

Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen der terrestrischen Laserscanner Leica RTC360 und Z+F IMAGER 5016 im Labor und im Feldprüfverfahren

Thomas KERSTEN, Mathias STANGE, Maren LINDSTAEDT und Klaus MECHELKE

Zusammenfassung

Dieser Beitrag fasst die geometrischen Untersuchungen der beiden terrestrischen Laserscanner Leica RTC360 und IMAGER 5016 an der HafenCity Universität Hamburg zusammen und gibt einen Überblick über das geodätische Genauigkeitspotenzial der beiden Scanner neuester Generation. Für die Untersuchungen werden die drei verschiedenen voneinander unabhängigen Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner zur Untersuchung der geometrischen Genauigkeit vorgestellt, mit denen die zwei eingesetzten Laserscanner erfolgreich unter Laborbedingungen analysiert wurden: (a) Streckenmessgenauigkeit zu S/W-Zieltafeln und Kugeln auf der 20-m-Komparatorbahn, (b) Vergleich von Raumstrecken im 3D-Testfeld auf S/W-Zieltafeln und (c) Untersuchung der Ebenheitsabweichung in Anlehnung an die Richtlinie VDI/VDE 2634 (VDI/VDE 2002) auf eine ebene Steinplatte. Die Referenzmessungen auf der Komparatorbahn wurden mit der Totalstation Leica TS60 realisiert, während das 3D-Testfeld mit dem Lasertracker Leica AT960 eingemessen wurde. Die Ergebnisse der geometrischen Genauigkeitsuntersuchungen zeigen sehr geringe Abweichungen im Bereich von 1-2 Millimetern, was den Herstellerangaben entspricht.

Zusätzlich wurden beide Laserscanner in Anlehnung an das DVW-Merkblatt 7-2014 zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern im Außengelände der HafenCity Universität Hamburg getestet. Für die Durchführung des sogenannten Feldprüfverfahrens wurden ausschließlich die Standardausrüstung und -software der beiden Hersteller verwendet. Das gesamte Feldprüfverfahren inklusive Datenerfassung und Auswertung konnte innerhalb von vier bis fünf Stunden umgesetzt werden. Bei beiden Messsystemen konnten erwartungsgemäß keine signifikanten Distanz- bzw. Winkelabweichungen festgestellt werden, sodass die geprüften Laserscanner unter Berücksichtigung des erfassten Messvolumens als einsetztauglich bezeichnet werden können.

1 Einleitung

Der Einsatz von terrestrischen Laserscannern hat sich seit Jahren im Alltag der Geodäten etabliert. Die aktuellen Geräte gehören mittlerweile der vierten Generation an und sind hinsichtlich ihrer Genauigkeit kaum mehr entscheidend weiterzuentwickeln. Dennoch sollte die vom Hersteller angegebene Genauigkeit von Zeit zu Zeit überprüft werden, um eine entsprechende Angabe auch gewährleisten zu können.

Die HafenCity Universität Hamburg beschäftigt sich seit 2004 mit der Untersuchung von terrestrischen Laserscanningsystemen (KERSTEN et al. 2009; LINDSTAEDT et al. 2009, 2011, 2012); seit 2016 ist am neuen Standort in der HafenCity ein neues Testfeld entstanden. Dieses

und die 20-m-Komparatorbahn werden neben der Lehre auch zur Untersuchung und Überprüfung verschiedener Laserscanner eingesetzt (BLASKOW et al. 2018). Einrichtungen wie das Landeskriminalamt Hamburg lassen ihre terrestrischen Laserscanner jährlich im Rahmen der notwendigen Zertifizierungen an der HCU überprüfen. Neben der HCU beschäftigen sich auch weitere Hochschulen mit der Untersuchung von Laserscannersystemen. HOLST et al. (2018) haben die diversen Testszenerien der verschiedenen Hochschulen zusammengestellt.

Zusätzlich zu den drei Untersuchungen im Labor wurde in diesem Jahr auch das Feldprüfverfahren des DVW gemäß Merkblatt Nr. 7 durchgeführt (NEITZEL et al. 2014). Dieses Verfahren ist in seiner Erweiterung 2018 als ISO 17123-9 veröffentlicht worden, die mit diesem Teil 9 nun auch Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner berücksichtigt. Die Ergebnisse für die beiden untersuchten Laserscanner Z+F IMAGER 5016 und Leica RTC 360 werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.



Abb. 1:
Terrestrische Laserscanner Z+F IMAGER 5016 (links) und Leica RTC360 (rechts)

Tabelle 1: Technische Spezifikationen der beiden Laserscanner

Spezifikation	Z+F IMAGER 5016	Leica RTC360
Distanzmessverfahren	Phase	Impuls & Phase
Gesichtsfeld H / V [°]	360 / 320	360 / 300
Scandistanz [m]	0,3 bis 365	0,5 bis 130
Scangeschwindigkeit	max. 1,1 Mio. Pkte/Sek.	bis zu 2 Mio. Pkte/Sek.
Winkelgenauigkeit H / V [°]	0,004	0,005
Distanzgenauigkeit	1 mm + 10 ppm	1 mm + 10 ppm
Auflösung	sechsstufig, von 1 12 mm @ 10 m	dreistufig, 3 / 6 / 12 mm @ 10 m
Entfernungsruschen	0,3 mm @ 10 m	0,4 mm @ 10 m
3D-Punktgenauigkeit	keine Angaben	5,3 mm @ 40 m
Kamera	integriert	integriert
Neigungssensor	dynamischer Kompensator	inertiale Messeinheit
Abmessung (B×T×H) [mm]	150 × 258 × 328	120 × 240 × 230
Gewicht [kg]	6,5	5,4

2 Die untersuchten terrestrischen Laserscanner

Für die Untersuchungen stehen mit dem Z+F IMAGER 5016 und dem Leica RTC360 (s. Abb. 1) zwei aktuelle und innovative Systeme zur Verfügung. Beide Geräte haben eine angegebene Distanzmessgenauigkeit von $1 \text{ mm} + 10 \text{ ppm}$ sowie eine ähnliche Winkelgenauigkeit. Während die Distanzmessung des IMAGER 5016 auf dem Phasenvergleichsverfahren basiert, kommt beim Leica RTC360 eine Kombination aus Phasendifferenz- und Impulslaufzeitverfahren zum Einsatz. Durch weitere integrierte Sensorik wie Neigungsmesser und Kamera sowie umfangreiche Software sind die Systeme flexibel und effizient einsetzbar. Weitere technische Spezifikationen sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

3 Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen im Labor

3.1 Das 3D-Testfeld

Das genutzte Testfeld wurde im Jahr 2016 im Neubau der HCU Hamburg im Geodätischen Labor eingerichtet. Im Gegensatz zum Testfeld am alten Standort (KERSTEN et al. 2009; LINDSTAEDT et al. 2009; LINDSTAEDT et al. 2011; LINDSTAEDT et al. 2012) hat es ein signifikant kleineres Messvolumen und erstreckt sich nur über ein Stockwerk. Durch die Länge des Labors ergeben sich jedoch Referenzstrecken bis zu einer Länge von 35 m. Das Testfeld besteht aus 20 an den Wänden und an der Decke verteilten Messpunkten (Abb. 3), die durch Punktnester realisiert sind. Für den Einsatz mit einem Laserscanningsystem werden spezielle Adapter genutzt, die die Platzierung eines B/W-Targets auf dem Punktnest ermöglichen (Abbildung 2). Um eine hochgenaue Referenzmessung zu realisieren, können Corner Cube Reflektoren zusammen mit einem Lasertracker genutzt werden. Die Untersuchung im 3D-Testfeld gibt eine Aussage über mehrere Fehleranteile eines Systems, die hier nicht separat bestimmt werden können. Neben der Distanz- und der Winkelgenauigkeit des Scanners beeinflusst auch der Algorithmus des Target-Fittings in der jeweiligen Software das Ergebnis. Daher ist es wichtig, die zum System zugehörige Software auch für die Auswertung des jeweiligen Datensatzes zu nutzen, um eine Aussage zum Gesamtsystem treffen zu können.

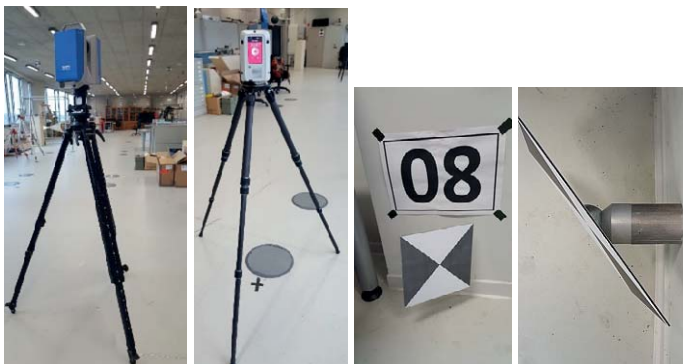


Abb. 2:
Terrestrische Laserscanner Z+F IMAGER 5016 (links) und Leica RTC360 (Mitte) im 3D-Testfeld, Zielzeichen (rechts)

Die Erfassung des Testfeldes erfolgte für jeden Scanner von jeweils vier Standpunkten aus. Die Auflösung für den IMAGER 5016 wurde auf high ($6 \text{ mm} @ 10 \text{ m}$) mit der Qualität

normal gesetzt, für den RTC360 wurde für die Auflösung die höchste Stufe gewählt (3 mm @ 10 m). Durch auftretende Verdeckungen konnten nicht immer alle Targets in jedem Scan erfasst werden, beim IMAGER 5016 waren es zwischen 16 und 18, beim RTC360 zwischen 17 und 18. Die für die Auswertung zugrunde liegende Referenzmessung wurde mit einem Leica ATR 960 Lasertracker durchgeführt. Die Targets wurden von jeweils drei verschiedenen Standpunkten erfasst, transformiert und anschließend gemittelt. Die Genauigkeit des Lasertrackers liegt laut Herstellerspezifikation bei $U_{X,Y,Z} = \pm 15 \mu\text{m} + 6 \mu\text{m}/\text{m}$. Somit lagen für die Auswertung Referenzkoordinaten in übergeordneter Genauigkeit vor.

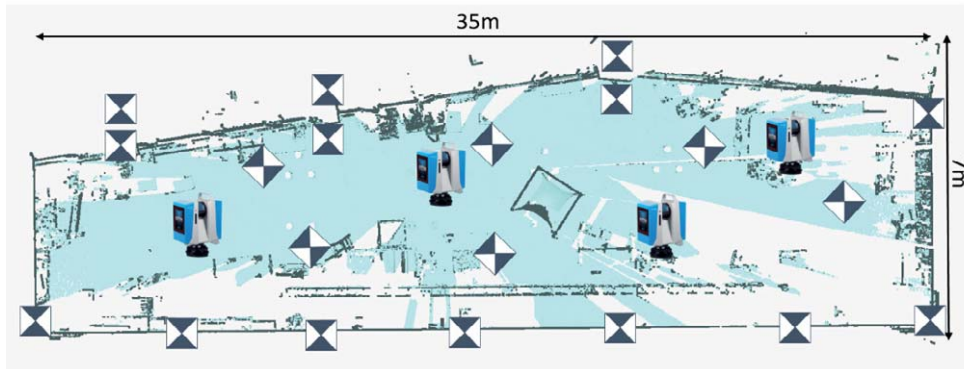


Abb. 3: Verteilung der Zielzeichen und der Scannerstandpunkte im 3D-Testfeld der HCU Hamburg

Die anschließende Auswertung wurde in der Software Z+F LaserControl bzw. Leica Cyclone Registration durchgeführt. Das Target-Fitting ist in beiden Programmen implementiert und wurde für die Daten des IMAGER 5016 automatisiert durchgeführt, die Targets des RTC360 mussten teilweise nachträglich noch angepasst bzw. korrigiert werden. Von den maximal 760 Strecken für vier Standpunkte wurden für den IMAGER 5016 613 Strecken ausgewertet, für den RTC360 666 Strecken. Die aus den Koordinaten berechneten Strecken wurden mit den Strecken aus der Referenzmessung verglichen und die Differenzen in ein Häufigkeitsdiagramm mit einer Klassengröße von 0,5 mm eingetragen (Abbildung 4 rechts). Beim IMAGER 5016 ergibt sich ein um +0,5 mm verschobenes Maximum mit einer ansonsten fast idealen Normalverteilung; die Spanne (als Summe der maximalen negativen und positiven Abweichung) der Werte liegt bei 3,9 mm. Die Kurve des RTC360 ist dagegen etwas flacher und breiter, die Spanne ist mit 8,0 mm doppelt so groß. Dafür ist das Maximum nicht von null verschoben, 160 Werte wurden hier zu null klassifiziert. Eine Abweichung von max. 1 mm wurde für den IMAGER 5016 in 93,1 %, beim RTC360 in 77,6 % aller Werte eingehalten. Der zugrunde liegende Mittelwert aus den Streckendifferenzen (Ist-Soll) verdeutlicht, die systematische Messabweichung des jeweiligen Messinstruments im untersuchten Messbereich der Referenzstrecken. Die Referenzstrecken liegen in einem Bereich zwischen 1,8 m und 35,9 m (minimale und maximale 3D-Strecke). Der Z+F IMAGER 5016 misst die Raumstrecken auf die 613 Strecken um 0,2 mm im Mittel länger und der RTC360 auf 666 Strecken im Mittel um -0,3 mm kürzer.

Streckenvergleich (3D)	ZF5016	RTC360
Anzahl Strecken	613	666
Minimum [mm]	-2,1	-4,5
Maximum [mm]	1,8	3,5
Spanne [mm]	3,9	8,0
Mittelwert [mm]	0,2	-0,3
Stdabw. Mittelwert [mm]	0,4	0,8
S ^{3D} in -1 ... +1 mm [%]	93,1	77,6

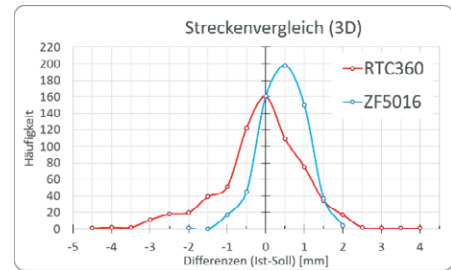


Abb. 4: Ergebnisse des 3D-Streckenvergleiches im 3D-Testfeld – numerisch (links) und grafisch (rechts)

3.2 Die 20-m-Komparatorbahn

Die Streckengenauigkeit wurde auf der 20-m-Komparatorbahn im Labor an der HCU Hamburg untersucht. Auf der Bahn lassen sich beliebige Strecken bis 20 m Länge realisieren und für die Messung aus einer Richtung mit dem Laserscanner und aus der anderen Richtung mit dem Referenzmesssystem bestimmen. Das B/W-Target bzw. die Kugel (199 mm Durchmesser) sind auf einem Schlitten montiert, ebenso ein Corner Cube Reflektor, zu dem die Referenzmessung erfolgt. Mit dem Schlitten werden Strecken von einem bis 20 m in Meterabständen realisiert. Der Messaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt.



Abb. 5: V. l. n. r.: Leica RTC360, Z+F IMAGER 5016, Leica TS60 (Referenzmesssystem) sowie Zielzeichen und Kugel auf dem Schlitten

Die Referenzstrecken wurden mit einer Leica TS60 Totalstation gemessen, die laut Hersteller eine Genauigkeit von 0,6 mm + 2 ppm bei Messung auf einem Corner Cube aufweist. Für beide Scanner wurden jeweils zwei Durchgänge gemessen, einer auf das Target und einer auf die Kugel. Die Auflösung des IMAGER 5016 wurde auf high mit der Qualität normal gesetzt (6 mm @ 10 m), für den RTC360 wurde die höchste Stufe (3 mm @ 10 m) gewählt. Während mit dem IMAGER 5016 jeweils nur ein kleiner Ausschnitt mit dem Target erfasst wurde, musste aufgrund der nicht vorhandenen Funktionalität eines Ausschnitt-Scans beim RTC360 jedes Mal ein kompletter Panorama-Scan erfasst werden. Aufgrund der hohen Scangeschwin-

digkeit führte dies zwar nicht zu einer deutlich längeren Scandauer, doch die erfasste Datenmenge für alle drei Untersuchungen betrug mehr als das 100-fache gegenüber dem IMAGER 5016. Dieses Datenvolumen zog dann zwangsläufig eine längere Datenbearbeitung nach sich.

Im Diagramm in Abbildung 6 sind die Ergebnisse der Messung auf das B/W-Target dargestellt. Beide Scanner weisen geringe Abweichungen zur Referenz zwischen $-0,5$ mm und $+1$ mm auf. Die Abweichungen des IMAGER 5016 bewegen sich um null herum, sowohl im positiven als auch im negativen Bereich, was der Mittelwert von $0,07$ mm bestätigt. Beim RTC360 hingegen sind die Abweichungen bis auf eine Ausnahme alle positiv, das heißt die Strecken sind generell minimal zu kurz.

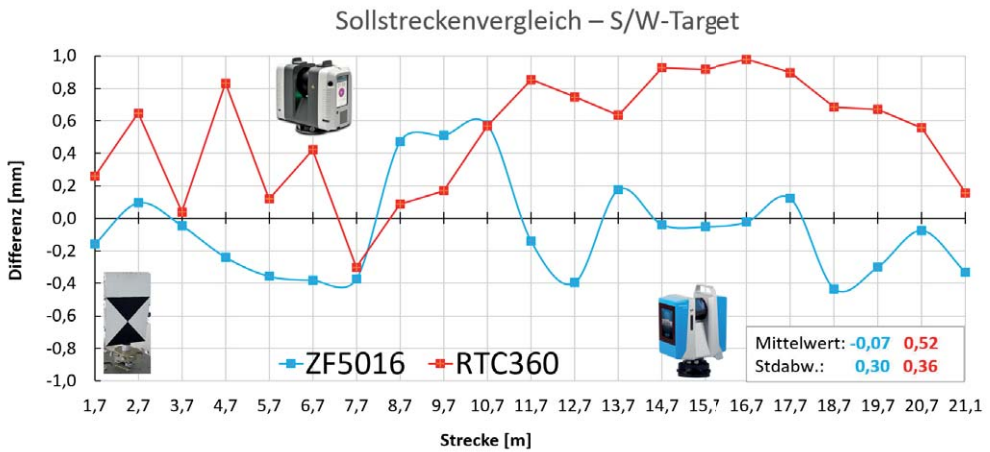


Abb. 6: Streckenmessgenauigkeit auf der 20-m-Komparatorbahn bei Messungen jeweils auf ein B/W-Target

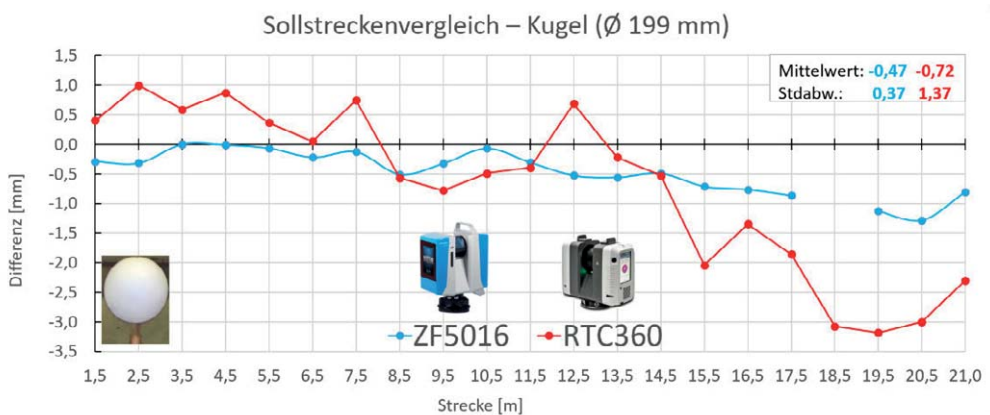


Abb. 7: Streckenmessgenauigkeit auf der 20 m-Komparatorbahn bei Messungen jeweils auf eine Kugel (199 mm Durchmesser)