

Einsatz eines terrestrischen Laserscanners für die DGM-Erstellung bzw. Volumenermittlung im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren

CARMEN ENGELS, Bottrop, VOLKER DITTSCHIEDT, Ratingen & ALFRED MISCHKE, Bochum

Keywords: terrestrial laserscanner, topographic survey, DLM, garbage depot, GPS

Zusammenfassung: In diesem Artikel wird die Geländeaufnahme, DGM-Erstellung und Volumenermittlung mit einem terrestrischen Laserscanner verglichen mit dem herkömmlichen GPS-Messverfahren. Dieser Vergleich basiert auf Geländeaufnahmen zur Volumenermittlung auf einer Mülldeponie mittels Laserscanner und GPS. Mit den beiden Verfahren wurde das Müllvolumen einer gewichtsmäßig exakt spezifizierten Menge Hausmülls unabhängig voneinander bestimmt und ein Gewicht/Volumen-Faktor ermittelt. Hierzu wurden zunächst für jede Messmethode Digitale Geländemodelle aus den jeweiligen Messdaten erstellt, auf deren Basis die Volumina errechnet wurden. Die Qualität der Geländeaufnahmen konnte durch einen DGM-Vergleich sowie durch die Volumenermittlung untersucht und analysiert werden. Die auf dem durchgeführten Vergleich basierende abschließende Beurteilung der Messmethoden bezieht neben den erzielten Messergebnissen auch den benötigten Logistik-, Mess- und Auswerteaufwand mit ein. Berücksichtigt man als Entscheidungskriterium neben der Genauigkeit auch die aufgewendete Zeit für die Erstellung der DGM, so zeigt sich, dass für „einfache“ Vermessungsaufgaben herkömmliche Messverfahren wie Tachymeter und GPS grundsätzlich effektiver sind als der terrestrische Laserscanner. Das terrestrische Laserscanning stellt somit weniger eine Konkurrenz für die konventionellen Verfahren dar, sondern ist vielmehr eine sinnvolle Ergänzung.

Summary: *Laserscanner application for volumina determination and DTM-construction, respectively in comparison with conventional procedures.* This article compares a terrestrial laser scan to a GPS-measurement. Compared was the measurement of a garbage depot, leading to a digital landscape model (DLM) and a volumina calculation of the remaining depot-space.

Therefore, an exactly specified area was measured (with a laser scanner and with GPS) before and after filling with garbage. The resulting DLMs enabled the determination of the filled space – independently for both methods. The weight of the garbage was known, so that a space/weight factor could be calculated. Both methods gave nearly the same results (difference < 1%).

In a next step, the individual DLMs were compared. There were only small differences between results of laser scanning and GPS-measurement. They can be seen in a special differential-DLM, where only the deviations are presented.

At least, a final appraisal of results was done including other facts like logistical complexity, measuring und interpretation effort. Considering all factors, GPS turned out to be the better fitting method for “standard” measurements like the examined task, even if laser scanning yields to a suitable solution. So, laser scanning is an expedient completion to conventional measurement techniques – not a substitution.

1 Einleitung

Die geodätische Messtechnik hat sich aufgrund der raschen Entwicklungen in der Elektronik, der elektronischen Datenverarbeitung und der Sensorik stark verändert. Neuartige Messsysteme, die sich vor allem durch hohe Produktivität und Effizienz auszeichnen, drängen auf den Markt und konkurrieren mit älteren Messmethoden. Ein Verfahren, das in den letzten Jahren immer stärker auf sich aufmerksam gemacht hat, ist das Laserscanning (siehe z. B. MITCHELL 2004 oder JENKINS 2005). In der topographischen Geländeaufnahme und der daraus resultierenden Erfassung digitaler Geländemodelle wird seit geraumer Zeit das Airborne-Laserscanning eingesetzt. Laserscanning zeichnet sich allgemein durch einen hohen Automatisierungsgrad aus. Ist ein Messvorgang einmal gestartet, können extrem viele Punkte in sehr kurzer Zeit aufgenommen werden. Einzug in die kommerzielle Nutzung hat der terrestrische Laserscanner daher vor allem in den Bereichen der Nahbereichs-Photogrammetrie gefunden, wo nun statt Fotos oder ergänzend zu Fotos große Punktmengen aufgenommen werden. Anwendung findet der terrestrische Laserscanner hierbei in der Fassadenaufnahme, der Architekturvermessung und der Denkmalpflege (z. B. Aufnahme des Lübecker Holstentores in JAHN & KERSTEN 2004). Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Erstellung von 3D-Welten zur Anlagendokumentation (As-built-Dokumentation) (HOFFMAN 2005 und GREAVES & JENKINS 2004) und der Objektvermessung (Maschinenbauelemente). Es erschließen sich aber auch neue Spezialanwendungen, wie die Aufnahme spezieller Flechten im Shenandoah Nationalpark (WASKLEWICZ et al. 2005).

2 Zielsetzung

Es ist bisher kaum erforscht, in wieweit sich ein terrestrischer Laserscanner auch für Messaufgaben in den Bereichen der Geländeaufnahme oder DGM-Erstellung eignet, die bisher mit konventionellen Messmethoden (Tachymeter und GPS) durchgeführt

wurden (z. B. sächsische Ringwallanlage Willenscharen von HÖNNINGER & KERSTEN 2005). Aufbauend auf dieser Fragestellung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit des Fachbereichs „Vermessungswesen und Geoinformatik“ der Fachhochschule Bochum ein Laserscanner in einem Messgebiet, das bisher von herkömmlichen Messverfahren dominiert wurde, eingesetzt. Konkret wurde hier der Einsatz eines Laserscanners bei einer Geländeaufnahme zur Volumenermittlung und bei der Ableitung eines DGM untersucht und beurteilt. Die Volumenermittlung wurde hierbei auf einer Deponie in Bochum vorgenommen.

3 Verwendete Messsysteme

3.1 Laserscanner

Verwendet wurde ein 3D-Laserscanner HDS3000 der Firma Leica Geosystems in Verbindung mit der Auswerte- und Ansteuersoftware Cyclone. Für die Messungen mit dem HDS3000 sind zudem ein Laptop



Abb. 1: Laserscanner HDS3000 im Deponie-Messeinsatz.

mit installierter Scansoftware Cyclone und eine externe Scannerbatterie erforderlich (Abb. 1).

Der HDS3000 gehört zu der Kategorie der so genannten Panorama-Scanner, da er in der Lage ist, einen Scanbereich von 360° in horizontaler Scanrichtung und 270° in vertikaler Scanrichtung zu erfassen. Der HDS3000 bietet eine Reichweite von über 100 Metern, wobei sich die Herstellerangaben zur Einzelpunktgenauigkeit (± 6 mm) nur auf eine Reichweite von 50 m beziehen. Die Auflösung des Scanners beträgt $60 \mu\text{rad}$ (HZ/V). Die Laserspotgröße ist bei einer Entfernung bis zu 50 m unter 6 mm, wobei die Streckengenauigkeit bei 4 mm und die 3D-Punktgenauigkeit bei 6 mm liegen. Der Laserscanner arbeitet nach dem Prinzip des Impulsverfahrens und kann bis zu 1.800 Punkte/Sekunde bei einer minimal einstellbaren Rasterweite von 1,2 mm messen. Zu jedem Objektpunkt werden die dreidimensionalen Koordinaten sowie der Intensitätswert des reflektierten Laserimpulses gespeichert.

Für die Auswertung wird die lizenzierte Auswertesoftware Cyclone benötigt, mit der der Laserscanner zudem angesteuert werden kann. Hiermit wird die Verknüpfung (Registrierung) und Georeferenzierung der verschiedenen Scannerstandpunkte (Punktwolken) vorgenommen. Um die verschiedenen Scannerstandpunkte automatisch verknüpfen zu können, werden spezielle Zieltafeln für den HDS3000 (HDS-Targets) benötigt, die im Messgebiet gleichmäßig verteilt liegen. Durch reflektorloses Anzielen können diese HDS-Targets bei Bedarf mühelos georeferenziert werden.

3.2 GPS-System

Die GPS Messung wurde mittels eines Leica GPS-Zweifrequenzempfängers SR 530 mit Funkmodem für die Einwahl in den SAPOS[®]-Server (Satellitenpositionierungsdienst der Länder) durchgeführt. Die Messungen erfolgten in Echtzeit im RTK-Modus (Real Time Kinematic-Modus) mittels einer virtuellen Referenzstation (VRS) des SAPOS[®] HEPS-Service (Hochpräziser

Echtzeit Positionierungs-Service; Korrektur von Trägerphasenmessungen zur Positionsbestimmung im RTK-Modus).

4 Ausgangssituation

Die Deponie erstreckt sich über eine Gesamtfläche von ca. 42 ha und hat ein genehmigtes Deponievolumen von etwa 13 Mio. m³. Auf der Deponie werden Haus- und Sperrmüll sowie Gewerbemüll gemäß den abfallrechtlichen Auflagen der Bezirksregierung angenommen. Zu den einbaufähigen Abfällen einer Deponie gehört insbesondere der Gewerbemüll. Dieser durfte nach der Deponieverordnung nur noch bis zum 31.05.2005 eingebaut werden. Laut Genehmigung ist eine maximale Einbauhöhe zwingend einzuhalten, die nicht signifikant überschritten werden darf. Um nun abschätzen zu können, wie viel Abfall bei der verbleibenden Resthöhe noch eingebaut werden kann, ist der Gewicht/Volumen-Faktor eine hilfreiche Größe. Dieser Abschätzung liegt auch die Kalkulation des Preises zu Grunde, der für die Deponierung der Abfälle berechnet wird. Von Seiten des Betreibers bestand daher das Interesse, diesen Faktor einmal über einen kürzeren Zeitraum bestimmen zu lassen, da die sonst als Berechnungsgrundlage dienenden Befliegungsdaten nur halbjährig aktualisiert werden.

5 Messgebiet

Auf dem Messgebiet wurde eigens für die Aufgabenstellung eine „Wanne“ (Abb. 2)

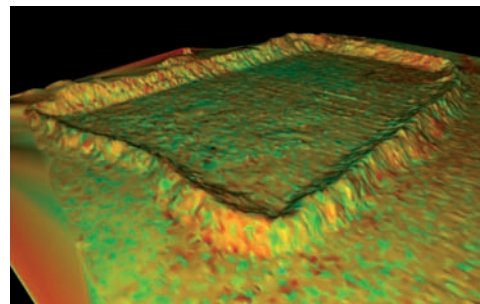


Abb. 2: Laserscanner DGM der „Wanne“ – 1. Messung (3D-Ansicht in Cyclone).

mit folgenden Maßen konstruiert: 65 m lang, 35 m breit und 2 m hoch. Der Hauptgrund für diese Konstruktion war, dass zur Berechnung des Gewicht/Volumen-Faktors ein exakt definierter Bereich abgegrenzt werden musste, für den das Gewicht der verfüllten Menge Müll bekannt sein muss und das Volumen ermittelt werden kann.

6 Topographische Aufnahme

Um eine konkrete Aussage über die Leistungsfähigkeit eines Laserscanners anhand einer Geländeaufnahme und der daraus resultierenden DGM-Erzeugung und Volumenbestimmung treffen zu können, müssen die Messdaten mit denen eines herkömmlichen Messverfahrens verglichen werden. Aufgrund der örtlichen Situation (Himmelsfreiheit, kaum Festpunkte nutzbar) wurde das GPS-Verfahren als herkömmliches Messverfahren für den Vergleich ausgewählt. Somit wurde zur Volumenbestimmung die „Wanne“ vor und nach Befüllung mit Abfall mittels beider Messverfahren (GPS und Laserscanner) eingemessen. Aus den gewonnenen Messdaten wurde im Folgenden das Volumen des verfüllten (eingebauten) Abfalls ermittelt und damit abschließend der Gewicht/Volumen-Faktor ermittelt.

6.1 GPS-Aufnahme

Die Aufnahme der Wanne vor der Befüllung erfolgte durch Aufmessen der Wannenböschungen an den Unterkanten innen und außen sowie der Kronenlinie. Im Inneren der Wanne und außerhalb wurden vereinzelte Punkte aufgenommen, um den Geländeverlauf beschreiben zu können. Insgesamt wurden 240 Punkte in drei Stunden gemessen. Problematisch war allein die Aufnahme der Kronenlinie, da diese nicht immer exakt erkennbar war und teilweise approximiert werden musste. Die Aufnahme nach der Befüllung gestaltete sich einfacher, da es keinen Wanneninnerraum mehr als solchen gab, sondern nur noch eine Art „Deckel“. Gemessen wurden diesmal 260 Punkte in drei Stunden.

6.2 Laserscanner-Aufnahme

Um ein einheitliches Bezugssystem zwischen den beiden Messverfahren (terrestrischer Laserscanner und GPS) zu realisieren, wurden Holzpflocke als Tagesmarken im Boden der Deponie eingebracht und mittels GPS georeferenziert. Damit die Passpunkte vom Laserscanner genutzt werden können, sind diese mittels HDS-Targets zu signalisieren. Es wurden bei beiden Messungen sieben georeferenzierte Passpunkte als Verknüpfungspunkte im gesamten Objektraum verwendet, um die erhaltenen Punktwolken miteinander zu verknüpfen und zu georeferenzieren. Zur Erfassung der Wannenstruktur wurde eine Rasterweite von 10 cm × 12 cm für den Scan eingestellt. Die komplette Aufnahme der ersten Messung erfolgte über fünf Standpunkte mit einer Gesamtanzahl von ca. 7,1 Mio. gemessenen Punkten. Bei der zweiten Messung wurden sechs Standpunkte mit einer Gesamtanzahl von 7,2 Mio. gemessenen Punkten benötigt.

7 Auswertung

7.1 DGM-Vergleich

Basierend auf den Messungen für die DGM-Erstellung bzw. Volumenermittlung erfolgte der Vergleich von Laserscanning und GPS. Hierzu wurden zunächst für jede Messmethode Digitale Geländemodelle aus den jeweiligen Messdaten erstellt (Abb. 2).

Um den Unterschied der beiden DGM – vor allem im Böschungsbereich – besser darstellen zu können, wurden die GPS-Punkte der ersten und zweiten Messung in Cyclone (siehe 3.1 Laserscanner) eingeladen und vermascht. Die nun vorhandenen DGM von GPS und Laserscanner wurden getrennt nach erster und zweiter Messung zusammengefügt. Abb. 3 zeigt die kombinierte Darstellung des GPS-DGM (blau) mit dem aus den Laserscannerdaten gewonnenen DGM (orange bei erster Messung und grün bei zweiter Messung).

Aus der kombinierten Darstellung ist erkennbar, dass in weiten Teilen der ersten Messung das DGM des Laserscanners hö-

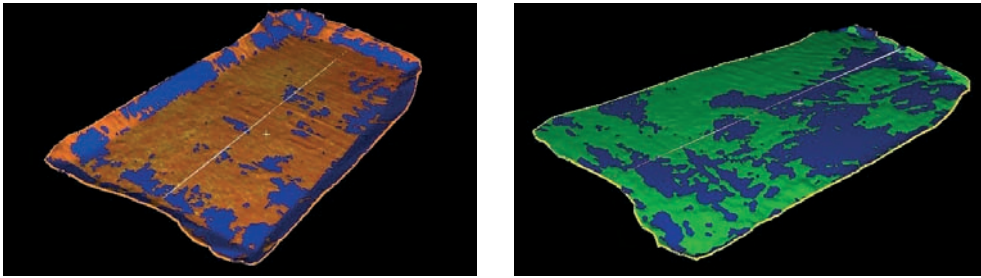


Abb. 3: Kombinierte Darstellung – erste Messung (links), zweite Messung (rechts); orange bzw. grün bedeutet Laserscanner-DGM liegt höher; blau bedeutet GPS-DGM liegt höher.

her liegt als das GPS-DGM. Umgekehrt ist die Situation im Böschungsbereich, bei der das GPS-DGM höher liegt. Dies ist durch die Generalisierung der Böschungslinie bei der GPS-Messung zu erklären, bei der lediglich Ober- und Unterkante aufgenommen wurden. Der Laserscanner hingegen nimmt die gesamte Geländestructur im Böschungsbereich auf. Um die Abstände der einzelnen DGM besser visualisieren zu können, wurden Querprofile erzeugt. Abb. 4 stellt anhand eines ausgewählten Querprofils der ersten Messung den Abstand der DGM im Böschungsbereich dar und veranschaulicht den Unterschied in der Aufnahme dieses Böschungsabschnittes sehr gut. Hierbei stellt die obere Linie im Böschungsbereich den generalisierten – mittels GPS aufgenommenen – Böschungsverlauf dar. Hierbei ist zu erkennen, dass mittels Laserscanner die unmittelbare Oberfläche des Geländes aufgenommen wurde. Zudem ist sehr gut erkenn-

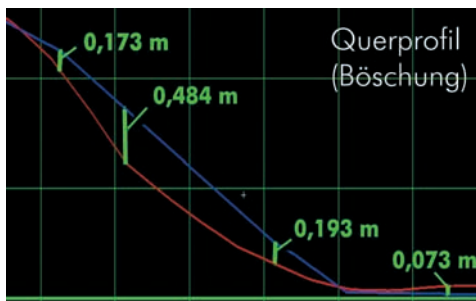


Abb. 4: Querprofil „Wannen“-Böschung: GPS-DGM in blau, Laserscanner-DGM in orange.

bar, dass im Wanneninnenraum, hervorgerufen durch Generalisierung sowie dem Einsinken des GPS-Gerätes, das GPS-DGM niedriger als das Laserscanner-DGM liegt.

In der zweiten Messung ist erkennbar, dass das Laserscanner-DGM größtenteils über dem GPS-DGM liegt.

7.2 Differenz-DGM

Um die durch verschiedene Messverfahren erzeugten DGM vergleichen zu können, wurde aus der Differenz zweier DGM wieder ein DGM erstellt. Im Idealfall (bei identischen DGM) würde als Resultat eine ebene horizontale Fläche (mit Höhe Null) als Differenz-DGM herauskommen. Für lageidentische Punkte, die durch Reduktion der Punktwolke des Laserscanner-DGM gewonnen wurden, konnten anschließend die Höhen auf den zu vergleichenden DGM durch Interpolation berechnet werden. Die Höhendifferenzen in den lageidentischen Punkten repräsentieren die Abweichungen der DGM voneinander und wurden einer statistischen Analyse unterzogen. Im Folgenden wurden die Höhendifferenzen, mit einer Klassenbreite von 0,1 m, als Histogramm aufgetragen. Das Ergebnis zeigt, dass die Differenzen normalverteilt sind (Abb. 5). Es ergab sich eine mittlere Differenz von 9 cm, die das GPS-DGM unterhalb des Laserscanner-DGM liegt. Eine Erklärung hierfür wäre, dass der Laserscanner immer die oberste sichtbare Schicht erfasst, während der GPS-Lotstock im Müll einsinken kann.

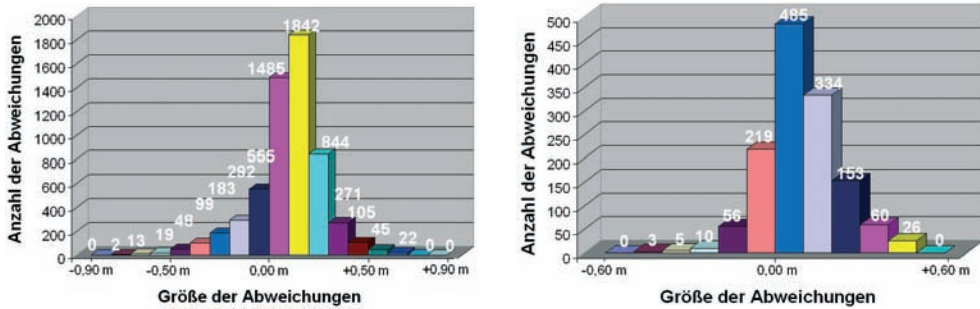


Abb. 5: Differenz-Histogramm der 1. Messung (links) und der 2. Messung (rechts).

Zur Visualisierung wurde aus den Differenzen ein DGM abgeleitet, das sich mit Cyclone sehr anschaulich darstellen ließ. Mittels dieser Visualisierung konnte untersucht werden, an welchen Stellen systematische Effekte und die betragsmäßig größten Differenzen auftraten.

Die Differenzanalyse der ersten Messung ergab, dass größere Differenzen ($>|\pm 0,3|$ m) im Böschungsbereich besonders stark vertreten sind und dort gleichmäßig verteilt liegen, wie in Abb. 6 zu sehen ist. Diese Differenzen entstanden durch die bereits angesprochene generalisierte Geländeaufnahme mittels GPS, wodurch systematische Differenzen über 0,3 m entstanden. Größere Differenzen ($>|\pm 0,3|$ m) sind im Innenraum der Wanne (s. Abb. 6) hingegen seltener und liegen an Stellen, die durch herausragenden und herumliegenden Abfall (nur mit dem Laserscanner aufgenommen) hervorgerufen wurden, so dass die Fehler hier keiner Systematik unterlagen, sondern als rein zufällig angesehen werden können.

Die Differenzanalyse der zweiten Messung ergab, dass sowohl im Innen- als auch im Randbereich der Wanne kaum größere Differenzen ($>|\pm 0,3|$ m) entstanden (Abb. 6). Hierbei traten keine Abweichungen durch herausragenden Abfall auf, da die Geländeoberfläche nach der Verfüllung verdichtet wurde.

7.3 Faktorberechnung

Die exakte Tonnenangabe des in die „Wanne“ eingebauten Mülls wurde vom Betreiber ermittelt und zur Verfügung gestellt, wodurch sich der gesuchte Faktor zu $\sim 0,55$ t/m³ mittelt. Die Ergebnisse der Volumeberechnung, basierend auf den zwei unterschiedlichen angewandten Messverfahren, waren in beiden Fällen näherungsweise identisch, obwohl die Punktdichte (6 Mio-Punkte beim Laserscanner und 250 bei GPS) extrem unterschiedlich war. Trotz des relativ schwierig zu erfassenden Geländes und der daraus resultierenden notwendigen Gene-

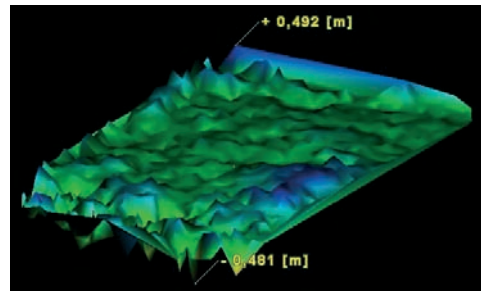
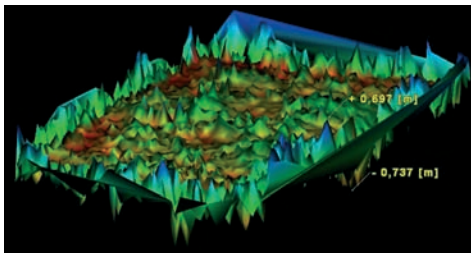


Abb. 6: Differenz-DGM der 1. Messung (links) und der 2. Messung (rechts), hohe negative Differenzen rot über gelb und grün zu hohen positiven Differenzen in dunkel blau.

Tab. 1: Berechnung des Faktors.

Verfahren	Tonnen [t]	Volumen [m ³]	Faktor [t/m ³]
GPS	~ 3200	5833	0,55
Laserscanner	~ 3200	5883	0,54

ralisierung bei der GPS-Messung betrug die mit den beiden Verfahren ermittelte Differenz in der Volumenbestimmung nur 0,85 % (Tab. 1). Dieser Unterschied in der Volumenbestimmung von unter einem Prozent kann als sehr gering angesehen werden und ist für eine Volumenbestimmung in der Geländeaufnahme einer Deponie nicht relevant. Es zeigt sich somit, dass die unterschiedlichen Messverfahren und die durchgeführte Generalisierung hier kaum Auswirkungen auf das ermittelte Volumen hatten.

8 Fazit

Die auf dem durchgeführten Vergleich basierende abschließende Beurteilung der Messmethoden bezieht neben den erzielten Messergebnissen auch den benötigten Logistik-, Mess- und Auswerteaufwand mit ein. Die erfolgreiche Durchführung der Volumenbestimmung mit GPS und Laserscanner ergab unabhängig voneinander einen Gewicht/Volumen-Faktor von 0,54 t/m³ (Tab. 1). Dieses Ergebnis zeigt, dass prinzipiell beide Verfahren für die Geländeaufnahme eingesetzt werden können. Allerdings war der notwendige Aufwand zur Durchführung der Messung mit dem Laserscanner ungleich höher als der mit GPS (14 Stunden zu 6 Stunden). Soll ein Gebiet schnell und nicht so detailliert aufgenommen werden, spricht der Zeit- und Arbeitsaufwand eindeutig für das GPS-Verfahren. Hiermit konnte sehr effizient und mit einer für die Aufgabenstellung ausreichenden Genauigkeit dasselbe Gebiet in kurzer Zeit aufgenommen werden. Berücksichtigt man als Entscheidungskriterium neben der Genauigkeit auch die aufgewandte Zeit für die Erstellung der DGM (Laserscanner: 15 Stunden; GPS: 6 Stunden), so zeigt sich,

dass für „einfache“ Vermessungsaufgaben herkömmliche Messverfahren wie Tachymeter und GPS grundsätzlich effektiver sind als der Laserscanner. Das terrestrische Laser-scanning stellt somit weniger eine Konkurrenz für die konventionellen Verfahren dar, sondern ist vielmehr eine sinnvolle Ergänzung. Die Stärken des Laserscanners liegen ohne jeden Zweifel in der exakten Vermessung von Objekten mit komplexen Oberflächenstrukturen. Diese einzigartige Überwindungsmöglichkeit hat den Laserscanner z. B. zum Standardmessverfahren in der Architektur-Photogrammetrie werden lassen (LUHMANN 2005). In vielen Vermessungsbereichen, in denen heute mit GPS oder Tachymetrie gemessen wird, ist allerdings nicht zu erwarten, dass der Laserscanner diese routinemäßigen Verfahren verdrängen wird.

9 Ausblick

Die derzeitige Beurteilung des Laserscanners in dieser Arbeit muss vermutlich aufgrund gerade stattfindender Entwicklungen in etwa 10 Jahren revidiert werden. So kann man sich einen zukünftigen Laserscanner vorstellen, der in der Handhabung kompakter ist (kein externes Notebook, keine externe Stromversorgung, etc.) und daher im Zuge einer generell fortschreitenden Miniaturisierung einfach handlicher. Stellt man sich vor, dass zukünftige Laser und Elektronik noch weniger Strom verbrauchen, und somit eine kleine Batterie die Stromversorgung über 12 Stunden sichert, könnte solch ein wirklich handlicher Laserscanner in Kombination mit den vorhandenen Stärken eines Laserscanners eine echte Alternative zu den herkömmlichen Messgeräten auch im Alltag sein.

10 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Stadt Bochum für die Anregung und Unterstützung bei der Durchführung dieses Projektes sowie dem Team des Umweltservice Bochum für die freundliche Unterstützung und der Bereitstellung des Messgebietes. Ebenso gebührt unser Dank Herrn Dipl.-Ing. HA-

RALD SAEGER der Firma Leica Geosystems für die Bereitstellung des Laserscanners HDS3000.

Literatur

- DITTSCHIEDT, V. & ENGELS, C., 2005: Einsatz eines Laserscanners für die Volumenermittlung bzw. DGM-Erstellung im Vergleich mit herkömmlichen Verfahren. – Unveröffentlichte Diplomarbeit im Fachbereich Vermessungswesen und Geoinformatik der Fachhochschule Bochum.
- GREAVES, T. & JENKINS, B., 2004: Laser Scanning Changes the Rules! – The American Surveyor, Cheves Media, May–June 2004.
- HÖNNINGER, C. & KERSTEN, T., 2005: Einsatz des 3D-Laserscanning-Systems Mensi GS100. – VDV 3/2005, S. 204ff.; Chiemlorz Verlag, Wiesbaden.
- HOFFMANN, E., 2005: Plant Design: Specifying Laser Scanning Services. – CEP-Magazine (Chemical Engineering Progress), S. 34–38, May 2005.
- JAHN, I. & KERSTEN, T., 2004: Erfassung des Lübecker Holstentores mit dem 3D Laserscanning System Cyra. – VDV, Band 23, Denkmäler 3D; Chmielorz Verlag, Wiesbaden.
- JENKINS, B., 2005: Surging Demand, Opportunity & Fresh Product at SPAR 2005. – The American Surveyor, Cheves Media, July–Aug. 2005.
- LUHMANN, T., 2005: Photogrammetrie – Laser-scanning – Optische 3D-Messtechnik. – Herbert Wichmann Verlag.
- MITCHELL, H., 2004: Laser Scanning. – Position Magazine, Issue 9, Feb.–March 2004.
- WASKLEWICZ, T., STALEY, D.-M. & SERUNTINE, L., 2005: Recording Lichen Species in Shenandoah National Park using Terrestrial 3D Laser Scanning Techniques. – http://geography.memphis.edu/thad/nsf/articles/SNP_Laser.pdf, 2005-08-17

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) CARMEN ENGELS
Düppelstraße 33, D-46238 Bottrop
Tel.: 02041-700316
e-mail: carmen_engels@yahoo.de

Dipl.-Ing. (FH) VOLKER DITTSCHIEDT
Schleiferstraße 33, D-40878 Ratingen
Tel.: 02102-27561
e-mail: tarkin27@yahoo.de

Prof. Dr. techn. ALFRED MISCHKE
Fachhochschule Bochum
FB Vermessungswesen und Geoinformatik
Lennershofstraße 140, D-44801 Bochum
Tel.: 0234-3210514, Fax: 0234-3214735
e-mail: alfred.mischke@fh-bochum.de

Manuskript eingereicht: Juli 2005
Angenommen: August 2005