

Terrestrisches Laserscanning in der Geomatik

Autor(en): **Zogg, Hans Martin / Schulz, Thorsten**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band(Jahr): **104(2006)**

Heft 8

Erstellt am: **01.07.2014**

Persistenter Link: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-236343>

Nutzungsbedingungen

Mit dem Zugriff auf den vorliegenden Inhalt gelten die Nutzungsbedingungen als akzeptiert. Die angebotenen Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre, Forschung und für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und unter deren Einhaltung weitergegeben werden. Die Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern ist nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung möglich. Die Rechte für diese und andere Nutzungsarten der Inhalte liegen beim Herausgeber bzw. beim Verlag.

Terrestrisches Laserscanning in der Geomatik

Terrestrisches Laserscanning wird zunehmend auch in den Bereich der Geomatik als 3D-Erfassungsmethode integriert und für verschiedene Applikationen eingesetzt. Derzeit herrschen noch Unsicherheit und Unkenntnis über diese Erfassungsmethode bezüglich des Laserscanners, der Arbeitsmethodik und des Anwendungsbereiches. Der vorliegende Artikel soll einen Einblick in die Thematik «terrestrisches Laserscanning» bieten.

Le laser scanning terrestre est de plus en plus souvent intégré dans le domaine de la géomatique en tant que méthode de saisie tridimensionnelle et employé pour diverses applications. Actuellement, il subsiste des incertitudes et des méconnaissances concernant le laser scanner, la méthodologie de travail et les domaines d'application. Le présent article donne un aperçu de la thématique «laser scanning terrestre».

Il laser scanning terrestre è sempre più utilizzato nel campo della geomatica come strumento di rilevamento tridimensionale e usato in diverse applicazioni. Attualmente la competenza e le conoscenze tecniche in questo ambito sono ancora limitate, sia riguardo al laser scanner che alla metodologia di impiego e ai possibili campi di applicazione. Il presente articolo offre un'ampia panoramica della tematica «laser scanning terreste».

Th. Schulz, H. M. Zogg

1. Einleitung

Terrestrisches Laserscanning hat sich in den vergangenen Jahren neben den klassischen Vermessungsmethoden wie Tachymetrie, GPS und Photogrammetrie als weitere Erfassungstechnik etabliert. Gegenüber den traditionellen Messtechniken besteht der Vorteil, dass mittels terrestrischem Laserscanning die Umgebung berührungslos, mit hoher 3D-Punktdichte und schnell vermessen werden kann.

Das Grundprinzip des terrestrischen Laserscanning ist mit der berührungslos messenden Tachymetrie vergleichbar und beruht auf der Aussendung, der Reflexion und dem Empfang des vom Objekt reflektierten Laserstrahls im Laserscanner. Zu jedem einzelnen Punkt der erzeugten Punktwolke liegen 3D-Koordinaten in einem lokalen Scannersystem einschließlich eines Intensitätswertes vor. Farbwerte können von einer zusätzlichen Kamera, die im terrestrischen Laserscanner integriert ist, erfasst werden. Neben den geometrischen Informationen der Koordinatentripel bieten Intensitäts- oder

Farbwerte eine weitere Information zur Unterscheidung und Klassifizierung von Objekten.

2. Funktionsweise von terrestrischen Laserscannern

Distanzmesssystem

Die Bestimmung der Distanz zu jedem einzelnen Auftreffpunkt des Laserstrahls im Objektraum erfolgt (mit wenigen Ausnahmen) nach den aus der elektrooptischen Distanzmessung bekannten Verfahren: Puls-Lauffzeit-Verfahren oder Phasenvergleichsverfahren. Die Messgeschwindigkeit und die Reichweite eines terrestrischen Laserscanners sind stark abhängig vom Distanzmessverfahren. Das Puls-Lauffzeit-Verfahren ermöglicht eine gute Bündelung der Intensität und eine gute Signalerkennung, so dass sehr grosse Reichweiten bis zu 1 km erzielt werden. Das Phasenvergleichsverfahren ist dagegen auf Reichweiten unter 100 m beschränkt, es ermöglicht jedoch eine deutlich höhere Messgeschwindigkeit von bis zu 500 kHz gegenüber ca. 10 kHz beim Puls-Lauffzeit-Verfahren.

Die Genauigkeit der reflektorlosen Distanzmessung hängt von vielen Parametern ab. So ist die Dynamik der reflektierten Signalintensität sehr gross. Je höher der Intensitätswert des reflektierten Signals, desto präziser ist die Distanz. Einflussfaktoren auf die Intensität sind dabei die Distanz selbst, der Auftreffwinkel des Laserstrahls auf das Objekt und die Re-

					
HDS 3000 Leica Geosystems	GX Trimble	LMS-Z420i Riegl	IMAGER 5003 Zoller+Fröhlich	LS 420 HE 20 Faro Technologies	CPW 8000 Callidus

Abb. 1: Auswahl von auf dem Markt erhältlichen terrestrischen Laserscannern.

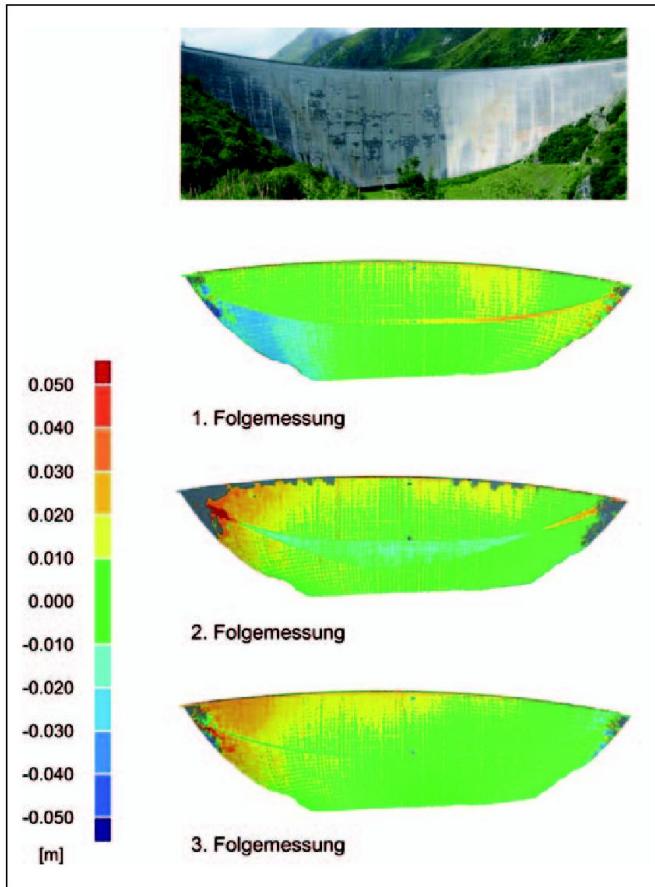


Abb. 2: Deformationsmessungen der Staumauer Nalps mittels terrestrischem Laserscanning. Die Einfärbung der Punktwolke entspricht den Differenzen der gemessenen Punkte zur Referenzgeometrie.

flexionseigenschaft der Oberfläche, die sich durch Farbe, Rauigkeit, Benetzung usw. stark ändern kann.

Ablenksystem/Winkelmesssystem

Die Ablenkung des Laserstrahls erfolgt durch ein Spiegelsystem, das sich in zwei zueinander senkrechten Richtungen bewegen lässt. Entweder führt es Kippbewegungen (oszillierendes System) oder Drehbewegungen (rotierendes System) aus. Ausgehend von dem verwendeten Ablenksystem und dem Sichtbereich der Aufnahme (Field of View) unterscheidet man auch zwischen «Kamera»-Scannern oder «Panorama»-Scannern. Eine Mischform stellt der «Hybrid»-Scanner dar, bei dem die Strahlablenkung auf einem kippenden Spiegel beruht, der aber zusätzlich um eine weitere Achse rotiert. Die Be-

stimmung der Position des Spiegelsystems erfolgt analog zum Theodolit über digitale Winkelabgriffsysteme.

Instrumentenfehler und Kalibrierung

Wie auch bei Tachymetern kann das Achssystem eines Laserscanners nicht fehlerfrei realisiert werden. Mechanische Unzulänglichkeiten müssen – je nach Einfluss auf die Messelemente – bestimmt und die originären Messdaten korrigiert werden. Bei den meisten Laserscannern lassen sich analog zum Tachymeter Ziel- und Kippachsenfehler, Zielachsenzentritäten und Taumelfehler bestimmen. Je nach Konstruktion des Laserscanners müssen individuelle Kalibrierverfahren entwickelt werden. Herkömmliche Verfahren zur Bestimmung von Instrumentenfehlern sind jedoch nur begrenzt auf terrestrische La-

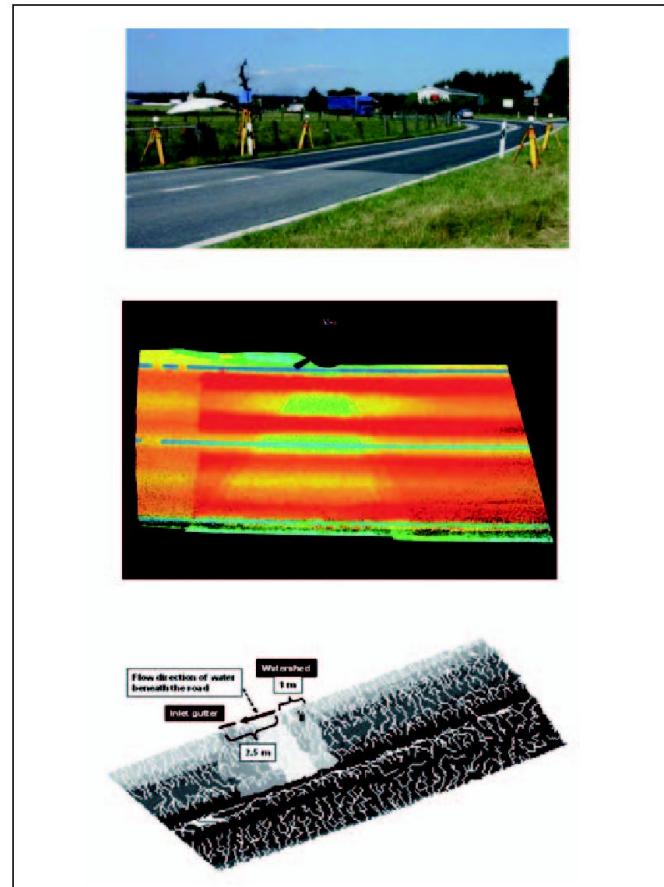


Abb. 3: Situation (oben), 3D-Punktwolke des Strassenabschnittes nahe Burgdorf (Mitte) sowie abgeleitete Fliessrichtungen des Niederschlages (unten). Weiterhin sind eine Wasserscheide und drei Einzugsgebiete für ein Auffangbecken des Niederschlages dargestellt.

serscanner übertragbar. Um dennoch die vielfältigen, für unterschiedlichste Applikationen geeignete Laserscanning-Systme vergleichbar zu machen, wurde in [1] ein Parcours zur Beurteilung der Datenqualität von Punktwolken entwickelt. Verfahren zur Bestimmung von Instrumentenfehlern wurden in [2], [3] und [4] vorgestellt.

Es sei jedoch betont, dass eine Kalibrierung und Überprüfung der Instrumente zwingend notwendig ist. Dies muss entweder vom Hersteller oder von unabhängigen Instituten durchgeführt werden. Eine anschliessende Systemidentifikation bezüglich der erzielbaren Genauigkeiten ist empfehlenswert. Auch wenn ein terrestrischer Laserscanner eine «Black Box» darstellt, sollte sie nicht als solche behandelt werden.

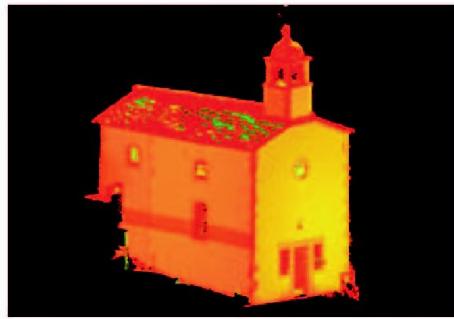
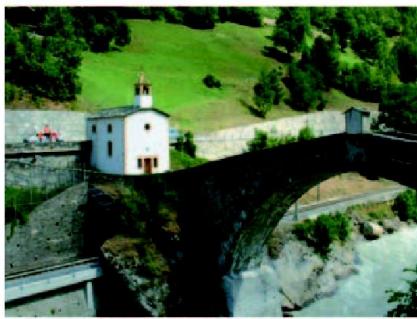


Abb. 4: Situation (links), 3D-Punktwolke (Mitte) sowie abgeleitetes 3D-Modell der Kapelle von Neubrück (rechts). Zusätzlich sind auf das 3D-Modell Bilder projiziert, um ein der Realität entsprechendes Modell zu erzeugen.

Objekteigenschaften

Die Oberflächenbeschaffenheit und verschiedene Materialien können zu systematischen Effekten führen, insbesondere stark reflektierende Materialien (z.B. Metall, Reflektoren, andere spiegelnde Oberflächen) führen dazu, dass das Distanzmesssystem übersteuert und keine plausiblen Distanzen ermittelt werden können. Als Parameter für die Objekteigenschaften gelten aber nicht nur Oberflächenbeschaffenheit und Farbe, sondern auch die Feuchtigkeit. So können aufgrund der Intensität auch trockene und feuchte Flächen unterschieden werden. Andere Materialien wie Styropor oder Marmor lassen den Laserstrahl bis zu einigen Millimetern eindringen und führen ebenfalls zu systematischen Effekten.

Auswahlkriterien für Laserscanning-Systeme

Die Auswahl des terrestrischen Laserscanners erfolgt nach den Leistungseigenschaften wie Reichweite, Sichtbereich, Winkelauflösung, Erfassungsgeschwindigkeit, Genauigkeiten (Distanz-, Einzelpunkt- oder Objektgenauigkeiten) etc. Leider gibt es noch keine einheitlichen Parameter seitens der Hersteller, so dass ein Vergleich zwischen den einzelnen Geräten mit den Angaben der Hersteller schwer möglich ist. Vergleichende Untersuchungen der Laserscanner sowie diverse Genauigkeitsuntersuchungen wurden von unabhängigen Instituten durchgeführt (vgl. [2], [3] und [4]). Ebenso unterscheiden sich Laserscanner von den klassischen Vermessungsinstrumenten darin, dass deren Verhalten bei

verschiedenen äusseren Bedingungen (extreme Temperaturen wie unter 0 °C und höher als 40 °C) sowie Feuchtigkeit (Feuchtigkeit am Objekt und Feuchtigkeit am/im Laserscanner) noch nicht ausreichend erprobt und bekannt sind. Terrestrisches Laserscanning setzt sich jedoch nicht nur aus der Hardware – dem terrestrischen Laserscanner – zusammen, sondern bedeutet auch die Aufbereitung und Modellierung der Punktwolke mit entsprechender Software. Nicht jeder Laserscanner ist für alle Aufgaben gleich gut geeignet. Daher sollte der für den jeweiligen Aufgabenbereich bestmöglich geeignete Laserscanner ausgewählt werden. Gleches gilt für die Software. Allerdings soll an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen werden, dass es keine guten oder schlechten terrestrischen Laserscanner gibt, sondern lediglich für die jeweilige Aufgabe besser und schlechter geeignete Laserscanner.

3. Arbeitsablauf: von der Aufnahme zum Modell

Der Arbeitsablauf für Laserscanning-Projekte kann in drei Hauptphasen eingeteilt werden: Vorbereitungen, Feldarbeiten und Auswertungen. Das zeitliche Verhältnis von der Auswertung zur Feldarbeit kann dabei 10:1 erreichen oder sogar noch grösser ausfallen. Ein Ziel der aktuellen Forschung ist daher, dieses Verhältnis durch Verbesserung und Teilautomatisierung der Auswerteprozesse zu verkleinern. Mit neuen Ansätzen zur Analyse der Punktwolke ohne aufwändige manuelle Modellierungen soll dabei die Auswertung beschleunigt werden.

Vorbereitungen

Da momentan keine universal einsetzbaren Laserscanner auf dem Markt erhältlich sind, muss vor der Durchführung jedes Laserscanning-Projektes abgeklärt werden, ob mit dem zur Verfügung stehenden Laserscanner das zu vermessende Objekt aufgenommen werden kann. Dabei spielen die Ausdehnung des Objektes sowie die Distanzen zwischen Objekt und Laserscanner eine entscheidende Rolle. Ebenso ist es wichtig, vorgängig die Scannerstandpunkte zu bestimmen. Mit der Optimierung der Anzahl Scannerstandpunkte kann die Datenmenge reduziert und Nachmessungen vermieden werden. Ein weiterer wichtiger Punkt für das Gelingen eines Laserscanning-Projektes ist die Bestimmung der Scan-Auflösung, die entscheidend vom gewünschten Detaillierungsgrad abhängt sowie die Datenmenge beeinflusst.

Die von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Punktwolken werden durch eine so genannte «Registrierung» in ein gemeinsames lokales Scannerkoordinatensystem transformiert. Mittels «Georeferenzierung» wird das aufgenommene Objekt in ein übergeordnetes Referenzsystem transformiert. Dazu werden Passpunkte benötigt, die auf bereits bestehenden Fixpunkten aufgestellt oder mittels Tachymetrie oder GPS neu eingemessen werden. Bei grossen Objekten, die mit mehreren Scannerstandpunkten erfasst werden müssen, ist die Bestimmung eines Passpunktnetzes durch Tachymetrie oder GPS fast unerlässlich. Eine gute Planung ist daher sehr entscheidend für einen effizienten Feldeinsatz.

Feldarbeiten

Die Feldarbeiten bestehen aus zwei Haupttätigkeiten. Dies ist einerseits die Aufnahme des Objektes mit dem Laser-scanner selbst und andererseits, falls erforderlich, die Etablierung eines Referenzsystems mittels Tachymeter oder GPS. Durch die relativ lange Scandauer (zehn Minuten bis einige Stunden) auf einem Standpunkt können die Passpunkte während des Scannens des Objektes aufgestellt und eingemessen werden. Zur Markierung von Passpunkten werden häufig Kugeln oder herstellerspezifische Zielmarken verwendet. Bei Zwangszentrierungen von Tachymeter-Prismen und Zielmarken für den Laserscanner muss ein Höhenoffset beachtet werden. Zur Kontrolle der Scans wird im Feld die Punktwolke mittels geeigneter Software betrachtet und auf deren Vollständigkeit hin geprüft. Die Prozessierung der Punktwolke wird im Büro durchgeführt.

Auswertungen

Jede Punktwolke enthält Fehlmessungen, welche mittels automatischer Filterung oder manuell eliminiert werden müssen. Fehlmessungen entstehen zum Beispiel durch Reflexionen an vorbeifahrenden Fahrzeugen oder an Fußgängern, die den Scanbereich durchqueren. Ebenso wird das Messrauschen durch Glättungsalgorithmen minimiert und nicht benötigte Objekte in der Punktwolke gelöscht. Als nächster Schritt in der Prozessierung der Punktwolke folgt die «Registrierung» bzw. «Georeferenzierung». Mittels Passpunkten werden die einzelnen Scans in ein gemeinsames Koordinatensystem transformiert. Für die Weiterbearbeitung der Gesamtpunktwolke können verschiedene Arten von Auswertungen durchgeführt werden:

- Modellierung der Punktwolke aus Raumprimitiven: Die Punktwolke wird durch Elemente wie Kugeln, Zylinder, Ebenen, Kegeln, Röhren etc. ersetzt.
- Rückführung der Punktwolke in ein Flächenmodell mittels Dreiecksvermaschung: Berechnung von 3D-Modellen bestehend aus Freiformflächen (z.B. NURBS-Flächen).

- Import der reduzierten Punktwolke in eine CAD-Software: Eine anschliessende Vektorisierung der Punktwolke in der bekannten CAD-Umgebung (z.B. Microstation, AutoCAD) reduziert die Datenmenge erheblich und ermöglicht eine Weiterverarbeitung der Daten (Generierung von Schnittlinien, Geländemodellen, Volumenberechnungen etc.).
- Vergleich von Punktwolken mit der Soll-Geometrie des Referenzobjektes: Die Differenzen der einzelnen Punkte zum Referenzmodell werden berechnet.

Je nach Art der Auswertung und dem Grad der Automatisierung der Auswerte-funktionen der Software wird für die Prozessierung von Punktwolken mehr Zeit benötigt.

4. Beispiele

Im Folgenden werden drei aktuelle Anwendungen von terrestrischem Laser-scanning beschrieben, die an der Profes-sur für Geodätische Messtechnik und Ingenieurgeodäsie der ETH Zürich (geom-ETH) durchgeführt wurden. Die Beispiele sind aus den Bereichen der Ingenieurvermessung, der Siedlungswasserwirtschaft und des Kulturgüterschutzes. Neben der unterschiedlichen Auswertung der Punktwolken und den damit verbundenen Re-sultaten wurden auch verschiedene Typen von Laserscanner eingesetzt. So wurde der HDS 3000 von Leica Geosystems für die Deformationsmessungen und der IMAGER 5003 von Zoller+Fröhlich für die Aufnahmen in den Bereichen der Sied-lungswasserwirtschaft und des Kulturgüterschutzes verwendet.

Staumauer Nalps

Im Zusammenhang mit den Bauarbeiten am Gotthard Basistunnel werden die Staumauern im Gebiet bei Sedrun beson-ders aufmerksam beobachtet. Die Staumauer Nalps befindet sich oberhalb des neuen Gotthard Basistunnels. Set-zungen und Deformationen des Gebirges als Folge der Ausbrucharbeiten im Tun-nel, die Auswirkungen auf die Staumau-



Abb. 5: «Sensor Fusion» von Tachy-metrie und terrestrischem Laserscan-ning. Tachymeter Leica TCA1800 und SICK LMS200 Laserscanner.

er in Form von Rissen und Brüchen haben könnten, sind nicht auszuschliessen. Da-her sind Überwachungsmessungen der Staumauer unerlässlich.

Mittels terrestrischem Laserscanning wer-den im Gegensatz zu herkömmlichen Messmethoden nicht diskrete, sondern flächenhafte Messungen durchgeführt. Dies hat den grossen Vorteil, dass man Objekte überwachen kann, ohne im Vo-raus diskrete Messpunkte bestimmen zu müssen. Deformationen an Staumauern können so flächendeckend abgeleitet werden.

Erste Testmessungen für den Einsatz von terrestrischem Laserscanning bei Defor-mationsmessungen sind an der Staumauer Nalps durchgeführt worden. Der Laserscanner wird für die Messungen ca. 100 m vor der Staumauer in der Talsohle aufgestellt. Eine berührungslose Aufnah-me der Staumaueroberfläche erfolgte in ca. 30 Minuten (Punktauflösung am Ob-jekt: 20 cm).

Nach einer Filterung der Punktwolke zur Reduktion von Fehlmessungen wird die-se mittels einer Dreiecksvermaschung

modelliert. Aus der Punktwolke entsteht so ein geometrisches Modell, welches auf Flächen zurückgeführt wird. Für die Auswertungen der Deformationsmessungen wird die Geometrie der ersten Aufnahme der Staumauer als Referenz betrachtet. Folgemessungen werden direkt mit der Referenzgeometrie verglichen.

Diese ersten Untersuchungen an der Staumauer Nalps deuten darauf hin, dass bei Deformationsmessungen von Staumauern momentan herkömmliche Messmethoden dem terrestrischen Laserscanning vorzuziehen sind. Die mittels Laserscanning erreichten Einzelpunktgenauigkeiten liegen im Zentimeter-Bereich. Die Ursachen für diese Genauigkeiten sind unter anderem in der grossen Messdistanz, den unterschiedlichen Auftreffwinkeln, der partiellen Feuchtigkeit der Staumauer und in der Ungenauigkeit des Referenzsystems zu suchen.

Strasse Burgdorf

Die Bestimmung des Abflusses von Oberflächenwasser stark befahrener Strassen und die Infiltrierung des Strassenbanketts mit Schwermetallen (wie z.B. Blei, Zink, Cadmium, Kupfer) und anderer organischer Substanzen sind von grossem Interesse hinsichtlich ökologischer Aspekte. Ein Pilotprojekt wurde an einer Strasse bei Burgdorf (Kanton Bern) mit einer Auslastung von mehr als 17 000 Fahrzeugen pro Tag durchgeführt. Die Ziele dieses Projektes waren dabei einerseits die Bestimmung der Abflussmenge des Oberflächenwassers und andererseits die Ableitung des Verhältnisses zwischen direkter Infiltrierung in den Boden und der Dispersion mittels Spritzwasser. Mit diesen Informationen ist es dann möglich, eine Massenbilanz abzuleiten und die Anreicherung der Schadstoffe im natürlichen Strassenbankett sowie die Abbau-Leistung durch den Strassengraben zu bestimmen.

Aufgrund der hohen Verkehrsauslastung musste die Bestimmung des Einzugsgebietes mit einer Vermessungsmethode erfolgen, die eine schnelle Datenerfassung ermöglicht bei gleichzeitig ausreichender Genauigkeit der Objektdaten. Mittels

der klassischen Vermessungsmethoden (Tachymetrie, GPS) würde die Aufnahme der geometrischen Daten sehr viel Zeit beanspruchen und die Strasse hätte für den Zeitraum der Datenerfassung gesperrt werden müssen. Auch die Photogrammetrie bot sich nicht an, da die Strassenoberfläche eine flächige und ebene Ausbreitung vorweist und die Extrahierung von Objektpunkten kaum realisierbar ist. Daher kam das terrestrische Laserscanning zur Anwendung.

Insgesamt umfasste der Arbeitsablauf von der Vermessung bis zum Ableiten der Einzugsgebiete folgende Einzelschritte:

- Vermessung der Strasse mittels Laserscanning
- Aufbereitung der Laserscanning-Daten (Verknüpfung und Georeferenzierung)
- Filterung der Laserscanning-Daten (Reduzierung des Messrauschens)
- Ableitung der Einzugsgebiete (3D-Modell) sowie
- Berechnung der Massenbilanz des Oberflächenwassers.

Kapelle Neubrück

Eine typische Anwendung des terrestrischen Laserscannings stellt die Modellierung von Gebäuden, Fassaden und Objekten der Denkmalpflege und des Kulturgüterschutzes dar. Exemplarisch für eine solche Anwendung wird eine Kapelle vorgestellt (Kapelle Neubrück, Kanton Wallis), die mittels Laserscanning erfasst und anschliessend modelliert wurde. Darüber hinaus wurden Texturen von photographischen Aufnahmen auf das 3D-Modell projiziert, um ein der Realität entsprechendes Modell zu erzeugen.

Bei diesem Projekt kam es weniger auf die Genauigkeit an als vielmehr auf die Erstellung eines realitätsnahen 3D-Modells. Dennoch wurden Genauigkeiten von einigen Zentimetern erreicht.

5. Ausblick

In den letzten Jahren hat sich die Laser-scanning-Technologie stark entwickelt und ist momentan daran, sich vollständig in die Welt der Vermessung zu integrieren. Neben Faktoren wie der Geostatio-

nierung direkt im Feld (Zentrierung, freie Stationierung, Messung von Anschlussrichtungen) werden einerseits Entwicklungen im Bereich der Genauigkeitssteigerung, weiterer zusätzlicher Funktionalitäten (momentan nur für Objektaufnahmen), Steigerung der Messdistanz und Senkung der Investitionskosten erfolgen und andererseits wird versucht, die momentan häufig sehr aufwändige Prozessierung der Punktwolke zu verbessern. So werden in näherer Zukunft sicherlich auch Entwicklungen in Richtung «Sensor Fusion» von Tachymetrie und terrestrischem Laserscanning stattfinden. Ein mögliches Resultat wird der scannende Tachymeter sein. Dies entspricht einem Tachymeter mit einer aufsetzbaren Scan-Einheit. Erste Versuche werden dazu an der ETH Zürich durchgeführt.

Literatur:

- [1] Böhler, W., Marbs, A. (2004): Vergleichende Untersuchung zur Genauigkeit und Auflösung verschiedener Scanner. In: Luhmann, Th. (Hrsg.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag Heidelberg, S. 82–89.
 - [2] Schulz, T., Ingensand, H. (2004): Terrestrial Laser Scanning – Investigations and Applications for High Precision Scanning. In: Proceedings of the «FIG Working Week – The Olympic Spirit in Surveying», Athens.
 - [3] Schulz, T., Ingensand, H. (2004): Influencing Variables, Precision and Accuracy of Terrestrial Laser Scanners. In: Proceedings of INGEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava.
 - [4] Riedorf, A. (2005): Automatisierte Auswertung und Kalibrierung von scannenden Messsystemen mit tachymetrischem Messprinzip. München, DGK Reihe C, Nr. 582, Dissertation.
- Thorsten Schulz
Hans Martin Zogg
ETH Zürich
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
CH-8093 Zürich
thorsten.schulz@geod.baug.ethz.ch
hans-martin.zogg@geod.baug.ethz.ch