

## **Phasen im Vergleich – Erste Untersuchungsergebnisse der Phasenvergleichsscanner FARO Photon und Trimble FX**

Maren LINDSTAEDT, Thomas KERSTEN, Klaus MECHELKE,  
Tanja GRAEGER, Harald STERNBERG

### **Zusammenfassung**

In diesem Beitrag werden erste Untersuchungsergebnisse der neuesten Generation folgender Phasenvergleichsscanner vorgestellt: Trimble FX und Faro Photon 80 im Vergleich zum IMAGER 5006 von Zoller + Fröhlich. Alle drei Scanner können aufgrund ihrer technischen Parameter in ähnlichen Marktsegmenten (z. B. Industrie) eingesetzt werden. Die Untersuchungen wurden genauso wie frühere und bereits publizierte Prüfverfahren am Department Geomatik der HafenCity Universität (HCU) Hamburg durchgeführt, um so eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen früherer Kampagnen gewährleisten zu können. Ergänzend wurden jedoch aus den Messungen auch Kenngrößen berechnet, die von anderen Autoren (HEISTER 2006 und KERN 2008) vorgeschlagen wurden, um so eine Vergleichbarkeit zu Ergebnissen anderer Hochschulen zu ermöglichen. Die drei Scanner wurden in folgenden Prüfverfahren an der HCU Hamburg untersucht: Bestimmung der 3D-Punktgenauigkeit in einem 3D-Testfeld, Streckenmessgenauigkeit bis 20 m auf einer Komparatorbahn und bis 73 m im Feld (nur Photon und IMAGER 5006), sowie Einfluss des Einfallswinkels auf die 3D-Punktgenauigkeit. Aus den in diesem Beitrag dargestellten Ergebnissen kann der Leser entsprechende Rückschlüsse auf die Qualität und Einsetzbarkeit der untersuchten Scanner ziehen.

### **1 Einleitung**

Das terrestrische Laserscanning hat sich schon seit mehreren Jahren als konkurrierende oder auch ergänzende Messmethode zu Photogrammetrie und Tachymetrie auf dem Markt durchgesetzt. Trotz des noch relativ jungen Alters dieser Disziplin sind dennoch in kurzen Abständen immer wieder neue Modelle auf den Markt gebracht worden, die neue Funktionen besitzen und zunehmend schneller und genauer messen, wie es oft in den Prospekten der Hersteller zu lesen ist. Da jeder Hersteller jedoch eigene Genauigkeiten für seine Scanner angibt, ist es schon für Fachleute schwierig, die Geräte untereinander vergleichen zu können, um so ihre Vor- und Nachteile für entsprechende Anwendungen zu erkennen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, beschäftigen sich vor allem Hochschulen seit mehreren Jahren mit Untersuchungen von terrestrischen Laserscannern (u. a. BÖHLER et al. 2003; INGENSAND et al. 2003, KERN & HUXHAGEN 2008, GOTTWALD et al. 2008). Auch hier zeigt sich, dass jede Hochschule ihre eigenen Prüfverfahren entwickelt hat, um so die Systeme umfangreich und intensiv unter die Lupe nehmen zu können. Dadurch ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ähnlich wie bei den Herstellerangaben sehr schwierig. Ein erster konkreter Vorschlag für ein einheitliches Prüfverfahren wurde von HEISTER (2006) in Anlehnung an die VDI/VDE 2634 (2002) gemacht, die für photogrammetrische Systeme mit

flächenhafter Antastung gilt. Ergänzend dazu hat KERN (2008) einheitliche Kenngrößen zur Prüfung von Laserscannern definiert.

In diesem Beitrag werden verschiedene Untersuchungen (3D-Testfeld, Streckenmessgenauigkeit und Einfluss des Einfallswinkels) der neuesten auf dem Markt befindlichen Phasendifferenz-Scanner (siehe Kap. 2) vorgestellt, wobei die gleichen Prüfverfahren zur Vergleichbarkeit mit früheren Geräteuntersuchungen an der HafenCity Universität angewendet wurden (KERSTEN et al. 2008). Außerdem wurden weitere Kenngrößen berechnet, die von anderen Autoren (HEISTER 2006 und KERN 2008) vorgeschlagen wurden, um so eine Vergleichbarkeit zu Untersuchungen anderer Hochschulen anbieten zu können.

## 2 Untersuchte terrestrische Laserscannersysteme

Die hier dargestellten Untersuchungen wurden mit dem Faro Photon 80 und dem Trimble FX, zwei der neuesten Generation von Laserscannern mit Phasendifferenzverfahren, durchgeführt, wobei die Ergebnisse immer im Vergleich zum ebenfalls untersuchten IMAGER 5006 von Zoller + Fröhlich gesetzt wurden. Von diesem Scanner lagen auch schon ältere Untersuchungsergebnisse vor. Die wichtigsten technischen Spezifikationen (laut Hersteller) sind in Tab. 1 zusammengefasst, während die Geräte in Abb.1 dargestellt sind.



**Abb. 1:** Untersuchte terrestrische Laserscanner v.l.n.r.: Faro Photon 80, Trimble FX und IMAGER 5006 von Zoller & Fröhlich.

**Tabelle 1:** Technische Spezifikationen der untersuchten terrestrischen Laserscanner

Scanner/Kriterium	Faro Photon 80	Trimble FX	Z+F IMAGER 5006
Messverfahren	Phasendifferenz	Phasendifferenz	Phasendifferenz
Gesichtsfeld [°]	360 x 320	360 x 270	360 x 310
Scandistanz [m]	76	38	< 79
Scangeschwindigkeit	120.000pts/s	ca.190.000pts/s	≤ 500.000px/s
Winkelauflös. H/V [°]	0,009	0,002°	0,0018
Laserspotgröße	6mm/50m	8,6mm/25m	14mm/50m
Wellenlänge [nm]	785	690	658
3D Punktgenauigkeit	keine Angabe	keine Angabe	10mm/50m <sup>1</sup>
Distanzgenauigkeit	2mm/25m	1mm/15m	6mm/50m
Kamera	Aufsatz (optional)	nein	Aufsatz (optional)
Neigungssensor	ja	nein	ja

<sup>1</sup> Gemäß Herstellerangaben für den baugleichen Leica HDS6000

Alle drei Scanner haben durch das Phasendifferenzverfahren mit Wellenlängen im roten Licht bzw. im nahen Infrarot sehr hohe Messraten, doch die Reichweite des verwendeten Trimble FX beträgt mit 38 m nur die Hälfte (mit neuem Modell bis 46 m) von denen des Faro Photon und des IMAGER 5006. Alle Scanner bieten als Panoramascanner ein volles Sichtfeld und damit optimale Einsatzflexibilität. Im Gegensatz zum Trimble FX verfügen der IMAGER 5006 und der Faro Photon beide sowohl über einen Neigungssensor als auch über die Möglichkeit zur Adaption einer Kamera. Jedoch bieten die Phasendifferenzscanner oft sehr detaillierte Grauwertbilder auch ohne Kamera nur aus dem Scan.

### 3 Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen

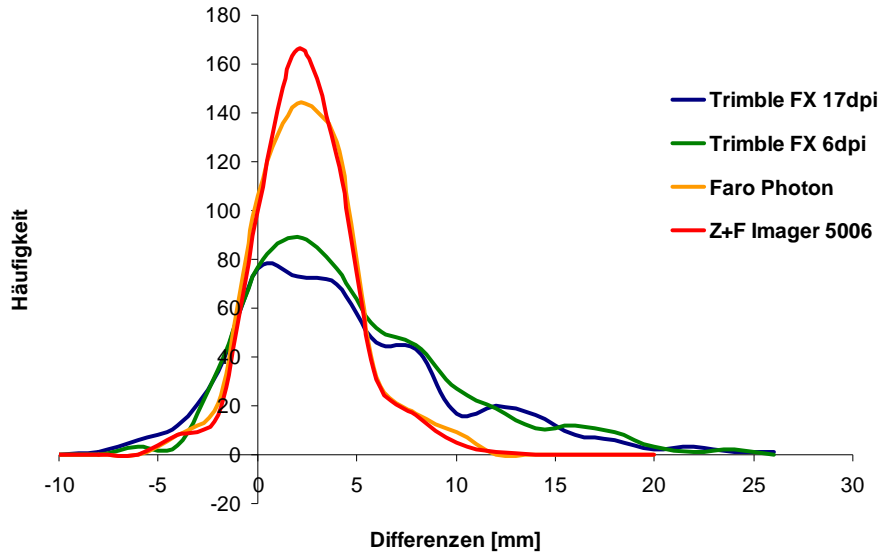
#### 3.1 3D-Testfeld

Seit 2003 werden an der HCU Hamburg Scanneruntersuchungen durchgeführt, für die unterschiedliche Prüfverfahren konzipiert wurden. Es wurde unter anderem ein 3D-Testfeld eingerichtet, das 53 dauerhaft vermarkte Punkte enthält, die mit Kugeln, Prismen oder Zielzeichen (Targets) signalisiert werden können. Eine detaillierte Beschreibung des Testfeldes ist in (KERSTEN et al. 2005) zu finden. Bei der Untersuchung im Testfeld ist die Genauigkeit eines 3D-Laserscannersystems durch eine Kombination von Abweichungen und Messunsicherheiten beeinflusst, die nicht separat bestimmt werden können: Distanz- und Winkelmessung des Scanners, Einpassung der Kugeln in die Punktwolke und Zentrierfehler der Kugeln. Bei der letzten Messkampagne wurden neben den gleichen Kennzahlen wie in früheren Untersuchungskampagnen noch diverse zusätzliche Kenngrößen ermittelt, die nach HEISTER (2006) und KERN (2008) berechnet wurden.

Beim Scanning des Testfeldes wurde jeder Scanner auf fünf räumlich verteilten Standpunkten aufgestellt und es wurden alle sichtbaren der 30 verteilten Kugeln vom jeweiligen Standpunkt gescannt. Die verwendeten weiss-matt lackierten Hohl-Kugeln aus Plastik haben einen Durchmesser von 199 mm. Die Scans mit dem Faro Photon wurden mit maximaler Rauschunterdrückung (RR4) gescannt, während die Scans mit dem Trimble FX jeweils mit einer Auflösung von 6dpi und von 17dpi durchgeführt wurden. Das Scanning im Testfeld dauerte mit diesen beiden Geräten knapp zwei Tage, wobei berücksichtigt werden muss, dass mit dem Trimble FX wegen der beiden Auflösungen immer zwei Scans einer Kugel gemacht wurden. Dagegen nahm das Scanning mit dem IMAGER 5006 in der Auflösung ultra high nur knapp die Hälfte dieser Zeit in Anspruch. Die Referenzkoordinaten der Kugelmittelpunkte wurden mit einer Genauigkeit von <1 mm durch eine Tachymeternetzmessung mit dem Leica TCRP 1201plus bestimmt.

Für die Auswertung wurden grundsätzlich alle Kugeln in RealWorks Survey eingepasst, je nach zu berechnender Kenngröße mit festem oder freiem Radius. Die Ergebnisse des Kugel-Fittings wurden durch ein selbst entwickeltes Matlab-Programm bestätigt, so dass hier Berechnungsfehler der Kugelparameter ausgeschlossen werden konnten. Für die Auswertung registrierter Scans wurde ebenfalls die Software RealWorks Survey für die Transformation in ein gemeinsames Koordinatensystem eingesetzt. Zunächst wurden wie in früheren Untersuchungen an der HCU alle Standpunkte in ein gemeinsames System transformiert und die Koordinaten der Kugeln als Mittel aus allen Standpunkten berechnet. Zwischen den Kugeln wurden alle möglichen Streckenkombinationen berechnet und mit den

Sollstrecken aus der Tachymetermessung verglichen. Die Häufigkeiten der Abweichungen zwischen den Strecken und ihren Referenzen sind in Abb. 2 dargestellt, Tab. 2 zeigt die numerischen Ergebnisse.



**Abb. 2:** Verteilung der Kugelabstandsabweichungen berechnet für alle Streckenkombinationen

**Tabelle 2:** Vergleich der Abweichungen der 3D-Strecken im Testfeld bei Registrierung aller Stationen

	#3D-Punkte	#Strecken	$\Delta L_{\min}$ [mm]	$\Delta L_{\max}$ [mm]	Spanne [mm] $\Delta L = \Delta L_{\max} - \Delta L_{\min}$
Trimble FX 6dpi	30	465	-23,0	7,8	30,8
Trimble FX 17dpi	29	434	-24,0	9,6	33,6
Faro Photon 80 (RR4)	30	465	-5,2	9,8	15,0
Z+F IMAGER 5006	30	465	-5,8	10,3	16,1

Trotz hoher Korrelation bei der Berechnung sämtlicher Streckenkombinationen ist doch anhand des Histogramms in Abb. 2 deutlich zu erkennen, dass die Streuung der Differenzen beim Trimble FX sowohl in geringer als auch in hoher Scanauflösung sehr viel größer ist als bei den beiden anderen Scannern. Die Ergebnisse des Faro Photon und des IMAGER 5006 sind beide ähnlich gut, die des IMAGER 5006 bestätigen die Ergebnisse früherer Kampagnen (MECHELKE et al. 2007).

Die ersten berechneten Kenngrößen sind die mittlere Kugelabstandsabweichung  $\Delta L$  und die Abstands-Messunsicherheit  $u_L$  (Berechnung s. Tab. 3 und Tab.4) nach HEISTER (2006). Die Streckenverteilung erfolgte in Anlehnung an VDI/VDE 2634, es wurden sieben Strecken

aus unabhängigen Kugelpaaren gebildet. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 und Tab. 4 zusammengefasst.

**Tabelle 3:** Ergebnisse für die Kenngröße Kugelabstandsabweichung  $\Delta L$

	#Strecken	$\Delta L_1$ [mm]	$\Delta L_2$ [mm]	#Strecken	$\Delta L_3$ [mm]
Trimble FX 6dpi	7	4,1	2,6	465	4,6
Trimble FX 17dpi	7	5,1	2,8	434	4,7
Faro Photon 80 (RR4)	7	1,9	2,4	465	2,3
Z+F IMAGER 5006	7	2,0	2,3	465	2,1

$\Delta L_1$ : Mittel aus 4 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken  
 $\Delta L_2$ : alle 5 Stationen registriert, 7 Strecken  
 $\Delta L_3$ : alle 5 Stationen registriert, alle Strecken

$$\Delta L_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |\Delta L_j|$$

**Tabelle 4:** Ergebnisse für die Kenngröße Abstands-Messunsicherheit  $u_L$

	#Strecken	$u_{L1}$ [mm]	$u_{L2}$ [mm]	#Strecken	$u_{L3}$ [mm]
Trimble FX 6dpi	7	5,9	3,5	465	6,4
Trimble FX 17dpi	7	6,6	3,6	434	6,4
Faro Photon 80 (RR4)	7	2,6	2,9	465	3,0
Z+F IMAGER 5006	7	2,7	3,1	465	2,8

$u_{L1}$ : Mittel aus 4 Stationen, stationsweise berechnet, 7 Strecken  
 $u_{L2}$ : alle 5 Stationen registriert, 7 Strecken  
 $u_{L3}$ : alle 5 Stationen registriert, alle Strecken

$$u_L = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^7 \Delta L_j^2}{7}}$$

Hier lässt sich bei beiden Kenngrößen erkennen, dass der zweite Wert  $u_{L2}$ , bzw.  $\Delta L_2$ , aus nur sieben Strecken gebildet, oftmals von den anderen Werten ( $u_{L1}$  und  $u_{L3}$  bzw.  $\Delta L_1$  und  $\Delta L_3$ ) abweicht, die fast immer gut zueinander passen. Auch hier sind die Ergebnisse des Faro Photon und des IMAGER 5006 ähnlich gut, der Trimble FX schneidet etwas schlechter ab.

Die dritte berechnete Kenngröße ist die Kugelradiusabweichung (Tab. 5). Sie beschreibt die Differenz zwischen einer mit freiem Radius eingepassten Kugel und der Kugelsollgröße.

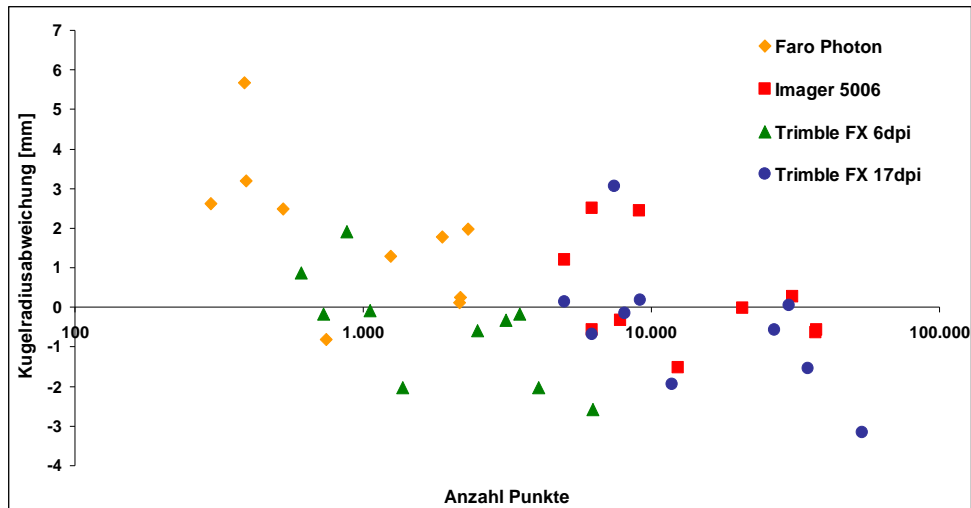
**Tabelle 5:** Ergebnisse für die Kenngröße Kugelradiusabweichung

	# Kugeln	# Punkte / Kugel $\emptyset$	$\Delta r_{\min}$ [mm]	$\Delta r_{\max}$ [mm]	$\emptyset \Delta r$ [mm]
Trimble FX 6dpi	10	2411	-2,6	1,9	-0,5
Trimble FX 17dpi	10	19311	-3,2	3,1	-0,5
Faro Photon 80 (RR4)	10	1212	-0,8	5,7	1,9
Z+F IMAGER 5006	10	17253	-1,5	2,5	0,3

$\Delta r_{\min}$ : Kugelradiusabweichung minimal  
 $\Delta r_{\max}$ : Kugelradiusabweichung maximal  
 $\emptyset \Delta r$ : Kugelradiusabweichung Mittel für 10 Kugeln

$$R_K = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k v_i$$

Anhand der Kugelradienabweichungen können systematische lokale Formabweichungen aufgezeigt werden. In der Tabelle 5 ist zu erkennen, dass die Anzahl der Punkte, die die Kugeln repräsentieren, sehr differiert. Während in den Punktwolken von IMAGER 5006 und Trimble FX in der hohen Auflösung durchschnittlich ca. 17.000 bzw. ca. 19.000 Punkte zur Kugel gehören, sind es beim Faro Photon in der Normaleinstellung mit maximaler Rauschunterdrückung und der niedrigen Auflösung des Trimble FX nur ca. 1.000 bzw. 2.000 Punkte. Das Diagramm in Abb. 3 lässt jedoch keine Systematiken erkennen, die Differenzen werden mit zunehmender Punktzahl nicht deutlich kleiner. Einzig für den Faro Photon liegen bis auf eine Ausnahme alle Differenzen im positiven Bereich, d.h. die berechneten Kugeln sind fast alle systematisch zu klein.



**Abb. 3:** Kugelradiusabweichung in Abhängigkeit von der Punktzahl auf der Kugel

Die nächsten berechneten Kenngrößen sind die Antastabweichung und die Antast-Messunsicherheit (HEISTER 2006) sowie die Antastabweichung nach KERN (2008). Die Antastabweichung beschreibt das zu erwartende Rauschen auf der Objekt Oberfläche, die zugehörige Antast-Messunsicherheit ergibt sich als Mittelwert der Standardabweichungen der geschätzten Kugelradien.

Hier sind keine großen Unterschiede zwischen den Geräten auszumachen, die Ergebnisse für Faro Photon und den IMAGER 5006 sind ganz leicht besser als für den Trimble FX, bei dem sich kein Unterschied für die beiden unterschiedlichen Auflösungen erkennen lässt. Das hier erreichte und in Tab. 6 dargestellte Ergebnis für den IMAGER 5006 ist deutlich besser als das von GORDON (2008) für den Vorgänger IMAGER 5003 erreichte Resultat von 2,0mm Antastabweichung nach HEISTER (2006).

**Tabelle 6:** Ergebnisse für die Kenngrößen Antastabweichung und Antast-Messunsicherheit

	# Kugeln	Mittlere Antast- abweichung (Heister, 06) $R_H$	Antast- abweichung (Kern, 08) $R_K$	Antast- Messunsicherheit (Heister, 06) $u_R$
Trimble FX 6dpi	10	0,7	0,9	1,0
Trimble FX 17dpi	10	0,8	1,0	1,1
Faro Photon 80 (RR4)	10	0,5	0,6	0,7
Z+F IMAGER 5006	10	0,5	0,6	0,7
alle Werte in mm				
$R_H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \quad R_K = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^2} \quad u_R = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{10} s_{Rj}^2}{10}}$				

### 3.2 Streckenmessgenauigkeit bis 73m

Für die Untersuchung der Streckenmessgenauigkeit wurden Stative in 10m-Abständen vom Scanner aufgestellt und die Referenzstrecken wurden mit einem Leica TCRP 1201plus fünffach bestimmt. Als Zielzeichen wurde für beiden untersuchten Scanner (IMAGER 5006 und Faro Photon, auf eine Untersuchung des Trimble FX wurde wegen begrenzter Verfügbarkeit des Scanners und wegen der geringen Reichweite von 38 m verzichtet) wieder die Kugel mit dem Durchmesser von 199 mm eingesetzt. Mit den IMAGER 5006 wurde jede Kugel jeweils dreimal gescannt. Mit dem Faro Photon wurde jede Kugel nur zweimal gescannt, doch wurden zusätzlich noch zwei weitere Hohl-Kugeln aus Plastik mit einem Durchmesser von 145 mm verwendet, die eine unterschiedliche weiße Lackierung (dunkel/hell) aufwiesen. Auch diese wurden auf jeder Position jeweils zweimal in unterschiedlichen Durchgängen gescannt. Die Anpassung der Kugel wurde mit bekanntem Radius in der Software RealWorks Survey durchgeführt. Die errechneten Koordinaten der jeweiligen Kugelposition wurden gemittelt. Dabei wurde festgestellt, dass das Fitting der Kugeln, die mit dem IMAGER 5006 gescannt wurden, mit zunehmender Entfernung signifikant schlechter wird, wobei die Standardabweichung für die Kugelanpassung von unter einem Millimeter auf bis über 6mm bei den am weitesten entfernt liegenden Kugeln ansteigt (siehe Abb. 5). Dennoch bleibt die Differenz zur Sollstrecke für den IMAGER 5006 recht konstant zwischen ca. 2 und 4 mm, während die Abweichungen (von +1 mm bis -15 mm) beim Photon erheblich schwanken (Abb. 4). Die Ergebnisse des Photon müssen beim Scannen mit maximaler Rauschunterdrückung ab einer Entfernung von ca. 50 m als eher kritisch betrachtet werden, da nicht genügend Punkte (weniger als 30) auf der Kugel waren, um die Zentrumskordinaten zuverlässig bestimmen zu können. Daher wurde diese Messung mit dem Photon noch einmal an einem anderen Tag ohne Rauschreduktion wiederholt, wobei dieses Mal wie oben erwähnt Kugeln mit unterschiedlichem Radius und Lackierung eingesetzt wurden. Für die dunklere Weiß-Lackierung der Kugel mit 145 mm Durchmesser wurden Farbwerte vom Anwender verwendet, während die hellere Kugel mit den vorgegebenen Farbwerten von Faro lackiert wurde. Es zeigte sich in der Untersuchung, dass die hellere Kugel eindeutig bessere Ergebnisse mit geringen Abweichungen zur Sollstrecke geliefert hatte. Da aus Ansicht der Autoren die Ergebnisse des Photons zu sehr streuen, wird die Überprüfung der Streckenmessgenauigkeit zu einem späteren Termin ggf. mit einem anderen Instrument wiederholt, um die aktuellen Ergebnisse zu verifizieren.

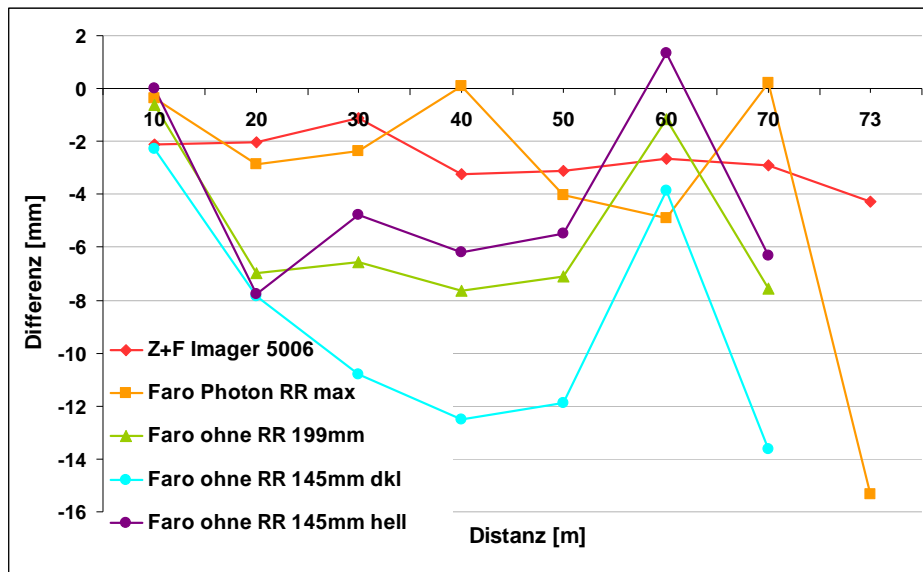


Abb. 4: Differenzen des Streckenvergleichs bis 73m

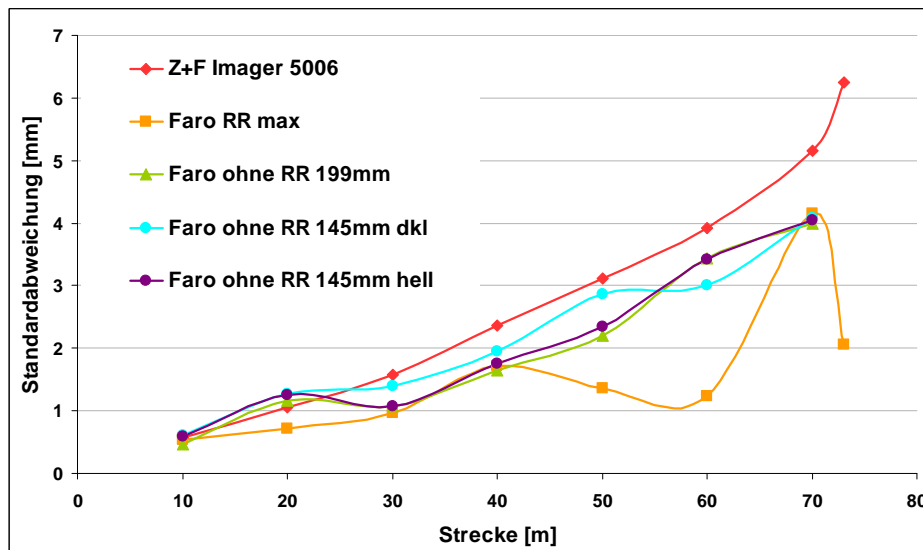


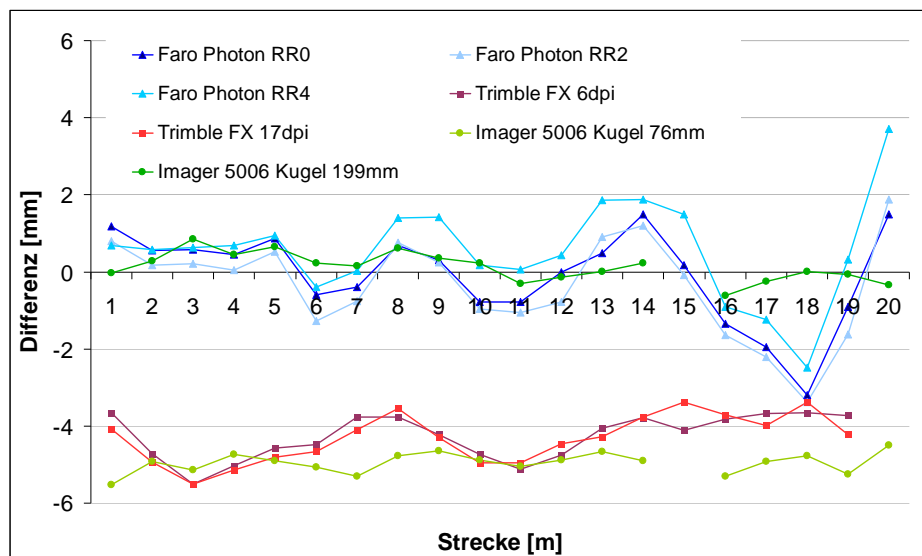
Abb. 5: Standardabweichungen Kugelfitting in Abhängigkeit der Kugelentfernung

### 3.3 Streckenmessgenauigkeit bis 20m

Für diese Untersuchung wurden die drei Scanner auf der 20 m langen Komparatorbahn im Messkeller des A-Gebäudes der HafenCity Universität Hamburg am Standort City Nord eingesetzt. Als Zielkörper wurde wieder die weiss-matt lackierte Hohl-Kugel aus Plastik



mit einem Durchmesser von 199 mm eingesetzt, für den IMAGER 5006 zusätzlich eine zweite Kugel (Mensi-Kugel aus Hartplastik) mit einem Durchmesser von 76,2 mm.



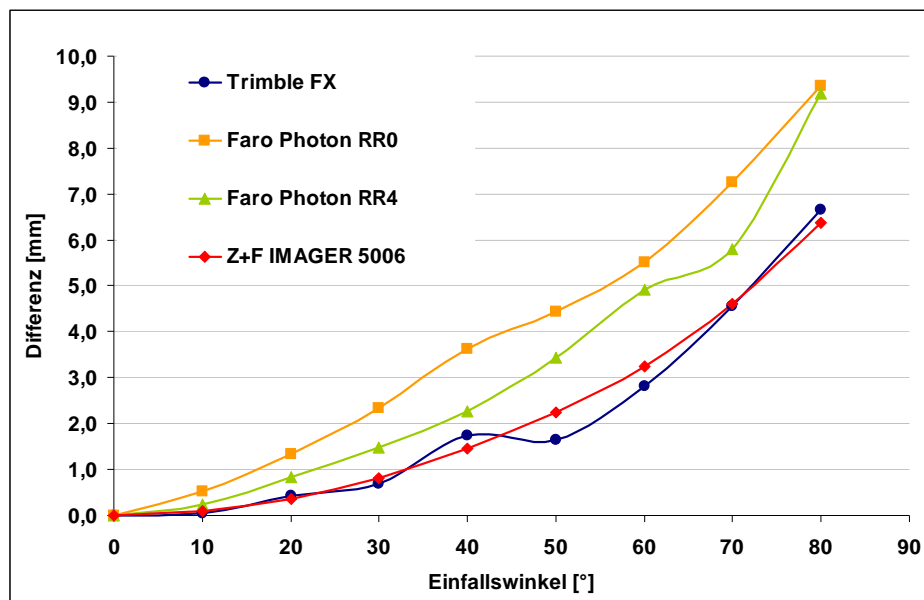
**Abb. 6:** Streckendifferenzen für absolute Strecken bis 20 m (Komparatorbahn)

Die Abstände der Kugeln zum Scanner wurden in Meter-Schritten erhöht, die Scanauflösungen der drei Geräte waren folgende: für den Trimble FX 6dpi und 17dpi, für den IMAGER 5006 high und für den FARO Photon mit Rauschreduktion 0 (ohne), 2 und 4 (maximal). Bei der Auswertung wurden sowohl die absoluten Strecken der Messungen berechnet, als auch die relativen Strecken jeweils zur ersten Kugel, um einen eventuellen Nullpunktsfehler erkennen zu können. Die Differenzen zur Referenzstrecke sind in Abb. 6 dargestellt. Die drei Datensätze des Faro Photon unterscheiden sich nicht groß in den verschiedenen Rauschreduktionsstufen, d. h. die Differenzen liegen für alle drei Einstellungen um 0 und nehmen ab einer Entfernung von 17 m auf bis zu -4 mm zu. Für den Trimble FX liegen die Differenzen der beiden unterschiedlichen Auflösungsstufen im Bereich von -4 mm bis -5 mm, streuen aber nicht so viel wie beim Faro Photon. Betrachtet man die relativen Strecken, so sind die Abweichungen beim Trimble FX im Bereich von -2 mm bis +1 mm sehr gut. Aus diesen unterschiedlichen Ergebnissen lässt sich ein Nullpunktsfehler von ca. 5 mm ableiten, was allerdings durch weitere Untersuchungen zu verifizieren wäre. Für den IMAGER 5006 liegen zwei sehr unterschiedliche Ergebnisse vor. Während die Kugel mit dem Durchmesser von 199 mm ein konstant sehr gutes Ergebnis zwischen +1 mm und -1 mm liefert, ist die Abweichung für die Kugel mit dem kleineren Durchmesser (76,2 mm) kontinuierlich im Bereich von -5 mm zu finden. Dieses bestätigt das Ergebnis einer früheren Untersuchung von MECHELKE et al. (2008), bei der ebenfalls Abweichungen in dieser Größe mit der kleinen Kugel auftraten. Betrachtet man dagegen die Abweichungen bei den relativen Strecken, so ergibt sich auch hier ein sehr gutes Ergebnis zwischen 0 und +1 mm.

### 3.4 Einfluss des Auftreffwinkels auf 3D-Punktgenauigkeit

Trifft der Laserstrahl nicht senkrecht auf das Objekt, so ist die Auftrefffläche des Lasers kein Kreis mehr und die Streckenmessung kann durch diese Formabweichung verfälscht werden. Das Zentrum des Laserstrahls ist nicht mehr identisch mit der Winkelmessung, die Punktposition wird so verfälscht.

Um den Einfluss des Auftreffwinkels bestimmen zu können, wurde eine ebene Steinplatte in zehn verschiedenen Winkelpositionen relativ zum Scanner in einem Abstand von 10m aufgenommen; vor der Steinplatte sind vier Kugeln (Mensi-Kugel aus Hartplastik) angebracht, die in jedem Scan mit erfasst wurden. Der genaue Aufbau des Prüfverfahrens ist bei MECHELKE et al. (2008) dokumentiert. Für die Erfassung der Platte wurde für alle untersuchten Scanner die maximale Scanauflösung eingestellt. In der anschließenden Auswertung wurden ausgleichende Ebenen sowohl durch die Punktwolke der Platte, als auch durch die vier Kugelzentren gelegt. Der Abstand der beiden Ebenen in der ersten Messung mit dem Einfallswinkel von  $0^\circ$  wurde als Referenz für die übrigen Messungen gesetzt. In der Abb. 8 sind die so bestimmten Differenzen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel dargestellt.



**Abb. 8:** Einfluss des Laserstrahlauftreffwinkels auf die 3D-Genauigkeit - Abweichung der ausgeglichenen Ebene zur Referenzebene (Objektdistanz 10m)

Fast alle Abstände zwischen Ebene und Kugeln werden kontinuierlich größer, d. h. die Streckenmessungen werden bei zunehmendem Einfallswinkel länger im Vergleich zur Referenzmessung. Somit verschiebt sich die Ebene durch das Objekt zunehmend nach hinten. Dabei sind die Ergebnisse für den Trimble FX und den IMAGER 5006 nahezu identisch und steigen bis auf knapp 7 mm Differenz beim Einfallswinkel  $80^\circ$  an, während die Messungen des Faro Scanners mit und ohne Rauschunterdrückung etwas schlechtere Ergebnisse liefern. Hier liegen die Maximalwerte bei gut 9 mm bei einem Einfallswinkel

von 80°, trotz der geringsten Spotgröße der drei Scanner (vgl. Tab. 1). Obwohl der IMAGER 5006 beim Scannen der Mensi-Kugeln konstant schlechte Ergebnisse erzielt (siehe Kap. 3.3), bestätigt das gute Ergebnis für diesen Scanner, dass sich durch die Differenzbildung zur Referenz die schlechten Distanzmessungen aufheben.

## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Die hier in den verschiedenen Prüfverfahren untersuchten Laserscanner arbeiten alle nach dem Phasenvergleichsverfahren, trotzdem ergeben sich teilweise Unterschiede in den berechneten Kenngrößen. Diese Kenngrößen machen es zwar einfacher, Untersuchungsergebnisse miteinander zu vergleichen, doch sollten die Hochschulen darauf achten, dass die Ergebnisse der Scanneruntersuchungen nicht nur akademisch sondern auch praxisorientiert dargestellt werden. Ebenso ist nicht zu vernachlässigen, dass für die Beurteilung eines Systems (Hardware und Software) ebenso die (subjektive) Erfahrung über die Handhabung und den Einsatz in der Praxis berücksichtigt werden müssen. Diese Parameter sind in solchen Untersuchungen nicht enthalten, da sie schwer in Zahlen zu fassen sind und nicht nur vom Scanner selbst, sondern auch von seinem Zubehör und der Software abhängen. Da jedoch hier für die Berechnung von Kenngrößen immer dieselben Zielzeichen und dieselbe Software eingesetzt wurden, können durchaus Unterschiede zu den Herstellerangaben auftreten, da die Hersteller für ihr System optimierte Parameter (z.B. Zielzeichen) einsetzen. Aus diesen Gründen sollte man einen Scanner bzw. ein System auf gar keinen Fall nur nach den berechneten Kenngrößen beurteilen.

Daher stellt sich als Konsequenz aus den Untersuchungen die Frage nach einer Kalibrierung oder einer einfachen feldtauglichen Überprüfung eines Laserscanning-Systems. Bisher gibt es für den Anwender keine Möglichkeit, sein System selbst zu kalibrieren, er ist auf die werkseitige Kalibrierung angewiesen. Von Seiten der Anwender resultiert die Forderung, wenigstens einheitliche Prüfverfahren (auch im Feld) zu definieren, die eine effiziente und geräteunabhängige Überprüfung durch den Anwender (GORDON 2008, GOTTWALD et al. 2008, WEHMANN et al. 2009) ermöglichen. Allerdings bietet der Trimble FX bereits eine Gerätekalibrierung durch eine einfache Messanordnung (sogar auch nachträglich) an, die dem Anwender vor jeder wichtigen Messung empfohlen wird.

## 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.
- Gordon, B. (2008): *Diskussion von Feldprüfverfahren zur Messunsicherheitsbestimmung für terrestrische Laserscanner* Schriftenreihe des DVW, Band 54, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 125-142.
- Gottwald, R., Heister, H. & R. Staiger (2008): *Zur Prüfung und Kalibrierung von terrestrischen Laserscannern – eine Standortbestimmung*. Schriftenreihe des DVW, Band 54, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 91-110.

- 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. & K. Mechelke (2005): *Investigations into the Accuracy Behaviour of the Terrestrial Laser Scanning System Mensi GS100*. Optical 3-D Measurement Techniques VII, Gruen/Kahmen (Eds.), Vol. I, pp. 122-131.
- Kersten, Th, Mechelke, K., Lindstaedt, M. & H. Sternberg (2008): *Geometric Accuracy Investigations of the Latest Terrestrial Laser Scanning Systems*. Integrating the Generations. FIG Working Week 2008 Stockholm, TS 5G - Calibration of Instruments.
- Kern, F. (2008): *Prüfen und Kalibrieren von terrestrischen Laserscannern*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann, Heidelberg, pp. 306-316
- Kern, F. & U. Huxhagen (2008): *Ansätze zur systematischen Kalibrierung und Prüfung von terrestrischen Laserscannern (TLS)*. Schriftenreihe des DVW, Band 54, Wißner-Verlag, Augsburg, pp. 111-124.
- Mechelke, K., Kersten, Th. & M. Lindstaedt (2007): *Comparative Investigations into the Accuracy Behaviour of the New Generation of Terrestrial Laser Scanning Systems*. Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Gruen/Kahmen (Eds.), Vol. I, pp. 319-327.
- Mechelke, K., Kersten, Th. & M. Lindstaedt (2008): *Geometrische Genauigkeitsuntersuchungen neuester terrestrischer Laserscannersysteme - Leica ScanStation 2 und Z+F IMAGER 5006*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann, Heidelberg, pp. 317-328.
- VDI/VDE 2634 (2002): *Optische 3D-Messsysteme – Systeme mit flächenhafter Antastung*. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), VDI/VDE Richtlinien, Düsseldorf, August, 2002.
- Wehmann, W., van Zyl, C., Ullrich, J., Richardt, A., Staeck, C. & S. Voss (2009): *Untersuchung zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Laserscanner ScanStation 2 und HDS 6000 von Leica sowie LMS-Z420i von Riegler und Erarbeitung von Prüfprotokollen für diese Scanner*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2009, Th. Luhmann/C. Müller (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.

Adressen:

Maren Lindstaedt, Thomas Kersten, Klaus Mechelke, Tanja Graeger, Harald Sternberg,  
HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik  
Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg,  
email [maren.lindstaedt, thomas.kersten, klaus.mechelke, tanja.graeger, harald.sternberg]@hcu-hamburg.de