

Topografische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100

Christian HÖNNIGER und Thomas KERSTEN

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fachbereich Geomatik, Hebebrandstrasse 1, 22297 Hamburg

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird der Einsatz des terrestrischen 3D-Laserscanning-Systems Mensi GS100 von Trimble im Fachbereich Geomatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg anhand einer topografischen Geländeaufnahme vorgestellt. Die sächsische Ringwallanlage in Willenscharen (Schleswig-Holstein) wurde mit dem Mensi GS100 gescannt, um aus der gesamten Punktwolke einen Höhenlinienplan 1: 1000 abzuleiten. Die Qualität der aus den Laserscannerdaten modellierten digitalen Geländemodelle wird mit Referenzdaten verglichen und die Effizienz der Datenerfassung kritisch diskutiert.

1 Einleitung

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 effizienten Einsatz sind aus diesem Grunde sowohl für das Verständnis und für die Verbesserung, als auch für eine breite Marktakzeptanz solcher Messsysteme sehr wichtig. Ergebnisse von Untersuchungen über das Genauigkeitspotenzial von verschiedenen Laserscannern wurden von der Fachhochschule Mainz (BÖHLER et al., 2003) publiziert. Dabei stellte sich heraus, dass die verschiedenen Scanner nicht unbedingt vernachlässigbare Fehler unter bestimmten Bedingungen zeigen. Weitere Untersuchungen und erste praktische Erfahrungen mit dem Mensi GS100/GS200 an der HAW Hamburg wurden von KERSTEN et al. (2004) veröffentlicht.

Im Rahmen einer Diplomarbeit hat der Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg in einem Projekt untersucht, in wie weit sich das terrestrische 3D-Laserscanning-System Mensi GS100 bei der topografischen Geländeaufnahme effizient einsetzen lässt. Dabei wurde die Qualität der aus den Laserscannerdaten modellierten digitalen Geländemodelle mit Referenzdaten von Totalstationen verglichen. Als ein Beispiel einer topografischen Aufnahme berichtet MUCKE (2002) über die Aufnahme des Großsteingrabes Kleinenkneten II (Fläche 15 m x 12 m) mit dem Laserscanner Callidus, wobei die Verknüpfungen der einzelnen Scans einen Restfehler von ca. 6 mm lieferten.

Nach einer kurzen Vorstellung des 3D-Laserscanning-Systems Mensi GS100 im Kapitel 2 und einer Einführung in die Datenerfassung, Registrierung und Geo-Referenzierung mit dem Mensi-System im Kapitel 3 wird die Bearbeitung des Projektes Ringwallanlage in Willenscharen in Kapitel 4 präsentiert.

2 Das Laserscanning-System Mensi GS100

Das 3D-Laserscanning-System GS100 wird von Mensi S.A., Frankreich hergestellt und besteht aus Messinstrument mit Zubehör (Abb. 1) und entsprechender Erfassungs- und Auswertesoftware. Die technischen Spezifikationen der beiden Systeme sind in MENSİ (2004) zusammengefasst. Der GS100 erreicht eine Scan-Reichweite von bis zu 100 m als optimale Messentfernung. Der Panorama-View Scanner (360° horizontal, 60° vertikal) kann ein Messvolumen von 2 m x 2 m x 2 m bis 200 m x 200 m x 120 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. Es können bis zu 5000 Punkte pro Sekunde gemessen werden.

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. Eine sinnvolle Ergänzung des Systems ist 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 2.1) als sogenanntes Außendienstprogramm eingesetzt, mit dem der Scanner gesteuert wird. Die anschließende Auswertung der 3D-Punktwolken erfolgt mit RealWorks Survey (V4.1) oder mit 3Dipsos (V3.0). Beide Programme bieten neben der Registrierung bzw. Verknüpfung und Geo-Referenzierung der Punktwolken eine Vielzahl von Optionen für deren Auswertung. RealWorks Survey erlaubt im Modul Office-Survey 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 3Dipsos 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 für Aufnahmen auf einem Standpunkt je nach Detailreichtum bis zu 1,5 Stunden benötigt werden. Um die gescannten Punktwolken verschiedener Standpunkte automatisch verknüpfen zu können, werden weiße Kugeln (Spheres) 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 Berechnung der Zentrumskoordinaten im lokalen Scannerstandpunktsystem erfolgt halbautomatisch: der Operateur ‚zeigt‘ durch einen Mausklick im Videobild dem Scanner das Ziel (Framing), danach wird eine Entfernungsmessung zum Ziel durchgeführt. Die Entfernung dient zur Festlegung des Scanbereiches und der notwendigen Auflösung. Anschließend scannt das System das Ziel, berechnet die Zentrumskoordinaten und zeigt das modellierte Ziel in PointScape an (siehe Abb. 2). Der Algorithmus arbeitet nicht immer zuverlässig. Je nach gemessener Strecke kann es sogar vorkommen, dass das System eine Kugel falsch in die Punktwolke approximiert (siehe Abb. 2 rechts). Die Zielerkennung wird umso schwieriger, je größer die Distanz zum Ziel ist. Ab einer Strecke von 100 m ist eine halbautomatische Erkennung i.d.R. nicht mehr möglich.

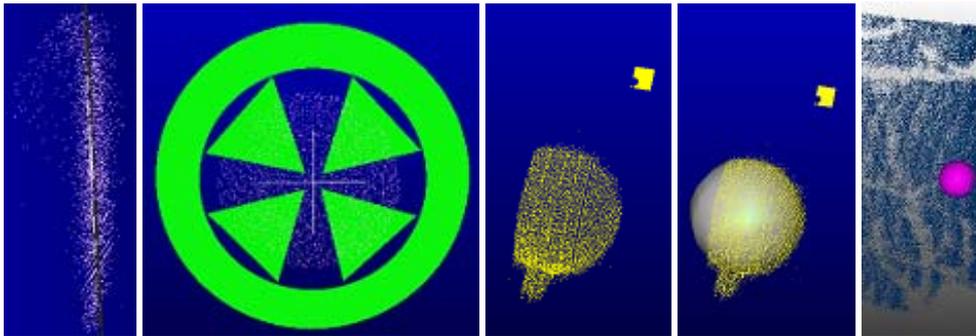


Abb. 2: Scan und automatische Erkennung einer Zieltafel (links) und Kugel (Mitte) mit PointScape. rechts: falsch approximiere Kugel in der Punktwolke eines Baumes.

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 Topografische Aufnahme einer sächsischen Ringwallanlage

An vier Tagen im Dezember 2003 und Januar 2004 wurde die sächsische Ringwallanlage (9./10. Jahrhundert) in Willenscharen, Schleswig-Holstein (Abb. 3) mit dem Laserscanner Mensi GS100 von sechs Aufnahmestationen aus bei minimaler Belaubung 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 im Objektraum 17 gut verteilte Kugeln gescannt, wobei acht Kugeln auf bekannten Punkten eines geodätischen Netzes standen, um eine Geo-Referenzierung der registrierten Punktwolke zu erreichen. Das geodätische Netz wurde mit einem Leica-Tachymeter TCRA 1105 eingemessen. Dabei wurde nach der Netzausgleichung eine Koordinatengenauigkeit von besser als 4 mm erreicht. Die Registrierung der einzelnen Punktwolken erfolgte in RealWorks Survey (RWS) je nach Standpunkt über 3-7 Kugeln mit einem durchschnittlichen und maximalen Abstand der Kugelmittelpunkte von 8 mm und 15 mm, was für eine topografische Auswertung mehr als ausreichend ist. Die Geo-Referenzierung der registrierten Punktwolken erfolgte über drei gut verteilte Passpunkte mit einer Genauigkeit von 4 mm. Durch die Verwendung von sechs Passpunkten hätte man eine Genauigkeit von 36 mm erreicht, was für eine topografische Geländeaufnahme auch ausreichen würde. Die Scanauflösung betrug bei den Passkugeln 0,3 mm/10 m und bei den Objektskans 6 mm/10 m für die außen liegenden Ausschnitt-Scans bzw. 14-20 mm/10 m für die innerhalb der Wallanlage liegenden 360°-Scans. Die erfasste Datenmenge der Gesamtpunktwolke ergab 6.5 Mio. Punkte (120 MB). Es wurden Entfernungen bis zu 120 m gemessen.



Abb. 3: Ringwallanlage Willenscharen in Schleswig-Holstein (Ansicht von Süden)

Für die Erstellung der Höhenlinien wurde die Vegetation in der gesamten Punktwolke in RWS durch manuelle Arbeit (ca. 20 h) aufwendig eliminiert. Anschließend wurden aus der segmentierten Punktwolke Höhenlinien als 2D-Polylinien erzeugt und in AutoCAD Land Development bearbeitet, um ggf. Ausreißer manuell zu eliminieren und die Höhenlinien zu glätten. Eine wesentlich effizientere Methode stellt die automatische Filterung der Punktwolke in Boden- und Vegetationspunkte mit der Software TerraScan von Terrasolid Ltd. dar (siehe Abb. 4). So können innerhalb kürzester Zeit (ca. 1 h) aus der segmentierten Punktwolke der Bodenpunkte geglättete Höhenlinien generiert und in Microstation dargestellt werden.



Abb. 4: Punktwolke der Wallanlage mit (oben) und ohne Vegetation (unten, Ansichten von Süden)

Um die Qualität der Laserscannerdaten beurteilen zu können, wurde die Ringwallanlage (ca. 1,2 ha) bereits im Oktober 2003 tachymetrisch mit dem Leica TCRA 1105 aufgenommen. Insgesamt wurden mit dem Tachymeter 438 charakteristische Punkte des Wallberges erfasst. Die drei generierten Höhenlinienmodelle (tachymetrisch, Laserscanning mit Real-Works Survey und AutoCAD, Laserscanning mit TerraScan) wurden anhand von 21 tachymetrisch bestimmten Kontrollpunkten (KP) überprüft. Für alle drei Datensätze beträgt die gemittelte Differenz (Absolutwerte) an den Höhenkontrollpunkten ca. 0,2 m (siehe Tab. 1) und die Differenzen variieren maximal zwischen $-0,71$ m bis $+0,73$ m für die Auswertung der Laserscannerdaten mit RWS.

Tabelle 1: Genauigkeitsuntersuchungen der Höhenlinien im Projekt „Laserscanning Willenscharen“

Verfahren	KP	Abs. Δh [m]	Differenzen [m]
Tachymetrie	21	0.13	-0.26 bis +0.32
Laserscanning + man. Ausw. (RWS)	21	0.22	-0.71 bis +0.73
Laserscanning + auto. Ausw. (TerraScan)	21	0.11	-0.26 bis +0.21

Eine visuelle Überprüfung erfolgte durch die Überlagerung der digitalen Höhenlinien (siehe Abb. 5). Dabei zeigten sich beim Vergleich der Höhenlinien nur kleine Unterschiede in einigen Bereichen der Wallanlage.

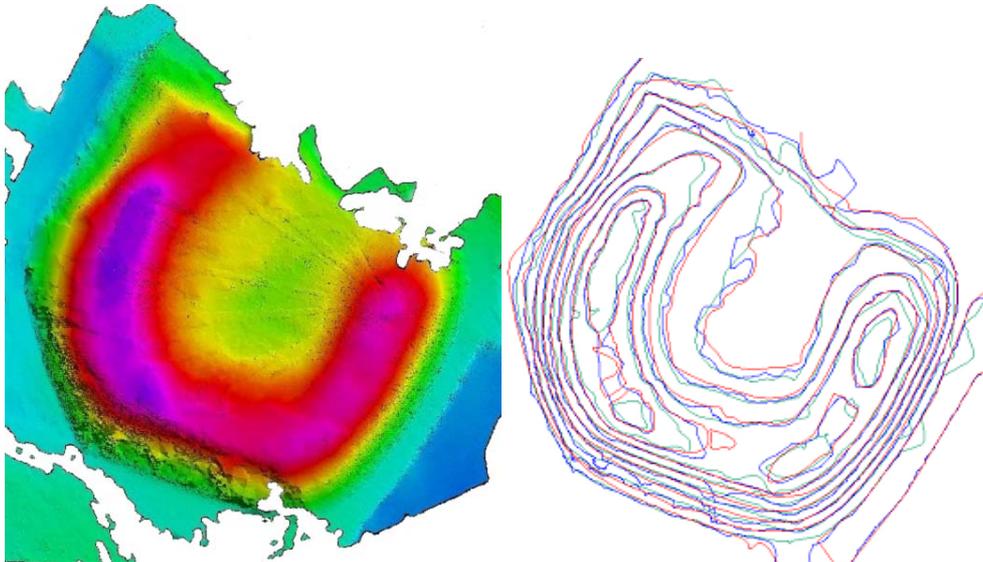


Abb. 5: Darstellung der durch TerraScan gerenderten Dreiecksvermaschung mit farbkodierten Höhenwerten, (links), generierte 1m-Höhenlinien im Vergleich (tachymetrisch grün, TerraScan blau, RealWorks Survey rot)

Zudem erfolgte eine Qualitätskontrolle der DGM mit Hilfe des Programms DIGMO (Modul aus dem Programm TASH der Universität Hannover). Für jeden Profilverpunkt wurde die entsprechende Höhe aus dem DGM berechnet. DIGMO berechnet aus max. 32 dem Profilverpunkt nächstgelegenen Scanpunkten (aus dem gefilterten DGM) mit Hilfe eines Polynomansatzes eine Fläche und bestimmt dann die Höhe der Fläche am Profilverpunkt. Die so berechneten Höhen von insgesamt 438 Top-Punkten bzw. von 23 Kontrollpunkten aus der Top-Aufnahme ergaben Standardabweichungen von ± 17 cm für den Einzelpunkt. Die maximalen Abweichungen liegen bei -0.56 m und $+1.66$ m (Tab. 2). Diese sind größtenteils auf Ausreißer in den Randgebieten des Laserscanning-Datensatzes zurückzuführen.

Tabelle 2: Genauigkeitsuntersuchungen der DGM im Projekt „Laserscanning Willenscharen“

Verfahren	KP	Abs. Δh [m]	Differenzen [m]
Tachymetrie	23	0.13	-0.38 bis +0.28
Laserscanning + auto. Ausw. (TerraScan)	23	0.14	-0.24 bis +0.52
Laserscanning + auto. Ausw. (TerraScan)	438	0.22	-0.56 bis +1.66

In der Tab. 3 ist der zeitliche Aufwand für die Projektbearbeitung der tachymetrischen und der Laserscanner-Aufnahme der Wallanlage zusammengefasst. Es zeigt sich bei diesem Projekt, dass das Laserscanning nur bei einer automatischen Auswertung der Punktwolken genauso effizient wie die tachymetrische Aufnahme ist.

Tabelle 3: Zeitlicher Aufwand für die Projektbearbeitung „Laserscanning Willenscharen“

Verfahren	3D Netz [h]	Aufnahme [h]	Auswertung [h]	Kontrolle [h]	Σ [h]
Tachymetrie	40	28	8	1	75
Laserscanning + man. Ausw.	40	24	36	1	101
Laserscanning + auto. Ausw.	40	24	9	1	74

Weitere Untersuchungen sowie detaillierte Informationen über das Projekt Willenscharen, das als Machbarkeitsstudie für die generelle Erfassung sächsischer Wallanlagen in Schleswig-Holstein dient, sind in HÖNNIGER (2004) zusammengefasst.

5 Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Laserscanning-Projekt Ringwallanlage Willenscharen hat gezeigt, dass der Mensi GS100 aufgrund seiner Reichweite und seiner Funktionalität (z. B. Panorama-View) für topografische Geländeaufnahmen geeignet ist. Nach einer automatisierten Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken mit RealWorks Survey kann eine effiziente Weiterverarbeitung durch die automatische Filterung und Eliminierung der Vegetation in Terra-Scan erfolgen. Der Datenfluss von der Scannersoftware zu TerraScan ist problemlos. Eine anschließende Reduktion der Daten auf sogenannte Model-Keypoints erleichtert die abschließende visuelle Kontrolle der Höhenlinien in Microstation, wobei die Höhenlinien bereits automatisch geglättet sind. Durch die automatische Datenverarbeitung wird die Bearbeitungszeit so stark reduziert, dass sie im Vergleich zur Datenerfassung vernachlässigbar gering ist. Erfahrungen mit anderen Laserscanning-Projekten in der As-Built-Dokumentation von Rohrleitungen und in der Gebäudeerfassung zeigten einen erheblich höheren Anteil (bis zu 1: 10) für die Datenauswertung (JAHN et al., 2004). Der automatische Auswerteprozess macht das terrestrische Laserscanning für die topografische Geländeaufnahme von kleinen Gebieten durchaus konkurrenzfähig zur tachymetrischen Aufnahme und zu airborne Laserscanning mit einem Helikopter. Aufnahmelücken durch Abdeckungen aufgrund der Vegetation können durch zusätzliche Scannerstandpunkte minimiert werden. Die Geländecharakteristik wird durch die hohe erfasste Punktdichte der Scannerdaten repräsentiert. Durch das Laserscanning werden Genauigkeiten erreicht, die der tachymetrischen Aufnahme entsprechen. Dennoch müssen weitere Untersuchungen hinsichtlich Effizienz und Qualität von topografischen Geländeaufnahmen mit Laserscannern erfolgen.

6 Dank

Die Autoren bedanken sich bei Herrn Patrick Schönstedt (Vermessungsbüro ÖbVi Felshart, Uetersen) für die Unterstützung bei den Messungen und Frau Jennifer Carl (Nebel + Partner, Schleswig) für die Bearbeitung der Laserscannerdaten mit der Software TerraScan.

7 Literatur

- Boehler, W., Bordas Vicent, M., Marbs, A., (2003): *Investigating Laser Scanner Accuracy*. Tagungsband des XIX. CIPA Symposiums, Antalya, Türkei, 30. Sept. – 4. Okt.
- Hönniger, C. (2004): *Topografische Aufnahme der sächsischen Ringwallanlage Willenscharen mit dem 3D-Laserscanning-System Mensi GS100*. Unveröffentl. Diplomarbeit im Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg.
- 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 Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 222-229.
- Kersten, Th., Sternberg, H., Mechelke, K., Acevedo Pardo, C. (2004): *Terrestrischer Laserscanner Mensi GS100/GS200 – Untersuchungen und Projekte an der HAW Hamburg*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 98-107.
- 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.
- Mucke, J. (2002): *Zur Leistungsfähigkeit des Lasermesssystems Callidus*. Photogrammetrie und Laserscanning – Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Th. Luhmann (Hrsg.), Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 84-92.