

# Laserscanning im Tagebau



Abb. 1  
Laserscanningsystem

## Keine Angst vor Billigfliegern

Sicherheit, Geschwindigkeit, Verlässlichkeit und Preis sind die maßgeblichen Entscheidungsfaktoren bei der Auswahl eines Vermessungsverfahrens für Abbaubetriebe der Steine-Erden-Industrie. Bisher standen hier das konventionelle Aufmaß mit Totalstation und Reflektoren, luftgestützte fotogrammetrische Verfahren oder der Einsatz von GPS-Empfängern zur Verfügung. Bei der flugzeug- oder satellitengestützten Fernerkundung der Erdoberfläche sind dagegen seit langem auch Laserscanner als etablierte Messsysteme im Einsatz. In den letzten Jahren

sind die bestehenden Hard- und Softwarelösungen für einen terrestrischen Einsatz des Laserscanning weiterentwickelt und optimiert worden. Zahlreiche Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Methode damit eine interessante Option für die Vermessung von Tagebauen der Steine-Erden-Industrie geworden ist.

Das terrestrische Laserscanning arbeitet mit einem Messsystem, das analog zu elektrooptischen Instrumenten vor Ort zum Einsatz kommt. Der Laserscanner, der im Gelände aufgestellt wird (s. Abb. 1), ist

eine Kombination aus Entfernungsmessung und Richtungsmesseinheit. Mittels eines kontrolliert abgelenkten Laserstrahls wird dabei das Geländeprofil linienweise in einem sehr engen Punktraster abgetastet. Einige Systeme bieten zusätzlich die Möglichkeit, einen Intensitätswert und/oder den RGB-Echtfarbwert der Messpunkte aufzuzeichnen.

Zum Aufbau eines dreidimensionalen Modells muss das Zielobjekt in der Regel von mehreren Standpunkten aus gescannt werden. In diesem Falle besteht der erste Schritt der Datenverarbeitung in der Orientierung der Aufnahmen in einem lokalen oder globalen Koordinatensystem. Dies kann in verschiedener Weise erfolgen. Entweder existieren mindestens drei eindeutige Referenzpunkte, die als solche durch besondere Signalisierung mitgescannt werden, oder die Scans können über die Koordinaten der Aufnahmepunkte und eine Referenzrichtung orientiert werden.

Bereits vor Ort ist anhand der visualisierten Punktwolke eine erste Kontrolle des Messergebnisses möglich. Anschließend werden die Daten in einer speziellen Software ausgewertet. Nach der Orientierung der Aufnahmen wird mittels einer Vielzahl von automatischen und halbautomatischen Filterfunktionen der Datenbestand auf die jeweils gewünschte Information reduziert.

### Entfernungsmessung

Man teilt die terrestrischen Laserscanner abhängig von ihrer maximalen Reichweite (range) in drei Gruppen ein:

- Close-Range-Scanner mit einer maximalen Reichweite von 2 bis 3 m,
- Mid-Range-Scanner mit einer maximalen Reichweite von 500 bis 1.000 m,
- Long-Range-Scanner mit einer maximalen Reichweite von mehreren Kilometern.

Aufgrund der Erfahrungen der Autoren, die sich besonders auf Anwendungen im Bergbau konzentrieren, beziehen sich die folgenden Ausführungen auf die Mid-Range-Scanner.

Zurzeit sind zwei Scannertypen auf dem Markt, die jeweils unterschiedliche Verfahren zur Entfernungsmessung nutzen: das Laufzeitverfahren und das Phasenver-

gleichsverfahren. In der Tagebauvermessung kommen in der Regel Scanner zum Einsatz, die nach dem Laufzeitverfahren arbeiten. Grund dafür ist die Möglichkeit wesentlich höherer Reichweiten (350m) mit einem augensicheren Laser (Laserklasse 1). Als Signalüberträger dient ein gepulster kurzwelliger Laserstrahl, erzeugt von Halbleiterdioden mit Wellenlängen im grünen oder infraroten Bereich. Zur Messung wird ein Signal ausgesandt (Start der Zeitnahme). Der emittierte Strahl trifft auf die Oberfläche des Zielobjektes, wo er diffus reflektiert wird. Einen Teil des reflektierten Signals registriert der Detektor im Instrument (Stopp der Zeitnahme). Mit Hilfe der Laufzeit des Signals berechnet der Microcomputer im Scanner die wahre Entfernung zwischen Sensor und Zielpunkt.

## Richtungsmessung

Zur Bestimmung der Position eines Zielpunktes im Raum genügt die Entfernung allein aber nicht. Zusätzlich sind auch die horizontale und die vertikale Richtung zu ermitteln, die sich infolge der flächigen Abtastung für die einzelnen Messstrahlen ergeben. Die jeweilige Ablenkung des Strahls, welche entweder über eine Bewegung der gesamten Scannereinheit durch Schrittmotoren oder mit Hilfe rotierender Spiegel erfolgt, muss hierzu erfasst werden. Aus der Aufzeichnung der vertikalen und horizontalen Winkel von Emissions- und Empfangssignal lassen sich die Richtungs- und Neigungswinkel zur Bestimmung der polaren Punktkoordinaten errechnen. Dabei werden Winkelauflösungen unter  $0,01^\circ$  erreicht. Die Transformation in kartesische Koordinaten erledigt anschließend der Computer.

## Weitere Informationen

Wie bereits geschildert, bieten einige Scanner neben der Aufnahme geometrischer Daten die Möglichkeit, einige weitere Objektinformationen aufzuzeichnen. Ein wichtiger Parameter ist die Intensität des empfangenen Signals. Ihr Wert hängt von der Entfernung und von den Flächeneigenschaften des Objektes ab. Diese Abhängigkeiten machen den Intensitätswert zu einem guten Hilfsmittel für eine erweiterte Interpretation der geometrischen Daten. So wird zum Beispiel die Unterscheidung verschiedener geologischer Schichten innerhalb einer Formation ermöglicht. Einige Scanner zeichnen auch den RGB-Farbwert der Zielpunkte auf.

Dieser wird über einen koaxialen Pixel-sensor ermittelt, der die Information simultan zur Richtungs- und Entfernungsmessung aufnimmt. Diese Methode ermöglicht die Präsentation der Punktwolken einer aufgenommenen Szene als nahezu fotorealistisches 3-D-Modell. Außerdem ist sie ein nützliches Werkzeug zum Auffinden und Auswerten geologischer Strukturen.

## Fallbeispiel Steinbruchaufmaß

Das folgende Beispiel beschreibt den Arbeitsablauf während eines Messprojektes und gibt Anhaltspunkte für die Dauer der einzelnen Arbeitsschritte. Aufzunehmen war ein Kalksteinbruch mit etwa 15 ha Grundfläche mit steilen Abbauwänden. Zur Fortschreibung des existierenden Planwerkes sollten sämtliche Abbau- und Kippenböschungen erfasst werden. Aus den Messdaten sollte ferner ein digitales Geländemodell erzeugt werden, um eine EDV-gestützte Volumenbestimmung für die gewonnene Rohstoffmenge und das eingebrachte Verfüllmaterial durchführen zu können.

Zum Einsatz kam das I-SiTE 3D Laser Imaging System. Wesentliche Komponente ist der Laserscanner Rieggl LMS-Z210, der die Entfernungsmessung nach dem Laufzeitverfahren vornimmt. Die erzielbare Punktgenauigkeit des Gerätes innerhalb seiner Reichweite (bis etwa 400 m) liegt im Zentimeter- bis unteren Dezimeterbereich und war damit für den Einsatz-

zweck voll ausreichend. Die Bedienung und Messsteuerung erfolgt mittels Laptop und der entsprechenden Software.

Durch geeignete Wahl der Standorte und Aufnahmerichtungen konnte die Anzahl der Aufnahmepunkte für den gesamten Steinbruch auf insgesamt vier beschränkt werden. Zur Orientierung wurden auf dem Gelände zwölf Reflektoren aufgestellt und in den Scans erfasst. Die Lage der Reflektoren wurde mit einer Totalstation eingemessen. Nach vier Stunden schon war der Feldeinsatz beendet; insgesamt waren auf den vier Standpunkten etwa 4,5 Mio. Punkte aufgenommen worden.

Eine erste Prüfung der Plausibilität des Ergebnisses und der Vollständigkeit der Messung erfolgte bereits mittels Laptop vor Ort, da die eingesetzte Software eine orientierte Ansicht der Punktwolke ermöglicht.

Im zweiten Schritt folgte die Auswertung. Mittels der eingesetzten Software I-SiTE Studio wurden die Scans zusammengefügt und georeferenziert. Die Software bietet die Option der automatischen Erkennung der in einem Scan erfassten Reflektoren, deren globale Koordinaten bekannt sind. Mindestens drei Reflektoren müssen dabei erfasst worden sein, um die Lage eines Scans im Raum bestimmen zu können. Aus Genauigkeitsgründen werden in der Regel pro Standort zwischen vier und sieben Reflektoren aufgenommen.

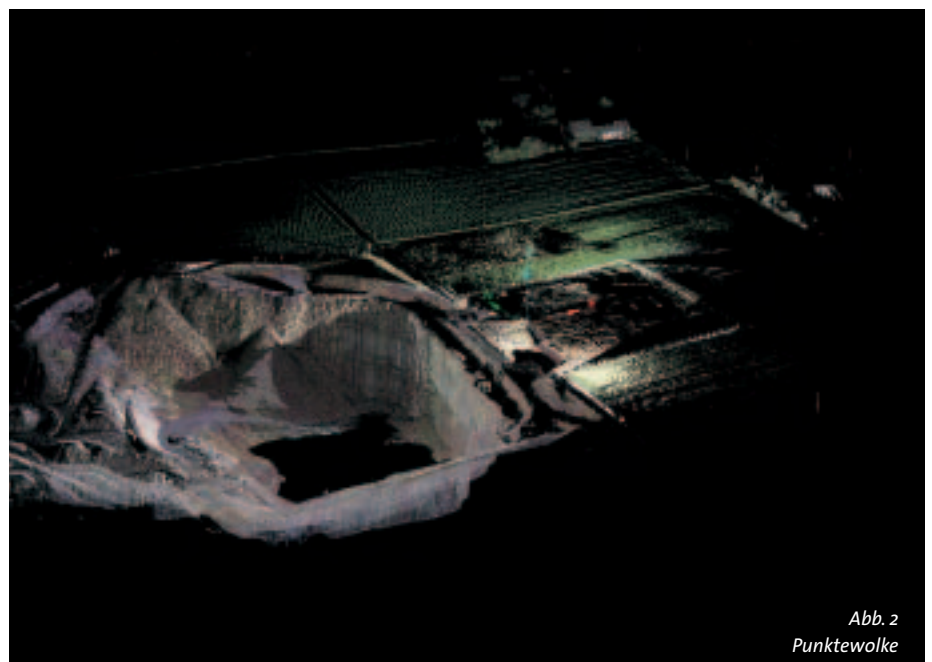


Abb. 2  
Punktwolke

Das Programm bestimmt eine Matrix, nach der ein Scan in seine richtige Position gebracht wird. Die zusammengesetzten Scans ergeben bereits das erste gesamte Bild der Messung (Abb. 2). Da der Laserscanner meist viel mehr als notwendig erfasst, musste die Punktwolke auf den erwünschten Geländeausschnitt reduziert werden. Dies erfolgte über einen sogenannten Polygonfilter. Dabei werden alle Punkte entfernt, die sich nicht innerhalb eines den erwünschten Geländeausschnitt begrenzenden Polygons befinden. Mit einer weiteren wichtigen teilautomatischen Filterfunktion wurden Punkte, die auf Vegetation aufgetroffen sind, aus der Punktwolke entfernt. Anhand des aus der bearbeiteten Punktwolke erstellten ersten Geländemodells (Abb. 3) erfolgte eine letzte Überarbeitung der Rohdaten. In diesem Schritt lassen sich beispielsweise Fehler erkennen und eliminieren, die beim Auftreffen des Laserstrahls auf eine Wasseroberfläche entstehen können. Die Punkte wurden entfernt und die Triangulation über verschiedene Reparaturfunktionen wieder geschlossen. Mit Hilfe der fertigen Triangulation ließen sich jetzt bereits sämtliche Volumenbestimmungen durchführen. Dazu werden im Computer wie gewohnt die Oberflächen von zwei verschiedenen Tagebauständen miteinander verschnitten und deren Verschneidungsvolumina bestimmt. Zur Erzeugung eines Lageplans erfolgte schließlich noch eine weitere Reduktion der Punktemenge durch Erfassung der Bruchkanten der Ab-

bau- bzw. Kippenböschungen. Die I-SiTE-Software verfügt dazu über eine Filterfunktion, deren Ziel das Herausfiltern aller derjenigen Punkte aus einer Szene ist, die keine Kantenpunkte sind. So wird der Datenbestand auf die Punkte reduziert, welche entlang einer Geländekante aufgenommen wurden. Diese Punkte werden dann mittels der „Smart Line“-Funktion zu Linien verbunden, die dann die Bruchkanten darstellen. Insgesamt dauerte die beschriebene Auswertung des Datensatzes rund acht Stunden.

### Ausblick

Die Erfahrungen mit weiterentwickelten terrestrischen Laserscanner-Systemen zeigen, dass ein Einsatz in Tagebauen der Steine-Erden-Industrie bereits ab einer Größe der aufzunehmenden Fläche von 10 ha wirtschaftlich sein kann. Gegenüber einer konventionellen Vermessung vorteilhaft sind die mit zunehmender Flächengröße erheblich geringeren Messzeiten. Zudem können auch schwierig oder gar nicht begehbare Bereiche wie etwa Kippenböschungen differenziell erfasst werden. Insbesondere in Steinbrüchen mit steilen Böschungen und hohen Abbauwänden sind Laserscanner den GPS-Systemen wegen des eingeschränkten Satellitenempfangs im Vorteil. Im Vergleich zu sonstigen luftgestützten Verfahren entfällt aufgrund der geringen Rüstzeit vor Ort der hohe vorlaufende Aufwand jedes Messeinsatzes. Die Auswertungssoftware ermöglicht eine Verarbeitung der

Messdaten in einer dem tachymetrischen Aufmaß vergleichbaren Form, d. h. es entstehen keine zusätzlichen Kosten für den Ersteinsatz. Darüber hinaus lassen sich in die Messergebnisse des Laserscanning auch problemlos zukünftige Detailaufmaße integrieren – und umgekehrt. Ein zusätzlicher Nutzen des Verfahrens besteht darin, dass man mit der Aufnahme der Punktwolke automatisch ein quasifotorealistisches dreidimensionales Computermodell eines Messobjekts erhält. Hiermit lassen sich außerordentlich kostengünstig die Basisdaten für wirklichkeitsnahe Visualisierungen gewinnen, wie sie beispielsweise für die Genehmigungsfähigkeit von Erweiterungsvorhaben entscheidend sein können.

### Die Autoren

Dipl.-Bergingenieur Moritz Ostenrieder ist Inhaber des Ingenieurbüros Ostenrieder in Grünwald bei München. Das Ingenieurbüro ist spezialisiert auf Fragen der Qualitätssteuerung in Rohstoffbetrieben und bietet seit einigen Jahren terrestrisches Laserscannen insbesondere für Bergbaubetriebe an.

#### Kontakt:

#### Ingenieurbüro M. Ostenrieder

Auf der Eierwiese 1

D - 82031 Grünwald

Telefon: +49 (0) 89 - 64 91 97 92

Telefax: +49 (0) 89 - 64 91 97 93

E-mail: [ingbuero@ostenrieder.de](mailto:ingbuero@ostenrieder.de)

Internet: [www.ostenrieder.de](http://www.ostenrieder.de)

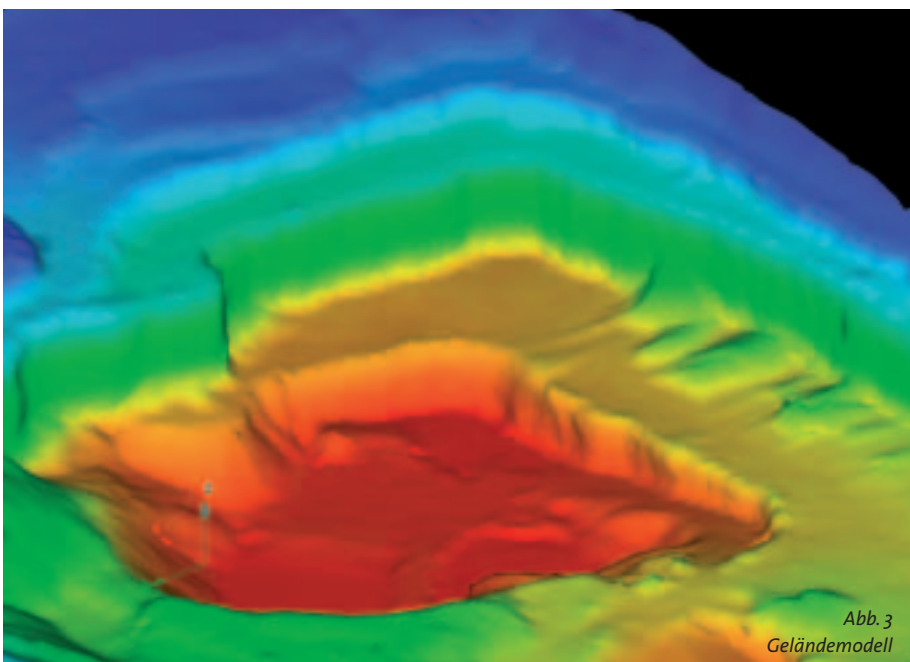


Abb. 3  
Geländemodell

Markscheider Dipl.-Ing. Jörg Fugmann ist geschäftsführender Gesellschafter der arguplan GmbH in Karlsruhe. arguplan ist spezialisiert auf die Vermessung von über- und untertägigen Rohstoffgewinnungsbetrieben, erarbeitet Antragsunterlagen und Gutachten für behördliche Genehmigungsverfahren und berät Unternehmen der Steine-Erden-Industrie zu allen Fragen des Lagerstättenmanagements.

#### Kontakt:

#### arguplan GmbH

Karlstraße 123

D - 76137 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 7 21 - 1 61 10 - 0

Telefax: +49 (0) 7 21 - 1 61 10 - 10

E-mail: [info@arguplan.de](mailto:info@arguplan.de)

Internet: [www.arguplan.de](http://www.arguplan.de)