunterschiede

Eine Neuaufnahme der überbelichteten Bilder mit manuell veränderten Einstellungen war mit der ReCap Pro App (Stand 11/2017) nicht möglich. Aufgrund des zum genannten Zeitpunkt noch nicht gegebenen Zugriffs auf die thermalen Bilddaten war eine qualitative Beurteilung der thermalen Attribute nicht Gegenstand dieser Untersuchungen.

3 Auswertung und Ergebnisse

3.1 3D-Punktrauschen

Anhand der Untersuchung des Punktrauschens in definierten Umgebungen können Abhängigkeiten der Punktmessgenauigkeit von der Aufnahmegeometrie abgeleitet werden. So

kann festgestellt werden, ob das Rauschverhalten der 3D-Punkte eine starke Entfernungs- oder Winkelabhängigkeit besitzt.

Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens von der Distanz

Zur Untersuchung der Distanzabhängigkeit des 3D-Punktrauschens wurde eine Platte mit den Maßen von $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ in einer Schrittweite von 2 m über einen Bereich von 52 m gescannt. Im Bereich von 40 m bis 50 m sind aufgrund der Architektur der Messumgebung keine Aufstellungen möglich gewesen. Auf jedem Standpunkt erfolgten eine Horizontierung und eine manuelle orthogonale Ausrichtung der Platte auf den Scanner. Die Plattenrestneigung zur orthogonalen Achse betrug maximal 3° . Vor der Analyse erfolgte eine Bereinigung der Punktwolken. Es wurden die Punkte an den Randbereichen der Platte entfernt um nur Punkte zu verwenden, welche mit voller Spotgröße auf die Platte getroffen sind. In die bereinigten Scans der Platten wurden nun ausgleichende Ebenen gelegt und die Abstände der Messpunkte berechnet. In den Histogrammen der Streuung zeigten sich keine Systematiken.

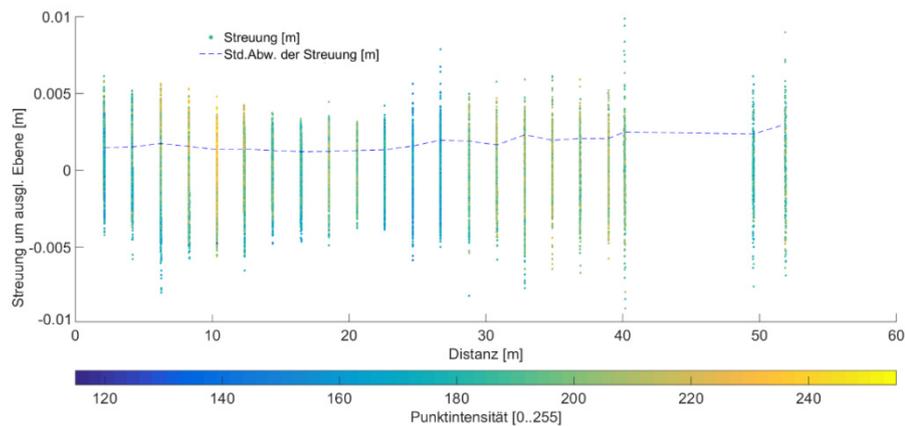


Abb. 2: Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens von der Distanz

In Abbildung 2 ist erkennbar, dass die Spanne des Messpunktrauschens von 10 mm bei 2 m Messabstand nur geringfügig mit steigender Distanz zunimmt. Einzig die Zahl der Ausreißer erhöht sich über den Messbereich. Die Standardabweichung des Messpunktrauschens liegt im Entfernungsbereich bis 24 m im Schnitt bei 1,5 mm und steigt im Bereich zwischen 26 m und 38 m auf 2 mm an. Im Entfernungsbereich zwischen 40 m und 52 m, in welchen nur drei Standpunkte fallen, erhöht sich die Standardabweichung des Rauschens leicht auf 2,5 mm. Die Ergebnisse zeigen, dass nur eine geringe Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens von der Messdistanz vorhanden ist und die Spanne der Abweichungen im Bereich der Herstellerangaben liegen.

Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens vom Auftreffwinkel

Für die Untersuchung der Auftreffwinkelabhängigkeit des 3D-Punktrauschens wurde die bereits beschriebene Platte in 10 m Distanz ausgehend von der Nullstellung (ca. orthogonal zum Scanner), um $\sim 10^\circ$ -Schritte in beide Richtungen gedreht und das Punktrauschen mittels ausgleichender Ebenen, analog zur Untersuchung der Distanzabhängigkeit, analysiert.

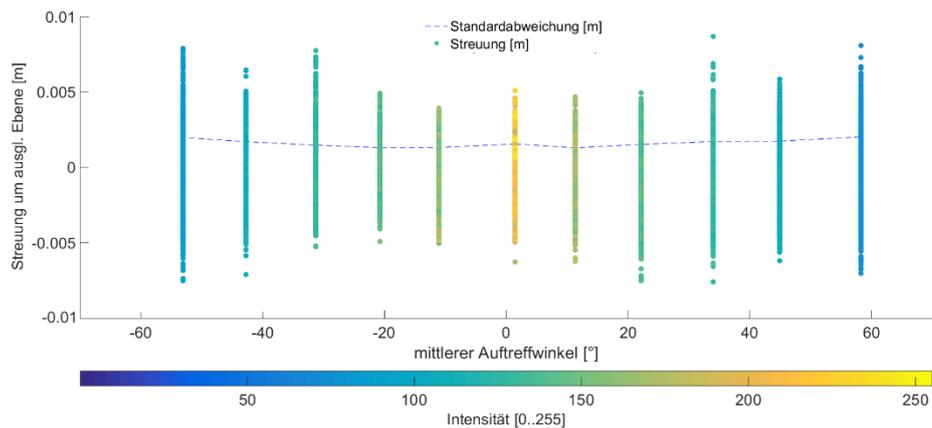


Abb. 3: Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens vom Auftreffwinkel

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die Spanne der Messpunktstreuung in der Nullstellung bei 10 mm liegt. Nach einer leichten Verringerung bei $\pm 10^\circ$ steigt die Spanne auf 15 mm an. Wie bereits bei der Untersuchung über die Distanz ist hier ebenfalls keine starke Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens von einem zunehmenden Auftreffwinkel zu erkennen.

Abhängigkeit des 3D-Punktrauschens von der Signalintensität

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde eine Platte mit hohem Albedo und möglichst optimalen Reflexionseigenschaften genutzt. Um zu überprüfen, ob sich das 3D-Punktrauschen bei geringen Signalintensitäten verändert, wurde ein schwarz-weißes Pattern auf eine ebene Wand aufgebracht und in hoher Auflösung gescannt. Eine ausgleichende Ebene durch die umgebenen Wandpunkte wurde dann für die Messung als Referenz genutzt. So sind durch Ebenheitsabweichungen des Patterns zur Wand die Ergebnisse (Abbildung 4) nicht absolut zu betrachten. Es ist aber möglich, durch einen Vergleich der Messpunktstreuung zwischen Bereichen mit hoher und niedriger Intensität die relative Änderung zu beurteilen.

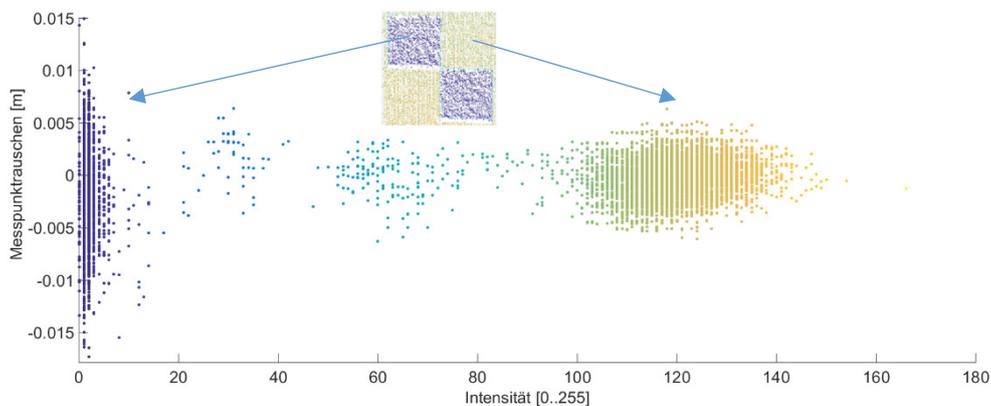


Abb. 4: Intensitätsdarstellung einer s/w-Marke und Verteilung des 3D-Punktrauschens

Erkennbar ist hier, dass erst bei Intensitätswerten unter 10 [0...255] eine signifikante Steigerung des 3D-Punktrasuchens auftritt. Die Spanne der Streuung verdoppelt sich bei sehr geringen Intensitäten in Relation zu den Bereichen mit hoher Intensität.

3.2 Rauschen der Signalintensität

Neben der Nutzung der Signalintensität zur besseren Visualisierung von Punktwolken ohne RGB-Attribute, kann die Signalintensität auch zur Gewinnung von zusätzlichen Informationen über das Messobjekt oder der Aufnahmegeometrie genutzt werden. Die nachfolgenden Untersuchungen sollen Abhängigkeiten der Signalintensität von der Messdistanz und dem Auftreffwinkel prüfen.

Abhängigkeit des Intensitätsrauschens von der Distanz

In PFEIFER et al. (2007) wurden umfangreiche Untersuchungen der Signalintensitätswerte von terrestrischen Laserscannern unternommen. Alle Einflüsse auf das Messsignal respektive die Signalstärke P sind in der Lasergleichung (1) aus PFEIFER et al. (2007) zusammengefasst. Für die Herausarbeitung der Distanzabhängigkeit wurde auf eine bestmögliche Reduktion der restlichen Einflussfaktoren geachtet.

$$P_R = \frac{\pi P_E \rho \cos(\alpha)}{4r^2} \eta_{Atm} \eta_{Sys} \tag{1}$$

So wurden die Scans im Innenbereich bei konstanter Temperatur ausgeführt. Als Zieltafel kam die bereits vorgestellte Platte zum Einsatz, damit konnte der Reflexionsgrad des Materials (ρ) über die gesamte Messung als konstant erachtet werden. Die Ausrichtung der Platte (α) wurde möglichst orthogonal zum Scanner vorgenommen. So das bei Vernachlässigung der Atmosphäre (η_{Atm}) und der Systemeinflüsse (η_{Sys}) eine Abhängigkeit der Signalstärke beziehungsweise Signalintensität von der Messentfernung ($\frac{1}{r^2}$) verbleibt.

Grundlage der Untersuchung bildeten die Scandaten, welche bereits in Abschnitt 3.1 genutzt wurden. Als zusätzlichen Bearbeitungsschritt wurde noch eine Eingrenzung des Auftreffwinkels durchgeführt. Da bei sehr nahen Distanzen < 10 m die Variation der Auftreffwinkel, begründet durch die Plattengröße, sehr hoch ist, wurden alle Messungen mit einem Winkel $> 5^\circ$ von der Mittelbildung ausgeschlossen. So konnte die Auftreffwinkelabhängigkeit auf die Standpunkte zwischen 2 m und 8 m minimiert werden.

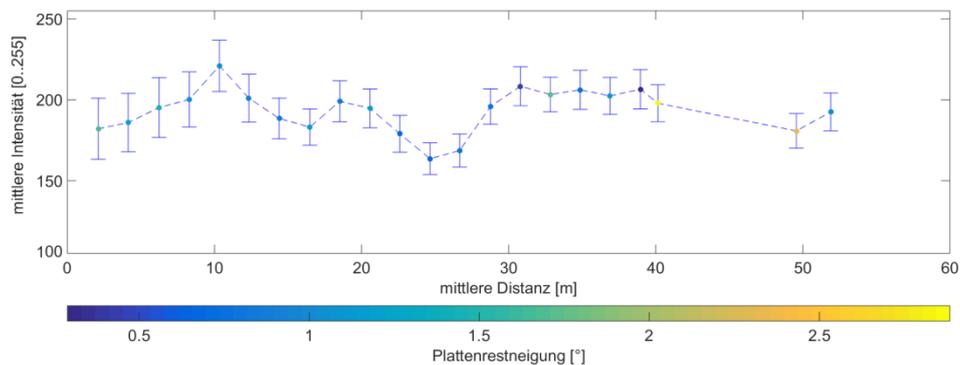


Abb. 5: Abhängigkeit des Intensitätsrauschens von der Distanz

Aufgrund der Beachtung der erwähnten Annahmen müsste theoretisch ein Abfall der Signalintensität mit steigender Messentfernung in den Daten (Abbildung 5) erkennbar sein. Der Verlauf der mittleren Intensitäten zeigt über den gesamten untersuchten Messbereich jedoch keinen signifikanten Abfall. Im Bereich von 10 m bis 26 m ist ein Durchschwingen der Intensitäten erkennbar. Ein ähnlicher Verlauf der mittleren Intensität ist bereits bei der Untersuchung des Time-of-Flight-Scanners Riegl LMS-Z420i aufgetreten (BLASKOW & SCHNEIDER 2014). Die ermittelte Variation der mittleren Intensität um ca. 20 % und der fehlende signifikante Abfall über 2/3 der maximalen Messdistanz des Leica BLK360 deuten auf eine systeminterne Nachführung der Sensorempfindlichkeit zur Gewährleistung einer homogenen Signalstärke hin.

Abhängigkeit des Intensitätsrauschens vom Auftreffwinkel

Neben der Distanzabhängigkeit der Signalintensität wurde auch die Auftreffwinkelabhängigkeit untersucht. So sollte bei möglichst geringfügiger Variation der Messentfernung, verursacht durch das Verdrehen der Zielplatte, ein Abfallen der Signalintensität nach dem Lambert'schen Kosinusetz (2) auftreten.

$$I_{aus} = I_{ein} \cos(\theta_0) \quad (2)$$

In Abbildung 6 ist ein Abfallen der Signalintensität mit zunehmendem Auftreffwinkel erkennbar.

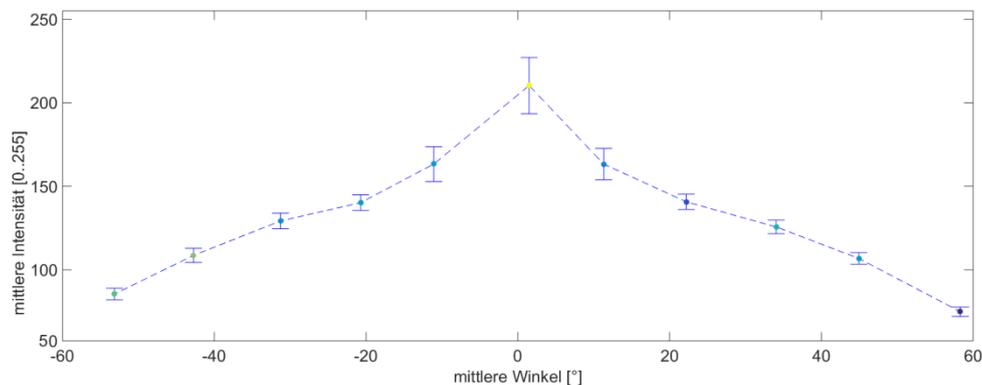


Abb. 6: Abhängigkeit des Intensitätsrauschens vom Auftreffwinkel (Platte bei 10 m)

3.3 3D-Strecken-Vergleiche

An der HCU Hamburg wurde im Jahr 2003 ein 3D-Testfeld konzipiert, das mit Prismen, Kugeln oder Targets ausgestattet werden konnte, und das seitdem für Genauigkeitsuntersuchungen für zahlreiche terrestrische Laserscanner eingesetzt wurde (KERSTEN et al. 2009, LINDSTAEDT et al. 2009, LINDSTAEDT et al. 2011, LINDSTAEDT et al. 2012). Mit dem Umzug der Universität in das neue Gebäude in der HafenCity Hamburg wurde zur Fortführung der bisherigen Untersuchungen ein neues Testfeld im Laborraum eingerichtet, welches jedoch aufgrund der Raumkapazität nur mit einem signifikant kleineren Messvolumen angelegt werden konnte. Im neuen Testfeld sind 18 Punkte im Laborraum verteilt installiert, die sowohl an den Wänden als auch an der Decke befestigt sind (Abbildung 7).



Abb. 7: Neues 3D-Testfeld der HCU Hamburg (links) sowie Zielzeichensignalisierung und -befestigung (Mitte/rechts)

Um eine möglichst genaue Referenz zu ermöglichen, sind die Messpunkte durch Punktnester signalisiert (Abbildung 7, rechts). So kann für Referenzmessungen ein Lasertracker mit einem Corner Cube Reflector (CCR) auf dem Punktnest verwendet werden, während die B/W-Targets für das Laserscanning über einen Adapter auf dem Punktnest platziert werden. Bei der Untersuchung im Testfeld ist die Genauigkeit eines 3D-Laserscanningssystems durch eine Kombination von folgenden Abweichungen und Messunsicherheiten beeinflusst, die in diesem Testfeld nicht separat bestimmt werden: Distanz- und Winkelmessung des Scanners sowie die Einpassung der Targets in die Punktwolke. Somit kann hier nur eine Aussage über das Gesamtsystem getroffen werden, nicht aber über einzelne Fehlerkomponenten.

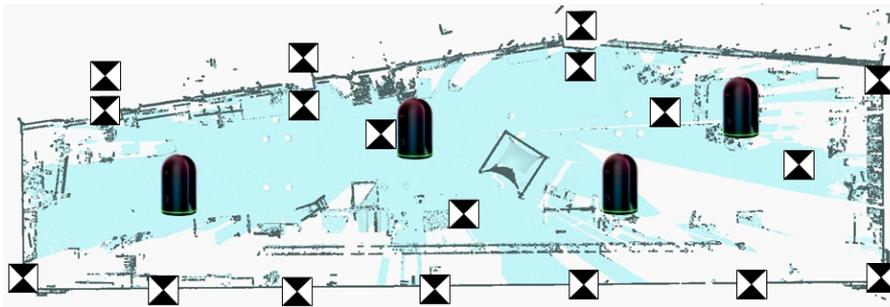


Abb. 8: Passpunktverteilung und Scannerstandpunkte im 3D-Testfeld der HCU Hamburg

Für die Messung mit dem Leica BLK360 wurden alle 18 Punkte mit Targets bestückt (Abbildung 8), die längste Strecke zwischen zwei Targets im Testfeld beträgt ca. 35m. Die Referenzkoordinaten wurden mit einem Lasertracker Leica ATR 960 bestimmt, der gemäß Herstellerspezifikation eine Genauigkeit $U_{x,y,z} = \pm 15\mu\text{m} + 6\mu\text{m/m}$ aufweist. Das Testfeld wurde von vier Standpunkten aus jeweils im Rundumscan mit der höchsten der drei möglichen Scanauflösungen (high density 5mm @ 10m) erfasst (Abbildung 8). Für die anschließende Auswertung wurden zunächst in der zum Scanner gehörenden Software ReCap Pro der Firma Autodesk die erfassten Targets auf jedem Standpunkt mit der Targetfitting-Funktion der Software bestimmt. Obwohl in allen vier Scans immer alle 18 Targets zu sehen waren, ließ sich nur eine Anzahl zwischen elf und 13 Targets je Standpunkt fitten. Die restlichen Targets konnten aufgrund der zu großen Entfernung nicht erfolgreich eingepasst werden.

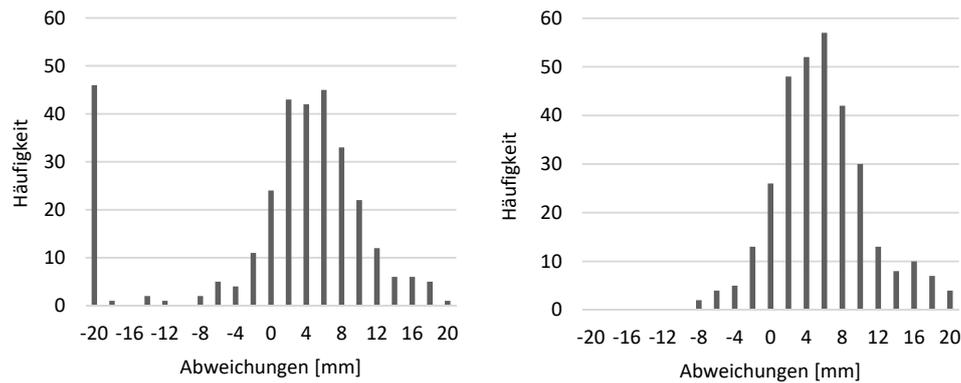


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung der Streckenabweichungen im 3D-Testfeld mit Ausreißern (links) und nach der Korrektur (rechts)

In Abbildung 9 (links) ist die Häufigkeitsverteilung für alle 327 ausgewerteten Streckenkombinationen zu sehen. Dabei fällt auf, dass nahezu jede siebte Strecke eine große Abweichung von mehr als 20 mm besitzt. Nach näherer Analyse waren diese Abweichungen auf fehlerhaftes Targetfitting zurückzuführen. Diese ließen sich nur durch vielfaches Ausführen des Fittings beseitigen, wobei die resultierenden Koordinaten Differenzen von bis zu 10 cm zwischen den verschiedenen Messversuchen aufwiesen. Die exakte Messung ließ sich durch die graphische Darstellung der Targetposition in der 2D-Ansicht allein nicht erkennen, da die Anzeige der Punktposition auf dem Target auch bei abweichenden Koordinaten immer identisch war. Nach der Korrektur der fehlerhaften Targets ergab sich die in Abbildung 9 (rechts) dargestellte Häufigkeitsverteilung der Streckenabweichungen im Testfeld.

Durch die Beseitigung der Ausreißer ergab sich eine deutlich homogenere Verteilung der Abweichungen. Auffällig ist jedoch, dass die Strecken überwiegend zu kurz sind, was sich auch an einem positiven Mittelwert von 4,2mm erkennen lässt. Insgesamt stellt dieses ein schlechteres Ergebnis im Vergleich zu früheren Untersuchungen von anderen Laserscannern dar (LINDSTAEDT et al. 2011), doch wird hier überwiegend die vom Hersteller angegebene Genauigkeit von 8 mm @ 20 m für 3D-Punkte eingehalten.

3.4 Distanzmessgenauigkeit

Für die Untersuchung der Streckenmessgenauigkeit wurde der Leica BLK360 auf der 20m-Komparatorbahn im Labor der HCU Hamburg eingesetzt. Der Laserscanner wurde für das Scannen der Zielzeichen (Target und Kugel) in Verlängerung der Bahn aufgebaut, während gegenüber am anderen Ende der Lasertracker zur Messung der Referenzstrecken installiert wurde (Abbildung 10). Auf der Bahn befindet sich ein Schlitten, auf dem sowohl eine Kugel als auch ein Target fest verschraubt werden können und mit dem beliebige Abstände zwischen 1 m und 20 m gemessen werden können.

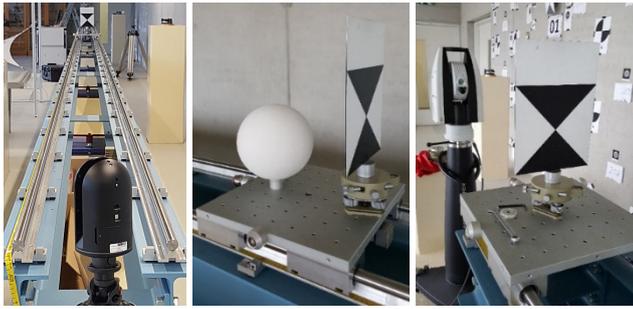


Abb. 10: 20 m-Komparatorbahn im Labor der HCU Hamburg mit Messaufbau

Die Messungen erfolgten in zwei Durchgängen: jeweils einmal mit einem B/W-Target und mit einer Kugel mit einem Durchmesser von 199mm. Beide Zielzeichen können in der Auswertesoftware ReCap Pro verwendet werden. Der erste Scan wurde bei jeweils einer Entfernung von 1 m zum Scanner gestartet und dann in Intervallen von je einem Meter bis zu 20 m fortgesetzt. Für alle Scans wurde die Auflösung auf high density (5 mm @ 10 m) gesetzt. Bei der Auswertung ergab sich ein ähnliches Bild wie schon beim 3D-Testfeld, d.h. das Targetfitting war nur bis zu einer Entfernung von 13 m möglich, danach lieferte die Auswertung vermutlich wegen zu großer Entfernung und nicht eindeutigem Target in dem Datensatz kein Ergebnis mehr. Lediglich bei 18 m konnte eine Distanz nochmals bestimmt werden. Für die Distanzbestimmung mit der Kugel konnten mehr Ergebnisse erzielt werden. Bis auf die erste Messung bei nur einem Meter Entfernung, bei der das Kugelfitting vermutlich wegen der zu kurzen Distanz versagte, konnten alle weiteren gescannten Kugeln gefittet werden. Das Kugelfitting in ReCap Pro erfolgt mit freiem Radius, jedoch kann das Ergebnis später nicht kontrolliert werden, da die Geometrie nur als eine Möglichkeit der Registrierung dient und nicht weiterverwendet werden kann.

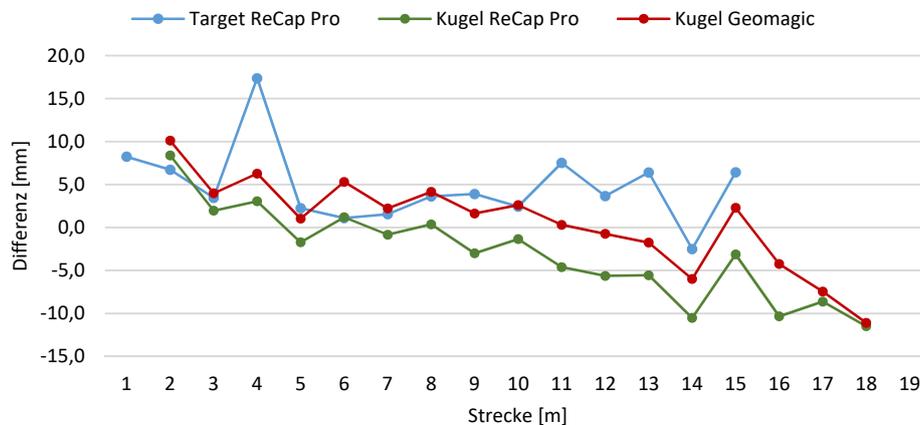


Abb. 11: Streckenmessgenauigkeit auf der 20 m-Komparatorbahn bei Messungen jeweils auf ein B/W-Target und auf eine Kugel

Die vom Hersteller angegebene Streckenmessgenauigkeit für diesen Scanner liegt bei 4 mm @ 10 m bzw. 7 mm @ 20 m. Somit wird eine Genauigkeit für die Messung auf Targets in diesem Bereich oder auch etwas besser erwartet. Jedoch liegt nur ein Drittel der Messungen innerhalb dieser Spezifikation. Allerdings ist es schwierig zu beurteilen, ob das schlechte Targetfitting in der Software für die ungenaue Streckenbestimmung direkt verantwortlich ist oder ob Gerätefehler vorliegen. Für zuverlässige Aussagen müssten weitere Untersuchungen gemacht werden. Auffällig ist jedoch, dass auch bei dieser Untersuchung alle Strecken zu kurz gemessen wurden. Das Kugelfitting machte in ReCap Pro weniger Probleme als das Targetfitting und es war bis auf die Messung zur kürzesten Distanz immer erfolgreich. Im Gegensatz zu den Targetmessungen sind hier nur die ersten Messungen zu kurz, denn ab 9 m Entfernung werden die Abweichungen negativ. Während die ersten Messungen bis auf die allererste im angegebenen Genauigkeitsbereich liegen, werden die Messungen zu größeren Entfernungen deutlich schlechter. Eine Überprüfung des Kugelfittings mit freiem Radius in anderer Software (Geomagic) brachte ähnliche Ergebnisse, jedoch mit einem relativ konstanten Offset von ca. 4 mm bis zur Entfernung von 16 m (Abbildung 11).

4 Fazit und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen des 3D-Punktrauschens zeigen, dass dieses annähernd den Herstellerangaben entspricht und die herausgearbeitete Distanz- und Winkelabhängigkeit für die praktische Nutzung des Leica BLK360 kaum relevant ist. Bei der Untersuchung der Signalintensitäten auf die gleichen Abhängigkeiten, konnte nur bei der Auftreffwinkelabhängigkeit eine aus der Theorie zu erwartende Systematik herausgearbeitet werden. Eine direkte Abhängigkeit der Signalintensität von der Messentfernung war in diesem Test nicht erkennbar. An dieser Stelle müssten weitere Untersuchungen folgen, um dies zu bestätigen.

Vom Hersteller wird eine 3D-Punktgenauigkeit von 8 mm auf 20 m Entfernung angegeben, damit eine geringere Genauigkeit als bei anderen, meist teureren Modellen.

Die Untersuchung der Streckenmessung des Leica BLK360 zeigte auf, dass die Herstellerangaben im Mittel erfüllt werden. Allerdings sind sowohl bei der Untersuchung der 3D-Strecken als auch bei der Streckenmessgenauigkeit Ausreißer und Probleme bei der Punktbestimmung aufgetreten, welche auf das Targetfitting der verwendeten Software ReCap Pro zurückzuführen sind. Aufgrund des großen Einflusses der Targetmessung auf die generierten Strecken konnten einige Ergebnisse nicht eindeutig analysiert werden. Unter Nichtbeachtung des scheinbar noch unzuverlässigen automatischen Targetfittings sind bei Verwendung der flachen Targets die gemessenen Strecken tendenziell zu kurz. Dies ist sowohl aus der Messung im 3D-Testfeld als auch auf der Komparatorbahn erkennbar.

Abschließend muss noch erwähnt werden, dass die Untersuchungen in einem sehr frühen Entwicklungsstadium von Soft- (ReCap Pro) und Hardware (Leica BLK360) stattgefunden haben. Aus diesem Grund sollten weitere Messungen auch mit anderen Scannern des gleichen Typs durchgeführt werden, um die hier erzielten Ergebnisse zu validieren.

Danksagung

Die Autoren danken dem Vermessungsbüro Dr. Hesse und Partner Ingenieure (Hamburg) für das Zurverfügungstellen des Laserscanners Leica BLK360.

Literatur

- Blaskow, R. & Schneider, D. (2014): *Analysis and correction of the dependency between laser scanner intensity values and range*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40. Jg., Nr. 5, S. 107-112.
- Kersten, Th., Mechelke, K., Lindstaedt, M. & Sternberg, H. (2009): *Methods for Geometric Accuracy Investigations of Terrestrial Laser Scanning Systems*. Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation, Heft 4, S. 301-316.
- Lindstaedt, M., Graeger, T., Mechelke, K. & Kersten, Th. (2011): *Terrestrische Laserscanner im Prüfstand – Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen der terrestrischen Laserscanner Riegl VZ-400, Leica C10 und Faro Photon 120*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2011, Th. Luhmann/Ch. Müller (Hrsg.), Wichmann, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 4-14.
- Lindstaedt, M., Kersten, Th., Mechelke, K. & Graeger, T. (2012): *Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner – Gemeinsame geometrische Genauigkeitsuntersuchungen verschiedener Laserscanner an der HCU Hamburg*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2012, Th. Luhmann/Ch. Müller (Hrsg.), Wichmann, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, S. 264-275.
- Lindstaedt, M., Kersten, Th., Mechelke, K., Graeger, T. & Sternberg, H. (2009): *Phasen im Vergleich - Erste Untersuchungsergebnisse der Phasenvergleichsscanner FARO Photon und Trimble FX*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2009, Th. Luhmann/Ch. Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, S. 53-64.
- Mader, D., Blaskow, R., Westfeld, P. & Weller, C. (2016): *Potential of UAV-based laser scanner and multispectral camera data in building inspection*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 41, S. 1135-1142.
- Pfeifer, N., Dorninger, P., Haring, A. & Fan, H. (2007): *Investigating terrestrial laser scanning intensity data: quality and functional relations*. 8th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, 328-337.
- Westfeld, P., Mader, D. & Maas, H.-G. (2015): *Generation of TIR-attributed 3D point clouds from UAV-based thermal imagery*. Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation, 2015(5), S. 381-393.

BLASKOW, Robert
TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
robert.blaskow@tu-dresden.de

KERSTEN, Thomas
HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning
thomas.kersten@hcu-hamburg.de

LINDSTAEDT, Maren
HafenCity Universität Hamburg, Labor für Photogrammetrie & Laserscanning
maren.lindstaedt@hcu-hamburg.de

SCHNEIDER, Danilo
TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
danilo.schneider@tu-dresden.de