

Topographische Geländeaufnahme mit terrestrischem 3D-Laserscanner

THOMAS P. KERSTEN¹, KLAUS MECHELKE² UND CHRISTIAN HÖNNIGER³

In diesem Beitrag wird der Einsatz des terrestrischen 3D-Laserscanning-Systems Mensi GS100/GS200 von Trimble im Fachbereich Geomatik an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg bei der topographischen Geländeaufnahme anhand von zwei Projekten vorgestellt. Die sächsische Ringwallanlage in Willenscharen (Schleswig-Holstein) wurde mit dem Mensi GS100 gescannt, um aus der gesamten Punktwolke einen Höhenlinienplan 1: 1000 abzuleiten. Außerdem wurde der Mensi GS200 zur beidseitigen Erfassung von ca. 1 km Uferböschungen der Tisza bei der Ortschaft Tiszavárkony (Ungarn) eingesetzt, um aus den Punktwolken ein digitales Geländemodell zu erstellen, das als Datengrundlage für Simulationsberechnungen von Überschwemmungen dienen soll. 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. Der Fachbereich Geomatik der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg hat in mehreren Projekten untersucht, in wie weit sich das terrestrische 3D-Laserscanning-System Mensi GS100 und GS200 bei der topographischen Geländeaufnahme effizient einsetzen lässt. Die Qualität der aus den Laserscannerdaten modellierten digitalen Geländemodelle wird mit Referenzdaten von Totalstationen verglichen.

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. MUCKE (2002) berichtet über eine topographische 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/GS200 im Kapitel 2 und einer Einführung in die Datenerfassung, Registrierung und Geo-Referenzierung mit dem Mensi-System im Kapitel 3 wird die Bearbeitung der beiden Projekte Ringwallanlage in Willenscharen und Uferböschungen der Tisza in Kapitel 4 und 5 präsentiert.

¹ Fachbereich Geomatik, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Hebebrandstr. 1, 22297 Hamburg, e-mail: t.kersten@rzc.haw-hamburg.de

² Adresse s. o., e-mail: k.mechelke@rzc.haw-hamburg.de

³ Adresse s. o., e-mail: c.hoenniger@rzc.haw-hamburg.de

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 MENSI 2004 zusammengefasst. Der wesentliche Unterschied zwischen GS100 und GS200 liegt in der Scan-Reichweite von bis zu 100 m bzw. 200 m als optimale Messentfernung. Der Panorama-View Scanner (360° horizontal, 60° vertikal) kann ein Messvolumen von 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 1.2) als sogenanntes Außendienstprogramm eingesetzt, mit dem der Scanner gesteuert wird. Die anschließende Auswertung der 3D-Punktwolken erfolgt mit Real Works 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. 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 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 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 (Spheren) 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.

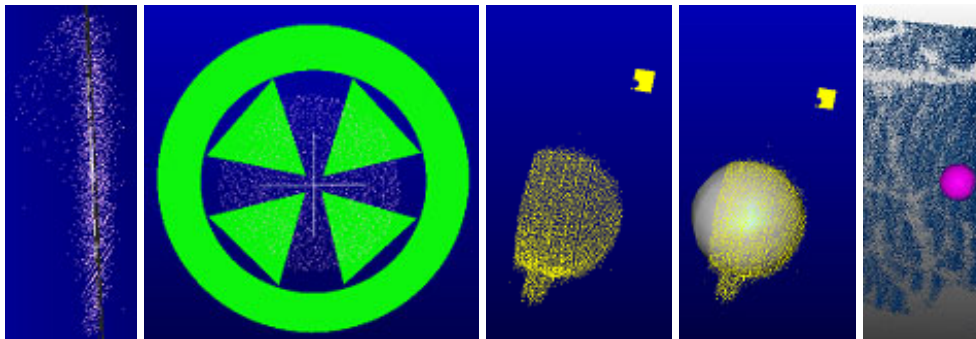


Abb. 2: Scan und automatische Erkennung einer Zieltafel (links) und Kugel (Mitte) mit PointScape. rechts: falsch approximierte Kugel in der Punktwolke eines Baumes.

Das Objekt kann anschließend ausschnittsweise oder als 360⁰-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 Topographische 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 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 TDA 1105 eingemessen. Dabei wurde nach der Netzausgleichung eine Koordinatengenauigkeit von besser als 5 mm erreicht. Die Registrierung der einzelnen Punktwolken

erfolgte in Real Works Survey (RWS) je nach Standpunkt über 3-7 Kugeln mit einem durchschnittlichen und maximalen Abstand der Kugelmittelpunkte von 7 mm und 10 mm, was für eine topographische 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 topographische Geländeaufnahme auch ausreichen würde.



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.

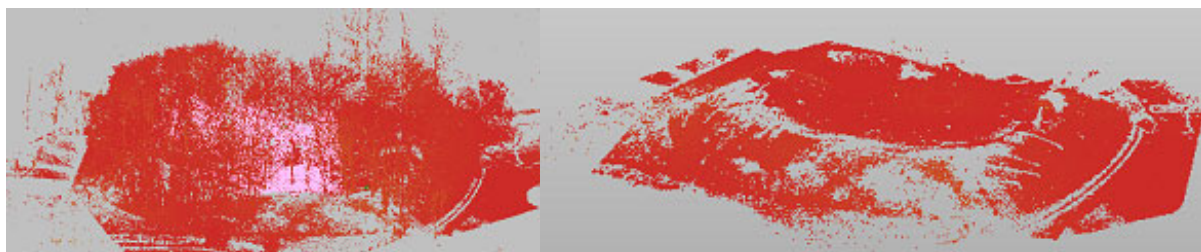


Abb. 4: Punktwolke der Wallanlage mit (links) und ohne Vegetation (rechts, Ansichten von Süden)

Um die Qualität der Laserscannerdaten beurteilen zu können, wurde die Ringwallanlage bereits im Oktober 2003 tachymetrisch mit dem Leica TDA 1105 aufgenommen. Insgesamt wurden mit dem Tachymeter 548 charakteristische Punkte des Wallberges an vier Tagen erfasst. Die drei generierten Höhenlinienmodelle (tachymetrisch, Laserscanning mit Real Works Survey und AutoCAD, Laserscanning mit TerraScan) wurden anhand von 23 tachymetrisch bestimmten Kontrollpunkten 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 -0,70 m bis + 0,95 m für die Auswertung der Laserscannerdaten mit RWS.

	Kontrollpunkte	Abs. Δh [m]	Differenzen [m]
Tachymetrie	23	0,23	-0,27 bis +0,77
Laserscanning + man. Ausw. (Real Works Survey)	23	0,16	-0,70 bis +0,95
Laserscanning + auto. Ausw. (TerraScan)	23	0,19	-0,25 bis +0,63

Tab. 1: Genauigkeitsuntersuchungen der Höhenlinien im Projekt „Laserscanning Willenscharen“

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. Weitere Untersuchungen zur Genauigkeit der digitalen Geländemodelle sind zur Zeit noch in Bearbeitung.

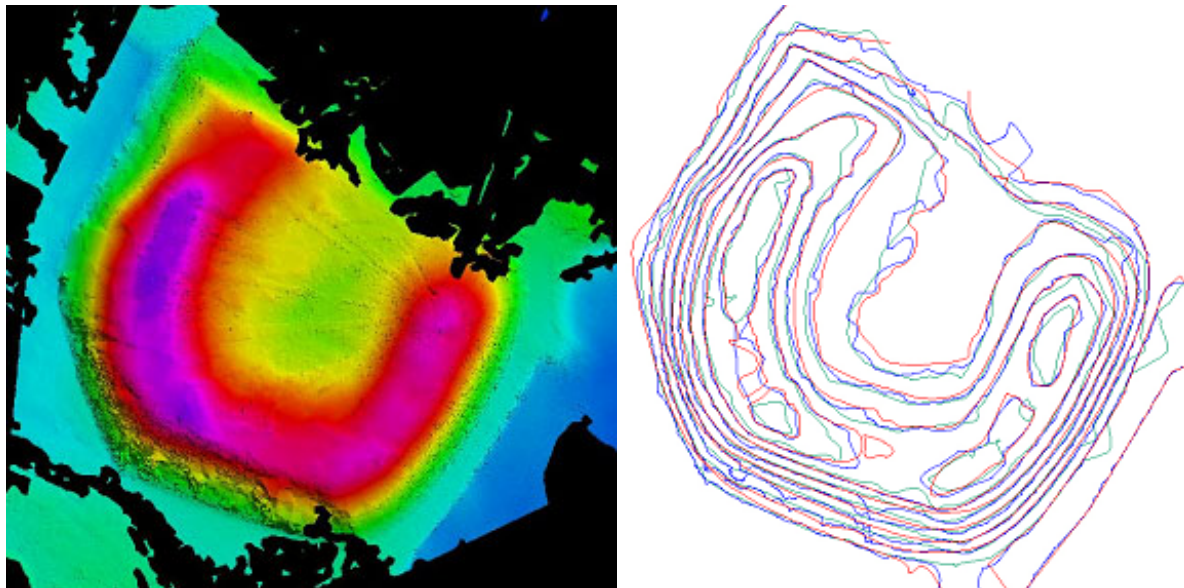


Abb. 5: Darstellung der durch TerraScan gerenderten Dreiecksvermaschung mit farbkodierten Höhenwerten, (links), generierte 1m-Höhenlinien im Vergleich (tachymetrisch grün, TerraScan blau, Real Works Survey rot)

In der Tab. 2 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.

	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

Tab. 2: Zeitlicher Aufwand für die Projektbearbeitung „Laserscanning Willenscharen“

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 Topographische Aufnahme der Tisza-Uferböschungen

In Zusammenarbeit mit dem Celler Ingenieurbüro RMK Vermessung wurde der Mensi GS200 zur beidseitigen Erfassung von ca. 1 km Uferböschungen der Tisza bei der Ortschaft Tiszavárkony (Ungarn) im Dezember 2003 eingesetzt, um aus den Punktwolken ein digitales Geländemodell zu erstellen. Das DGM dient als Datengrundlage für Simulationsberechnungen von Überschwemmungen, die regelmäßig durch den im Osten Ungarns gelegenen Fluss Tisza verursacht werden. Daraus sollen Schutzmaßnahmen gegen Überschwemmungen abgeleitet werden, da einige Häuser wegen der ausgespülten steilen Uferböschungen abzurutschen drohen.



Abb. 6: Mensi GS200 im Einsatz am Fluss Tisza (links), Kartenausschnitt des Projektgebietes bei Tiszavárkony (Mitte) und der Scanner in der rutschigen und lehmigen Uferböschung

Die Uferböschungen der Tisza (Abb. 6) wurden an drei Tagen von neun Stationen aus bei Temperaturen knapp über dem Gefrierpunkt aufgenommen, wobei insgesamt 17 Kugeln auf bekannten Punkten (Stativ) für die Verknüpfung und Geo-Referenzierung der Punktwolken im nationalen ungarischen Koordinatensystem zusätzlich gescannt wurden. Die durchschnittliche Punkt-dichte der Scans betrug 50 mm und die gescannten Distanzen lagen im Durchschnitt im Bereich von 200 m. Es wurden sogar Strecken bis zu 330 m gemessen. Jedoch wurde später realisiert, dass die Kombination von Scannergewicht (ca. 13 kg) und morastigem Untergrund (Abb. 6) ein leichtes Einsinken des Instrumentes beim Messen verursacht, was zu Abweichungen bei der Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken führt. Die Kugeln konnten bei einer Entfernung von über 100 m nicht automatisch erkannt werden, so dass durch zusätzliche Scans und nachträgliche Rekonstruktion der Kugeln zusätzliche manuelle Arbeit erforderlich war. In diesem Projekt wurde keine Registrierung der Scans durchgeführt, sondern die Verknüpfung der Punktwolken erfolgte indirekt durch die Georeferenzierung jedes einzelnen Scans. Nach Transformation der Kugeln in das nationale ungarische Koordinatensystem ergab sich eine Standardabweichung von 33 mm als Durchschnittswert aller Stationen, was für die weitere Bearbeitung der Daten ausreichend ist. Abb. 7 zeigt zur Veranschaulichung die Ufervegetation in einem Ausschnitt einer Punktwolke in Schrägansicht und die gesamte georeferenzierte Punktwolke.



Abb. 7: Punktwolke in Schrägansicht zur Darstellung der Vegetation (links), Darstellung der gesamten Punktwolken der beiden Tisza-Uferböschungen (rechts)

Da die manuelle Eliminierung der Oberflächenpunkte mit Real Works Survey mehrere Tage Arbeitsaufwand (geschätzt) in Anspruch genommen hätte, wurden die gesamte Punktwolke in das Softwaremodul TerraScan zur weiteren Bearbeitung eingelesen. Mit TerraScan wurden alle (Vegetations-) Punkte über dem Gelände automatisch herausgefiltert und eliminiert, so

dass das Modell von 6,3 auf 1,1 Millionen Punkte reduziert werden konnte. Anschließend wurden diese Daten weiter auf 67032 Punkte reduziert, in dem die sogenannten Model-Key-Points berechnet wurden. Das Ergebnis wurde visuell durch Darstellung als 25 cm Höhenlinien überprüft und es wurden offensichtlich fehlerhafte Punkte anschließend manuell eliminiert, so dass am Ende nur noch eine um Faktor 100 reduzierte Punktwolke von ca. 61000 Punkte gegenüber der anfänglichen Punktzahl übrig blieb. Die gescannten Punktwolken und die daraus generierten Höhenlinien sind in Abb. 8 dargestellt.

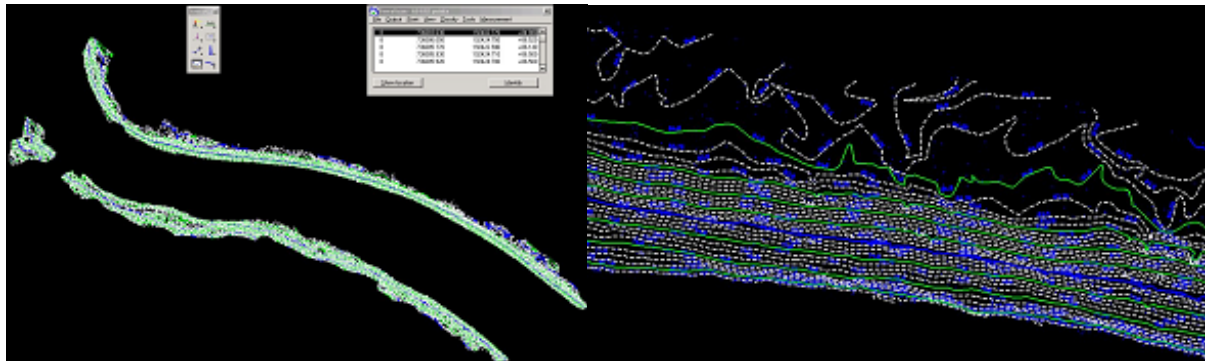


Abb. 8: Darstellung der gesamten Höhenlinien der Tisza-Uferböschungen (links) und ein Ausschnitt als Höhenlinien mit einer Äquidistanz von 25 cm (rechts)

Zur späteren Qualitätskontrolle des DGMs wurde alle 50 m ein Profil hangaufwärts tachymetrisch gemessen, das mit dem gefilterten DGM verglichen wurde. Für jeden Profilpunkt wurde die entsprechende Höhe aus dem DGM mit dem Programm DIGMO (Modul aus dem Programm TASH der Universität Hannover) berechnet. DIGMO berechnet aus 64 dem Profilpunkt nächstgelegenen Scanpunkten mit Hilfe eines Polynomansatzes eine Fläche und bestimmt dann die Höhe der Fläche am Profilpunkt. Die so berechneten Höhen von insgesamt 169 Punkten aus 37 Profilen ergaben eine Standardabweichung von ± 17 cm für den Einzelpunkt. Die maximalen Abweichungen liegen bei -0.48 m und $+0.49$ m. Dabei wurden vorher 24 grobe Fehler eliminiert, die aufgrund unzureichender Filterung und Aufnahmelücken (Abdeckung durch Vegetation) noch vorhanden waren.

Die gesamte Projektbearbeitung konnte mit einem Arbeitsaufwand von 10 Tagen (98 h) durchgeführt werden (Tab. 3). Dabei stellt die Datenerfassung im Feld mit drei Tagen (2 Personen je 12 h) den größten Aufwand dar. Die anschließende automatisierte Datenverarbeitung ermöglicht eine effiziente Generierung des digitalen Geländemodells.

Projekt	Scanning [h]	Geo-Referenz. [h]	Auswertung [h]	Kontrolle [h]	Σ [h]
Uferböschung Tisza	72	5	5	16	98

Tab. 3: Zeitlicher Aufwand für die Projektbearbeitung „Uferböschung Tisza“

6 Fazit und Ausblick

Die beiden vorgestellten Laserscanning-Projekte Ringwallanlage Willenscharen und Uferböschungen Tisza haben gezeigt, dass der Mensi GS100/GS200 aufgrund seiner Reichweite und seiner Funktionalität (z. B. Panorama-View) für topographische Geländeaufnahmen geeignet ist. Nach einer automatisierten Registrierung und Geo-Referenzierung der Punktwolken mit Real Works Survey kann eine effiziente Weiterverarbeitung durch die automatische Filterung und Eliminierung der Vegetation in TerraScan erfolgen. Der Datenfluss von der Scanner-Software zu TerraScan ist problemlos. Eine anschließende Reduktion der Daten auf sogenannte Model-Key-Points erleichtert die abschließende visuelle Kontrolle der Höhenli-

nannte Model-Key-Points 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 topographische 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 topographischen Geländeaufnahmen mit Laserscannern erfolgen.

Durch eine hohe Automatisierung der Auswerteprozesse wird das Laserscanning-System in Zukunft eine zunehmende Akzeptanz im Markt erreichen. Die Systeme werden in Zukunft schneller, genauer, handlicher und hoffentlich auch günstiger werden. Zur Verbesserung des Laserscanning-Systems werden auch die Untersuchungen an Hochschulen beitragen.

7 Dank

Die Autoren bedanken sich bei Frau Dipl.-Ing. Jennifer Carl (Nebel + Partner, Schleswig) für die Bearbeitung der Laserscannerdaten mit der Software TerraScan. Herrn Dipl.-Ing. Werner Lottmann (RMK Vermessung, Celle) gilt der Dank für die gute Zusammenarbeit bei dem Projekt in Ungarn.

8 Literaturverzeichnis

- 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): Topographische 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.