

Tagebauvermessung mit terrestrischen Laserscannern

Jörg Fugmann

Bei der flugzeug- oder satellitengestützten Fernerkundung der Erdoberfläche sind Laserscanner seit langem als etablierte Messsysteme im Einsatz. In den letzten Jahren sind auch für einen terrestrischen Einsatz des Laserscannings die bestehenden Hard- und Softwarelösungen weiterentwickelt und optimiert worden. So werden mittlerweile bei Reichweiten von mehreren 100 Metern geodätische Genauigkeitsanforderungen erreicht. Das terrestrische Laserscanning ist damit eine interessante Option für die topografische Geländeaufnahme geworden.



Abb. 1: Laserscanner im Tagebaueinsatz

Das Arbeitsprinzip unterscheidet sich allerdings grundlegend von den herkömmlichen Verfahren. Während mit Totalstation und GPS-Systemen noch diskrete Einzelpunkte erfasst werden, erfolgt durch den Laserscanner eine berührungslose und flächenhafte Aufnahme mit sehr hoher Punktdichte. Aus diesem Grund lässt sich das Verfahren besonders rationell für Aufmaße und Volumenermittlungen in Steine-Erden-Tagebauen einsetzen.

Anforderungen an die Vermessung von Steine-Erden-Tagebauen

Auch wenn bei Betrieben unter Bergaufsicht ein markscheiderisches Risswerk regelmäßig nachgetragen werden muss, sind Anforderungen vieler Abbaubetreiber an vermessungstechnische Leistungen mehr auf die Lieferung abrechnungsrelevanter Zahlenwerte als auf die Darstellung ausgerichtet. Wichtig ist insbesondere die (meist jährliche) Volumenbilanzierung (Abraum, Rohstoff, Verfüllmaterial) als Grundlage für die eigene Kostenrechnung des Abbaubetriebes, für Zahlungen an Grundstückseigentümer oder für steuerliche Zwecke. Ein geeignetes Vermessungsverfahren muss die folgenden wesentlichen Anforderungen erfüllen:

- Vollständige Erfassung der aktiven Betriebsbereiche
- Hinreichende Punktdichte mit angemessener Genauigkeit
- Differenzierbarkeit zwischen Abraum, Rohstoff, Halden, Verfüllung etc.
- Weitgehende Witterungsunabhängigkeit (Jahresaufmaße meist im Winter)
- Weiterverarbeitungsmöglichkeit der Daten in CAD-Systemen
- Kompatibilität mit anderen Vermessungsverfahren

Erfahrungen mit dem Einsatz zeigten, dass die entsprechenden vermessungstechnischen Aufgaben durch terrestrisches Laserscanning vorteilhaft erfüllt werden können.

Technologie

Das terrestrische Laserscanning arbeitet mit einem Messsystem, das analog zu elektrooptischen Instrumenten vor Ort zum Einsatz kommt. Der Laserscanner, der im Gelände stationiert wird (s. Abb. 1), ist eine Kombination aus Entfernungsmess- und Richtungsmesseinheit. Mittels eines präzise abgelenkten Laserstrahls wird dabei das Geländeprofil linienweise in einem sehr engen Punktraster abgetastet (s. Abb. 2).

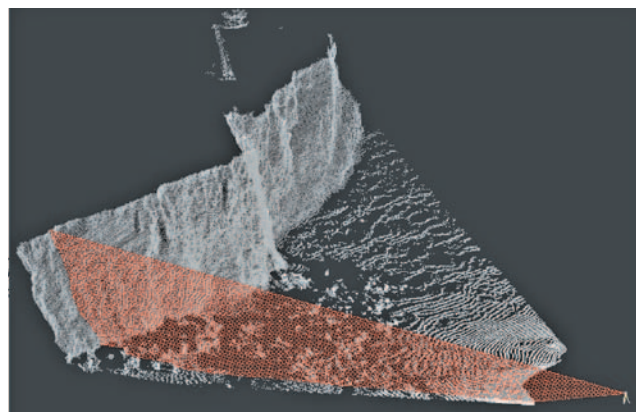


Abb. 2: Messprinzip beim terrestrischen Laserscanning.

(Quelle: Maptex Pty Ltd, www.maptek.com)

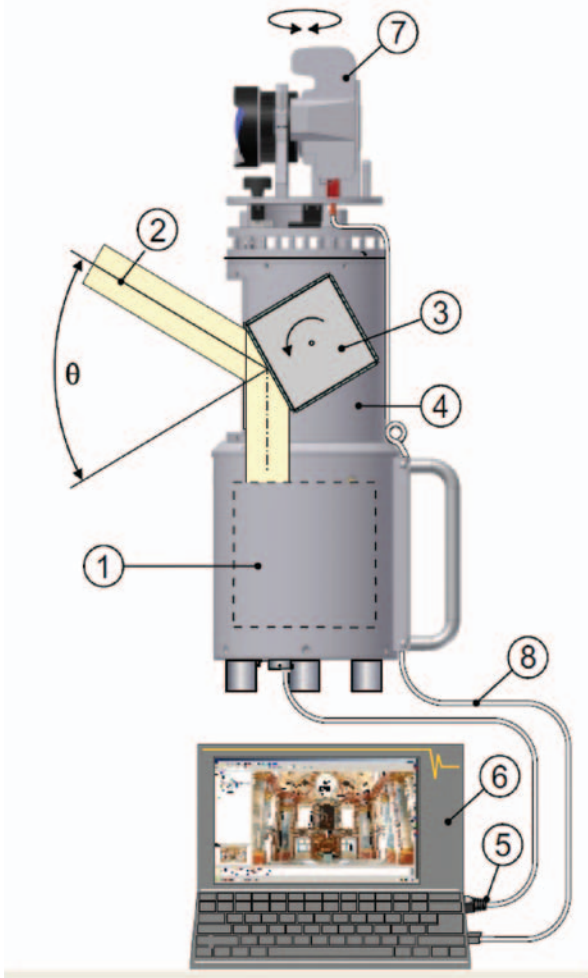


Abb. 3: Prinzipskizze Laserscanner.
(Quelle: Riegl Laser Measurement Systems GmbH, www.riegl.com)

Abb. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines terrestrischen Laserscanners. Zur Entfernungsmessung wird ein mittels Laserdiode [s.1] in Abb. 3] erzeugtes Signal ausgesandt (Start der Zeitnahme). Der emittierte Impuls bzw. Strahl (2) trifft auf die Oberfläche des Zielobjektes, wo er diffus reflektiert wird. Ein Teil des reflektierten Signals wird vom im Instrument befindlichen Detektor (1) registriert (Stopp der Zeitnahme). Im internen Microcomputer erfolgt die Berechnung der Entfernung zwischen Sensor und Zielpunkt.

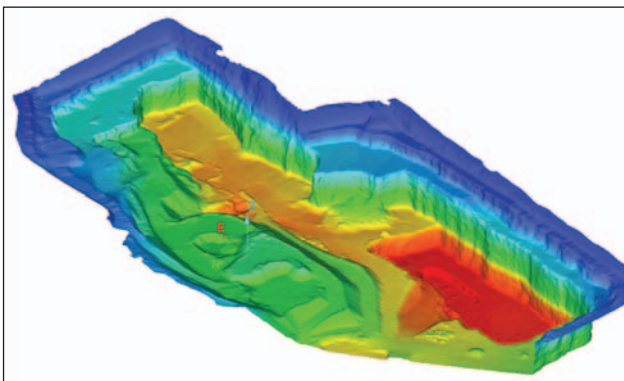


Abb.4: Geländemodell aus Scannerdaten (eingefärbt nach Höhenniveau)

Zurzeit sind zwei Scannertypen auf dem Markt, die jeweils unterschiedliche Verfahren zur Entfernungsmessung nutzen: das „Laufzeitverfahren“ und das „Phasenvergleichsverfahren“. In der Tagebauvermessung kommen in der Regel Scanner zum Einsatz, die nach dem Laufzeitverfahren arbeiten. Grund dafür ist die Möglichkeit, wesentlich höhere Reichweiten erzielen zu können.

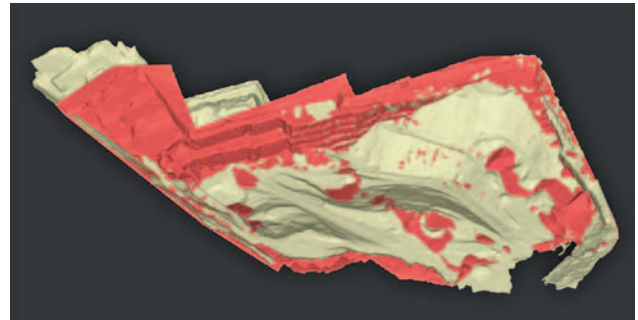


Abb.5: Volumenermittlung durch Verschneidung zweier Modelle (rot: vorheriges Aufmaß, beige: aktuelles Aufmaß)

Die Ermittlung der einzelnen horizontalen und vertikalen Zielpunkttrichtungen erfolgt durch die Erfassung der jeweiligen Ablenkung des Strahls. Der Strahl wird entweder über die Bewegung der gesamten Scannereinheit durch Schrittmotoren (Drehung um die Vertikalachse) oder mithilfe rotierender Spiegel (3) abgelenkt. Aus der Aufzeichnung der vertikalen und horizontalen Winkel von Emissions- und Empfangssignal und der Laufzeit werden die Richtungs- und Neigungswinkel zur Bestimmung der polaren Punktkoordinaten errechnet. Damit handelt es sich beim Laserscanning um eine stark beschleunigte Polarpunktaufnahme mit sehr vielen Zielpunkten.

Die Steuerung des Gerätes erfolgt über eine entsprechende Schnittstelle mittels Feldrechner (5). In modernen Laserscannern ist heute entweder eine Kamera eingebaut oder extern montiert (7, 8). Die aufgenommenen Bilder sind wichtige Hilfsmittel zur Rationalisierung der Auswertung. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Bilder später auf ein aus den Punktwolken generiertes Geländemodell zu projizieren (fotorealistische 3-D-Darstellungen).

Ablauf der Messung und Auswertung

Zur vollständigen Erfassung (Vermeidung von Abschattungen) muss der Aufnahmebereich in der Regel von mehreren Standpunkten aus gescannt werden. Dabei sollte die Reichweite des Geräts optimal ausgenutzt werden. Die Standpunktwahl trägt damit nicht unerheblich zur Effizienz des Messeinsatzes bei. Die Orientierung erfolgt anhand der Koordinaten von Stand- und Anschlusspunkten, die idealerweise mittels GPS bestimmt werden. Bei normalen Verhältnissen dauert der eigentliche Scanvorgang wenige Minuten – insgesamt kann einschließlich Transport und Rüstzeit mit etwa 30 min pro Aufstellung gerechnet werden. Das Ergebnis der Messung, die so genannte Punktwolke, lässt sich sofort auf dem Feldrechner betrachten. Somit ist eine erste Prüfung der Messung auf Plausibilität und Vollständigkeit bereits vor Ort möglich.



Die Auswertung erfolgt im Büro mit Hilfe entsprechender Softwarelösungen. Da der Laserscanner in der Regel mehr als notwendig erfasst, muss die Punktwolke zunächst auf den erwünschten Geländeausschnitt reduziert werden, z.B. über einen Polygonfilter. Dabei werden alle Punkte entfernt, die sich nicht innerhalb eines den erwünschten Geländeausschnitt begrenzenden Polygons befinden. Mit einer weiteren wichtigen teilautomatischen Filterfunktion werden beispielsweise Punkte, die auf Vegetation aufgetroffen sind, aus der Punktwolke entfernt.

Anhand des aus der bearbeiteten Punktwolke erstellten ersten Geländemodells erfolgt eine letzte Überarbeitung der Rohdaten. So lassen sich beispielsweise Fehler erkennen und eliminieren, die beim Auftreffen des Laserstrahls auf eine Wasseroberfläche entstehen können. Die Punkte werden entfernt und die Geländemodelle über verschiedene Reparaturfunktionen wieder geschlossen. Als Ergebnis der Messung liegt schließlich ein dreidimensionales Geländemodell mit hoher Punktdichte vor (s. Abb. 4).

Anhand des Modells lassen sich bereits sämtliche Volumenbestimmungen durchführen.

Dazu werden im Computer wie gewohnt – zwei Oberflächen, z.B. zwei verschiedene Betriebszustände, miteinander verschnitten und das Differenzvolumen bestimmt (s. Abb. 5). Zum Einsatz in gängigen CAD-Umgebungen erfolgt eine weitere Reduzierung der Datenmenge durch Generalisierung, z.B. durch Herausfiltern der Bruchkanten von Abbau- bzw. Kippenböschungen. Die Ergebnisse der Vorauswertung können dann wie gewohnt mit Standard-Softwareprodukten weiterbearbeitet werden (Lagepläne, Geländemodelle, Schnitte, etc.).

Praxiserfahrungen

Nach mehrjährigem Einsatz verschiedener Laserscanner (s. Abb. 6, 7) in unterschiedlichen Betrieben der Steine-Erden-Industrie können die gesammelten Erfahrungen wie folgt zusammengefasst werden:

Arbeitsweise

Ein entscheidender Vorteil des Laserscanners ist die flächenhafte Aufnahme mit hoher Punktdichte. So können von einem Standpunkt sehr schnell große Flächen vollständig erfasst werden. Dabei ist auch die differenzielle Erfassung unzugänglicher Bereiche wie Bruchkanten, Bruchwänden und Kippenböschungen möglich. Dies ermöglicht insbesondere bei Aufmaßen von Steinbrüchen eine deutliche Genauigkeitssteigerung. Zudem trägt das Aufnahmeverfahren zur Erhöhung der Arbeitssicherheit beim Messeinsatz bei, indem die Begehung von Wandbereichen und Kippenböschungen weitgehend vermieden werden kann.

Messablauf

Als sehr vorteilhaft hat sich die Möglichkeit herausgestellt, bereits während der Messung mit dem Feldrechner eine grobe Überprüfung der Messergebnisse anhand der erfassten Punktwolken durchführen zu können.

Eine Witterungsabhängigkeit des Laserscannings ist nur sehr begrenzt vorhanden und kann ggf. durch entsprechende Messa-

nordnungen egalisiert werden. Zu beachten ist der Einfluss einer geschlossenen Schneedecke, der bei entsprechender Schneehöhe infolge der veränderten Oberfläche ggf. zu Verfälschungen führen kann. Wichtig für Aufnahmen im Winterhalbjahr ist die Unabhängigkeit vom Tageslicht. So sind beispielsweise auch Messungen in der Dämmerung oder in der Dunkelheit möglich.

Die Messergebnisse sind voll kompatibel mit Ergebnissen konventioneller Aufmaße.

Zeitaufwand

Aufgrund der schnellen und großflächigen Erfassung ergeben sich erhebliche Zeitersparnisse. So reduzierte sich beispielsweise der Zeitaufwand für die Aufnahme von sechs in einer gemeinsamen Kampagne jährlich zu messenden Steinbrüchen mit dem Laserscanner auf 2,5 bis 3 Tage. Für die vorher durchgeführten Tachymeter-/GPS-Aufmaße waren dagegen insgesamt 7 bis 9 Tage zu veranschlagen.



Abb. 6: Laser-scanning-System (I-SITE 4400)

Aufnahme

Mit Laserscannern kann das Messgebiet mit einer Punktdichte erfasst werden, die durch konventionelle Messverfahren kaum erreicht werden kann. Dies ermöglicht den Einsatz für Aufgaben der Beweissicherung (Beispiel: differenzielle Zustandserfassung einer Böschungsrutschung).

Diskrete Punkte oder überwiegend verborgene Einzelheiten können allerdings nicht oder nur schwer erfasst werden, wie z.B. Vermessungspunkte und Grenzen sowie der Verlauf von Kabeln und Rohrleitungen. Diese können allerdings mit der zur Orientierung mitgeführten Vermessungsausrüstung parallel zum Laserscanning aufgenommen werden.

Zu bedenken ist, dass Flächen mit unregelmäßigem Bewuchs (z.B. Sukzessionsflächen) für viele Systeme nur schwer zu scannen sind, da hier der Scanner zu wenig „echte“ Oberflächenpunkte erfasst.



Abb. 7: Laserscanning-System (Riegl Z 210i)

Genauigkeit

Die erzielbare Punktlagegenauigkeit der eingesetzten Geräte innerhalb ihrer Reichweite (bis ca. 400 m) lag im Zentimeter- bis unteren Dezimeterbereich und ist damit für den Einsatzzweck voll ausreichend. Bei Aufmaßen von Tagebauen ist davon auszugehen, dass bei Einsatz von GPS- oder Tachymetersystemen meist ein weniger genaues Messergebnis erzielt wird, da wesentliche Elemente, wie Böschungsober- und -unterkanten, nicht oder nur an wenigen Stellen direkt gemessen werden können.

Vergleichende Genauigkeitsuntersuchungen wiesen nach, dass geeignete Laserscanner für die markscheiderische Betriebskontrolle und die Führung des markscheiderischen Risswerks gemäß § 63 Bundesberggesetz geeignet sind [2].

Eine Ad-hoc-Arbeitsgruppe des Deutschen Markscheider-Vereins hat hierzu die „Grundsätze zum Einsatz von luftgestützten und terrestrischen Laserscanneraufnahmen im Bergbau“ [1] erarbeitet. Die hohe Flächengenauigkeit des Verfahrens kann im Übrigen mit herkömmlichen Messmethoden nicht oder nicht wirtschaftlich erreicht werden. Dies ist insbesondere für Volumenermittlungen von Bedeutung.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für Laserscanner sind vergleichsweise hoch. Abgesehen von Spezialvermessungen wird daher ein Einsatz für Tagebaufurmaße ab ca. 7 bis 10 ha Größe wirtschaftlich. Die Wirtschaftlichkeit ist dabei abhängig von der Strukturvielfalt der Aufnahmebereiche. Mit zunehmender Größe der Aufmaßfläche steigt der Zeit- bzw. Kostenvorteil erheblich.

Fazit

Der Einsatz eines terrestrischen Laserscanners ist eine interessante und wirtschaftliche Option für die Vermessung von Tagebauen der Steine-Erden-Industrie geworden. Die besondere Stärke des Verfahrens liegt dabei in der schnellen und lückenlosen Erfassung großer Flächen. Für den Einsatz entstehen keine zusätzlichen Kosten gegenüber herkömmlichen Verfahren. Die Messergebnisse des Laserscannings lassen sich bei vergleichbarer Genauigkeit problemlos in den Datenbestand sonstiger Aufmaße integrieren und umgekehrt. Aufgrund der hohen Punktdichte lassen sich digitale Geländemodelle als Grundlage für Volumenermittlungen deutlich rationeller erzeugen.

Ein zusätzlicher Nutzen des Verfahrens besteht darin, dass man mit der Aufnahme der Punktwolke automatisch ein quasi-fotorealistisches dreidimensionales Modell des Messobjekts erhält. So lassen sich sehr kostengünstig die Basisdaten für wirklichkeitsnahe Visualisierungen gewinnen, wie sie beispielsweise im Zuge von Genehmigungsverfahren für Steinbrucherweiterungen von Bedeutung sein können.

Literatur

- [1] Deutscher Markscheider-Verein, Ad-hoc-Arbeitsgruppe Laserscanning: Grundsätze zum Einsatz von luftgestützten und terrestrischen Laserscanneraufnahmen im Bergbau. Entwurf vom 07.08.2007
- [2] Dressel, Cordula: Der Einsatz von terrestrischen 3-D-Laserscannern im übertägigen Bergbau und die Verwendung der Messungs- und Berechnungsergebnisse bei der Erstellung des Risswerkes § 63 Bundesberggesetz. Häusliche Prüfungsarbeit zur Großen Staatsprüfung für den Höheren Staatsdienst im Markscheidefach. 27.06.2006 (unveröffentlicht)
- [3] Fugmann, Jörg: Zum Einsatz von Laserscannern in Steine-Erden-Tagebauen. In: Deutsch-Russisches Forum – Workshop zum Einsatz von Laserscannern TFH Bochum 18./19.10.2007
- [4] Ostenrieder, Moritz und Jörg Fugmann: Aufmaße und Massenermittlungen mit terrestrischen Laserscannern – schnell, exakt und wirtschaftlich. Aggregates International, Heft 3, 2007.

Kontakt

Jörg Fugmann
 Markscheider Dipl.-Ing.
 arguplan GmbH
 Vorholzstraße 7
 76137 Karlsruhe
 Tel. 0721-16 11 00
 www.arguplan.de