

Einrichtung eines Prüffeldes zur Genauigkeitsbestimmung von Laserscannern und Untersuchung des Scanners LMS-Z360i der Firma Riegler in diesem Testfeld

Wolffried Wehmann, Christopher van Zyl, Holger Kramer, Daniel Widiger und Ronny Zimmermann

Zusammenfassung

Zur Prüfung der Systemgenauigkeit terrestrischer Laserscanner wurde an der HTW Dresden ein spezielles Prüffeld mit 72 koordinatenmäßig bestimmten Festpunkten bzw. Prüfmarken in einer Laborhalle eingerichtet, das Prüfungen bis zu einer Entfernung von 60 m gestattet. In diesem Feld wurden Untersuchungen zur Genauigkeit der Messergebnisse des Laserscanners Riegler LMS-Z360i vorgenommen, die 3D-Punktgenauigkeiten von gut scanbaren Prüfmarken von 12 mm oder besser ergaben. Abschließend werden die für 2007 geplanten Erweiterungen des Testfeldes sowie das Konzept der Laser-scannerprüfungen erläutert.

Summary

A special test field with 72 coordinated fixed points and/or test marks for the investigation of the system accuracy of terrestrial laser scanners has been set up in a laboratory building at the HTW Dresden. It allows investigations up to a distance of 60 m. In this test field investigations were made of the accuracy of the measuring data of the Riegler LMS-Z360i laser scanner. The results indicated that the 3D point accuracy of suitable test marks was 12 mm or better. In conclusion

planned extensions of the test field in 2007, as well as the concept of laser scanner investigations are described.

1 Zur Problematik der Genauigkeitsbestimmung und Prüfung von terrestrischen Laserscannern

Terrestrische Laserscanner sind komplexe Messgeräte, die sich seit ca. zehn Jahren auf dem Markt befinden. Da Instrumente unterschiedlicher Bauarten produziert werden, ist es nicht verwunderlich, dass für sie – im Gegensatz zu anderen geodätischen Messinstrumenten – bisher keine einheitliche Syntax zur Beschreibung der erreichbaren Messgenauigkeiten existiert. Die Gerätehersteller liefern zu ihren Instrumenten zwar begleitend Angaben zur Streckenmessgenauigkeit, zum Auflösungsvermögen der Winkelencoder, zur Laserstrahldivergenz, zur Gerätereichweite, zur erreichbaren Scangeschwindigkeit und -auflösung, die den Anwender aber eher verwirren, als dass sie ihm nutzen. Zudem unterscheidet sich die Art der begleitenden Geräteangaben geringfügig von Hersteller zu Hersteller. Hingegen liegen für die Größen,

die die Anwender tatsächlich interessieren, keinerlei Angaben vor. Das sind vor allem die Koordinatengenauigkeiten von Punkten, die mittels Laserscanning bestimmt werden, sowie die Beeinflussung dieser Genauigkeitsparameter durch unterschiedliche innere und äußere Faktoren. Außerdem interessiert den Nutzer die Gerätereichweite, in der er für seine Aufgaben den Laserscanner hinreichend genau einsetzen kann.

Deshalb ist es an der Zeit, in speziellen Prüffeldern die erreichbaren Koordinatengenauigkeiten aus den Resultaten der Laserscans unter unterschiedlichen Bedingungen zu ermitteln und mögliche Abhängigkeiten von der Punktentfernung, von der Punkthöhe, von der Art der Ziele sowie von weiteren Größen abzuleiten. Damit lassen sich zuverlässige, geräteunabhängige und vergleichbare Genauigkeitsparameter ermitteln, die für die Gerätenutzer leicht verständlich sind. Des Weiteren kann man auf dieser Basis die sich im Einsatz befindlichen Instrumente regelmäßig mit einem relativ geringen Aufwand prüfen, wobei diese Prüfungen im Sinne einer Systemkalibrierung erfolgen und die Ursachen von Abweichungen zu Sollwerten nicht einzelnen Hardware- oder Softwarekomponenten des Messsystems zugeschrieben werden können. Das ist vor allem deshalb sinnvoll, da Laserscanner im Wesentlichen als Black-Box-Geräte fungieren und die Nutzer über keine oder nur unzureichende Informationen zu den geräteinternen Korrekturen verfügen. Eine Konzeption sowie Ergebnisse der Hardwareuntersuchungen am konkreten Beispiel des Riegls LMS-Z360i sind Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen.

Ergänzend soll angemerkt werden, dass die Güte der Endprodukte aus Laserscanneraufnahmen zudem von der zur Datenverarbeitung benutzten Software abhängig ist. Die Beurteilung der Qualität der Software zur Weiterbearbeitung der gescannten Punkte ist jedoch nicht Gegenstand dieses Aufsatzes.

2 Beschreibung des Prüffeldes der HTW Dresden

Voraussetzung für Genauigkeitsuntersuchungen bzw. Prüfungen von terrestrischen Laserscannern ist das Vor-

handensein eines sehr genauen Testfeldes mit mindestens 40 bis 50 koordinatenmäßig bekannten Festpunkten, die von den Geräten gescannt werden können. Dabei sollte die Größe des Testfeldes möglichst im Entfernungsbereich der Laserscanner liegen, was eine Ausdehnung von mehr als 50 m bedingt. Außerdem sollten bei allen Untersuchungen bzw. Prüfungen vergleichbare Messbedingungen herrschen. Deshalb sollte das Testfeld sich in einem geschlossenen Gebäude befinden, um eventuelle Einflüsse von unterschiedlichen Beleuchtungs- und Witterungsverhältnissen von vornherein auszuschließen.

Diese Anforderungen konnten für das im Jahre 2006 geschaffene Testfeld des Fachbereichs Vermessungswesen/Kartographie der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) eingehalten werden. Die Anlage des Netzes erfolgte im Inneren des Laborgebäudes Schnorrstraße der HTW Dresden. Dieses Gebäude ist eine ca. 70 m lange, 25 m breite und fast 12 m hohe Industriehalle, in der sich mehrere Labore der Fachbereiche Maschinenbau, Elektrotechnik und Bauingenieurwesen mit zahlreichen Einbauten befinden. Diese Nutzung bringt aber vor allem im bodennahen Bereich nicht unerhebliche Sichtbehinderungen mit sich, die den in Abb. 1 schraffierten Bereich betreffen. Deshalb wurde das Testfeld als hierarchisches Netz in drei Stufen angelegt. Zuerst wurde als Basisnetz ein lokales Richtungs-Strecken-Netz, bestehend aus sechs sehr genau und stabil vermarkten Bodenpunkten mit einer 3D-Koordinatengenauigkeit von besser als 1,5 mm bestimmt. Dabei betrug die Lagegenauigkeit für den ungenauesten Punkt 0,7 mm, die Höhengenaugigkeit 1,4 mm. Fünf dieser Basispunkte befinden sich im Stahlbetonfußboden der Halle, während ein weiterer Punkt (Punkt 1 in Abb. 1) mittels einer Körnerschlagvermarkung in einer Stahlkonstruktion am Ende einer Treppe, in 6 m Höhe über dem Hallenboden festgelegt wurde.

Aufbauend auf diesem Basisnetz wurde als zweite Ordnung ein Passpunktnetz, bestehend aus elf Passpunkten, für das Laserscanning angelegt, das durch Prüfmarken des Typs Riegls Flat signalisiert wurde. Sie bestehen aus Reflexfolien von 5 cm Durchmesser der Firma Riegls, einige davon mit schräger Vermarkung (siehe Abb. 2), die

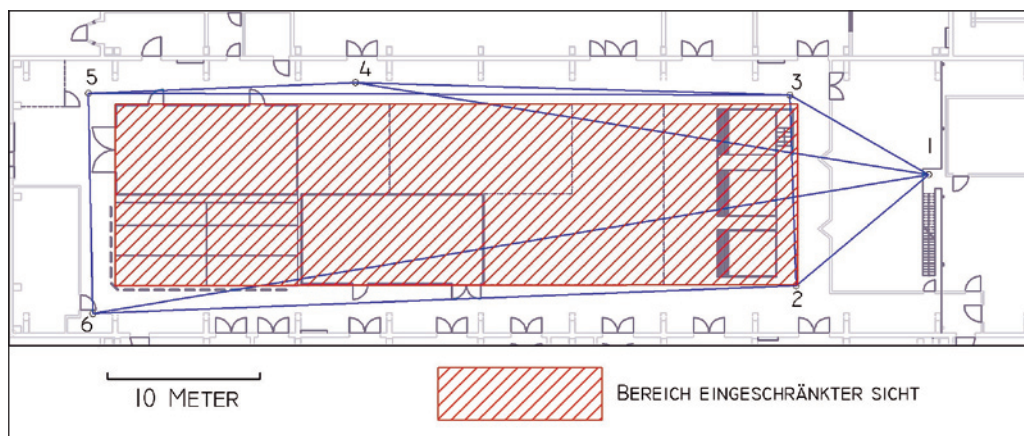


Abb. 1: Netzskizze der Basispunkte des Prüffeldes der HTW Dresden

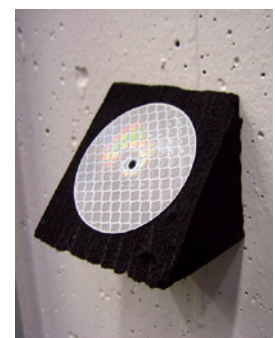


Abb. 2: Prüfmarke Riegls Flat als angeschrägte Passmarke (Tiepoint)

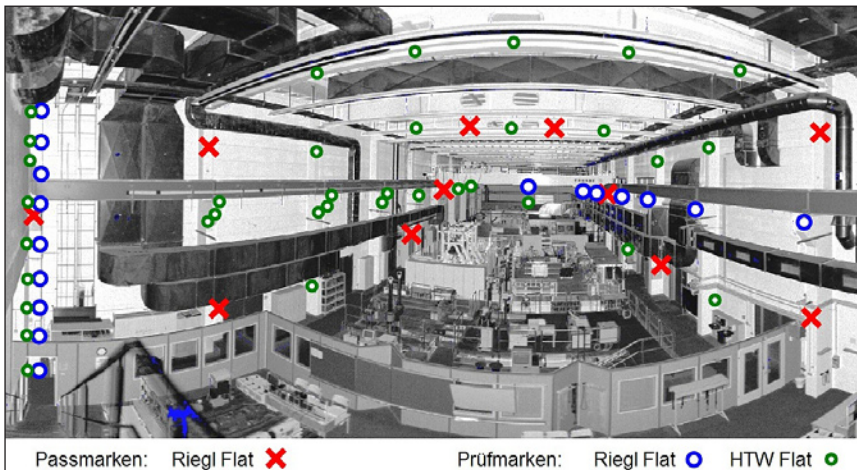


Abb. 3: Übersicht über das Prüffeld der HTW Dresden, aufgenommen von Basispunkt 1

in unterschiedlichen Höhen von 1 bis 9 m über dem Hallenboden angebracht wurden. Dieses Netz wurde zweimal im Abstand von vier Wochen als Richtungs-Strecken-Netz mit einem zuvor speziell geprüften Tachymeter Leica TCRM 1102 (Richtungsmessungen in drei Sätzen) bestimmt, wobei die sechs Basispunkte als Anschlusspunkte dienten. Die aus der Auswertung mit NEPTAN/GPS erhaltene mittlere dreidimensionale Standardabweichung der Neupunkte beträgt 1,5 mm, wobei kein Passpunkt ungenauer als 1,8 mm bestimmt wurde. Mittels der beiden zeitlich versetzten Messreihen, deren Bestimmung bei unterschiedlichen äußeren Witterungsbedingungen erfolgte, wurden zugleich die Außenwände der Halle auf eine Veränderung mittels Deformationsanalyse mit DEFAN überprüft. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass alle aufgetretenen Punktänderungen (maximal 1,1 mm in einer Koordinate) nicht signifikant waren und sich der Hallenkörper auch bei Temperaturänderungen von mehr als 15 °C nicht verändert hat.

Als Netz 3. Ordnung wurden weitere 56 Prüfmärken der Typen HTW Flat (Reflexfolien von 3 cm Durchmesser aus eigener Entwicklung, die jedoch ein etwas geringeres Reflexvermögen als die Marken von Rieggl besitzen) sowie Rieggl Flat an den Hallenwänden in unterschiedlichen Höhen angebracht. Diese 56 Prüfmärken wurden von den sechs Festpunkten sowie weiteren freien Standpunkten polar bestimmt (jeweils mindestens von drei Anschlusspunkten) und die Messergebnisse mittels NEPTAN/GPS ausgeglichen. Die Standardabweichungen der dreidimensionalen Lage dieser Prüfpunkte liegen im Mittel bei 1,5 mm, der ungenaueste Punkt hat eine 3D-Genauigkeit von 2,2 mm, bezogen auf das Basisnetz. Damit gilt für alle Punkte des Prüffeldes, dass sie mindestens um Faktor 5 genauer sind als die vom Hersteller angegebene Messgenauigkeit des Rieggl-Scanners und somit ihre Koordinaten in den weiteren Untersuchungen als Sollwerte verwendet werden können.

Einen Gesamtüberblick über das Prüffeld vermittelt die Panoramaansicht in Abb. 3, die vom Basispunkt 1 aus aufgenommen wurde.



Abb. 4: Anordnung der Reflexmarken zur Kamera-kalibrierung

Zusätzlich wurde in der gleichen Halle ein Kamera-kalibrierfeld angelegt (siehe Abb. 4), das aus drei Reflektorreihen zu je sechs vertikal angeordneten Reflexmarken besteht, die sich vom fest vermarkten Instrumentenstandpunkt in ca. 4 m, 8 m bzw. 12 m Abstand befinden. Der vertikale Abstand zwischen benachbarten Reflexmarken beträgt stets 60 cm. Damit kann die auf dem untersuchten Scanner befestigte Digitalkamera einschließlich des sogenannten Mounting kalibriert werden, worauf in diesem Aufsatz jedoch nicht weiter eingegangen wird.

3 Untersuchungen der Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Laserscanners LMS-Z360i der Firma Rieggl in diesem Prüffeld

3.1 Der Laserscanner Rieggl LMS-Z360i

Der terrestrische Laserscanner LMS-Z360i ist ein Produkt der österreichischen Firma »Rieggl Laser Measurement Systems«. Er stellt in deren Angebot neben dem LMS-Z420i und dem LMS-Z210i die Mittelklasse hinsichtlich Preis und Leistungsfähigkeit dar. Der LMS-Z360i wird zusammen mit der Software RiSCAN PRO geliefert. Das untersuchte Instrument ist zusätzlich mit der digitalen Kamera Nikon D70S als Mounting-Kamera ausgestattet.

Mit einem Gewinde im festen Sockel (siehe Abb. 5) ist die Befestigung des Scanners auf einem handelsüblichen Stativ möglich. Mit 15 kg verfügt er jedoch über ein beträchtliches Gewicht, was einen sicheren Stand erfordert. Mit einer Dosenlibelle auf dem Oberteil kann der LMS-Z360i über die Stativbeine grob horizontalisiert werden. Eine Feinhorizontierung durch einen Dreifuß mit Röhrenlibelle oder die Zentrierung über einem



Abb. 5: Der Laserscanner Rieggl LMS-Z360i (Rieggl)

Punkt sind jedoch nicht möglich. Deshalb ist bei allen Messungen zuerst eine Instrumentenstandpunktbestimmung mittels freier Stationierung zu mindestens drei Passpunkten erforderlich. Andererseits wirken dadurch eine Reihe von Instrumentenfehlern wie die Achsfehler oder der Taumelfehler des Instrumentes komplex, sind nicht separat bestimmbar und werden in der Auswertung minimiert.

Der LMS-Z360i ist ein Hybridscanner mit einem Messbereich von 360° in der Horizontalen. Für die Vertikalprofile ist der zu scannende Aufnahmesektor jedoch aufgrund der Konstruktion der Ablenkeinheit auf 90° beschränkt. Um auch steilere Sichten in Vertikalrichtung zu ermöglichen, ist der gesamte Scannerkörper im Sockel schwenkbar gelagert. Es sind Neigungen um 90° in und entgegen der Nullrichtung möglich. Diese Veränderung der Drehachslage wird auch Tiltmount genannt. Durch eine spezielle Aufsatzvorrichtung kann eine Kamera (siehe Abb. 5) fest mit dem Oberteil verbunden werden, woraufhin eine horizontale Drehung der Kamera simultan zum Scanner realisiert wird.

Der Scanner lässt sich durch die zugehörige Software RiSCAN PRO steuern, wobei die Daten per TCP/IP zwischen Scanner und einem externen Rechner (Notebook) ausgetauscht werden. Der Riegler LMS-Z360i verwendet zur Streckenmessung, die nach dem Pulslaufzeitverfahren erfolgt, einen Halbleiter-Diodenlaser der Laserklasse 1 mit einer Wellenlänge im nahen Infrarotbereich. Die vom Hersteller angegebene Reichweite liegt bei 60 m bis 200 m in Abhängigkeit von der Reflektivität der Ziele. Die Messrate für die Streckenmessung beträgt 24 kHz, so dass theoretisch bis zu 24.000 Punkte pro Sekunde gemessen werden können. Weitere Details sind in Riegler 2006 nachlesbar.

3.2 Untersuchungen zur Koordinatengenauigkeit des LMS-Z360i

Vom Punkt 1 des Prüffeldes (siehe Abb. 1 und 2), über dem der Laserscanner genähert aufgebaut wurde, wurden die Passpunkte und Prüfmarken des Testfeldes in mehreren Scans an unterschiedlichen Tagen und in verschiedenen Drehachslagen des Instrumentes aufgenommen und daraus die Koordinaten der Prüfmarken nach vorheriger Standpunktbestimmung über freie Stationierung zu 5 bis 11 Passpunkten bestimmt. Aus den Abweichungen der Prüfmarken zu den »Sollkoordinaten« des Prüffeldes konnten nachfolgende Genauigkeitsangaben für den LMS-Z360i ermittelt werden.

Für eine Punktbestimmung über das gesamte Prüffeld in einem Entfernungsbereich von 7 m bis 60 m wurde eine dreidimensionale Lagestandardabweichung der Prüfpunkte von 12 mm erhalten. Dabei wurden die Standardabweichungen der Höhen mit 4,5 mm deutlich besser erhalten als die der Lagekoordinaten x und y, die bei 8–9 mm lagen. Signifikante systematische Abweichungen

in den Koordinaten der mittels Laserscanning bestimmten Prüfpunkte von den »Sollkoordinaten« konnten nicht festgestellt werden.

Untersuchungen zur Entfernungsabhängigkeit der mittels Scanning ermittelten Punktkoordinaten ließen keine direkte Systematik erkennen. Für Prüfmarken im Bereich von 15 bis 45 m wurden die geringsten Abweichungen von den Sollwerten mit weniger als 5 mm registriert. Punkte in sehr kurzen Entfernungen sowie im Entfernungsbereich über 50 m wiesen etwas größere Abweichungen in einzelnen Koordinaten (maximal 13 mm) auf, wobei die Abweichungen der Höhen stets am geringsten waren.

Die Abhängigkeit der Koordinatengenauigkeiten vom Höhenwinkel der Prüfpunkte ist nur gering ausgeprägt und betrifft auch nur die Punkthöhen, die am genauesten bestimmt werden, wenn sie sich im gleichen Höhenbereich wie das Instrument befinden.

Einen Einfluss der Kippung des untersuchten Laserscanners auf die Korrektheit der Koordinaten sowie die Genauigkeit der Prüfpunkte konnte nicht festgestellt werden. Lediglich extreme Kippungen der Nulllage des Instrumentes von mehr als 50 gon bewirkten geringfügig ungenauere Punktbestimmungsergebnisse in einer Größenordnung von 2 bis 4 mm.

Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmungsgenauigkeit der beiden im Prüffeld verwendeten Passpunktmarken Riegler Flat und HTW Flat (vergleiche Abschnitt 2) erbrachten für die größere Marke Riegler Flat um Faktor 1,5–2 bessere Genauigkeiten, die vor allem auf das bessere Reflexionsvermögen der Marke Riegler Flat zurückzuführen sind, was zu einer besseren Streckenmessgenauigkeit führt.

Zusammenfassend kann nach Umrechnung der Koordinatendifferenzen bzw. -genauigkeiten auf Streckendifferenzen festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Bestimmungen von Prüfmarken vom Typ HTW Flat die Genauigkeitsangaben des Herstellers (Riegler) bestätigen, während bei Bestimmungen von Marken des Typs Riegler Flat genauere Ergebnisse erhalten werden. Deshalb sollten für Anwendungen des Laserscannings mit dem Riegler LMS-Z360i unbedingt die vom Hersteller empfohlenen Marken Riegler Flat zur Signalisierung der Passpunkte verwendet werden.

3.3 Untersuchungen weiterer wichtiger Zuverlässigkeitsparameter des LMS-Z360i

Für die Objekterfassung mit Laserscannern interessieren den Anwender neben der verfügbaren Punktgenauigkeit auch weitere Objektdetails. Dazu zählen insbesondere Kanten, Ecken und Oberflächen von Messungsobjekten, deren korrekte Erfassung sowohl die Genauigkeit und Richtigkeit der Verarbeitung geometrischer Elemente im weiteren Auswertungsprozess als auch die Zeitdauer der CAD-Bearbeitung wesentlich beeinflussen.

3.3.1 Untersuchungen von Kanteneffekten

Trifft der Laserstrahl eines Scanners auf eine Kante, so wird zunächst derjenige Teil des Strahls reflektiert, der das Objekt unmittelbar trifft. Der übrige Teil passiert das Objekt und trifft im Regelfall auf dahinter gelegene Objekte in unterschiedlichen Entfernungen. Dabei können zusätzliche Signalreflexionen auftreten, die bei den Scannern zu Mischsignalen in der Darstellung von Objekten mit Kanten führen, meist in Form eines »Kometenschweifes«.

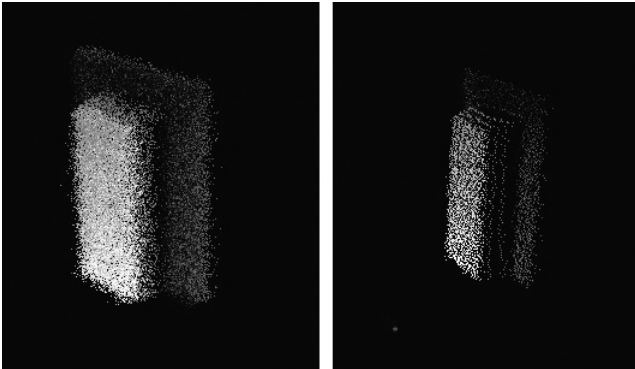


Abb. 6: 3D-Ansichten des Kanteneffekts

Zur Überprüfung der Qualität der Kantenerfassung wurden Messungen auf eine Spanplatte von 20 mm Dicke aus unterschiedlichen Entfernungen und mit verschiedenen Auflösungen mit dem LMS-Z360i ausgeführt, an deren Rückseite zwei Abstandhalter mit veränderbaren Tiefen angebracht wurden. So konnten Tiefenunterschiede von 7 bis 30 cm simuliert werden. Die Visualisierungen der Scans machten deutlich, wie mehr oder weniger stark die Kanten verwischt wurden und dementsprechend »Kometenschweife« auftraten. Diese suggerieren eine Verbindung zwischen Spanplatte und Hintergrund, die nicht existiert, wie Abb. 6 verdeutlicht. Auf der linken Seite ist der Kanteneffekt aus 10 m mit einer Auflösung von $0,01^\circ$ und einem Tiefenunterschied von 7 cm erkennbar; auf der rechten Seite das Ergebnis eines sogenannten Resamplings des Scans mit einer etwas gröberen Auflösung, was zu einer Ausdünnung des Kometenschweifs führt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Kanteneffekt bei kurzen Objektentfernungen zwar auftritt, die Kanten jedoch noch als solche erkennbar und scharf dargestellt sind. Mit zunehmender Entfernung vergrößert sich der Laserspot, was zu einer immer stärkeren Abrundung der Kanten führt. Ebenso verstärkt sich mit zunehmenden Tiefenunterschieden an der Kante die Anzahl der Mischsignale, die als »Kometenschweif« sichtbar werden. Eine geringe Verbesserung stellt sich nach dem Resampling der Scans ein. Je gröber dort die Auflösung gewählt wird, desto mehr verringert sich das Messrauschen. Für ein vollständiges, zuverlässiges Entfernen des Kanteneffektes ist jedoch die manuelle Editierung der betroffenen Punkte erforderlich, was aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes keine zufriedenstellende Lösung darstellt. Bei einigen Airborne Laserscannern be-

steht die Möglichkeit, bei einer Messung an Kanten bzw. Objekten mit großen Tiefenunterschieden das erste oder letzte Signal zu eliminieren (Methode »First Pulse – Last Pulse«), wobei dann nur die kürzeste oder die längste Strecke zum Messungsobjekt in der Auswertung verwendet werden kann. Diese Lösung eliminiert den Kanteneffekt nahezu völlig, ist jedoch im Scanner LMS-Z360i nicht implementiert.

3.3.2 Bestimmung des Messrauschens und der Oberflächenreflektivität

Da der Laserscanner die Entfernung zur reflektierenden Oberfläche letztlich durch Analyse des reflektierten Signals bestimmt, ist es offensichtlich, dass die Beschaffenheit der Oberfläche einen Einfluss auf die Entfernungsbestimmung hat. Je nach Reflektivität und Rauheit ist dieses Signal daher unterschiedlich beschaffen. Zusätzlich spielen noch die Entfernung und die Ausrichtung zum Scanner eine wesentliche Rolle (Böhler 2005).

Ziel der Untersuchungen mit dem LMS-Z360i war es, das Messrauschen und die Intensität des reflektierten Signals in Abhängigkeit von verschiedenen Oberflächen zu untersuchen. Dabei beschränkte sich der Umfang auf vier Oberflächen annähernd gleichen Materials, aber mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften. Zusätzlich wurden durch Variation der Entfernungen des Scanners von der zu untersuchenden Ebene und verschiedene Scanmodi weitere Einflussgrößen untersucht. Dabei wurde nach (Reshetyuk 2006) vorausgesetzt, dass die Beleuchtung der Umgebung keinen Einfluss auf die Oberflächenreflektivität hat. Um das Messrauschen zu bestimmen, bietet sich das Scannen einer ebenen Fläche an. Dazu wurden vier 40×40 cm große Spanplatten von unterschiedlicher Farbe (weiß, grau, schwarz matt und schwarz glänzend – mit Folie beklebt) verwendet. Die Untersuchungen zeigten, dass das Messrauschen von der Reflektivität des gescannten Objektes abhängt. Je geringer die Reflektivität einer Oberfläche, d. h. je kleiner der vom Laserscanner erfasste Intensitätswert ist, umso größer ist das Messrauschen. Dabei wies die weiße Spanplatte stets das geringste Messrauschen auf, während bei den beiden schwarzen Platten die schlechtesten Intensitäten und ebenso das größte Messrauschen auftraten, was sich mit dem hohen Anteil an diffuser Reflexion begründen lässt. Des Weiteren ist das Messrauschen unabhängig von der gewählten Auflösung. Andererseits ist das Messrauschen in den Scans entfernungsabhängig. So tritt im Nahbereich ein deutlich höheres Messrauschen auf als in mittleren und größeren Entfernungen.

Außerdem belegten die Untersuchungen unter Verwendung der mit schwarzer Folie beklebten Spanplatte, dass spiegelnde Flächen teilweise grob fehlerhafte Punkte verursachen. Diese sind durch Mehrfachreflexionen bzw. Spiegelreflexionen entstanden.

4 Schlussfolgerungen zur Weiterentwicklung des Prüffeldes sowie zur Methodik von Genauigkeitsuntersuchungen bzw. Prüfungen von terrestrischen Laserscannern

Das an der HTW Dresden eingerichtete Prüffeld ist grundsätzlich zur Untersuchung und Überprüfung aller sich auf dem Markt befindlichen terrestrischen Laserscanner geeignet. Allerdings sind die bisher installierten Ziel- und Prüfmarken am Messsystem und an den Anforderungen der Laserscanner von Rieggl orientiert. Um Instrumente einiger anderer Hersteller zu prüfen, ist es erforderlich, für die Passpunktmarken Kugeltargets zu verwenden, da die Tiepoints vom Typ Rieggl Flat infolge der zu hohen Reflektivität dieser Marken nicht zuverlässig angemessen werden können bzw. man sie nicht anmessen darf, um die Laserscanner nicht zu beschädigen. Des Weiteren soll das Prüfmarkennetz um weniger gut zu scannende Prüfmarken wie farbig markierte Schrauben, Metallecken und ähnliche Punkte erweitert werden. Damit ist eine Neubestimmung des Prüfnetzes erforderlich, die im Frühjahr 2007 erfolgen soll.

Daneben soll 2007 ein zusätzliches Prüffeld zur Reichweitenuntersuchung auf dem Dach des Zentralgebäudes der HTW Dresden vervollkommen werden. Dort sollen dann nicht nur Scans auf umliegende Gebäude wie bisher vorgenommen werden, sondern zusätzlich Prüfmarken an diesen Gebäuden in einem Entfernungsbereich von 300 bis 1000 m gescannt werden können, die zuvor in Bezug zum Messpfeiler als Scannerstandpunkt koordinatenmäßig bestimmt werden sollen.

Außerdem ist vorgesehen, eine Prüfeinrichtung für das Auflösungsvermögen von Laserscannern anzufertigen (dreidimensionaler Siemensstern), wie sie im i3mainz der Fachhochschule Mainz verwendet wird (Böhler 2005).

Bei der Mehrzahl aller an der HTW Dresden bereits durchgeführten bzw. geplanten Untersuchungen besteht die Zielstellung in der Untersuchung der Laserscanner als komplexes System. Dabei sollen als Kenngrößen die Messunsicherheiten bei der Bestimmung unterschiedlicher Prüfmarken (Vergleich mit genaueren »Sollkoordinaten«), Standardabweichungen für die Ebenheit bestimmter Flächen (entspricht weitgehend den Untersuchungen zum Messrauschen) und Angaben zur Reichweite der Laserscanner unter Einhaltung von Messgenauigkeiten besser als 3 cm ermittelt werden. Deshalb halten die Autoren spezielle Untersuchungen, beispielsweise zu den Achsfehlern von Laserscannern wie von Neitzel (Neitzel 2006) zwar für wissenschaftlich interessant, aber für die Anwender von Laserscannern für nicht relevant. Auch erscheint das Prüfkonzept für terrestrische Laserscanner von Heister (Heister 2006) nicht unbedingt den Anforderungen

der Nutzer zu entsprechen. Insbesondere die in diesem Vorschlag für ein Prüfverfahren enthaltenen Kenngrößen Abtastabweichung und Messunsicherheit für die Antastung sind Werte, die dem Nutzer noch keine zuverlässigen Angaben über die Korrektheit der Laserscannerdaten liefern. Allerdings sind die Prüfungen terrestrischer Laserscanner nach Heister wesentlich einfacher realisierbar und nicht an ein so hochgenaues, ausgedehntes und damit aufwändiges Prüffeld wie das in diesem Aufsatz vorgestellte gebunden.

Literatur

- Böhler, W.: Vergleichende Untersuchungen zur Genauigkeit und Auflösung von Laserscannern. In *Terrestrisches Laserscanning (TLS) – Ein geodätisches Messverfahren mit Zukunft*, Band 48, Schriftenreihe des DVW, S. 17–28, Augsburg 2005.
- Heister, H.: Zur standardisierten Überprüfung von terrestrischen Laserscannern. In *Terrestrisches Laser-Scanning (TLS 2006)*, Band 51, Schriftenreihe des DVW, S. 35–44, Augsburg 2006.
- Neitzel, F.: Untersuchung des Achssystems und des Taumelfehlers terrestrischer Laserscanner mit tachymetrischem Messprinzip. In *Terrestrisches Laser-Scanning (TLS 2006)*, Band 51, Schriftenreihe des DVW, S. 15–34, Augsburg 2006.
- Reshetyuk, Y.: Investigation of the Influence of Surface Reflectance on the Measurements with the Terrestrial Laser Scanner HDS 3000. In: *zfv*, 128, Nr. 2, S. 96–103, Augsburg 2006.
- Rieggl: Rieggl LMS-Z360i Datasheet, Herstellerinformationen der Firma Rieggl Laser Measurement Systems GmbH, 2006; www.rieggl.com.
- Widiger, D.; Zimmermann, R.: Einrichtung eines Prüffeldes zur Untersuchung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit von Laserscannern sowie Untersuchung des Laserscanners LMS-Z360i der Firma Rieggl in diesem Testfeld. Diplomarbeit an der HTW Dresden (FH), Dresden, 2006.

Anschrift der Autoren

Prof. Dr.-Ing. Wolffried Wehmann | Prof. Christopher van Zyl
 Dipl.-Ing. (FH) Holger Kramer | Dipl.-Ing. (FH) Daniel Widiger
 Dipl.-Ing. (FH) Ronny Zimmermann
 HTW Dresden (FH), FB Vermessungswesen/Kartographie
 Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
wehmann@htw-dresden.de | vanzyl@htw-dresden.de
kramer@htw-dresden.de | danielwidiger@web.de
ronnman@gmx.de