

Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen neuester terrestrischer Laserscannersysteme - Leica ScanStation 2 und Z+F IMAGER 5006

Klaus MECHELKE, Thomas KERSTEN, Maren LINDSTAEDT

Zusammenfassung

Die neueste Generation der terrestrischen 3D-Laserscanner bietet einige neue geodätische Eigenschaften und bessere Leistung. Dennoch ist es weiterhin sehr wichtig, das Genauigkeitsverhalten der neuen Systeme zu testen, um es für den optimalen Einsatz in verschiedenen Anwendungen zu kennen. Standardisierte Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner gibt es jedoch heute noch nicht. Das Department Geomatik der HafenCity Universität Hamburg (HCU Hamburg) hat eigene Prüfverfahren entwickelt, die Aussagen über das Genauigkeitsverhalten der neuesten Generation terrestrischer Laserscannersysteme (TLS) erlauben. In diesem Beitrag werden Untersuchungen mit der Leica ScanStation 1 und 2, mit dem Leica HSD 6000 und dem baugleichen IMAGER 5006 von Zoller + Fröhlich vorgestellt, bei denen Streckenvergleiche im 3D-Testfeld und auf der Eichstrecke, sowie Genauigkeitstests der Neigungssensoren und Untersuchungen zum Einfluss des Auftreffwinkels des Laserstrahles auf die 3D-Punktgenauigkeit durchgeführt wurden. Die erzielten Ergebnisse bestätigen weitestgehend die technischen Spezifikationen der Systemhersteller.

1 Einleitung

Terrestrische Laserscanner drängen seit circa zehn Jahren auf den Markt, wobei sie sich seit fünf Jahren als ergänzende oder konkurrierende Erfassungsinstrumente neben Photogrammetrie und Tachymetrie in der Praxis etabliert haben. Dabei steht das terrestrische Laserscanning auch für einen Paradigmenwechsel „vom repräsentativen Einzelpunkt zur genauen und detailreichen 3D-Punktwolke“ (STAIGER & WUNDERLICH 2006). Heute bieten die Systemhersteller Laserscanner zunehmend mit geodätischen Eigenschaften (z.B. Neigungskompensation) und Sensorfusion (z.B. digitale Kamera und GPS) an, um diese Instrumente universeller, flexibler und damit effizient einsetzbar zu machen. Bei der mittlerweile großen Typenvielfalt terrestrischer Laserscanner fällt es dem Anwender schwer, im Dschungel der technischen Spezifikationen eine Vergleichbarkeit zur Leistungsfähigkeit und Genauigkeit zu finden (HEISTER 2006) und die technischen Spezifikationen zu überprüfen.

Daher beschäftigen sich in erster Linie verschiedene Hochschulen (BÖHLER et al. 2003; INGENSAND et al. 2003; CLARK & ROBSON 2004) mit geometrischen Untersuchungen der Laserscanner, um daraus vergleichbare Aussagen über das Potential der Scanner zu treffen und um daraus geeignete Prüfverfahren abzuleiten. Das Department Geomatik der HafenCity Universität Hamburg (HCU Hamburg) untersucht seit 2004 terrestrische Laserscanner und entwickelt daraus eigene Prüfverfahren (KERSTEN et al. 2004, KERSTEN et al. 2005, STERNBERG et al. 2005; MECHELKE et al. 2007), die Aussagen über das Genauigkeitsverhalten und über das Anwendungspotenzial terrestrischer Laserscannersysteme (TLS) erlauben.

2 Untersuchte terrestrische Laserscannersysteme

Für die Untersuchungen zum Genauigkeitsverhalten terrestrischer Laserscanningsysteme wurden folgende Systeme eingesetzt, die zwei unterschiedliche Streckenmessverfahren repräsentieren: Leica ScanStation 1 und Leica ScanStation 2 (Impulslaufzeitverfahren), Leica HDS6000 und IMAGER 5006 von Zoller & Fröhlich (Phasendifferenzverfahren) (Abb. 1). Die wichtigsten technischen Spezifikationen dieser Instrumente sind in Tabelle 1 zusammengefasst.



Abb. 1: Terrestrische Laserscanner v.l.n.r.: Leica ScanStation 1, ScanStation 2, Leica HDS 6000 und IMAGER 5006 von Zoller & Fröhlich.

Tabelle 1: Technische Spezifikationen der untersuchten Laserscanner

Scanner/Kriterium	Leica ScanStation 1	Leica ScanStation 2	Leica HDS6000	Z+F IMAGER 5006
Messverfahren	Impulslaufzeit		Phasendifferenz	
Gesichtsfeld [°]	360 x 270		360 x 310	
Scandistanz [m]	300		< 79	
Scangeschwindigkeit	≤ 4000pts/s	≤ 50000pts/s	≤ 500000px/s	
Winkelauflös. H/V [°]	0,0017		0,0018	
Laserspotgröße	6mm/50m		14mm/50m	
3D Punktgenauigkeit	6mm/50m		10mm/50m	
Kamera	integriert		optional als Aufsatz	
Neigungssensor	Zweiachs-Kompensator		ja	

Die ScanStation 2 besitzt einen Zweiachs-Kompensator, mit 50000 Punkten/Sekunde die höchste Scanrate aller Impulslaufzeitsscanner und eine hohe Reichweite (300m). Dennoch erlaubt das Phasendifferenzverfahren eine wesentlich höhere Messrate (hier Faktor 10 schneller), aber das Signalrauschverhalten ist abhängig von der Scandistanz (max. 79m) und den Beleuchtungsbedingungen. Das Impulslaufzeitverfahren erlaubt somit deutlich weitere Streckenmessungen, aber mit einer geringeren Geschwindigkeit. Alle Scanner bieten durch ein volles Sichtfeld eine optimale Einsatzflexibilität und eine hohe 3D Punktgenauigkeit mit 6mm bzw. 10mm auf 50m.

3 Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen

3.1 3D-Testfeld

Gemäß der Richtlinien der VDI/VDE 2634 (Blatt 2 und 3) erfolgen die Abnahme und Überwachung von flächenhaft messenden optischen 3D-Messsystemen, zu denen auch die terrestrischen Laserscanner zählen, durch die Messung kalibrierter Prüfkörper in regelmäßigen Intervallen. Ein wichtiger Qualitätsparameter könnte die Kugelabstandsabweichung, ähnlich wie in der ISO 10 360 definiert, darstellen. Anstelle von kalibrierten Prüfkörpern im Objektraum werden an der HCU Hamburg Referenzdistanzen zwischen den Kugeln für die Genauigkeitsuntersuchung verwendet. Bei dieser Untersuchung ist die Genauigkeit eines 3D Laserscanners durch eine Kombination von folgenden Fehlern beeinflusst, die leider nicht separat bestimmt werden können: Distanz- und Winkelmessung, Einpassung der Kugeln in der Punktwolke und Zentrierfehler der Kugeln.



Abb. 2: 3D Testfeld der HafenCity Universität Hamburg für die geometrische Untersuchung terrestrischer Laserscanner.

Um die Genauigkeit der Streckenmessungen, der Registrierung und der Geo-Referenzierung der verschiedenen Laserscanner zu untersuchen, wurde bereits 2003 an der HCU Hamburg in der Halle des Gebäudes D am Hochschul-Campus der City Nord ein 3D-Testfeld dauerhaft angelegt (KERSTEN et al. 2004). Dazu wurden 53 Referenzpunkte, die sowohl mit Prismen als auch mit Kugeln oder Zieltafeln signalisiert werden können, über drei Ebenen (siehe Abb. 2) auf dem Boden, in den Wänden oder an Betonpfeilern in Form von Gewinden (M8) verankert. Für die Signalisierung der Referenzpunkte wurden spezielle Adapter gebaut, um eine genaue, stabile und wiederholbare Einpassung der Kugeln oder Zieltafeln zu garantieren. Die Referenzpunkte wurden wie bisher vor der Messkampagne mit einem Präzisionstachymeter von fünf Standpunkten aus gemessen und in einer zwangsfreien 3D-Netzausgleichung mit PANDA mit einer Standardabweichung von kleiner als 1mm in einem lokalen Netz bestimmt.

Im Rahmen der im Oktober 2007 durchgeführten Messkampagne im 3D-Testfeld wurden für alle untersuchten Instrumente von fünf Scannerstandpunkten auf drei Etagen Kugeln mit einem Durchmesser von 199mm auf 30 Referenzpunkten gescannt. Die Punktwolken aller

Kugeln wurden in RealWorks Survey manuell segmentiert, so dass in der bereinigten Punktwolke der Kugelmittelpunkt jeweils mit definiertem Radius bestimmt wurde. Alle Kugelkoordinaten der fünf Scannerstandpunkte wurden in RealWorks Survey in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert. Anschließend wurden aus den bestimmten Kugelkoordinaten und den Referenzkoordinaten in allen möglichen Kombinationen Strecken berechnet und miteinander verglichen. Die Differenzen sind als negativer und positiver Maximalwert und der daraus resultierenden Spanne in Tab. 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Vergleich der 3D-Strecken im Testfeld zwischen Laserscanner und Referenz

Scanner	# 3D Punkte	# Strecken	Δd min [mm]	Δd max [mm]	Spanne [mm]
Leica ScanStation 1	29	351	-5,4	6,5	11,9
Leica ScanStation 2	29	351	-5,4	6,5	11,9
Leica HDS6000	30	406	-6,7	6,3	13,0
Z+F IMAGER 5006	30	406	-5,7	7,7	13,4

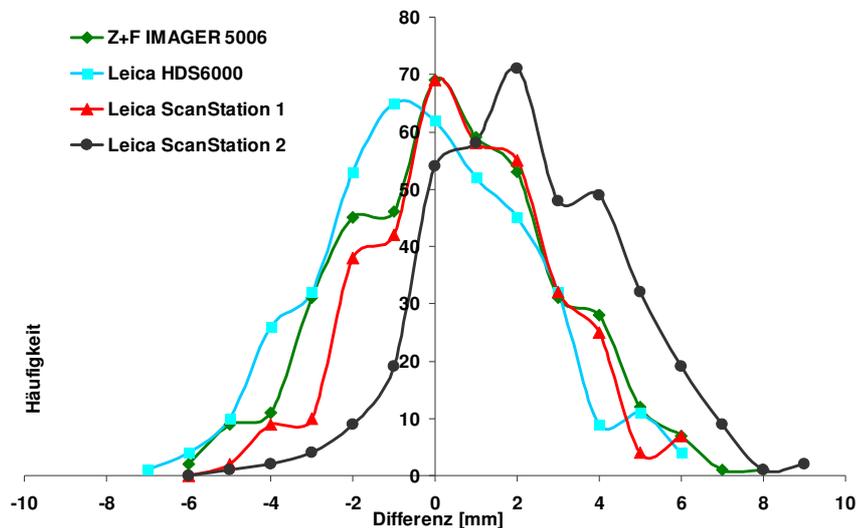


Abb. 3: Verteilung der Abweichungen der gescannten Distanzen zur Referenz für die vier untersuchten terrestrischen Laserscanner (Messkampagne Oktober 2007)

Die Ergebnisse der vier untersuchten Instrumente sind sehr ähnlich, wobei die beiden ScanStations ein fast gleiches und gegenüber den Phasendifferenzscannern leicht besseres Genauigkeitsverhalten zeigten. In Abb. 3 ist zu sehen, dass die ScanStation 2 eine Additionskonstante von +2mm und der HDS6000 von -1mm aufweist. Die Ergebnisse in Tab. 2 bestätigen Untersuchungen vom April 2007 mit der ScanStation 1 und dem IMAGER 5006. Damals wies die ScanStation 1 eine Additionskonstante von +4mm auf (MECHELKE et al. 2007).

3.2 Vergleich der gescannten Distanzen mit Referenzstrecken

Die Untersuchung der Streckenmessgenauigkeit erfolgte für die Leica ScanStation 2 wegen der großen Reichweite auf der amtlichen Vergleichsstrecke der Hansestadt Hamburg, die aus sieben Granitfeilern besteht und einen Streckenbereich bis 430m abdeckt. Für die Untersuchung wurde die Strecke im Bereich bis 75m durch Stativpunkte in 10m-Abständen weiter verdichtet. Die Bestimmung der Referenzstrecken erfolgte mit einem elektronischen Präzisionstachymeter Leica TCA2003, wobei Korrekturen durch Luftdruck am Standpunkt sowie Lufttemperatur an Stand- und Zielpunkt vor jeder Messung berücksichtigt wurden. Die ermittelten Referenzstrecken wichen im Mittel um $\pm 0.5\text{mm}$ von den vorher bestimmten Strecken ab, die mit einem Kern Mekometer 5000 gemessen wurden.

Die Messungen mit der ScanStation2 zu verschiedenen Zielmarken (HDS Flat Target, HDS schwarz/weiß Target sowie Kugel mit einem Durchmesser von 199mm) wurden über die Software Leica CYCLONE 5.8 gesteuert. Die verwendete Kugel ist eine Kunststoff-Hohlkugel mit spezieller Oberflächenbeschichtung und Zentriermöglichkeit, die an der HCU entwickelt wurde. Alle Scans wurden mit eingeschaltetem Kompensator und Streckenkorrekturen wegen Luftdruck und Temperatur durchgeführt, wobei jedes Zielzeichen viermal hintereinander gescannt wurde. Die jeweiligen Zentrumskoordinaten wurden in CYCLONE automatisch berechnet und anschließend gemittelt. Die aus den Koordinaten ermittelten Horizontalstrecken wurden den Referenzstrecken gegenübergestellt.

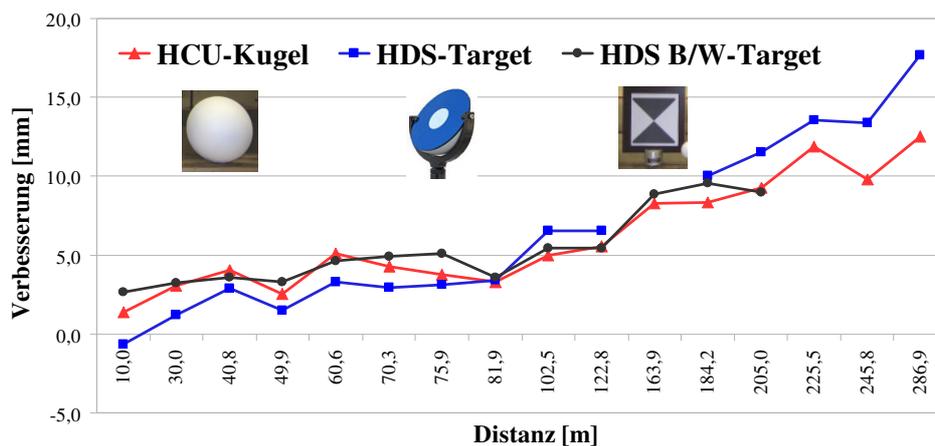


Abb. 4: Sollstreckenvergleich für die Leica ScanStation 2

Aus den in der Abb. 4 dargestellten Ergebnissen lässt sich ein Maßstabsfehler in der Größenordnung von ca. +65ppm ableiten. Im Scanbereich unter 100m weisen Messungen zum HDS Flat Target die kleinsten Verbesserungen ($< 5\text{mm}$) auf, darüber zeigen die Messungen zur Kugel die besten Ergebnisse (Verbesserung von max. 12.5mm auf 287m), da sich die im Vergleich zum HDS Flat Target größere Kugeloberfläche günstig auf den Einpassungsalgorithmus auswirkt. Für die Messungen zum schwarz/weiß Target konnte der Fittingalgorithmus in CYCLONE nur bis ca. 200m ein Ergebnis liefern.

3.3 Streckenmessgenauigkeit zu verschiedenen Zielzeichen

Für den IMAGER 5006 wurde die Streckenmessgenauigkeit auf verschiedenen Zielkörpern bei unterschiedlicher Auflösungsstufe auf der 20m langen Komparatorbank im Messkeller des A-Gebäudes der HafenCity Universität Hamburg am Standort City Nord untersucht. Dazu wurden der Scanner an dem einen Ende und eine Totalstation Leica TCRP 1201 an dem anderen Ende der Komparatorbank stabil positioniert, während die Referenzstrecken in 2m-Schritten (2 - 20m) abgesteckt wurden.

Für diese Untersuchung der Streckenmessgenauigkeit wurden folgende unterschiedliche Zielkörper verwendet: eine spezielle Zielmarke von Zoller + Fröhlich (Größe A4) und matt-weiß lackierte Kunststoffkugeln mit unterschiedlichem Durchmesser (76,2mm, 100mm, 145mm und 199mm). Die 76,2mm-Kugel war eine Vollkugel und die anderen waren Hohlkugeln (siehe Abb. 5).

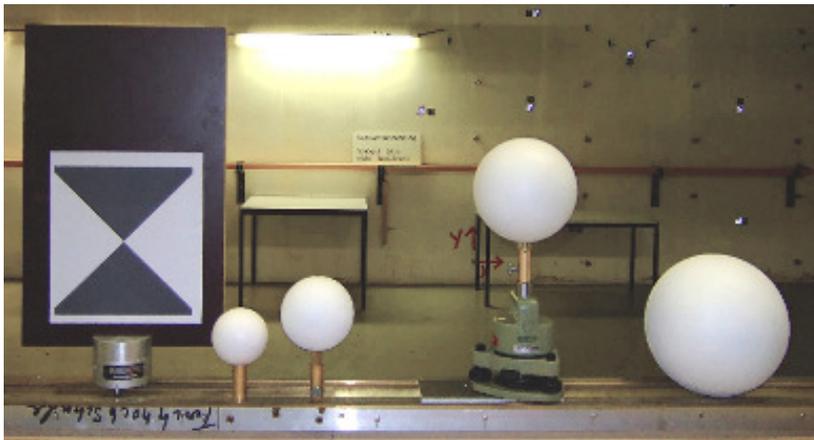


Abb. 5: Unterschiedliche Zielzeichen (v.l. Z+F-Target, Kugel $d=76,2\text{mm}$, $d=100\text{mm}$, $d=145\text{mm}$, $d=199\text{mm}$)

Das Scannen der Kugeln und des Targets erfolgte viermal in verschiedenen Auflösungsstufen, wobei hier nur die Auflösung „ultrahigh“ betrachtet wird. Eine detaillierte Beschreibung der Untersuchung mit allen Auflösungsstufen ist in THAUER (2007) zusammengefasst. Die Auswertung der erfassten Punktwolken erfolgte mit der Software Z+F LaserControl. Im Anschluss wurde aus den Ist-Koordinaten der Zielzeichen die gemittelte Ist-Strecke berechnet. Die Differenzen dieses Streckenvergleiches sind in der Abbildung 6 dargestellt.

Beim Z+F-Target, der 100mm- und 199mm-Kugel kommt es zu den geringsten Abweichungen zur Referenzstrecke mit Werten von maximal 1,6mm. Die kleinste Kugel mit einem Durchmesser von 76,2mm weist dagegen wesentlich größere Differenzen von ca. 8mm auf. Entgegen der Erwartungen, je größer die Kugel umso genauer das Kugelfitting und somit auch die Streckenbestimmung, tritt bei der 145mm-Sphere mit 2 - 4mm eine doppelt so große Differenz wie bei der 100mm-Sphere auf. Die Kugelgröße 76,2mm ist scheinbar für eine Passpunktsignalisierung beim Scannen mit dem IMAGER 5006 nicht geeignet. In genaueren Untersuchungen könnte man noch herausfinden, ob das schlechte

Ergebnis vielleicht in Verbindung zu dem oben genannten Material (Vollkugel aus Kunststoff) steht. Auffällig ist, dass die Differenzen zur Referenzstrecke beim Target vorwiegend positiv und bei den Kugeln negativ sind, was zu kurz gemessene Strecken beim Target bzw. zu lang gemessene bei den Kugeln bedeutet.

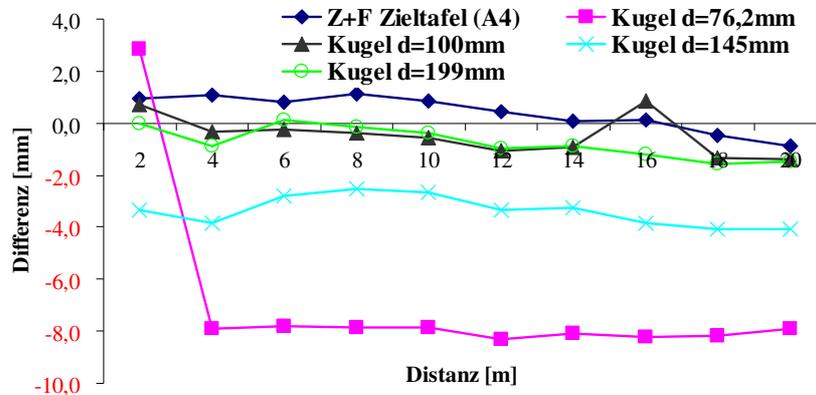


Abb. 6: IMAGER 5006: Streckenvergleich zu verschiedenen Zielkörpern

3.4 Genauigkeitstest der Neigungskompensation

Neigungssensoren bzw. -kompensatoren haben die Aufgabe, Abweichungen der instrumentellen Horizontal- und Vertikalachsen von den durch die Schwerkraft definierten Richtungen zu messen bzw. auszugleichen. Sie dienen der Korrektur der durch die Stehachsschiefe verfälschten Horizontal- und Vertikalwinkel (DEUMLICH & STAIGER 2002).

Die beiden Leica ScanStation 1 und 2 sind mit einem Zweiachskompensator ausgestattet, der Neigungsänderungen während der Messung automatisch ausgleicht. Dadurch kann hier während des Scannens von einer gleich bleibenden horizontalen XY-Ebene im Scannerkoordinatensystem ausgegangen werden. Dagegen verfügt der IMAGER 5006 nur über einen Neigungssensor, der lediglich dazu dient, den Laserscanner zu horizontieren bzw. signifikante Neigungsänderungen während eines Scanvorgangs aufzudecken, die auf eine Bewegung des Statives hindeuten.

Um die Genauigkeit der Neigungssensoren für den jeweiligen Scanner zu prüfen, wurde ein Testfeld eingerichtet. Hierfür wurden 12 Kugeln in 30°-Schritten in einem Kreis mit einem Radius von 50m abgesteckt (Abb. 7, Mitte). Die Kugeln mit einem Durchmesser von 199mm wurden auf einem Fluchtstab befestigt und mithilfe eines Wild N3 Präzisionsniveles mit einer Genauigkeit von $\pm 1\text{mm}$ auf dieselbe Höhe gebracht. Der Scanner wurde im Zentrum des Kreises auf ein Massivstativ (Abb. 7, links) gesetzt und horizontiert. An das Stativ wurde ein Leica Nivel20 Neigungssensor angebracht, um Bewegungen des Stativs während des Scanvorganges zu erfassen (Abb. 7, rechts). Das Nivel20 erfasste dazu alle fünf Sekunden die Neigung in X- und Y-Richtung. Signifikante Stativbewegungen wurden mit keinem Gerät während des Scannens festgestellt (Abb. 7, unten).

Da die Kugeln sich auf gleicher Höhe befanden, sollten die Zentren der gefitteten Kugelkoordinaten in einer horizontalen Ebene liegen, also die Z-Werte der Koordinaten konstant

sein. Die gemittelte Z-Koordinate aus allen Kugelzentren kann somit als Höhe der Referenzebene für den jeweiligen Scanner angesehen werden.

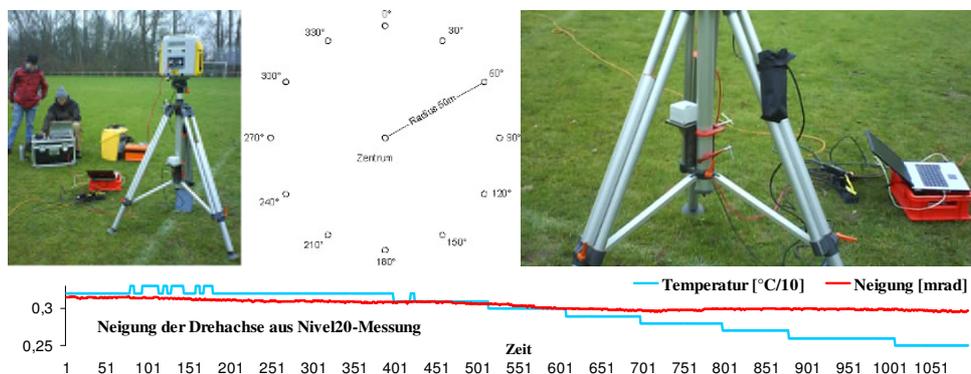


Abb. 7: Testfeld für Neigungssensoren terrestrischer Laserscanner: Scanner auf Masivstativ (links oben), schematischer Versuchsaufbau für Scanner und Kugeln (Mitte), Neigungssensor Leica Nivel20 am Scannerstativ (rechts oben) und Darstellung der Stativbewegungen aus Nivel20-Messungen (unten)

Die Kugeln wurden im Oktober 2007 mit jedem Scanner vier- bis fünfmal in der höchsten Auflösungsstufe gescannt. Anschließend wurden für jede Position die Koordinaten des Kugelzentrums mithilfe des Kugelfittings in RealWorks Survey bestimmt und über die jeweiligen Messungen gemittelt. Die Differenzen in Z zur Horizontalebene (XY-Ebene) sind für die jeweilige Position auf dem Kreis für die Leica ScanStation 2 bei ausgeschalteter (Abb. 8 links) und bei eingeschalteter Neigungskompensation in Abb. 8 (rechts) und für den IMAGER 5006 in Abb. 9 dargestellt.

In Abb. 8 links ist klar ersichtlich, dass Messungen mit der Leica ScanStation 2 bei ausgeschaltetem Neigungskompensator zu hohen Abweichungen von bis zu 82mm führen. Dabei stellen die Abweichungen bei einer 360° Drehung eine sinusförmige Schwingung dar. Auf der anderen Seite ist in Abb. 8 rechts eindeutig zu erkennen, dass bei der ScanStation 2 durch den Einsatz des Zweiachskompensators nur sehr geringe Abweichungen der Z-Koordinate zur Horizontalebene von kleiner als 1mm auftreten. Da diese Ergebnisse mit vorherigen Untersuchungen bei der Leica ScanStation 1 und beim Trimble GX übereinstimmen (MECHELKE et al. 2007), kann man daraus schließen, dass bei Impulslaufzeitscannern Neigungsänderungen während des Scannens durch den Zweiachskompensator sehr gut ausgeglichen bzw. kompensiert werden.

Dagegen zeigt die fehlende Neigungskompensation beim IMAGER 5006 eine Wirkung hinsichtlich größerer Abweichungen. In Abb. 9 sind Abweichungen zur Horizontalebene von bis zu 6mm sichtbar, wobei auch hier die Kurve der Abweichungen im Verlauf einer vollen Umdrehung eine sinusförmige Schwingung andeutet. Auch hier werden wiederum die Ergebnisse der vorherigen Untersuchungskampagne vom April 2007 bestätigt, bei der ein ähnliches Verhalten beim Faro LS 880 HE und beim IMAGER 5006 festgestellt wurde (MECHELKE et al. 2007). Das Scanning der Kugeln lief trotz Horizontierung des Gerätes nicht in einer horizontalen, sondern einer geneigten Ebene ab. Damals wurden jedoch Ku-

geln mit einem kleineren Durchmesser von 145mm verwendet, die wegen einer geringen Punktzahl auf der jeweiligen Kugel durch die Distanz von 50m zu Problemen beim Kugel-Fitting geführt hatten. Beim IMAGER 5006 können jedoch nachträglich Korrekturen durch die registrierte Neigung während des Scannens in LaserControl angebracht werden. Eine Untersuchung der nachträglich angebrachten Korrekturen steht jedoch noch aus.

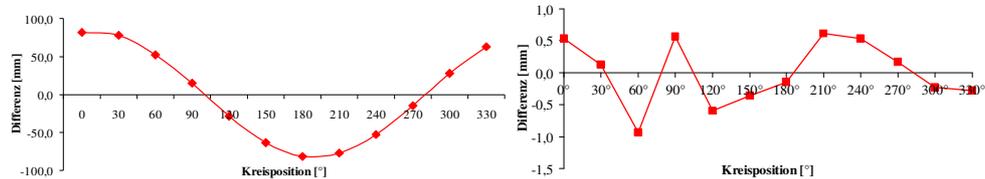


Abb. 8: ScanStation 2: Differenzen gegenüber der Horizontalebene (Z-Koordinate) bei aus- (links) und eingeschaltetem (rechts) Neigungskompensator

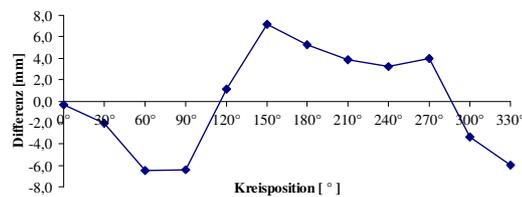


Abb. 9: IMAGER 5006: Differenzen gegenüber der Horizontalebene (Z-Koordinate)

3.5 Einfluss des Auftreffwinkels auf 3D-Punktgenauigkeit

Mit abnehmendem Auftreffwinkel trifft der Laserstrahl nur noch unter einem schleifenden Schnitt auf das Objekt, was eine Reduzierung der Intensität des reflektierten Laserstrahles zur Folge hat und somit die Genauigkeit der Streckenmessung beeinflusst (SCHÄFER & SCHULZ 2005). Eine weitere entscheidende Auswirkung auf die Genauigkeit des jeweiligen 3D-Punktes hat die Spotgröße des Laserstrahles. Bei einem Einfallswinkel von 90° bildet sich der Laserstrahl als ein Kreis auf der Objektoberfläche ab, jedoch bei ungleich 90° nimmt der Spot eine elliptische Form an. Da in diesem Fall das Zentrum des Laserspots nicht mit dem Punkt der Horizontal- und Vertikalwinkelablesung übereinstimmt, wird die 3D-Position der Punktwolke verfälscht.

Für die Untersuchung des Messrauschens in Abhängigkeit vom Auftreffwinkel wurde eine $0,8 \times 0,8\text{m}^2$ große ebene Steinplatte in einen Metallrahmen montiert. In dem Rahmen konnte die Platte mithilfe einer Ablesevorrichtung in diskrete Winkelpositionen gedreht werden. Auf dieser Steinplatte wurden mit Adaptern vier Kugeln mit einem Durchmesser von 76,2mm angebracht (Abb. 10).

Das Scannen der Platte und Kugeln erfolgte aus einer Entfernung von 10m mit einer Auflösung von 3mm. Es wurden jeweils 10 Scans mit einem Auftreffwinkel des Laserstrahles von $90^\circ - 5^\circ$ durchgeführt. Da die Drehung der Platte keinen Einfluss auf die gescannten Punktwolken der Kugeln hatte, wurden die gefitteten Kugelmittelpunkte als Referenzpunkte festgelegt. Ausgewertet wurde der Abstand der Kugelmittelpunkte zur ausgleichenden Ebene, berechnet aus der Punktwolke der Steinplatte, der im Idealfall unter jedem Auf-

treffwinkel konstant bleiben sollte. Die in Abb. 11 dargestellten Ergebnisse zeigen jedoch, dass für den IMAGER 5006 (Phasenvergleichsverfahren) bei kleiner werdenden Auftreffwinkeln die Differenzen zu den Kugelmittelpunkten bis auf 12mm ansteigen, während bei den beiden ScanStation (Impulslaufzeitverfahren) die Werte weitestgehend konstant bei 1mm bleiben. Somit hat der Auftreffwinkel des Laserstrahles bei den beiden Impulslaufzeitsscannern keinen Einfluss auf die 3D-Punktgenauigkeit. Es kann jedoch generell gesagt werden, dass bis zu einem Auftreffwinkel $>45^\circ$ keine signifikanten Einflüsse auf die Genauigkeit der Punktwolke zu beobachten sind.



Abb. 10: Messaufbau zur Untersuchung des Laserstrahlauftreffwinkels

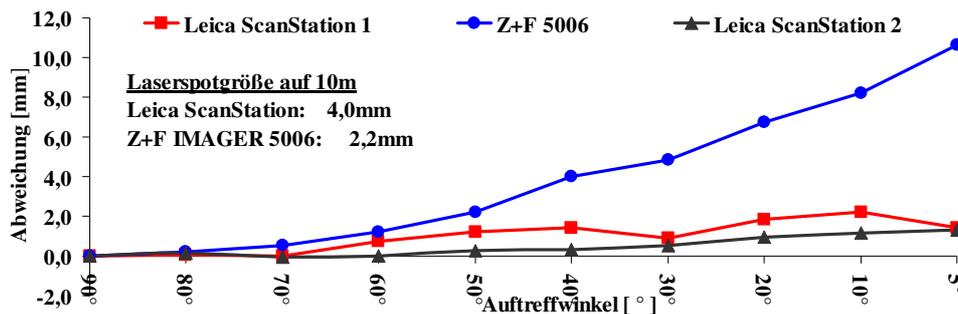


Abb. 11: Einfluss des Laserstrahlauftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit - Abweichung der ausgeglichenen Ebene zur Referenzebene (Objektdistanz 10m)

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Es wurden verschiedene geometrische Prüfverfahren für terrestrische Laserscanner in diesem Beitrag vorgestellt, mit denen die hier vorgestellten Scanner Leica ScanStation 1 und 2 sowie die baugleichen Leica HDS 6000 und IMAGER 5006 erfolgreich untersucht wurden. Die Untersuchungsergebnisse entsprechen weitestgehend den Herstellerangaben, wobei doch einige systematische Abweichungen festgestellt wurden, die einfach zu modellieren und zu kalibrieren wären. Für die Untersuchungen ist es immer wichtig, das Gesamtsystem

aus Hard- und Software zu betrachten, da nicht nur das Messsystem selbst sondern auch die Auswerte-Algorithmen (z.B. beim Kugel-Fitting) einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des Ergebnisses haben.

Die Hochschulen bieten sich für „objektive“ praktische und wissenschaftliche Untersuchungen der Laserscanner als neutraler Partner für Systemhersteller und Anwender an, da sie keine Firmeninteressen vertreten und an Ergebnissen sehr interessiert sind. Allerdings scheint es dafür doch sehr wichtig zu sein, realitätsnahe praktische Bedingungen (Messvolumen) für die Prüfverfahren zu schaffen. Durch standardisierte Prüf- und Kalibrierverfahren könnte Transparenz und Vergleichbarkeit geschaffen werden, die zu mehr Vertrauen in die Technologie führen wird. Ein Vorschlag für standardisierte Prüfverfahren zur einheitlichen Spezifizierung der Genauigkeit für TLS stellt HEISTER (2006) als Diskussionsgrundlage vor. Außerdem darf der Einfluss unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften auf die 3D-Punktbestimmung nicht vernachlässigt werden (CLARK & ROBSON 2004, STERNBERG et al. 2005).

Neben diesen hier vorgestellten Instrumenten wurden an der HCU Hamburg bereits folgende weitere Laserscanner vergleichend untersucht: GS100/GS200 und GX von Trimble, sowie Faro LS 880 HE. Die Ergebnisse wurden auf der Konferenz *Optical 3D Measurement Techniques VIII* in Zürich präsentiert (MECHELKE et al. 2007). Weitere Untersuchungen der neuesten Generation terrestrischer Laserscanner sind in Vorbereitung, wobei die an der HCU Hamburg eingesetzten Prüfverfahren stetig verfeinert und verbessert werden.

5 Literatur

- Boehler, W., Bordas Vicent, M. & A. Marbs (2003): *Investigating Laser Scanner Accuracy*. Proceedings of XIXth CIPA Symposium, Antalya, Turkey, Sept. 30 – Oct. 4.
- Clark, J. & S. Robson (2004): *Accuracy of measurements made with CYRAX 2500 laser scanner against surfaces of known colour*. IAPRS, Vol. XXXV, Commission IV, Part B4, pp. 1031-1037.
- Deumlich, F. & R. Staiger (2002): *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*. 9., neubearbeitete und erweiterte Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg, 426 S.
- Heister, H. (2006): *Zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern (TLS)*. Schriftenreihe des DVW, Band 51, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 35-44.
- Ingensand, H., Ryf, A. & T. Schulz (2003): *Performances and Experiences in Terrestrial Laserscanning*. Optical 3-D Measurement Techniques VI, Grün/Kahmen (Eds.), pp. 236-243.
- Kersten, Th., Sternberg, H., Mechelke, K. & C. Acevedo Pardo (2004): *Terrestrischer Laserscanner Mensi GS100/GS200 – Untersuchungen und Projekte an der HAW Hamburg*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 98-107.

- Kersten, Th., Sternberg, H. & K. Mechelke (2005): *Investigations into the Accuracy Behaviour of the Terrestrial Laser Scanning System Trimble GS100*. Optical 3D Measurement Techniques VII, Gruen & Kahmen (Eds.), Volume 1, pp. 122-131.
- Mechelke, K., Kersten, Th., & M. Lindstaedt (2007): *Comparative Investigations into the Accuracy Behaviour of the New Generation of Terrestrial Laser Scanning Systems*. 8th Conference on Optical 3D Measurement Techniques, Gruen & Kahmen (Eds.), Zurich, July 9-12, Vol. I, pp. 319-327.
- Staiger, R. & T. Wunderlich (2006): *Terrestrisches Laserscanning 2006 – technische Möglichkeiten und Anwendungen*. Schriftenreihe des DVW, Band 51, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 3-14.
- Sternberg, H., Kersten, Th. & N. Conseil (2005): *Untersuchungen des terrestrischen Laserscanners Trimble GS100 - Einfluss unterschiedlicher Oberflächeneigenschaften auf die Punktbestimmung*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005, T. Luhmann (Ed.), Wichmann, Heidelberg, pp. 56–65.
- Schäfer, T. & T. Schulz (2005): *Kalibrierung, Einflussgrößen und Genauigkeiten von Terrestrischen Laserscannern*. Schriftenreihe des DVW, Band 48, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 29-48.
- Thauer, C. (2007): *Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen der neuesten Generation terrestrischer Laserscanner*. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Department Geomatik, HafenCity Universität Hamburg, August.
- VDI/VDE 2634 (2002): *Optische 3D-Messsysteme – Systeme mit flächenhafter Antastung*. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), VDI/VDE Richtlinien, Düsseldorf, August, 2002.

Adressen:

Klaus Mechelke, Thomas Kersten, Maren Lindstaedt
HafenCity Universität Hamburg
Department Geomatik
Hebebrandstrasse 1
22297 Hamburg,
email [klaus.mechelke, thomas.kersten, maren.lindstaedt]@hcu-hamburg.de