

Einsatz eines TLS Systems in der Ingenieurvermessung

Pierre GRUSSENMEYER und Klaus HANKE

1 Einführung

Im Oktober 2005 stellte Trimble einen neuen terrestrischen Laserscanner (Trimble GX) vor. Beide Autoren hatten gleichzeitig die Gelegenheit, diese neue Ausrüstung unabhängig voneinander für intensive Tests und einen folgenden gemeinsamen Vergleich ihrer Erfahrungen zu nutzen. Der Trimble GX ist das Folgemodell der ehemaligen Mensi D200 Reihe. Es benutzt einen grünen Kategorie 2 - Laser (532 Nanometer) mit einer Reichweite von 200m und im „overscan“ Modus bis zu 350m. Der Scanbereich wird durch $360^\circ \times 60^\circ$, mit einem asymmetrischen vertikalen Teil von ungefähr 40° über dem Horizont begrenzt. Die Abtastgeschwindigkeit beträgt bis 5000 Punkte pro Sekunde. Der Scanner besitzt einen optionalen Autofokus für den Laser, der besonders bei Nahbereichsanwendungen nützlich ist. Diese Eigenschaft garantiert einen kleinen Laserpunkt in unterschiedlichen Entfernungen innerhalb eines Scans. Die Größe verändert sich lediglich von 0,3 mm bei 5 m bis auf 1,5 mm in einem Abstand von 25 m. Diese Werte sind in Verbindung mit einer möglichen Punktdichte von 3,2 mm auf 100 m durchaus sinnvoll.

Diese hohe Auflösung und Genauigkeit im Nahbereich lässt das Gerät für Anwendungen in der Ingenieurvermessung geeignet erscheinen. Allerdings ist in diesem Genauigkeitsbereich auch die Ausschaltung eventueller systematischer Einflüsse notwendig, die bei „gröberen“ Anwendungen eher bedeutungslos sind. Eingehende Untersuchungen und Test zu diesen Einflüssen wurden durchgeführt und die Notwendigkeit einer geeigneten Kalibrierung erkannt.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.



Abb. 1: Trimble GX laserscanner

2 Laboruntersuchungen

2.1 Verhalten bei farbigen Oberflächen

Erste Messungen mit dem TRIMBLE GX Scanner im Labor des Arbeitsbereichs Vermessung und Geoinformation an der Universität von Innsbruck zeigten ein spezifisches Messverhalten, das von der Farbe der Oberfläche abhängig ist. Zusätzlich hatte die resultierende Punktwolke einige unerwartete Eigenschaften. Um diese Effekte weiter zu untersuchen, wurde ein Testfeld erstellt. Dieses besteht aus einer 12 x 16 Matrix von 192 unterschiedlichen RAL[®] Farben, in denen jede Farbe durch ein Rechteck von 35 mm x 60 mm repräsentiert wird (siehe Abb.2). Somit wird ein breiter Bereich von Farben mit unterschiedlichem Reflexionsvermögen und Helligkeit untersucht.

RAL[®] ist ein international verwendetes Farbsystem, das 1927 vom heutigen Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung entwickelt wurde und hauptsächlich benutzt wird, um industrielle Lackfarben eindeutig zu beschreiben

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberegurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.



Abb. 2: RAL[®] Testfeld mit codiertem Farbsystem

Das Testfeld wurde mit hoher Auflösung, fixer Fokussierung und 4 „shots“ pro Punkt in einem Abstand von ungefähr 4 m. gemessen. Für jeden Farbbereich wurden aus ungefähr 900 Punkten eine mittlere Ebene und das dazugehörige Messrauschen einzeln ausgewertet. Eine auffällige Korrelation wurde dabei zwischen einer relativen Verschiebung der ausgeglichenen Ebenen in der Tiefe, dem Messrauschen und der Intensität des reflektierten Signals erkannt. Die folgende Tabelle 3 stellt beispielhaft die Resultate der dritten Farbreihe des Testfeldes dar. Die unterste Kurve beschreibt die Verschiebung der einzelnen Farben gegenüber einer gemeinsamen Bezugsebene, die durch nur weiße Bereiche definiert wurde.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

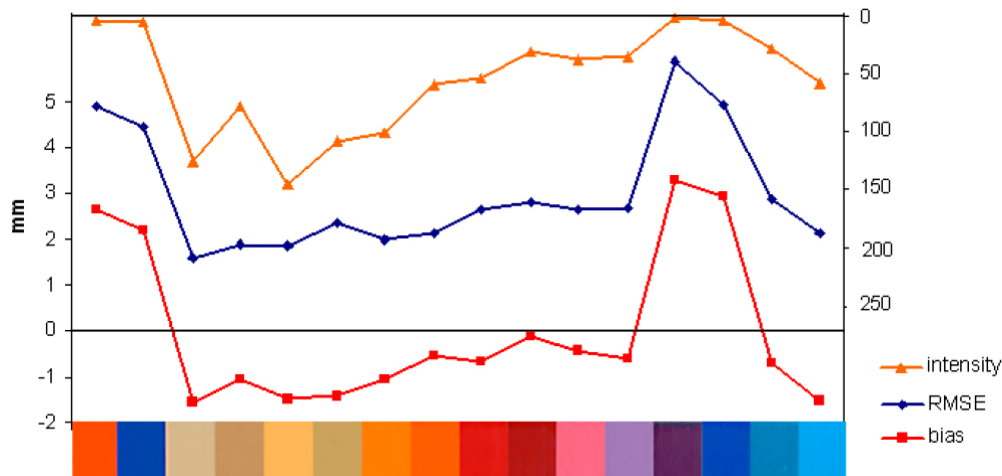


Abb. 3: Korrelation zwischen Intensität, Abweichung und Rauschen

Die Differenz zwischen hinterster und vorderster Ebene beträgt dabei bis zu 5 mm. Die hintersten Ebenen, vom Scanner aus gesehen, sind die orange Grundfarbe (Y30) und blau (B40) an der linken Seite sowie purpurrot-violett (RAL 4007) und ultramarine-blau (RAL 5002) am rechten Ende dieser Zeile.

Die Niveaus aller weiteren Farben - von „sandgelb“ (RAL 1002) links bis zum rechten himmelblau (RAL 5015) - unterscheiden sich nicht erheblich. Die mittlere Kurve zeigt das Rauschen der Punkte. Die Werte beschreiben die mittlere quadratische Abweichung (rmse) der ca. 900 gemessenen Punkte in Bezug auf ihre mittlere Ebene.

Der auffällige Zusammenhang zwischen der systematischen Verschiebung der Mittelebene und dem Messrauschen ist statistisch signifikant. Die oberste Kurve zeigt die Intensität des reflektierten Signals. Die Systematik in der Lage der Farbflächen und die Intensitätswerte sind offensichtlich miteinander verknüpft. Der Korrelationskoeffizient hat einen Wert von $r = -0.81$.

Allgemein ist eine Wechselbeziehung zwischen der systematischen Lageänderung der Flächen und der Intensität des Signals sichtbar und tritt auch in ähnlicher Weise in allen weiteren Zeilen der Testfläche auf. Schwache Intensität des Signals ist mit einer systematischen Abweichung der Ebene und großem Messrauschen verbunden. Die unterschiedliche Lage der Ebenen der Farbflächen in Messrichtung können als „Additionskonstante“ der Streckenmessung gedeutet werden.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

Eine Korrektur aller vom Scanner gemessenen Strecken in Abhängigkeit der Intensität des reflektierten Signals erscheint daher dringend notwendig. Eine ähnliche Korrektur wird beim Airborne Laserscanning bereits standardmäßig durchgeführt und ist durch die nunmehr verfügbare hohe Genauigkeit bei Nahbereichsscannern ebenfalls nötig.

2.2 Additionskonstante

Im Hinblick auf mögliche Anwendungen mit höheren Genauigkeitsanforderungen - besonders in der Ingenieurvermessung - wurde versucht mehr über dieses Phänomen herauszufinden.

Im Labor des Arbeitsbereichs für Vermessung und Geoinformation der Universität Innsbruck besteht eine kleinräumige Eichbasis bestehend aus 9 Betonpfeilern mit Zwangszentrierung (Abb.4).

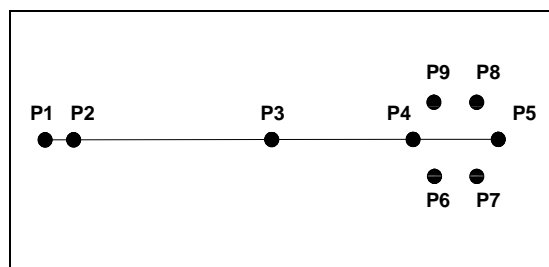


Abb. 4: Konfiguration der Messbasis

Zwischen den Pfeilern P1, P2, P3, P4 und P5 wurden die Abstände in allen Kombinationen vom Scanner zu den systemeigenen Zielkugeln (Fig.5). gemessen. Diese bestehen aus mattem weißem Plastik, mit einem Durchmesser von 76,2 mm und werden mittels Adapter zentriert. Die Messung der Strecken erfolgte indirekt über die Abtastung der Kugeln und Reduktion auf den Mittelpunkt der Kugel. Die Genauigkeit des resultierenden Abstandes ist etwa 1 mm.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberegurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.



Abb. 5: Zielkugeln mit Vorrichtung zur Zwangszentrierung

Die Netzausgleichung der Basislinienmessungen lieferte eine Additionskonstante von 7,8 mm mit einer Standardabweichung von 0,5 mm. Diese Additionskonstante ist folglich in hohem Grade signifikant und muss für präzise Anwendungen berücksichtigt bzw. korrigiert werden.

Ein weiter Test wurde basierend auf der Messung aller möglichen Strecken zwischen 5 Pfeilern (im Bereich zwischen 7m und 31m) mit dem GX Scanner in Strassburg durchgeführt und innerhalb eines Monats 4x wiederholt. Die Additionskonstante, die von den flachen Zieltafeln (Abb.7) resultierte, war 5mm mit einer Standardabweichung von 0,7mm, während derselbe Test mit den Zielkugeln (Abb.5) einen Wert von 0,0mm mit einer Standardabweichung von 0,9mm ergab. Die Kalibrierung des Scanners scheint in diesem Fall einwandfrei für Kugeln, während für die Zieltafeln die Berücksichtigung einer Additionskonstante für präzise Anwendungen dringend empfohlen wird.

3. Neuer Arbeitsablauf für die Vermessung mit TLS Systems

Die traditionelle Scanmethode basiert auf der Messung von gemeinsamen Zielpunkten oder -kugeln, um verschiedenen Scans aufeinander oder auf ein übergeordnetes Koordinatensystem zu beziehen. Mindestens 3 gemeinsame Punkte sind notwendig, um 2 Punktwolken derart aufeinander zu registrieren und zu vereinigen.

Der neue Arbeitsablauf, der mit dem GX-Scanner vorgeschlagen wird, ist dem eines Tachymeters sehr ähnlich (Lemmon & Biddiscombe, 2006).

- Das Instrument kann über einem bekannten Punkt zentriert aufgestellt werden
- Der Scanner kann mittels elektronischer Libelle horizontalisiert werden.
- Die Instrumentenhöhe über einem bekanntem Bodenpunkt kann bestimmt werden (Abb.9)
- Die Höhe eines Anschlusspunktes kann relativ zum Standpunkt bestimmt werden

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

- Die Messungen zu Anschlusspunkten dienen zur Orientierung der Messung

Auf diese Weise wird der Scanner über einem bekannten Punkt aufgestellt und befindet sich orientiert im umgebenden Koordinatensystem. Messungen zwischen den verschiedenen Standpunkten – im Allgemeinen als Polygonzug bekannt – erlauben konsistente Messungen und die sofortige Zusammenschau aller Punktwolken ohne aufwändiges Postprocessing. Die Qualität und die Vollständigkeit der Daten kann deshalb Vorort überprüft werden, was die Messzeit erheblich reduziert und die eventuelle Wiederholung von Messungen verhindert.

Der Trimble GX Scanner besitzt eine elektronische Libelle zur Horizontierung des Instruments und einen Zweiachskompensator zur Korrektur der horizontalen und vertikalen Messelemente während des Scanvorgangs.

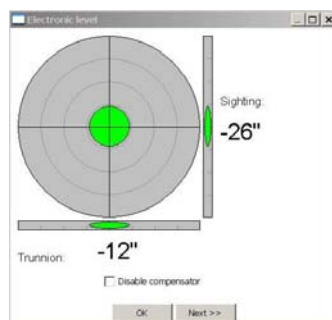


Abb. 6: Elektronische Libelle im GX Scanner

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.



Abb. 7: Beispiel einer Zieltafel für den GX Scanner

Die Horizontierbarkeit des Laserscanners und die Möglichkeit der direkten Georeferenzierung der Punktwolke sind vor allem für Außenprojekte von großem Wert.

Der Scanner wird durch Trimble's PointScape Datenerfassungs-Software gesteuert, die auf jedem beliebigen Notebook läuft. Die abgespeckte Version PocketScape ist sogar auf Pocket PCs (z.B. Recon u.ä.) einsetzbar. So wird der gleichzeitige Datentransfer zum Notebook für sofortige Datenüberprüfung und –editierung möglich, während vom PocketPC aus schon der nächste Standpunkt gemessen oder das Gerät zum nächsten Standpunkt umgesetzt wird.

Die Software unterstützt eine einfach zu bedienende graphische Oberfläche: Sie zeigt abstandscodierte Punktwolken und ein Auto-Panorama im Vollbildmodus. Optional ist es möglich die Einfärbung der Punktwolke in Echtzeit zu bewerkstelligen und das Panoramabild abzuspeichern. Ein wichtiges unverzichtbares Werkzeug ist außerdem die automatische Erkennung von Zielmarken und Zielkugeln mit einer zusätzlichen Möglichkeit der Georeferenzierung durch den Import einer Koordinatendatei mit Referenzpunkten oder eines kompletten Vermessungsprojekts. Die voraussichtliche Scanzeit wird nach dem Framing abgeschätzt und kann zusätzlich limitiert werden.

4. Überwachung der Dammbewegungen

In diesem Kapitel sollen Ergebnisse von Auswertungen von Punktwolken, die mit einem Trimble GX Scanner an einem Bahndamm aufgenommen wurden, gezeigt werden.

Ziel war eine Verbesserung der Qualität der Bewegungsmessungen, welche von der Topografischen Abteilung der französischen Bahnverwaltung SNCF initiiert wurde, um die Leistung der Lasergrammetrie zur Aufdeckung von Verformungen im direkten Vergleich

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

mit anderen Vermessungsmethoden wie Nivellement, Tachymetrie und GPS zu erkunden (Viguier, 2006).

Für dieses Projekt gibt es eine Fülle von Messungen aus früheren Epochen. Die meisten dieser Messungen stammen von Digitalnivellieren Dini 12 und Leica 3003, wobei die erreichte Genauigkeit der Höhen gewöhnlich (infolge von Vibrationen durch den Zugbetrieb) um $\pm 1\text{mm}$ gelegen ist. Für die Beobachtung der horizontalen Bewegungen wurden Leica TCA 2003 and Trimble 5601 Totalstationen (mit Zwangszentrierung) eingesetzt, welche Genauigkeiten von $\pm 3\text{mm}$ in der Lage ergaben. Darüber hinaus gab es Versuche mit GPS (im real-time Modus, um direkt die Koordinaten zu bekommen), die Genauigkeiten von ca. $\pm 1\text{cm}$ in der Lage und ± 2 bis 3cm in der Höhe ergaben.



Abb. 8: Das Testobjekt : der Bahndamm in Souillac (Frankreich)



Abb. 9: Trimble GX Scanner bei der Messung eines Referenzpunktes



Abb. 10 : Sicht auf die Krone des Dammes (rechts die Bahnlinie)

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberegurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

Der Scanner wurde auf 4 verschiedenen Stationen auf der Krone einer Stützmauer (Abb.11) aufgestellt, deren Koordinaten und Höhen eine Woche vorher durch Tachymetrie und Nivellement bestimmt worden waren. Der Scanner wurde horizontalisiert und wie in Absatz 3 beschrieben „geodätisch“ eingesetzt.

Die folgende Tabelle zeigt Ergebnisse aus PointScape bei der Positionierung des Scanners bezüglich der Anschlusspunkte (freie Stationierung). Die Abweichungen sind in der Größe von 1cm für die Strecken für Entfernungen von 21m bis 122m. Diese Information erlaubt dem Beobachter direkt die Genauigkeit des Standpunktes bzw. der Aufstellung und die Homogenität des Netzes zu überprüfen.

Zielpunkt	Anzahl der Scans	delta X	delta Y	delta Z	Entfernung des Anschlußpunktes
102	5	0.004 m	0.001 m	0.008 m	51.717 m
5000	5	0.001 m	0.005 m	0.003 m	46.311 m
101	3	-0.001 m	0.010 m	-0.003 m	106.777 m
103	3	0.008 m	0.009 m	-0.011 m	121.929 m
5002	7	-0.001 m	0.002 m	0.008 m	23.631 m
5003	4	-0.007 m	0.008 m	0.006 m	26.133 m
106	4	0.011 m	0.008 m	0.004 m	92.558 m
108	4	0.001 m	0.008 m	0.006 m	109.243 m

Tab. 1: Differenzen auf Station 107 in X, Y und Z relativ zu den Anschlusspunkten

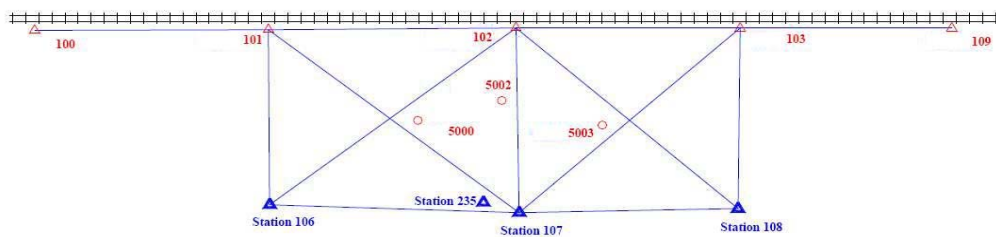


Abb. 11: Punktübersicht: blau ... Scanner-Standpunkte: rot ...Anschlusspunkte

Eine Anzahl von zylindrischen Messmarken (Abb.12) ist über das Objekt verteilt, deren Spitzen seit vielen Epochen durch überbestimmte Richtungsmessung bestimmt wurden.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberegurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

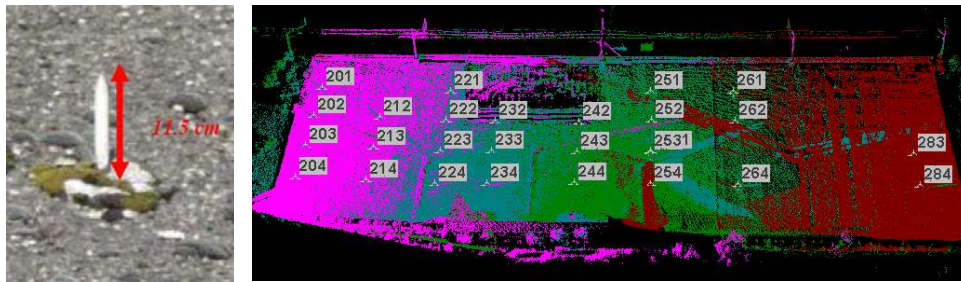


Abb. 12: Foto der zylindrischen Messmarken und ihre Verteilung auf dem Bahndamm

Der Damm wurde flächendeckend mit einer Auflösung von 3 – 5cm und die zylindrischen Messmarken mit dem bestmöglichen Punktabstand (horizontal 2,8mm und vertikal 1,7mm auf 100m) gescannt

Berechnet man die Unterschiede zwischen deren Spitzen und den Referenzkoordinaten aus Tachymetermessungen, so ergeben sich mittlere Abweichungen in der Lage von ± 6 mm und in der Höhe von ± 8 mm (für händisch gemessene Punkte in der Punktwolke in Entfernungen unter 50m vom Standpunkt des Laserscanners).

Die geometrische Modellierung der Messmarken als Zylinder wurde ebenfalls getestet. Dabei traten einige Probleme bei Objekten auf, die weiter als 50m vom Standpunkt entfernt waren und bei jenen auf der Dammkrone. Die Ergebnisse des Vergleichs mit den tachymetrisch bestimmten Koordinaten sind sehr interessant und zeigen das Potential der Lasermetrie für diese Anwendungen. Über reine Einzelpunkte hinausgehend bietet die Punktwolke die Möglichkeit zur Bestimmung von Profilen und Horizonten.



Abb. 13: Beispiel für Punktwolke einer Messmarke und ihre zylindrische Modellierung.

Auch andere Details, wie Betonblöcke von Stufen, wurden detailliert gescannt (Abb.14 und 15), um eine über das Bisherige hinausgehende Extraktion von Linieninformation aus der Punktwolke zu ermöglichen. Die Grundidee ist, ein linienbasiertes Matching zwischen

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. 14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

Punktwolken aus verschiedenen Epochen einzuführen. Damit würden die Deformationsuntersuchungen von der Beobachtung einzelner Punkte auf signifikante Objektteile des Damms ausgedehnt.

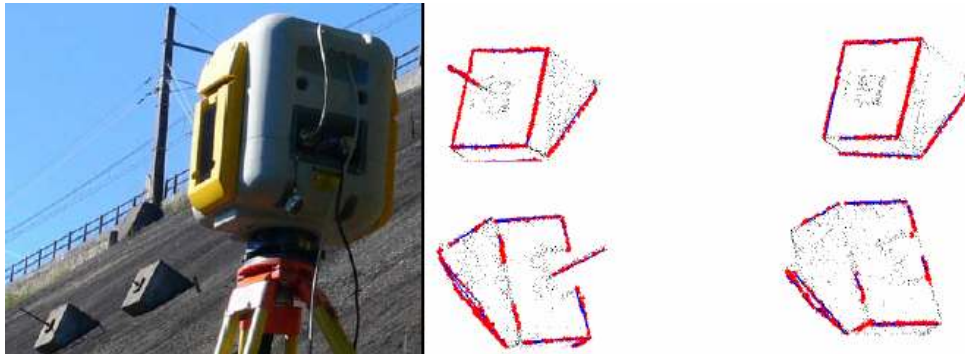


Abb. 14: Extraktion von Linien auf Betonblöcken aus den Punktwolken

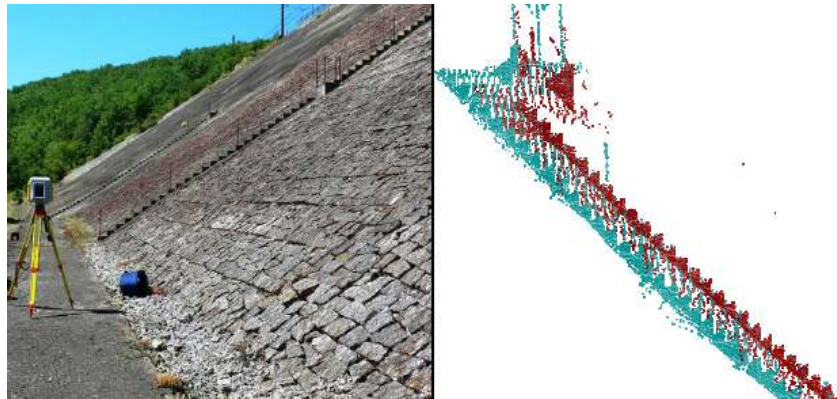


Abb. 15: Extraktion des Profils des Stiegenaufgangs aus der Punktwolke

Die Geologen benötigen mehr als nur Methoden, die auf Einzelpunkten basieren und in Zukunft wird jede Messepoche dem Auftraggeber (SNCF) ein dreidimensionales Modell des Bahndamms liefern können. Dieses Modell wird es erlauben, im Vergleich mit der aktuellen Epoche instabile Bereiche schneller zu entdecken. Die Verwendung eines Laserscanners anstatt herkömmlicher geodätischer Messungen sollte zu geringeren Einschränkungen bezüglich der Vegetation am Dammbau führen, da die Messung von wenigen Punkten auf die gesamte Oberfläche ausgedehnt wird. Bisher war es notwendig, die unmittelbare Umgebung der zylindrischen Messmarken vor Beginn der Messungen zu säubern.

Um dem Genauigkeitsanspruch von weniger als 1cm zu genügen, sollte der verwendete Entfernungsbereich des Scanners auf 50m beschränkt bleiben. Für Punkte zwischen 50m

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. 14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2007. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

und 100m steigt die Genauigkeit auf ca. 1 – 3 cm an. Der Bereich über 100m sollte für solche Präzisionsmessungen nicht verwendet werden.

5. Zusammenfassung

Der neue Trimble GX Laserscanner wurde sowohl im Labor als auch unter Feldbedingungen bezüglich Genauigkeit und Arbeitsablauf getestet.

Die Labortests zeigten, dass aufgrund des Verhaltens bei farbigen Oberflächen eine Korrektur aller vom Scanner gemessenen Strecken in Abhängigkeit der Intensität des reflektierten Signals dringend notwendig erscheint. Die Eichmessungen der verschiedenen Scanner in Innsbruck und Strassburg ergaben, dass diese Additionskonstanten in hohem Grade statistisch signifikant sind und für präzise Anwendungen berücksichtigt bzw. korrigiert werden müssen. Diese Prozedur sollte zukünftig in den Aufstellvorgang des Scanners integriert sein.

Der neue Arbeitsablauf mit dem GX-Scanner, der vom Hersteller vorgeschlagen wird und sehr ähnlich der eines Tachymeters ist, wurde für die Überwachung der Bewegungen eines 200m langen und 32m hohen Damms getestet. Die Ergebnisse bei der Positionierung des Scanners bezüglich der Anschlusspunkte haben Streckenabweichungen in der Größe von 1cm für Entfernungen von 21m bis 122m im direkten Vergleich mit anderen Vermessungsmethoden ergeben.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Scanner und die vorgeschlagene Meßmethode dafür geeignet sind. Die Unterschiede zwischen Messungen zu Spitzen von zylindrischen Messmarken und den Referenzkoordinaten aus Tachymetermessungen, ergeben akzeptable Abweichungen in Lage und Höhe. Es wird weiters vorgeschlagen, neue Methoden wie eine Extraktion von Linieninformation für ein linienbasiertes Matching zwischen verschiedenen Epochen einzuführen.

Literatur

Hanke K., Grussenmeyer P., Grimm-Pitzinger A., Weinold Th., 2006. **First Experiences with the Trimble GX Scanner**. The ISPRS International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Vol. XXXVI, Part 5, ISSN 1682-1750.

Lemmon T., Biddiscombe P., 2006. **Laser Scanners Improve Survey Workflow**. Professional Surveyor Magazine, March 2006, pp. 14-18.

RAL, 2006. RAL German Institute for Quality Assurance and Certification.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.

Trimble, 2006. **Pointscape user guide**. Version 3.1, March 2006 & **Realworks Survey User Manual**, version 5.1, December 2005.

Viguiet F., 2006. **Suivi des mouvements des Ouvrages en Terre de la SNCF par lasergrammétrie**. Diplomarbeit (in Französisch) der INSA Strasbourg (Bereich Vermessungswesen), 72 Seiten.

Grussenmeyer, P., Hanke, K. (2007). Einsatz eines TLS-Systems in der Ingenieurvermessung. *14. Internationale Geodätische Woche Oberrurgl 2007*. Edited by Chesi/Weinold, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 21-30. ISBN 978-3-87907-446-4.