

Basisgrundlage für Desastermanagement – Digitale Höhenmodelle generiert mit Airborne Laser Scanning – Anwendungen aus Projekten

Sven Jany

Milan Flug GmbH, Schäferestraße 24, 03130 Spremberg OT Schwarze Pumpe, Email: s.jany@milan-flug.de

Das Verfahren des Airborne-Laserscannings hat sich in den letzten 10 Jahren weltweit einen festen Platz bei der Generierung von digitalen Höhenmodellen (DHM) verschafft. Die Datenmodelle bilden, sowie sind Basis für Planungsgrundlage im Bergbau, der Wasserwirtschaft, des Straßen- und Städtebaues und vielen anderen Bereichen.

Aufgrund der hohen Durchdringungsfähigkeit in Vegetationsbereichen mittels des Airborne Laser Scanning Verfahrens ist es möglich zwei separate aber flächenkonforme Digitale Höhenmodelle zu erzeugen:

- das DSM (digital surface model) Oberflächenmodell mit Vegetation und Bebauung
- das DTM (digital terrain model) Bodenmodell ohne Vegetation und Bebauung

Die Laser Scann Systeme sind im Flugzeug bzw. Helikopter fest integriert und es werden heute bis zu 90.000 Lasermesswerte pro Sekunde gesendet sowie empfangen. Aus den Lasermesswerten wird in der Regel ein geometrisches Raster mit variabler Rasterweite (1 m–100 m) erzeugt.

1 Prinzip- und Funktionsweise

Digitale Höhenmodelle, erzeugt mittels dem Airborne Laser Scanning, werden heute mit einer Rasterweite bis zu 1 m und besser sowie einer Höhenauflösung von 0,01 m erstellt. Die Lagegenauigkeit der Höhenmodelle ist (für jeden Rasterpunkt) besser als $\pm 0,5$ m und die absolute Höhengenaugigkeit (gegenüber dem lokalen Geoid) ist besser als 0,15 m (gültig für 95,7 % bzw. 2σ aller Rasterwerte).

Grundlage sind Laserscanner, die bei hohen Messraten (bis zu 100.000 Hz) eine mittlere Messdichte von etwa 4 Messwerten je m^2 erlauben. Die hohe Messdichte stellt sicher, dass auch relativ kleinräumige Strukturen wie Entwässerungsgräben, Dämme oder Bruchstrukturen zuverlässig erkannt werden. Darüber hinaus gewährleistet diese Messdichte die sehr genaue Lokalisierung von Bruchkanten oder Gebäudeumrissen. Das übliche Reihenhaus mit $80 m^2$ Grundfläche wird mit etwa 400 Messungen erfasst und im 1-m-Raster mit 80 Höhenwerten beschrieben.

Die Basisverarbeitung der Laserscannerdaten führt zu einem Höhenmodell, das präzise die Geländeoberfläche (Oberkante der Vegetation, Dachhöhen der Häuser etc.) beschreibt; ein derartiges Höhenmodell wird oft auch **DSM, Digital**

Surface Model genannt. In einem weiteren Arbeitsschritt können höhere Vegetation und auch Gebäude entfernt werden, so dass ein Höhenmodell der Erdoberfläche (**DTM, Digital Terrain Model**) berechnet wird.

Die hohe Messdichte bzw. die enge Rasterweite der Höhenmodelle gestattet weitergehende Auswertungen wie etwa die Vektorisierung der Gebäude, die Extraktion von Strukturelementen wie Gräben, Bruchkanten oder Dämmen.

2 Befliegung

Das zuvor bezeichnete Gebiet wird mit einem Laserscanner in einzelnen, parallelen Streifen vollständig befliegen, wobei alle für eine spätere Auswertung notwendigen Daten erfasst werden. Quer zur Flugrichtung überlappen sich diese Streifen. Damit die vorgeplanten Flugstreifen möglichst genau eingehalten werden, wird zur Flugführung eine Navigationseinrichtung mit dGPS Stützung eingesetzt.

Die Messdaten sämtlicher Sensoren (GPS, Inertial Navigation System (INS), Laserscanner, RGB-Scanner) werden synchron aufgezeichnet. Zusätzlich registriert mindestens eine Bodenstation GPS-Daten für die spätere dGPS Berechnung des Flugpfades.

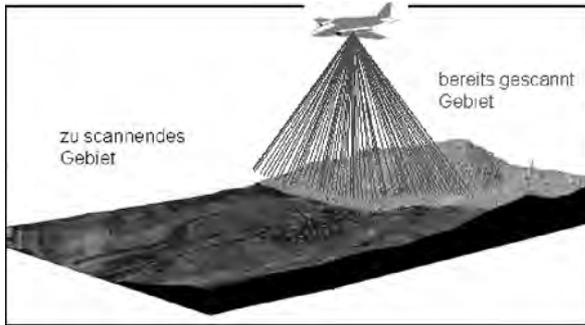


Abb. 1: Schematische Darstellung des Laserscanning-Verfahrens bei der Überfliegung eines Gebietes.

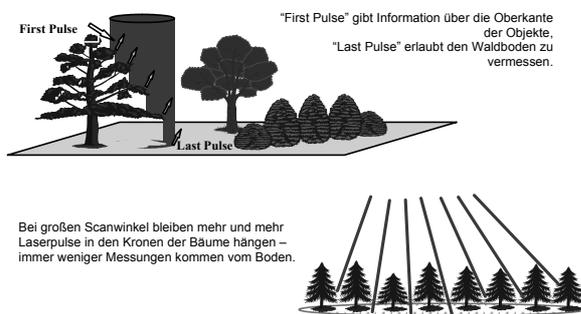


Abb. 2: First- und Last-Pulse Erfassung

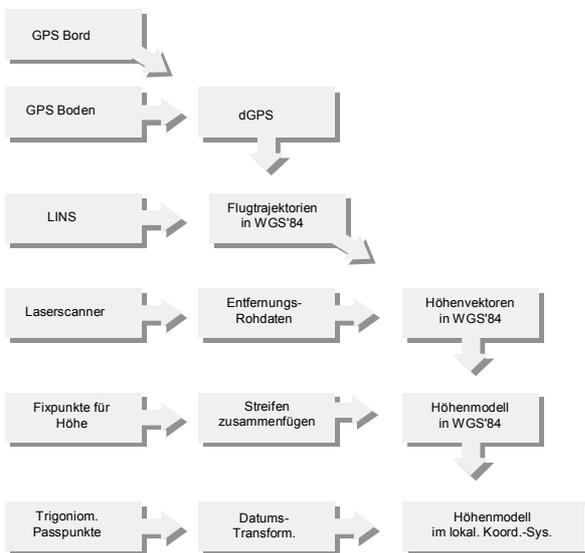


Abb. 3: Algorithmusablauf für die Erstellung eines Höhenmodells.

3 Erfassen der Höhendaten

Heutige Laserscanner führen bis ca. 100.000 Entfernungsmessungen in der Sekunde aus. Bedingt durch den Systemaufbau, ist die Messpunktdichte konstant und hängt nur von der gewählten Flughöhe ab. Bei einer Flughöhe von 850 m mit einem Flächenflugzeug bei einer Fluggeschwindigkeit von 60...70 m·s⁻¹ ergibt sich eine mittlere Messpunktdichte von etwa fünf Messungen pro m².

4 Datenverarbeitung

Der erste Verarbeitungsschritt ist die Synchronisation der Laserdaten und der Positionsdaten, die beide mit einer genauen GPS Zeit versehen wurden.

Bei den hohen Messraten der Laserscanner sind benachbarten Zeilen in Flugrichtung nur etwa 0,1 m entfernt. Daher wird hier schon auf eventuelle Fehlmessungen untersucht und die Datenmenge durch Plausibilitätsprüfungen reduziert. Die Art der Datenreduktion (sog. First- oder Last Pulse) orientiert sich an der Anwendung:

- Wird ein genaues Bodenmodell DTM gesucht, werden größere Entfernungen (niedrigere Bodenhöhe) bevorzugt.
- Für ein Oberflächenmodell DSM werden dagegen Messungen mit geringeren Entfernungen (größere Höhen) bevorzugt.
- Für spezielle Auswertungen kann die Datenreduktion in diesem Schritt unterdrückt werden.

Die Position des reflektierenden Objekts auf der Erdoberfläche wird aus der – nach Datenreduktion und Kalibrierung – berechneter Entfernung sowie der Position und der Orientierung des Sensors berechnet. Hierbei wird zusätzlich in das Zielkoordinatensystem umgerechnet und gleichzeitig die Geoidkorrektur angebracht (z.B. Deutschland nach Denker). Nach diesem Schritt liegen alle Messdaten im endgültig gewünschten Koordinatensystem (z. B. GK, Meridianstreifen 9°, Bessel Elipsoid, Datum Potsdam, Pegel Amsterdam) vor.

Sofern keine allgemeingültigen Transformationsparameter vorliegen oder der Kunde keine geeigneten Transformationsparameter beistellen kann, können lokale Transformationsparameter aus mindestens sieben sowohl in WGS84 als auch im lokalen Koordinatensystem bekannten Punkten ermittelt werden.

Am Ende dieses Arbeitsschrittes liegen die gemessenen Höhen für jeden Flugstreifen in metrischen Zielkoordinaten als Datei vor.

5 Verknüpfung der Daten

Im nachfolgenden Schritt wird aus den einzelnen Flugstreifen ein flächendeckendes Modell erzeugt. Hierzu werden die Daten des einzelnen Flugstreifens in ein regelmäßiges Raster überführt, das üblicherweise die doppelte Auflösung hat wie das zu liefernde Raster.

Bevor die Daten zu einem flächigen Modell zusammgeführt werden, wird geprüft, ob benachbarte Streifen in Lage und Höhe fehlerfrei zueinander passen. Hier ist festzuhalten, dass die Konstellation der GPS Satelliten je nach Befliegungszeitpunkt zu erheblichen Lage- und Höhenfehlern führen kann. Im Gegensatz zu stationären DGPS Berechnungen können bei den hohen Fluggeschwindigkeiten die Mehrdeutigkeiten (Ambiguities) nicht immer ausreichend genau berechnet werden. Daher ist eine Prüfung und eventuelle Anpassung benachbarter Flugstreifen (besonders wenn sie nicht kurz nacheinander befliegen wurden) unvermeidbar.

Zum Schluss wird das Höhenmodell auf die endgültige Rasterweite gebracht. Da hier immer noch wesentlich mehr Messwerte vorliegen, als benötigt werden, wird nochmals der jeweils plausibelste Wert ausgewählt.

Da in allen Arbeitsschritten wesentlich mehr Messwerte vorliegen als schlussendlich benötigt werden, kann auf eine Interpolation zwischen entfernten Werten verzichtet werden.



6 Filterung der Daten zu einem DTM (Bodenmodell)

Das Ergebnis der bisherigen Arbeitsschritte ist ein präzises Oberflächenmodell DSM im Zielkoordinatensystem und gewünschtem Raster (üblicherweise im 1-m-Raster).

In dichter bewachsenen Bereichen enthält allerdings das DSM noch Restvegetation und Bebauung, die für ein Bodenmodell DTM beseitigt werden müssen. Der nachfolgend beschriebene Arbeitsschritt ist für ein Oberflächenmodell nicht notwendig.

Für die Beseitigung der restlichen Vegetation und Bebauung sind mehrere Verfahren entwickelt worden, die je nach lokalen Gegebenheiten verwendet werden. Generell muss allerdings festgehalten werden, dass niedrige Vegetation (Höhe kleiner 1,5 m) nur sehr schwer automatisch von natürlichen Oberflächeneffekten zu unterscheiden ist. Im Allgemeinen können reine Filteralgorithmen ca. 80 % der Vegetation beseitigt werden, der Rest muss interaktiv nachbearbeitet werden.

In den bebauten Gebieten (Städte, Gemeinden) erhält man Messpunkte für die DTM-Herstellung überwiegend auf Straßen-, Hof- und Gartenflächen. Beim 1-m-Raster sind in bebauten Gebieten u.a. die Gebäude etc. nicht mit Höhendaten belegt. Von der möglichen Interpolation der nicht belegten Flächen wird abgeraten, da dies leicht zu Fehlinterpretationen des DTM bei der weitergehenden Nutzung führen kann.

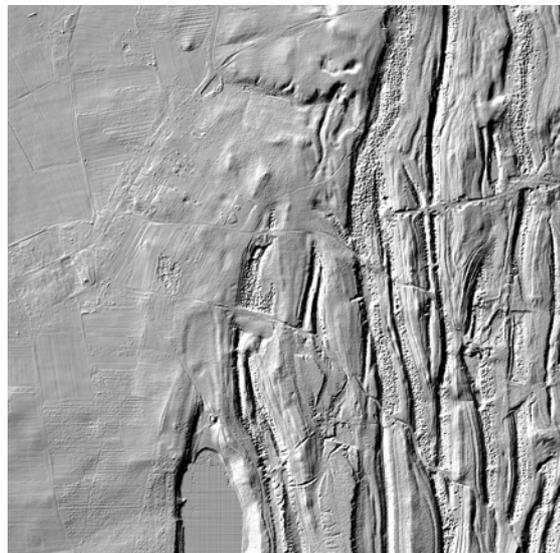


Abb. 4: Sanierungsgebiet Döbern Grube "Felix" bei Bohsdorf, RL 1214, 2 km * 2 km. Im rechten Bildausschnitt sind 4 Mio. Rasterpunkte im 1-m-Raster als sog. Shaded Relief visualisiert.

Für das erst Ende April 2000, mit einem hohen Grad an Vegetation, beflugene Sanierungsgebiet Döbern ist das Digitale Oberflächen Modell (DSM) und das Digitale Geländemodell (DTM) generiert worden (Ausschnitt siehe Abbildung 4). Nach Korrelation der Messpunkte sowie Filterung der Vegetationsbereiche ist die durch den Umgang des Braunkohlentiefbaus erschaffene

Bruchstruktur nicht nur darstellbar sondern auch signifikant messtechnisch erfasst.

Einen kleinen Eindruck von generierten Digitalen Höhenmodellen zeigen die nachfolgenden Abbildungen (5, 6, 7, 8a, 8b).

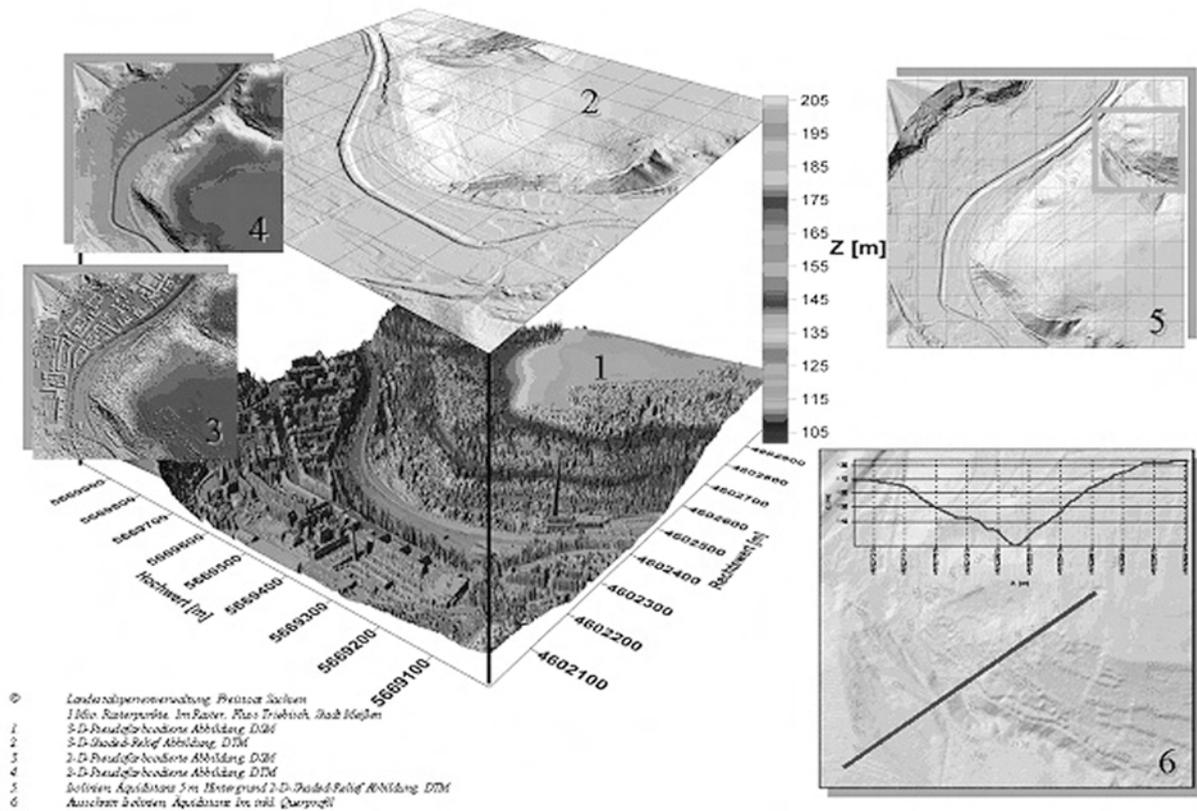


Abb. 5: LTV Freistaat Sachsen, 3-D-Stadt Meißen, 1 Mio. Rasterpunkte, 1m Raster.

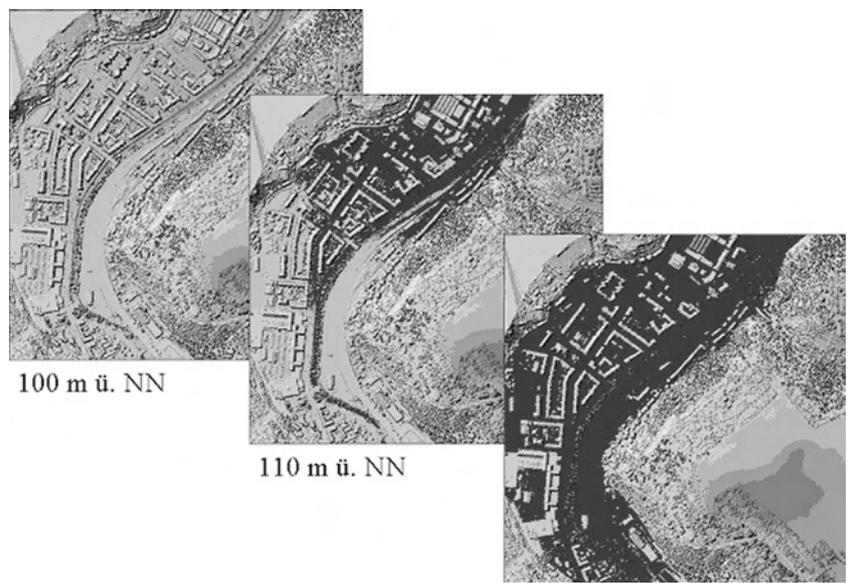


Abb. 6: LTV Freistaat Sachsen, 3-D-Stadt Meißen, Simulation Überflutung.

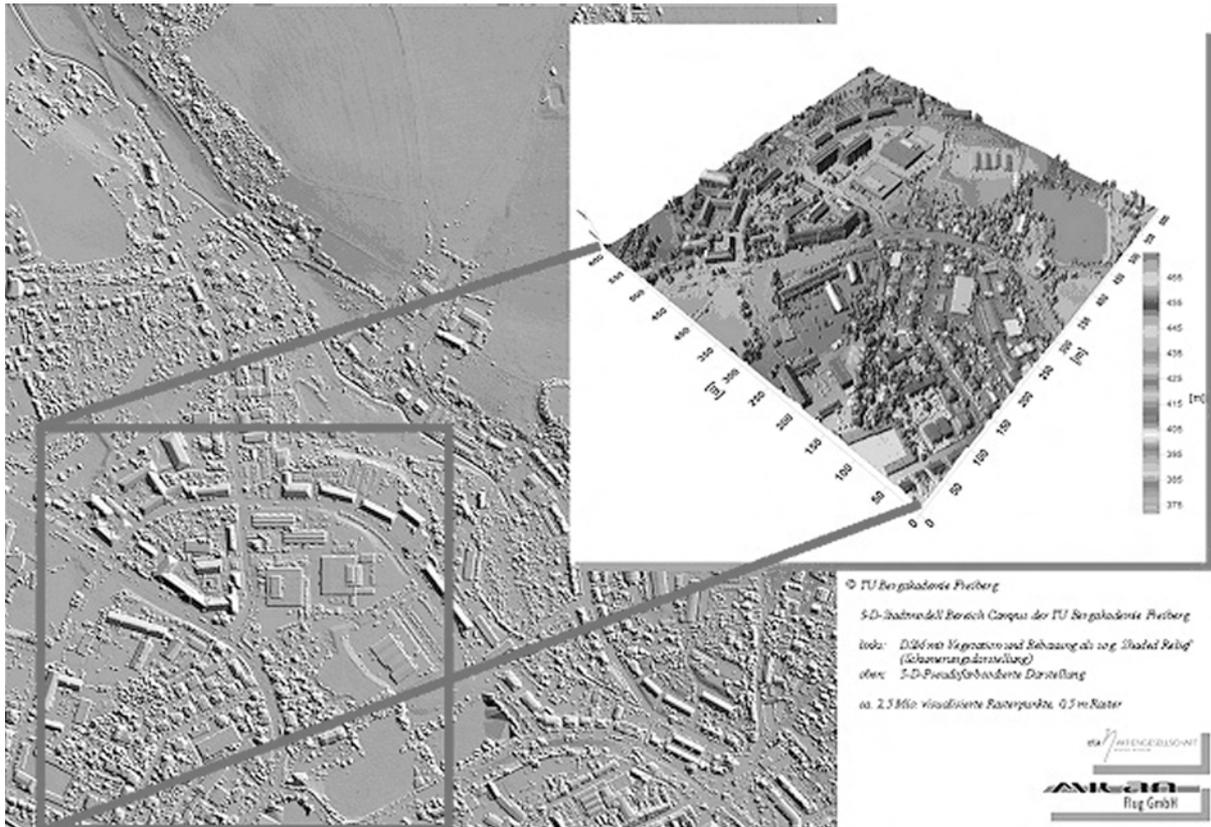


Abb. 7: 3-D-Stadtmodell, Campus TU Bergakademie Freiberg, ca. 2,5 Mio. Rasterpunkte, 0,5 m Raster.

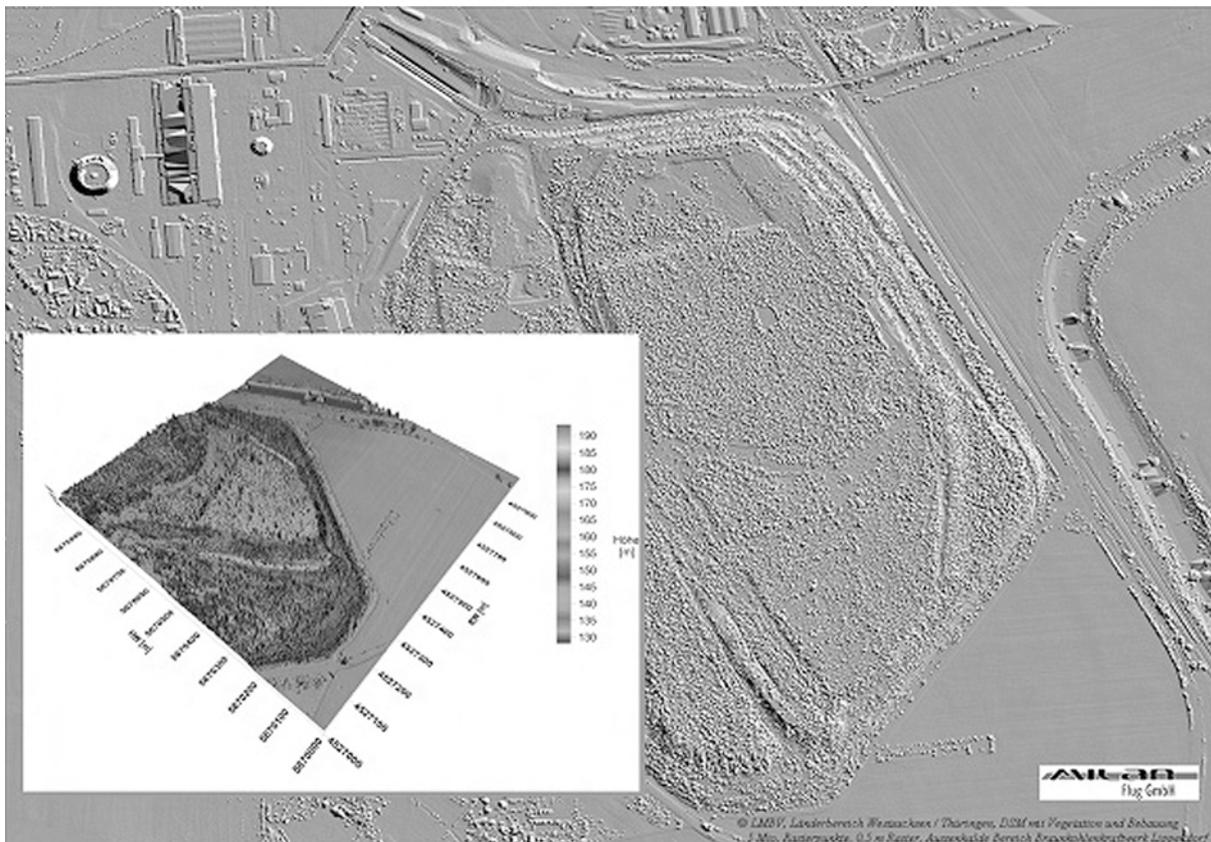


Abb. 8a: Bergbauhalde Lippendorf, AG Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungs-gesellschaft, ca. 5 Mio. Rasterpunkte visualisiert, Oberflächenmodell mit Vegetation und Bebauung.

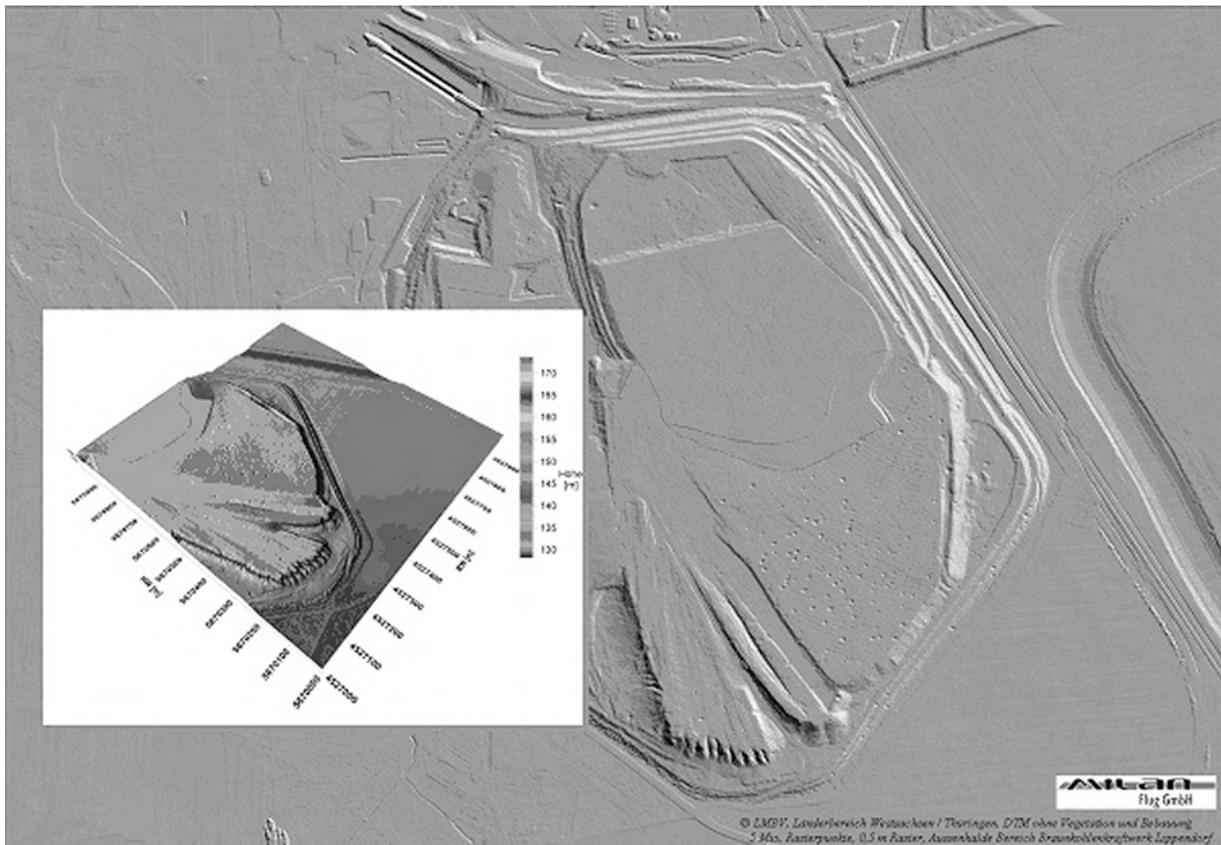


Abb. 8b: Bergbauhalde Lippendorf, AG Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft, ca. 5 Mio. Rasterpunkte visualisiert, Bodenmodell ohne Vegetation und Bebauung.