

Terrestrischer Laserscanner Mensi GS100/GS200 – Untersuchungen und Projekte an der HAW Hamburg

Thomas KERSTEN, Harald STERNBERG,
Klaus MECHELKE und Carlos ACEVEDO PARDO

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Fachbereich Geomatik, Hebebrandstr. 1, 22297 Hamburg

Zusammenfassung

Terrestrisches 3D-Laserscanning ist auf dem besten Wege, sich als 3D-Messtechnik neben und auch in Ergänzung zu den bekannten Technologien wie Photogrammetrie und Tachymetrie zu etablieren. Untersuchungen über Genauigkeiten und Verhalten sind aus diesem Grunde für das Verständnis und für die Verbesserung solcher Messsysteme sehr wichtig. Der Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg hat das terrestrische 3D-Laserscanning-System Mensi GS100/GS200 hinsichtlich Genauigkeit der gemessenen Strecken und praktischer Handhabung in Projekten untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Strecken des Laserscanners Mensi GS100 gegenüber Referenzstrecken systematisch zu lang sind und dass sich die Distanzen zu Kugeln und Zieltafeln auf gleichen Punkten systematisch unterscheiden. Die Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken über Kugeln und Zieltafeln lieferte für den Mensi GS100 und GS200 im 3D-Testfeld im Vergleich zu Referenzpunkten Abweichungen im Mittel von ca. 3 mm. Die Untersuchungen auf Ebenheit einer Steinplatte zeigten ein Messrauschen von einigen Millimetern in der Punktwolke. Die Laserscanner Mensi GS100 und GS200 konnten bereits in mehreren Projekten an der HAW Hamburg und in Zusammenarbeit mit einem Ingenieurbüro eingesetzt werden. Über erste Erfahrungen mit beiden Systemen bei der Datenerfassung, Registrierung und Geo-Referenzierung wird in diesem Beitrag berichtet.

1 Einleitung

3D-Laserscanning-Systeme, bei denen in kurzer Zeit ein Objekt oder ein Ausschnitt mit einem Laserstrahl abgetastet und Millionen von 3D-Punkten generiert werden, erobern zunehmend einen Markt in diversen Anwendungsbereichen wie Tage- und Bergbau, Anlagenbau, Archäologie, Architektur, Denkmalpflege, Automobil- und Maschinenbau. Doch detaillierte Untersuchungen über Genauigkeiten und Verhalten solcher Messsysteme müssen zeigen, ob diese Systeme den diversen Projektanforderungen gerecht werden und ob die vom Systemhersteller angegebenen technischen Spezifikationen korrekt sind. Über erste Untersuchungen von terrestrischen Laserscannern berichten BOEHLER et al. 2003, LICHTI et al. 2003 und JOHANSSON 2003, während Publikationen über Erfahrungen mit Laserscannern in den Tagungsbänden der Oldenburger 3D-Tage (LUHMANN 2002, LUHMANN 2003, LUHMANN 2004) und der Optical 3D-Measurement Techniques V und VI (GRUEN und KAHMEN 2001, GRUEN und KAHMEN 2003) enthalten sind.

Der Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg hat im September 2003 das terrestrische Laserscanning-System Mensi GS100 angeschafft, um die neue Technologie in Lehre und praxisnaher Forschung einzusetzen. Dadurch soll ein

Know-How in dieser neuen Technologie an der Hochschule aufgebaut werden, das ggf. auch zusammen mit Absolventen der Hochschule in Ingenieurbüros, die in die Laserscanning-Technologie investieren möchten, transferiert werden kann.

2 Das Laserscanning-System Mensi GS100/GS200

Die 3D-Laserscanning-Systeme GS100 und GS200 werden von Mensi S.A., Frankreich hergestellt und bestehen aus Messinstrument mit Zubehör (Abb. 1) und entsprechender Erfassungs- und Auswertesoftware. Die technischen Spezifikationen der beiden Systeme sind in MENSİ 2004 zusammengefasst. Der wesentlichste Unterschied zwischen GS100 und GS200 liegt in der Scan-Reichweite von 100 m bzw. 200 m als optimale Messentfernung. Der Panorama-View Scanner (360° horizontal, 60° vertikal) kann ein Messvolumen von $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2\text{ m}$ bis $200\text{ m} \times 200\text{ m} \times 120\text{ m}$ abdecken. Die Auflösung des Scanners beträgt 0.002 gon (Hz/V). Ein Laserpunkt wird in 50 m Entfernung 3 mm groß abgebildet, wobei die Genauigkeit der Einzelstrecke 6 mm beträgt. Die Lasermessungen erfolgen mit grünem Laser (532 nm) der Klasse II und III nach dem Impulslaufzeitverfahren, bei dem bis zu 5000 Punkte pro Sekunde gemessen werden können.

Die Abb. 1 zeigt das 3D-Laserscanning System Mensi GS100 mit Zubehör. Zum Scanner gehören eine robuste Transportkiste und ein Notebook zur Steuerung des Messinstrumentes bei der Datenerfassung. Als eine sinnvolle Ergänzung zum System gehört ein effizienter Generator (z. B. Honda-Stromerzeuger EU 10i, Leistung ca. 1 KW) für den Betrieb im Außendienst, da nicht überall eine Stromversorgung vom Netz gewährleistet werden kann.



Abb.1: Das 3D-Laserscanning System Mensi GS100 der HAW Hamburg mit Zubehör (links) und als Innenansicht mit digitaler Kamera und Spiegel (rechts)

Ein wesentlicher Bestandteil des Laserscanning Systems ist die Software. Für die Datenerfassung wird PointScape (Version 1.2) als sogenanntes Außendienstprogramm eingesetzt, mit dem der Scanner gesteuert wird. Die anschließende Auswertung der 3D-Punktwolken erfolgt mit Real Works Survey (V4.0) oder mit 3Dipos (V2.5). Beide Programme bieten neben der Registrierung bzw. Verknüpfung und Geo-Referenzierung der Punktwolken eine Vielzahl von Optionen für die Auswertung der Punktwolken. Real Works Survey erlaubt

im Modul OfficeSurvey u.a. die Vermaschung der Punktwolken, die Berechnung von Volumina, die Ableitung von Höhenlinien und auch das Matching von digitalen Bildern mit der Punktwolke. Das Programm 3Dipos stellt das Engineering Modul dar, mit dem CAD-Konstruktionen aus den Punktwolken erstellt werden können.

3 Datenerfassung, Registrierung und Geo-Referenzierung

Die wesentlichen Arbeitsschritte vor der eigentlichen Bearbeitung der 3D-Punktwolken sind die Datenerfassung, die Registrierung (Verknüpfung) und die Geo-Referenzierung der Punktwolken in ein übergeordnetes Koordinatensystem. Der Auf- und Abbau des Systems dauert jeweils ca. 15 Minuten, während man für Aufnahmen auf einem Standpunkt je nach Detailreichtum ca. 1,5 Stunden benötigt. Um die gescannten Punktwolken verschiedener Standpunkte automatisch verknüpfen zu können, werden weiße Kugeln (Sphären) mit definiertem Durchmesser und/oder grüne Zieltafeln (Targets) im Objektraum gut verteilt platziert. Jede Kugel/jedes Target erfordert einen separaten Scan. Die Einstellung bzw. Suche dieser Kugeln und Zieltafeln erfolgt im Videobild der digitalen Kamera. Die Zielerkennung und die Berechnung der Zentrumskoordinaten im lokalen Scannerstandpunktsystem erfolgen halbautomatisch, d.h. der Operateur legt im Videobild den Bildausschnitt manuell fest, in dem das System das Ziel (Kugel/Target) erkennt, und anschließend scannt das System das Ziel, berechnet es automatisch in der Punktwolke und zeigt das Ergebnis in PointScape an (siehe Abb. 2). Der Algorithmus der Bilderkennung arbeitet je nach Bildhintergrund nicht immer zuverlässig. So kann es je nach Wettersituation (z. B. greller Sonnenschein) oder Distanz zum Ziel Probleme beim Einstellen der Kugeln im Videobild geben, wobei dann ein kontrastreicher Hintergrund (z. B. durch einen Regenschirm) helfen kann. Trotzdem kann es passieren, dass das System die Kugel falsch in die Punktwolke approximiert (siehe Abb. 2 rechts).

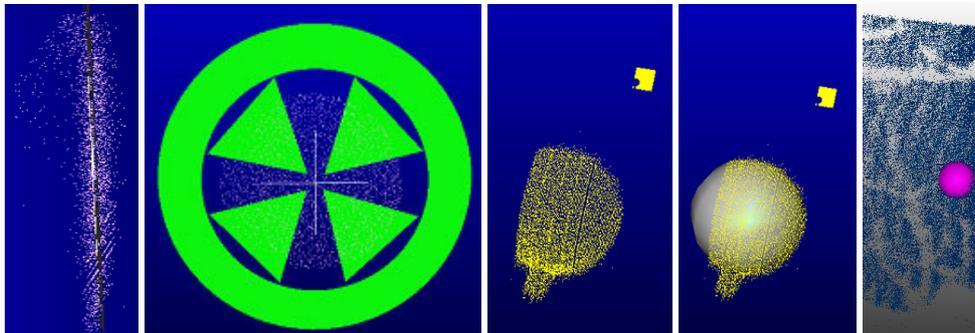


Abb. 2: Scan und automatische Erkennung einer Zieltafel (links) und Kugel (Mitte) mit PointScape. Rechts: falsch approximiere Kugel in der Punktwolke des Baumes.

Das Objekt kann anschließend ausschnittsweise oder als 360°-Scan mit unterschiedlichen Auflösungen (ab 0.3 mm auf 10 m) gescannt werden, wobei auch hier das Video Framing die Festlegung des Ausschnittes unterstützt. Die anschließende Registrierung der Punktwolken kann über die Kugeln oder Zieltafeln automatisch erfolgen, jedoch besteht auch die

Möglichkeit, die Punktwolken über die Kugeln/Zieltafeln halbautomatisch oder über diskrete Punkte der Punktwolken manuell miteinander zu verknüpfen. Falls die Zieltafeln oder auch Kugeln (bei einer Zwangszentrierung auf einem Stativ) geodätisch in einem übergeordneten Koordinatensystem eingemessen wurden, können die Punktwolken über diese Punkte georeferenziert werden.

4 Genauigkeitsuntersuchungen an der HAW Hamburg

4.1 3D-Testfeld

Um die Genauigkeit der Streckenmessungen, der Registrierung und der Georeferenzierung des Mensi GS100 und GS200 zu untersuchen, wurde an der HAW Hamburg in der Halle des Gebäudes D am Hochschul-Campus der City Nord ein 3D-Testfeld dauerhaft angelegt (siehe Abb. 3). Dazu wurden 53 Referenzpunkte, die später mit Kugeln oder Zieltafeln signalisiert werden konnten, über drei Ebenen auf dem Boden, in den Wänden oder an Betonpfeilern in Form von Gewinden verankert. Die Referenzpunkte wurden mit einer Totalstation TDA 5005 von Leica von neun Standpunkten aus eingemessen. In einer 3D-Netzausgleichung mit PANDA konnten die Standpunktkoordinaten mit einer Standardabweichung von kleiner als 0,5 mm und die Referenzpunktkoordinaten von kleiner als 1 mm in einem lokalen Netz bestimmt werden. Für die Signalisierung der Referenzpunkte wurden spezielle Adapter gebaut, um eine genaue, stabile und wiederholbare Einpassung der Kugeln oder Zieltafeln zu garantieren.



Abb. 3: Scanner im 3D-Testfeld (links), Kugel (Mitte) und Target mit Adapter (rechts)

Die Referenzpunkte und das 3D-Testfeld wurden mit den Laserscannern Mensi GS100 und GS200 gescannt. Da der GS200 nur für einen Tag zur Verfügung stand, konnten in dieser Zeit nur in der unteren Ebene des Testfeldes von zwei Standpunkten aus je 26 Referenzpunkte (max. Distanz 21 m) gescannt werden. Bei den ersten Scans des GS100 im Testfeld hatte der Scanner auf dem Leica-Stativ und Dreifuß etwas Spiel in horizontaler und vertikaler Richtung durch eine instabile Befestigung des Scannerunterbaus und durch das nicht zentrische Gewicht des Scanners, was zu einer Veränderung der Orientierung während der Messungen führte. Daher empfiehlt es sich generell, zur Überprüfung der Scannerstabilität einen abschließenden Scan zu einer bekannten Kugel durchzuführen. In einer zweiten

Kampagne wurden mit dem GS100 auf dem Mensi-Stativ alle Referenzpunkte (max. Distanz 27 m) von fünf verschiedenen Standpunkten in drei Ebenen aufgenommen. Dabei wurden 28 Referenzpunkte sowohl mit Kugel, als auch mit Zieltafel besetzt.

Die Scans der Kugeln und Zieltafeln vom GS200 und GS100 wurden in Real Works Survey miteinander verknüpft. Für beide Systeme wurde jeweils der durchschnittliche und maximale Abstand der Kugel- bzw. Zieltafelmittelpunkte errechnet: 2,4 mm (max. 8,6 mm) für den GS200 und 2,6 mm (max. 4,8 mm) für den GS100. Das Ergebnis des GS100 war insgesamt etwas homogener, da durch die höhere Anzahl der Standpunkte auch mehr Kugeln bzw. Zieltafeln miteinander gemittelt werden konnten. Nach einer Geo-Referenzierung der Punktwolken auf vier gut verteilte Passpunkte konnten die Koordinaten der Kugeln und Targets in Real Works Survey in das übergeordnete Koordinatensystem transformiert werden. Der anschließende Vergleich mit den Koordinaten der Referenzpunkte lieferte für den GS200 eine Differenz der absoluten Mittelwerte von $dx = 2,6$ mm, $dy = 2,5$ mm und $dz = 1,8$ mm mit einem maximalen Wert von 9,6 mm, während das Ergebnis mit dem GS100 mit $dx = 2,6$ mm, $dy = 3,2$ mm, $dz = 3,4$ mm und 16,9 mm (max. Wert) etwas schlechter ausfiel. Beim Vergleich von 28 Strecken zu Referenzpunkten (max. Distanz 27 m), die jeweils mit Kugel und Zieltafel bestückt waren, konnte festgestellt werden, dass die Strecken zu den Kugeln systematisch um 5 mm im Mittel länger waren als zu den Zieltafeln.

4.2 Streckenvergleich auf der Eichstrecke in Hamburg-Ohlsdorf

Die Feststellung der systematisch unterschiedlichen Strecken zwischen Kugel und Target zu gleichen Referenzpunkten veranlasste eine detaillierte Untersuchung der Streckenmessgenauigkeit des GS100 auf der Eichstrecke in Hamburg-Ohlsdorf. Es wurden insgesamt bis zu acht Strecken zwischen den Pfeilern mit dem GS100 in Hin- und Rückmessung zu Kugeln und Targets mit Adapter auf Dreifuß (siehe Abb. 4) erfasst. Dabei wurden zu den Targets acht Strecken zwischen 20 m und 120 m (80 m und 120 m je zweimal) gemessen, bei der die Targets im Videobild automatisch erkannt wurden, während bei den Kugeln nur sechs Strecken gemessen wurden, da die automatische Erkennung zum 120 m entfernten Pfeiler nicht funktionierte. Daher wurden die Kugeln als zusätzlicher Datensatz mit jeweils acht Hin- und Rückmessungen als Objekt gescannt, um die Kugeln später manuell in Real Works Survey zu konstruieren. So wurden insgesamt in vier Stunden 55 Scans auf sieben Standpunkten durchgeführt, wobei die reine Scanzeit 141 Minuten betrug, was einer Zeit von 2,5 Minuten pro Scan entspricht. Innerhalb der vier Stunden ist der Scanner bzw. die Software viermal abgestürzt.



Abb. 4: v.l.n.r. Kugel auf Pfeiler, Scanner auf Eichstrecke, Zieltafel auf Pfeiler und Streuung einer Kugel-Punktwolke von vorn und von oben

Es zeigte sich hier ebenfalls, dass die abgeleiteten Horizontalstrecken zu Kugeln und Zieltafeln gegenüber den Sollstrecken systematisch zu lang sind. Die Strecken zu den Kugeln sind im Mittel um 8,3 mm zu lang, während die Strecken zu den Zieltafeln nur um 3,4 mm zu lang sind. Damit wurde das Ergebnis (Streckendifferenz Kugel/Target von 5 mm) aus dem 3D Testfeld bestätigt. Dagegen sind die Strecken der manuell konstruierten Kugeln, bei denen vor der rechnerischen Anpassung Punktstreuungen innerhalb der Punktwolke eliminiert wurden, im Mittel um 3 mm zu kurz. Daraus lässt sich schließen, dass die Mittelpunkte der Kugeln und Zieltafeln durch die Streuung innerhalb der Punktwolke (siehe Abb. 4) nicht immer optimal in die Punktwolke gerechnet werden.

4.3 Ebenheitsmessung auf Steinplatte

Um das Messrauschen besser beurteilen zu können, wurden verschiedene Scans zu einer ebenen Steinplatte in 4 m Entfernung durchgeführt (siehe Abb. 5). Die vorher mit gelber Farbe besprühte Steinplatte (ca. 80 cm x 80 cm) wurde mit je sieben Scans frontal (0°) und mit einer 45° -Drehung in den Rasterweiten 2 mm, 25 mm und 125 mm und mit diversen Einstellungen (fixed focus auf 4 m, auf 50 m, mit Autofokus, Gitter-Qualität als best quality oder fast, und mit 1 Shot oder 10 Shots) aufgenommen. Die Abb. 5 zeigt in der Mitte den hochauflösenden frontalen Scan mit einer Lücke in der Mitte (dunkelblau umrandet), die vermutlich durch Filterung einer zu starken Rückstrahlung der Laserstrahlen verursacht wurde. Rechts ist dieselbe Punktwolke in einer Seitenansicht mit einer Streuung von ca. 4 mm dargestellt.

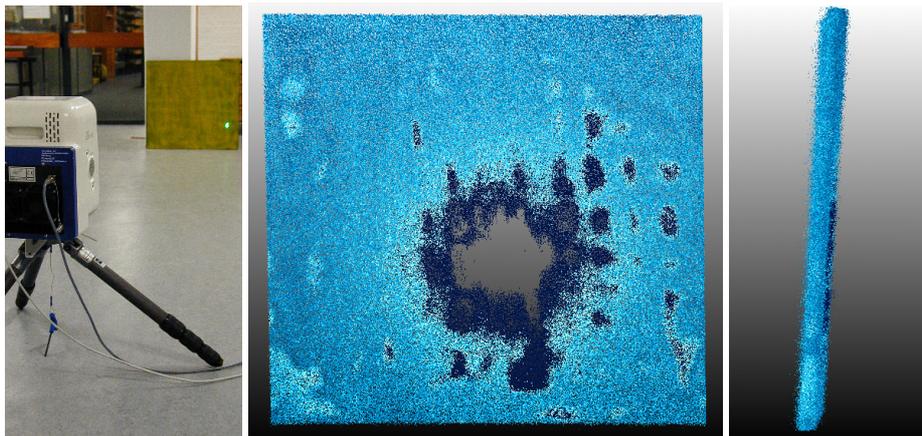


Abb. 5: Scanning einer Steinplatte mit dem GS 100 (links), Punktwolke der Steinplatte in frontaler (Mitte) und seitlicher Ansicht (rechts)

Die Auswertung erfolgte mit 3Dipsos, wobei eine ausgleichende Ebene in die jeweilige Punktwolke hineingerechnet wurde. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der gescannten Steinplatte in 0° - und 45° -Stellung. Die Datensätze der 45° -Scans waren homogener und genauer, d.h. nach Elimination der Ausreißer wurde eine Standardabweichung der ausgeglichenen Ebene von 5 mm erreicht. Dagegen variierte dieser Wert bei den 0° -Scans zwischen 3 und 7 mm. Bei diesen Scans gab es auch bessere

Ergebnisse mit der Grid-Option best quality gegenüber fast. Die Scans mit der Gitterweite 125 mm waren hier unbrauchbar. Bei den 45°-Scans konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Einstellungen best quality/fast und 1 Shot/10 Shots nachgewiesen werden. Eine reduzierte Anzahl von Punkten lieferte scheinbar ein besseres Ergebnis, doch wurde hier allerdings eine geneigte Ebene (ca. 0,1° entspricht ca. 2 mm/1 m) approximiert. Bei diesen Untersuchungen wurde die vom Hersteller angegebene Standardabweichung von 6 mm für die Einzelstreckenmessung eingehalten, jedoch wurde keine signifikante Verbesserung durch Mehrfachmessungen (10 Shots) erreicht.

5 Projekte

5.1 Überblick

Mit den terrestrischen Laserscannern Mensi G100 und GS200 wurden neben den Aufnahmen im 3D-Testfeld und auf der Eichstrecke im Zeitraum von Oktober 2003 bis Januar 2004 einige praktische Projekte durchgeführt. So wurden mit dem GS100 das Torhaus in Hamburg-Wellingsbüttel für einen Vergleich mit der photogrammetrischen Aufnahme, die Ringwallanlage in Willenscharen für die Erstellung einer topographischen Karte 1: 1000 (siehe 5.2.) und die Kirche in Friedrichstadt für die Auswertung von verschiedenen Schnitten und einem Grundriss erfasst. Der GS200 wurde in Zusammenarbeit mit dem Celler Ingenieurbüro RMK-Vermessung zur Erfassung diverser Objekte eine Woche in Ungarn im Großraum von Budapest eingesetzt. Dabei wurden folgende Objekte erfasst: ca. 1 km beidseitige Theiss-Uferböschungen bei der Ortschaft Tiszavárkony für die Erstellung eines digitalen Geländemodells (KERSTEN et al. 2004), diverse Brücken (Eisenbahn, Autobahn, Magaretenbrücke in Budapest) für die CAD-Rekonstruktion, zwei Gebäudefassaden in Székesfehérvár für die Erstellung von Fassadenplänen, ein Umspannwerk in Újpest und das Arzneimittel-Werk Chinion in Újpest (As-Built-Dokumentation), die Höhle Pál völgyi barlang in Pálvölgy (Dokumentation) und die Säule auf dem Platz „1000jähriges Ungarn“ in Budapest (Architektur). Alle Projekte sind noch in Bearbeitung. Je nach Aufgabenstellung muss man mit einem Verhältnis von ca. 1:9 für Aufnahme- zur Auswertungszeit rechnen, wie zwei praktische Projekte bei einer Industrieanlage (Flüssiggasanlage Boie, Lübeck) und einem Architekturobjekt (Holstentor in Lübeck) gezeigt haben (JAHN et al. 2004).

5.2 Topographische Aufnahme der Ringwallanlage Willenscharen

Im Dezember und Januar 2004 wurde die sächsische Ringwallanlage in Willenscharen, Schleswig-Holstein (siehe Abb. 6) an vier Tagen mit dem GS100 von sechs Aufnahmestationen aus gescannt, um aus der gesamten Punktwolke einen Höhenlinienplan 1: 1000 abzuleiten und die Ergebnisse mit einer tachymetrischen Aufnahme hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz zu vergleichen. Zur Verknüpfung der Scans wurden 16 Kugeln gescannt, wobei acht Kugeln auf bekannten Punkten eines geodätischen Netzes standen, um eine Geo-Referenzierung der registrierten Punktwolke zu erreichen. Die Registrierung der einzelnen Punktwolken erfolgte je nach Standpunkt über 3-7 Kugeln mit einem durchschnittlichen und maximalen Abstand der Kugelmittelpunkte von 5,5 mm und 11,9 mm, was für eine topographische Auswertung mehr als ausreichend ist. Die Auswertung der gesamten Punktwolke (5,9 Mio. Punkte) ist noch in Bearbeitung.



Abb. 6: Ringwallanlage Willenscharen in Schleswig-Holstein (Ansicht von Süden)

5.3 Gebäudefassade und Säule

Exemplarisch werden hier zwei Projekte mit dem GS200 vorgestellt, die Anfang Dezember 2003 in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro RMK Vermessung aus Celle in Ungarn aufgenommen wurden. Die Gebäudefassade des Bischofsitzes in Székesfehérvár (Abb. 7) wurde von drei Standpunkten mit jeweils 10-15 Scans für die Erstellung von Fassadenplänen in ca. 4,5 Stunden erfasst. Die Gebäudeteile wurden mit einer Auflösung von 2-6 mm auf 10 m aufgenommen, während einzelne Details sogar mit einer Auflösung von 0,3 mm auf 10 m für die spätere Verknüpfung der Punktwolken erfasst wurden. Die Entfernungen zum Objekt betragen zwischen 20 und 65 m. Die Verknüpfung der einzelnen Punktwolken erfolgte über manuell konstruierte Kugeln aus entsprechenden Objektelementen, so dass eine Verknüpfung über 4-6 Passpunkte je Station mit einem Abstand der Kugelmittelpunkte von 4-5 mm bei einem maximalen Abstand von 7,5 mm erreicht wurde. Die registrierte 3D-Punktwolke weist dann insgesamt ca. 12 Mio. Punkte auf.



Abb. 7: v.l.n.r.: 3D-Punktwolke der Gebäudefassade des Bischofsitzes in Székesfehérvár, manuell konstruierte Kugel eines Fassadenteils für die Verknüpfung der Punktwolken, Punktwolke der Säule am Platz „1000 jähriges Ungarn“, Budapest

Ein zweites Beispiel stellt die Erfassung der Säule auf dem Platz „1000jähriges Ungarn“ in Budapest dar. Die Säule wurde von drei Standpunkten mit insgesamt 17 Scans in ca. 5 Stunden mit dem GS200 aufgenommen. Die Distanzen zum Objekt betragen zwischen 10 und 100 m und die Scan-Auflösung lag zwischen 2-4 mm auf 10 m für die Säule und bei 0,3 mm auf 10 m für Details. Anders als bei der Gebäudefassade wurden hier die Punktwolken über die Kugeln miteinander verknüpft (5,9 Mio. Punkte), so dass je Scan-Station 3-5 Kugeln als Passpunkte verwendet wurden, die einen mittleren Kugelabstand von 4-5

mm bei einem maximalen Abstand von 5,6 mm aufwiesen. Es zeigte sich somit, dass eine Verknüpfung mit natürlichen Elementen wie bei der Fassade die gleichen Genauigkeiten lieferte wie eine Punktwolkenverknüpfung über Kugeln. Eine Geo-Referenzierung war bei diesen Projekten nicht gefordert. Beide Projekte sind noch in Bearbeitung.

6 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen an der HAW Hamburg haben gezeigt, dass beim Mensi GS100 die Strecken zu Kugeln und Zieltafeln, die zur Verknüpfung und Geo-Referenzierung der Punktwolken verschiedener Standpunkte verwendet werden, systematisch zu lang sind. Eine klare Fehlerzuweisung zur Streckenmessung oder zur automatischen Bestimmung der Kugel- bzw. Zieltafelmittelpunkte in der Software konnte nicht gemacht werden. Es bietet sich aber an, eine Additionskonstante für das entsprechende System (Instrument und Software) einzuführen. Außerdem wurde bestätigt, dass die aufgenommenen Punktwolken ein Rauschen bzw. eine Streuung in der Größenordnung der Herstellerangaben aufweisen. Das terrestrische 3D-Laserscanning System Mensi GS100 und GS200 erwies sich während der oben beschriebenen Projekt-Einsätze als weitestgehend stabil und einfach zu bedienen. Die Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken erfolgte bei den durchgeführten Projekten mit Abweichungen im Bereich von einigen Millimetern. Das System ist für den Einsatz in der Lehre und praktischen Forschung geeignet, so dass auch Kooperationen mit innovationswilligen Ingenieurbüros eine sinnvolle Aufgabe als Know-How-Transfer darstellen. Die Datenerfassung erfolgt relativ einfach und verhältnismäßig schnell, doch eine Auswertung der großen Punktwolken ist dagegen je nach Anforderungsprofil sehr komplex und zeitaufwändig. Beim Einsatz des Laserscanning-Systems ist Erfahrung, die mit zunehmender Anzahl durchgeführter Projekte kommt, eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Projekte. Außerdem hat sich gezeigt, dass die Kommunikation zwischen System-Hersteller und Hochschule sehr wichtig ist, damit Anwender das noch mit „Kinderkrankheiten“ behaftete System besser verstehen und Hersteller Probleme effizienter beheben können.

In Zukunft ist eine verstärkte Automatisierung des Auswerteprozesses erforderlich, um eine zunehmende Akzeptanz der Technologie im Markt zu erreichen und um das Laserscanning-System als Arbeitspferd der Vermessung/Geomatik effizient einsetzen zu können. Es ist zu vermuten, dass sich das Laserscanning-System mit digitaler Kamera zur Kombination von Punktwolken mit hochauflösenden Photos und mit GPS/INS zur Positionsbestimmung bzw. automatischen Geo-Referenzierung hin zu einem Multi-Sensorsystem entwickeln wird. Die Systeme werden in Zukunft schneller, genauer, handlicher und hoffentlich auch günstiger werden. Zur Verbesserung des Laserscanning-Systems werden auch die Untersuchungen an Hochschulen, wie sie am Fachbereich Geomatik der HAW Hamburg auch in Zukunft durchgeführt werden, beitragen.

7 Dank

Die Autoren bedanken sich bei Frau Nicole Conseil (Studentin an der HAW Hamburg) und bei Frau Dipl.-Ing. (FH) Maren Lindstaedt (freie Mitarbeiterin HAW Hamburg) für die

Unterstützung bei der Datenerfassung für die im Bericht erwähnten Untersuchungen. Herrn Dipl.-Ing. Werner Lottmann (RMK Vermessung, Celle) gilt der Dank für die gute Zusammenarbeit bei den Projekten in Ungarn.

8 Literatur

- Boehler, W., Bordas Vicent, M., Marbs, A. (2003): *Investigating Laser Scanner Accuracy*. Tagungsband des XIX. CIPA Symposiums, Antalya, Türkei, 30. Sept. – 4. Okt.
- Grün, A., Kahmen, H. (2001): *Optical 3-D Measurement Techniques V*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Grün, A., Kahmen, H. (2003): *Optical 3-D Measurement Techniques VI*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Jahn, I., Kersten, Th., Kinzel, R. (2004): *Erfahrungen mit einem 3D-Laserscanning-System bei der Erfassung einer Industrieanlage und des Lübecker Holstentores*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage 2004. Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, in diesem Band.
- Johansson, M. (2003): *Explorations into the behaviour of three different high-resolution ground-based laser scanners in the built environment*. Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for cultural heritage recording, Corfu, Greece, <http://www.isprs.org/commission5/workshop>.
- Kersten, Th., Sternberg, H., Mechelke, K., Acevedo Pardo, C. (2004): *Terrestrial Laser-scanning System Mensi GS100/GS200 – Accuracy tests, Experiences and Projects at the Hamburg University of Applied Sciences*. Presented Paper at the Panoramic Photogrammetry Workshop, Technical University of Dresden, 19.-21.02.
- Lichti, D.D., Gordon, S.J., Stewart, M.P., Franke, J., Taskiri, M. (2003): *Comparison of digital photogrammetry and laser scanning*. Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for cultural heritage recording, Corfu, Greece, <http://www.isprs.org/commission5/workshop>.
- Luhmann, T. (2002): *Photogrammetrie und Laserscanning – Anwendungen für As-Built-Dokumentation und Facility Management*. Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Luhmann, T. (2003): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003*. Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Luhmann, T. (2004): *Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage 2004*. Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Mensi (2004): *GS100 3D laser scanner/GS200 3D laser scanner*. <http://www.mensi.com/website2002/gs100.asp>, <http://www.mensi.com/website2002/gs200.asp>, besucht am 09.02.2004.