

Aufbau eines hochauflösenden Digitalen Geländemodells in Sachsen-Anhalt

Von Anke von Wnuck und Steffen Patzschke, Magdeburg

Zusammenfassung

Die Erfassung von Höheninformationen der Erdoberfläche ist von jeher eine Aufgabe der geotopographischen Landesaufnahme. Die Nutzung dieser Informationen geht inzwischen weit über die Darstellung als Höhenlinien in topographischen Erzeugnissen hinaus. Heute bilden Höheninformationen in Form von Digitalen Geländemodellen (DGM) und Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) die Grundlage für wirksame Hochwasser- und Lärmschutzmaßnahmen. Aus diesem Grunde sind die Anforderungen an die Genauigkeit dieser Daten enorm gestiegen. Neue Erfassungsmethoden haben in den vergangenen 10 Jahren Einzug gehalten. Der Beitrag gibt eine kurze Einführung in die Laserscannertechnologie und beschreibt den in Sachsen-Anhalt gewählten Ansatz zum Aufbau eines hochauflösenden DGM.

I AdV-Produktstandard für DGM

Die Höheninformationen des Geländes werden in Digitalen Geländemodellen (DGM) beschrieben. Je nach Erfassungsmethode liegen DGM mit unterschiedlicher Genauigkeit vor. Die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) hat im Jahr 2009 den derzeit gültigen Produktstandard für DGM beschlossen [AdV 2009]. Demnach ist das DGM ein digitales, numerisches Modell der Geländehöhen und -formen. Es stellt keine Objekte auf der Erdoberfläche dar (wie z.B. Bäume oder Häuser). Die Geländehöhen und -formen werden durch ein regelmäßiges Gitter im DGM repräsentiert.

Die einzelnen Modellklassen sind mit den Gitterweiten 10 m, 25 m, 50 m, 200 m und 1 000 m bundeseinheitlich und flächendeckend neu festgelegt worden. Einige Bundesländer bieten darüber hinaus Gitterweiten von 1 m, 2 m, und 5 m an. Die Modellklassen spiegeln sich auch in der Bezeichnung der unterschiedlichen DGM wider – DGM1 mit 1 m Gitterweite, DGM25 mit 25 m Gitterweite.

Die Höhengenaugigkeit der Gitterpunkte wird in Prozent der Gitterweite angegeben. Sie liegt bei 5 % im flachen Gelände mit wenig Bewuchs und bei mindestens 15 % im bewegten Gelände mit wenig Bewuchs. Ist die Erdoberfläche stark bewachsen, beträgt die Höhengenaugigkeit mindestens 20 % der Gitterweite. Bedingt durch die Technik der Aufnahmesysteme liegt die maximal zu erreichende Genauigkeit bei 15 cm. Ein DGM1 im flachen Gelände mit wenig Bewuchs hat somit eine Höhengenaugigkeit von 15 cm. Für ein DGM25 im selben Geländetyp liegt die Genauigkeit bei 1,25 m. [AdV 2009]

2 Datengewinnung mit Laserscanning

2.1 Lasertechnologie

Airborne Laserscanning ist eine Methode, Höheninformationen von einem Flugzeug oder Helikopter mittels Entfernungsmessung mit einem Laser zu ermitteln. Auf Basis dieser Entfernungsmessung wird eine „Punktwolke“ bestimmt, die die Erdoberfläche und Objekte auf ihr repräsentiert.

In der klassischen Photogrammetrie werden durch die Kamera die von der Erdoberfläche reflektierten Sonnenstrahlen empfangen und aufgezeichnet. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um analoge oder digitale Aufnahmetechnik handelt. Beim Laserscanning werden die Signale empfangen, die von der Lasereinheit selbst ausgesendet worden sind. Typische Lasereinheiten für flugzeuggetragenes Laserscanning sind nachfolgend zu sehen (Abb. 1).



Abb. 1: Beispiele von Laserscannern; links: Riegl
rechts: Falcon

Die Laser arbeiten mit einer Wellenlänge von 0,8 bis 1,5 μm . Zum Vergleich: ein roter Laserpointer hat eine Wellenlänge von 650 nm, ein grüner von 530 nm. Diese beiden Geräte arbeiten also im Gegensatz zum Laserscanning im Bereich des sichtbaren Lichtes von ca. 400 bis 700 nm.

2.2 Datenerfassung

Die Laserapparatur sendet kurze Laserimpulse mit einer Dauer von ca. 10 ns. Echos dieses Laserimpulses können bei einer Flughöhe von angenommenen 1 000 m nach ca. $6,7 \cdot 10^{-6}$ Sekunden wieder empfangen werden. Erst danach wird der nächste Laserimpuls ausgesendet. So können Außendefrequenzen von 50 bis 100 kHz erreicht werden, d.h., es werden bis zu 100 000 Laserimpulse pro Sekunde gesendet. Diese können in Form des empfangenen und auswertbaren Echos weiterverwendet werden.

Innerhalb der Laserapparatur sorgt ein Spiegelsystem dafür, dass die Laserimpulse nicht immer nur in eine Richtung aus dem Flugzeug abgegeben werden. Dazu werden entweder kippende oder rotierende Spiegelsysteme verwendet. So gelingt es, auf der Erdoberfläche eine Flugspur zu hinterlassen (Abb. 2).

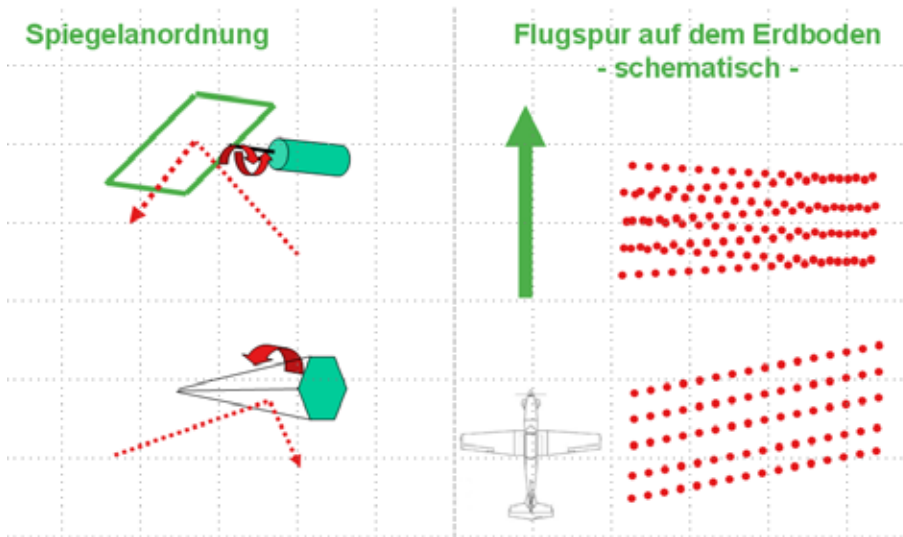


Abb. 2: Spiegelanordnung und resultierende Flugspur

Bei einer mittleren Flughöhe entsteht so auf der Erdoberfläche ein Streifen von bis zu 300 m Breite. Die einzelnen Laserpunkte auf der Erdoberfläche haben Abstände von unter 1 m.

Im Gegensatz zum handelsüblichen Laserpointer, bei dem der Laserpunkt auf der Leinwand tatsächlich als Punkt erscheint, verhält es sich beim Laserscanning anders. Der Laserimpuls hinterlässt auf der Erdoberfläche einen „Fußabdruck“ von 0,5 bis 1 m, der in sich nicht homogen ist. In der folgenden Abb. 3 ist die Intensität eines solchen Abdruckes dargestellt.

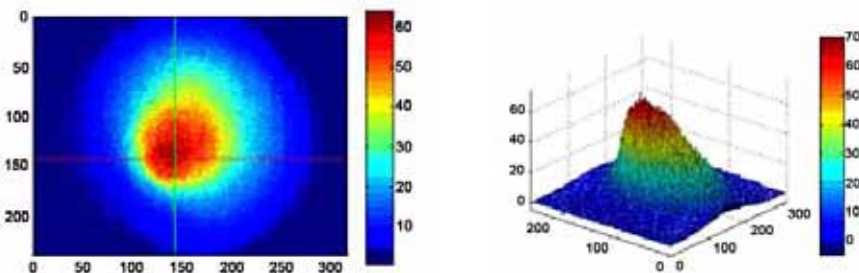


Abb. 3: „Fußabdruck“ Laserpunkt [TU Wien 2009]

2.3 Auswertung des Echos

Der ausgesendete Laserimpuls kommt als mehr oder weniger veränderte Welle zurück. Dies hängt davon ab, auf welcher Art von Oberflächenmaterial der ausgesendete Laserimpuls wie reflektiert wird. Trifft der Impuls beispielsweise schräg auf eine glatte Oberfläche wie Glas oder Metall, wird kein Echo den Empfänger im Flugzeug erreichen. Abb. 4 zeigt, dass je nach Reflektionseigenschaften des Materials und Auftreffen des Impulses eine anders geformte Welle empfangen wird.

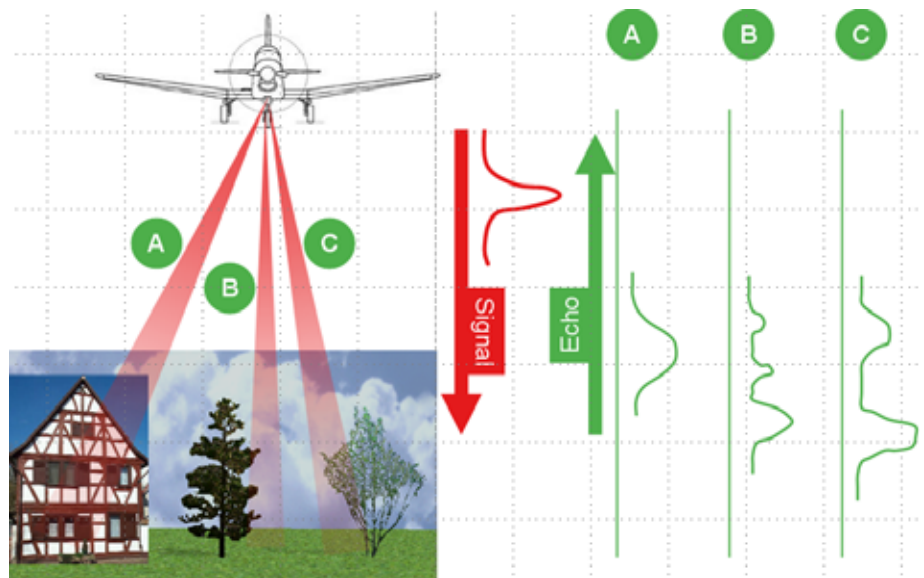


Abb. 4: Signal und Echo

Bisher war es üblich, lediglich den ersten und den letzten Amplitudenhöhepunkt der Welle anzuhalten und aus ihm die Laufzeit des Impulses an diesen Positionen zu bestimmen. Bezeichnet wird dies auch als first and last pulse Erkennung. Im Fall A des obigen Bildes entspricht das erste dem letzten Echo, dies würde sich genau so darstellen, wenn der Laserimpuls direkt auf die Erdoberfläche trifft. Im Fall C trifft der Laserimpuls zunächst auf die Krone des abgebildeten Buschwerks, durchdringt dieses und trifft dann auf die Erdoberfläche. Hier können in der zurück kommenden Welle zwei „Ausschläge“ erkannt werden.

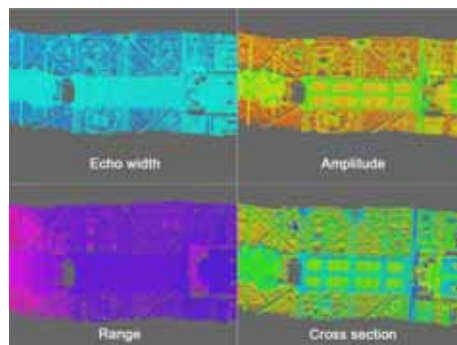


Abb. 5: Visualisierung von Parametern der Wellenauswertung [TU Wien 2009]

Mit Hilfe der Auswertung der vollen Wellenlänge (full waveform laser scanner) ist es im Gegensatz dazu möglich, weitere Reflektionen des Laserimpulses zu erfassen und zusätzliche Informationen zu erlangen. Dies geschieht durch Nachbildung des Wellenteils in Form einer Gaußschen Glockenkurve und Ermittlung der Parameter Amplitudenhöhe und Wellenbreite; sowie weiterer Indikatoren wie beispielsweise der cross section. Die cross section gibt an, wie groß die Reflektion eines Gegenstandes in Richtung der Radarquelle/Laserquelle ist. All diese Indikatoren können im späteren Prozess der Klassifizierung der Daten herangezogen werden. Damit ist es quasi möglich, durch die Vegetation hindurch zu sehen und die Problematik der Interpretation von dichter und niedriger Vegetation zu entschärfen.

2.4 Flugstreifenzusammenführung

Airborne Laserscanning arbeitet als multioperables Sensor-System. Neben dem Scanner und Laserentfernungsmesser sind an Bord des Fluggerätes ein GPS-Empfangssystem sowie ein Inertial Navigation System (INS) installiert. Diese Systeme tragen dazu bei, jedes empfangene Laserecho mit weiteren Informationen, wie Position und Zeitstempel, zu versehen.

Im Ergebnis eines Laserscanfluges erhält man flugstreifenweise Punktwolken. Diese sind zunächst durch eine Flugstreifenanpassung – vergleichbar mit der klassischen Aerotriangulation – zu einem Block zu vereinigen. Als Passpunkte auf der Erdoberfläche werden Referenzinformationen wie Flächen, Linien oder Hausumringe verwendet. Alternativ sind hier auch Gruppen von geneigten Dächern als Passpunkte möglich. Diese Verknüpfung ist in der folgenden Abb. 6 gezeigt.

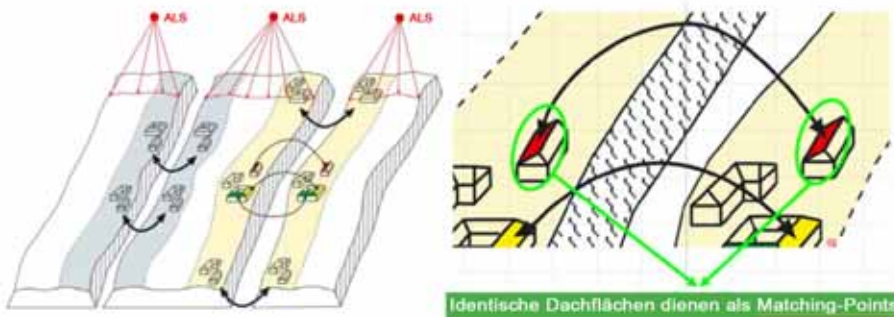


Abb. 6: Flugstreifen-zusammenführung
[TU Wien 2009]

Durch die Verknüpfung der Flugstreifen einerseits sowie die Einbindung von Passinformationen andererseits wird ein stabiler, geodätisch korrekt orientierter Punktverband erhalten [TU Wien 2009]. Abb. 7 zeigt eine farbcodierte Darstellung einer solchen Punktwolke als perspektivische Ansicht (links) und als Draufsicht (rechts).

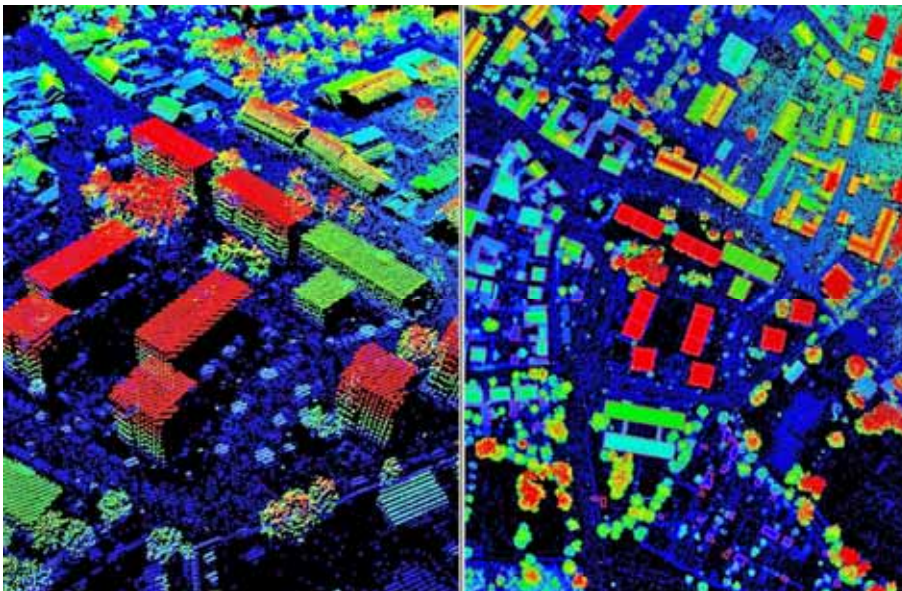


Abb. 7: farbcodierte Darstellung einer Laserscanpunktwolke als perspektivische Ansicht (links) und als Draufsicht (rechts)

2.5 Klassifizierung

Die Höhengenaugigkeit ist beim Laserscanning und in den aus den Laserscanergebnissen abgeleiteten Produkten wesentlich von der Qualität des zurückkommenden Echos des Laserimpulses sowie von der Punktdichte auf der Erdoberfläche abhängig. Die Höhengenaugigkeit ist zusätzlich davon abhängig, inwieweit eine korrekte Zuordnung der einzelnen Laserpunkte zu den Bereichen Bodenpunkte und Nichtbodenpunkte erfolgt.

Durch automatische Prozesse werden die Bodenpunkte von den Nichtbodenpunkten getrennt. Dieser Vorgang heißt Klassifizierung. Die entstehenden Datenbestände sind Rohdaten der klassifizierten Bodenpunkte und Rohdaten der klassifizierten Nichtbodenpunkte. Sie bilden die Grundlage für die Berechnung der beiden Datenbestände DGM und DOM (Digitales Oberflächenmodell). Die korrekte Klassifizierung ist der wesentliche Baustein für die Erlangung eines präzisen Höhenmodells. Die automatischen Methoden liefern hier bereits sehr gute Ergebnisse, auch unter Nutzung der oben beschriebenen zusätzlichen Indikatoren. Trotz aller automatischen Prozesse bleibt immer ein Aufwand zur Nachklassifizierung fehlerhaft interpretierter Punkte. Das Vorgehen in Sachsen-Anhalt wird weiter unten beschrieben.

2.6 Ableitung DGM und DOM

Für die Herstellung eines DGM werden die Punkte aus der Laserscanpunktwolke verwendet, die die Erdoberfläche ohne Vegetation und bauliche Anlagen repräsentieren.

Für die Herstellung des DOM werden die Punkte aus der Laserscanpunktwolke verwendet, die die Vegetation und baulichen Anlagen repräsentieren. In Bereichen ohne Vegetation und baulichen Anlagen entspricht das DOM dem DGM. Die beiden Bilder (Abb. 8) stellen eine Schrägansicht desselben Gebietes dar. Im linken Bild werden ausschließlich die Bodenpunkte zur Visualisierung verwendet; im rechten Bild ist das DOM dargestellt.

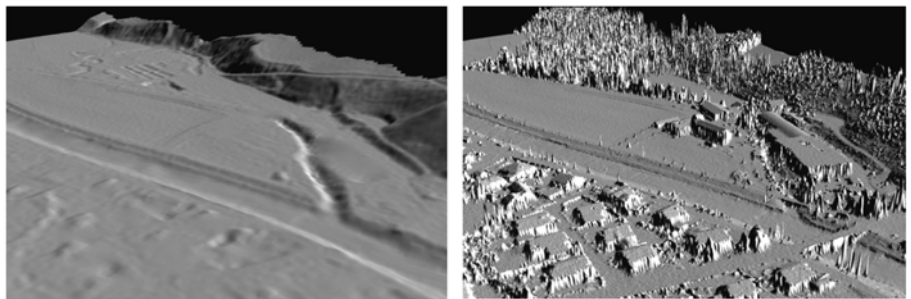


Abb. 8: Darstellung von DGM und DOM

In einem automatischen Prozess wird aus den unregelmäßig verteilten Punkten ein regelmäßiges Gitter berechnet. Dieses Gitter repräsentiert die Geländehöhen und Geländeformen.

3 Digitale Geländemodelle in Sachsen-Anhalt

Digitale Geländemodelle liegen in Sachsen-Anhalt flächendeckend vor und werden neben der Abgabe an Nutzer (z.B. Planungsbüros oder Kommunen) im Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVermGeo) selbst, in erster Linie für die Darstellung der Höhenlinien in den Digitalen Topographischen Karten und für die Erzeugung von Digitalen Orthophotos (DOP) genutzt. Das DGM ist somit ein wesentlicher Bestandteil der geotopographischen Landesaufnahme und der ATKIS® Produktpalette.

Wie in Abschnitt 2.6 beschrieben sind Grundlage eines jeden DGM unregelmäßig verteilte Höhendaten – auch Punktwolken genannt. Durch die Modellbildung mit einer definierten Gitterweite entstehen dreidimensionale Positionsangaben in einem regelmäßigen Punktraster.

Das LVermGeo hält für Sachsen-Anhalt das DGM10 mit einer Gitterweite von 10 m und einer Höhengenaugkeit von 0,5 bis 1 m als blattschnittfreien Grunddatenbestand vor. Für die Erzeugung dieses Grunddatenbestandes wurden Anfang der 1990er Jahre die Höhenlinien der damals aktuellen Topographischen Karten im Maßstab 1:10 000 (TK10) digitalisiert. Aus den so erzeugten Daten konnte anschließend das DGM mit einem regelmäßigen 10 m-Gitter abgeleitet werden. Die Ersterfassung der Höhenlinien reicht bis in die Zeit um 1960 zurück, der Uraufnahme des Topographischen Kartenwerks im Maßstab 1:10 000. Gewässer und Tagebaue sind Beispiele, für die in diesen Karten keine Höhenlinien vorlagen. Demzufolge enthält das DGM10 an diesen Stellen auch keine Höheninformationen sondern sogenannte Aussparungsflächen (Abb. 9).



Abb. 9: violett dargestellt: noch vorhandene Aussparungsflächen im DGM10, Stand: November 2009

Die Aufgabe der Mitarbeiter im Dezernat Geotopographische Landesaufnahme ist es bis heute, neben der Fortführung der Daten, diese Aussparungsflächen mit Höheninformationen zu füllen. Hierzu werden auf die Erdoberfläche, die mit Hilfe eines Stereobildpaares virtuell erzeugt wird, Messmarken gesetzt und Höheninformationen digitalisiert. Gleichzeitig wird das DGM an den Stellen fortgeführt, an denen sich im Laufe der Jahre die Höheninformationen verändert haben. Hierzu zählen hauptsächlich Baumaßnahmen an Verkehrswegen und an Hochwasserschutzdeichen. Für diese Arbeiten stehen moderne Stereoarbeitsplätze zur Verfügung (Abb. 10).



Abb. 10: moderner Stereoarbeitsplatz (Bild: O. Peters)

Eine weitere Modellklasse ist das DGMI. Es wird als hochgenaues DGM bezeichnet und liegt mit einer Gitterweite von 1 m und einer Genauigkeit von 0,15 m vor. Auf Grund der hohen Genauigkeit ist das DGMI für Anwendungen rund um den Hochwasserschutz gut geeignet. Nicht zuletzt durch das Elbe-Hochwasser des Jahres 2002 ist die Sensibilität für genaue Höheninformationen gestiegen. Mehr und mehr begannen die Verwaltungen in Sachsen-Anhalt und auch in anderen Bundesländern mit dem Aufbau von Höhenmodellen, deren Genauigkeit und vor allem Punktdichte die bisher vorhandenen Modelle deutlich überragten. Vorreiter in Sachsen-Anhalt waren einerseits die Bundesanstalt für Gewässerkunde (bfg) sowie der Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW). Zusammen mit diesen beiden Institutionen erfolgte seit Anfang des neuen Jahrtausends die Datengewinnung und Auswertung zum Aufbau hochauflösender Geländemodelle. Den vorläufigen Höhepunkt der Datengewinnung bildete eine landesweite Laser-

scanbefliegung im Jahre 2009. Dieses Projekt wurde vom LHW und vom LVerGeo gemeinsam realisiert.

Bis 2008 hat der LHW kleinräumige Laser-scanbefliegungen von hochwassergefährdeten Gebieten durchgeführt (Abb. 11). Seit Jahren werden die Projekte des LHW durch das LVerGeo unterstützt, da neben der eigentlichen Laser-scanbefliegung auch Vermessungsarbeiten durchgeführt werden müssen. Die Daten aus den Projekten werden im LVerGeo genutzt und stehen im Rahmen der Benutzung des Geobasisinformationssystems allen potentiellen Nutzern zur Verfügung. In den Jahren von 1998 bis 2007 wurde so ein DGMI für ca. 15 % der Landesfläche erzeugt.

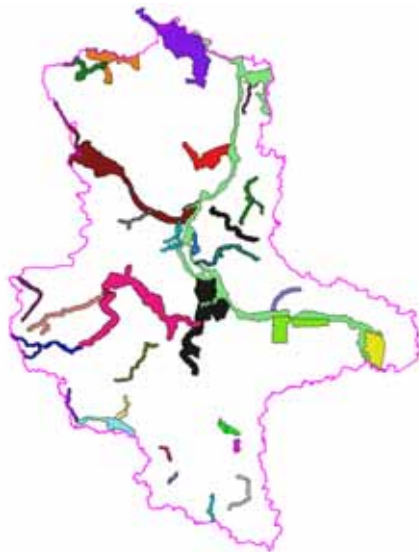


Abb. 11: Laserscanprojekte des LHW 1998 bis 2007

4 Das neue Projekt

4.1 Vorbereitungen

Seit 2008 arbeitet der LHW zusammen mit dem LVerGeo an einem landesweiten Laser-scanprojekt. Hintergrund ist die Erarbeitung von Hochwassergefahrenkarten zur Umsetzung der europäischen Hochwasserschutzrichtlinie. Ziel ist die Erstellung eines landesweiten DGMI mittels flugzeuggestütztem Laser-scanning. Ein Schwerpunkt in der Planungsphase waren die erforderliche Genauigkeiten, Bezugssysteme und das Qualitätsmanagement. In einer gemeinsamen Besprechung im Sommer 2008 wurden die wesentlichen Arbeitsschwerpunkte einvernehmlich festgelegt. Danach war es Aufgabe des LVerGeo, den Flugfirmen Digitale Orthophotos, Referenzinformationen und SAPOS®-Daten zur Georeferenzierung zur Verfügung zu stellen und an Hand von Kontrollflächen und Gebäudeumringen eine Qualitätskontrolle der Ergebnisse durchzuführen. Diese Projekt begleitenden Maßnahmen wurden im Dezernatsteil 66.2 Geotopographische Landesaufnahme koordiniert. Der

LHW teilte das Landesgebiet in fünf Lose ein und beauftragte drei Flugfirmen mit der Durchführung der Befliegung (Abb. 12).

Der Befliegungszeitraum lag in der Zeit von November 2008 bis April 2009. Die ersten Datenlieferungen erreichten das LVermGeo Mitte des Jahres 2009.

4.2 Vermessungsarbeiten

Die erforderlichen Vermessungsarbeiten mussten zwingend im Befliegungszeitraum stattfinden. Nur so kann eine korrekte Georeferenzierung und Ergebniskontrolle erfolgen. Kurzfristig wurden 300 Referenz- und Kontrollflächen über das gesamte Land verteilt festgelegt, die Vermessungsarbeiten vom Dezernat 66.2 vorbereitet und

der Außendienst wurde von den Dezernaten x4 aller Geoleistungsbereiche durchgeführt. Zur Vorbereitung dienten u.a. Digitale Orthophotos und Ausschnitte aus der DTK10 (Abb. 13) sowie eine tabellarische Übersicht der Flächen. Vermessungs- und Auswertergebnisse sind Koordinatenlisten und Fotos der Flächen (Abb. 14). Die Einweisung der zuständigen Dezernenten und Truppführer aller Geoleistungsbereiche in die Arbeitsaufgabe und Messtechnologie fand Anfang November 2008 statt. Bereits im Januar 2009 waren alle Vermessungsarbeiten abgeschlossen.

Die durch Laserscanning erzeugte Punktwolke ist mit geeigneten Methoden auf das richtige Lage- und Höhenbezugssystem zu referenzieren. Zur Vermessung wurden hauptsächlich satellitengestützte Positionierungsverfahren mit SAPOS®-HEPS angewandt. Letztendlich soll für das gesamte DGMI eine Höhengenaugigkeit von durchschnittlich 15 cm gewährleistet werden. Hierzu wurden Referenzinformationen in Form von Linien und Flächen erzeugt und den Flugfirmen zur Verfügung gestellt. Ähnliche Flächen wurden zusätzlich vermessen und werden zur Kontrolle der Daten verwendet.

Nicht jede Fläche ist hier geeignet. Es muss gewährleistet sein, dass die Oberfläche im Zeitraum zwischen der Befliegung und der terrestrischen Bestimmung unveränderlich in Lage und Höhe ist und das Oberflächenmaterial gute Reflexionseigenschaften besitzt.

Über das gesamte Land verteilt wurden 50 Referenzlinien, 50 Referenzflächen und insgesamt 200 Kontrollflächen in drei Kategorien gemessen. Die Kontrollflächen der 1. Kategorie sind ebene unveränderliche Flächen ohne Bewuchs. In die engere Wahl kamen Sportplätze, betonierte Flächen, alte Pflasterstraßen, befestigte Schotter- und Kiesflächen. Für die Flächen der Kategorie 2 galt das Gleiche und zusätzlich sollten diese Flächen Bewuchs enthalten, um später das Herausfiltern der Vegetation zu überprüfen. Bei der 3. Kategorie handelte es sich um bewegte Flächen mit und ohne Bewuchs.



Abb. 12: die fünf Lose der landesweiten Laserscanbefliegung

Abb. 13: Unterlagen-
 vorbereitung: Digitales
 Orthophoto (links) und Aus-
 schnitt aus der DTK10 (rechts)



X 3
 Y 489

K 45576526-00001	33357582.012	5725828.098	121.953	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00002	33357582.012	5725828.093	121.947	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00003	33357583.223	5725823.574	121.965	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00004	33357583.222	5725823.576	121.960	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00005	33357584.644	5725818.781	121.947	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725818.783	121.953	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725814.073	121.912	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725814.071	121.912	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725809.391	121.926	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725809.390	121.918	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725804.912	121.992	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725804.914	121.991	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725803.668	121.948	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725803.665	121.944	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725808.291	121.916	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725808.290	121.912	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725812.862	121.918	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725812.864	121.915	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725817.588	121.953	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725817.589	121.946	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725821.995	121.948	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725821.996	121.944	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725826.964	121.939	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725826.965	121.938	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725825.724	121.924	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725825.744	121.901	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725821.055	121.903	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725821.054	121.902	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725816.317	121.932	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725816.316	121.926	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725811.615	121.899	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725811.608	121.896	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725807.096	121.881	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725807.095	121.883	1	090	8	8	M	6	2	0
		5725802.356	121.931	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00036	33357577.993	5725802.353	121.931	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00037	33357572.801	5725801.491	121.950	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00038	33357572.800	5725801.488	121.954	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00039	33357571.637	5725806.556	121.948	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00040	33357571.636	5725806.558	121.948	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00041	33357570.599	5725811.255	121.963	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00042	33357570.601	5725811.255	121.958	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00043	33357569.458	5725815.628	121.988	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00044	33357569.459	5725815.631	121.983	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00045	33357568.328	5725820.069	121.964	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00046	33357568.326	5725820.064	121.968	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00047	33357567.055	5725824.400	121.985	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00048	33357567.055	5725824.401	121.980	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00049	33357562.156	5725823.208	122.000	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00050	33357562.152	5725823.208	122.009	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00051	33357563.214	5725818.432	122.042	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00052	33357563.214	5725818.424	122.057	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00053	33357564.022	5725813.564	122.071	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00054	33357564.021	5725813.573	122.062	1	090	8	8	M	6	2	0
K 45576526-00055	33357564.565	5725808.554	122.022	1	090	8	8	M	6	2	0

Abb. 14: Ergebnisse der
 Vermessungsarbeiten:
 Koordinatenliste und Foto der
 Fläche

4.3 Ergebnisse der Laserscanbefliegung

Vom eigentlichen Laserscanflug bis zum fertigen Endprodukt, dem DGM- und DOM-Gitter, gibt es eine Reihe an Zwischenprodukten, die für die Prüfung und Weiterverarbeitung der Endprodukte von Bedeutung sind (Abb. 15). Dazu gehören die **Rohdaten vor der Flugstreifenanpassung**. Hierbei handelt es sich um die originären Flugergebnisse. Diese Rohdaten wer-

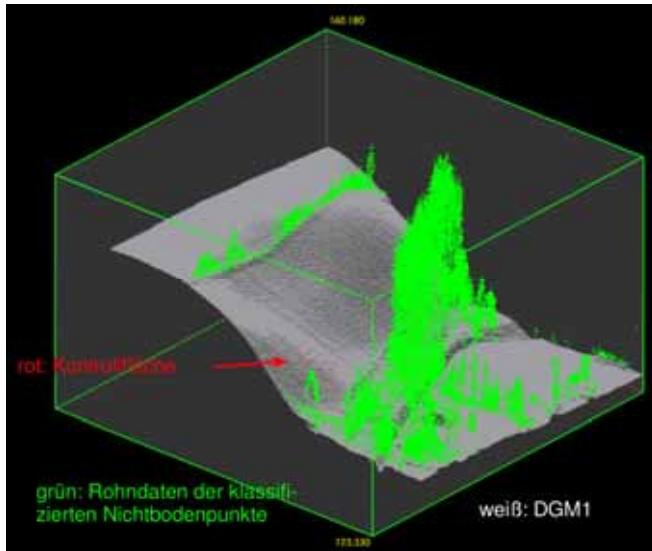


Abb. 15: weiß: DGM1, grün: Rohdaten der klassifizierten Nichtbodenpunkte, rot: Kontrollfläche

den so weiterverarbeitet, dass die für das DGM interessanten Bodenpunkte von den Nichtbodenpunkten durch Klassifizierung getrennt werden. Zu den Nichtbodenpunkten gehören sämtliche bauliche Anlagen auf der Erdoberfläche und die Vegetation. Als Ergebnis liegen die **Rohdaten der klassifizierten Bodenpunkte** und die **Rohdaten der klassifizierten Nichtbodenpunkte** vor. Diese beiden Datenbestände bilden die Grundlage für die Berechnung des DGM- bzw. DOM-Gitters. Das **Intensitätsbild** zeigt an, mit welcher Intensität das Lasersignal von der Erdoberfläche reflektiert wird. Dem Aussehen nach hat es Ähnlichkeit mit einem Schwarzweißfoto.

4.4 Qualitätskontrolle der Daten

In der Ausschreibung zur Laserscanbefliegung wurden Parameter vereinbart, die die Qualität des aus den erfassten Daten erzeugten DGM1 maßgeblich beeinflussen. Diese Parameter wurden bei der Prüfung der Daten angehalten.

- ◆ Messpunktdichte: mindestens 3 Lasermesswerte/m²
- ◆ Lagegenauigkeit: 30 cm
- ◆ Höhengenaugigkeit: 15 cm für 95 % der Laserscanpunkte
- ◆ Überlappung: 100 m

Die Messpunktdichte wurde aus den Rohdaten vor der Flugstreifenanpassung ermittelt. Sie liegt zwischen 3,7 und 5,9 Lasermesswerten/m². Umringe von vermessenen Gebäuden aus der Liegenschaftskarte (ALK) dienen der Ermittlung der Lagegenauigkeit (Abb. 16). Die klassifizierten Rohdaten der Bodenpunkte wurden zu dieser Prüfung herangezogen, weil die Gebäude in diesem Datenbestand nicht enthalten sind.

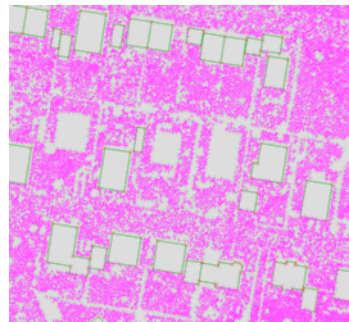
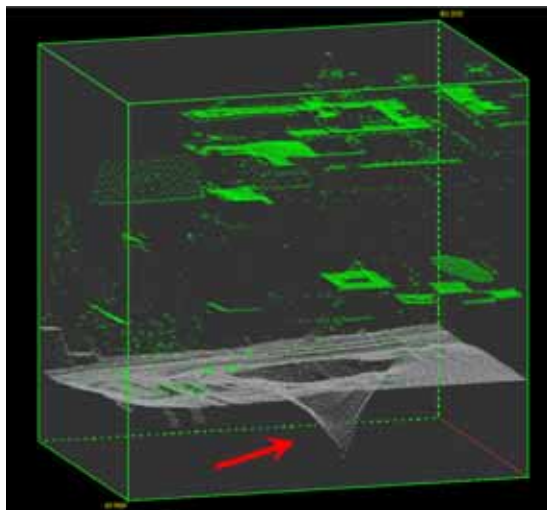


Abb. 16: Klassifizierte Rohdaten der Bodenpunkte mit Umringen von vermessenen Gebäuden aus der ALK

Die Höhengenaugigkeit wurde mit über das Befliegungsgebiet gleichmäßig verteilten Kontrollflächen unterschiedlicher Geländebeschaffenheit stichprobenhaft überprüft. Zur Prüfung kamen die Daten des DGM. Da die Kontrollflächen einen zufällig ausgewählten Ausschnitt aus den



Den Daten repräsentieren, konnte mit dieser Prüfung auf den gesamten Datenbestand geschlossen werden. Ziel ist das Erreichen der Höhengenaugigkeit für mindestens 95 % der Daten. Das Ergebnis aller Qualitätsprüfungen war grundsätzlich positiv. Vereinzelt Ungenauigkeiten konnten bisher in enger Zusammenarbeit mit den einzelnen Firmen stets aufgeklärt werden.



Dort, wo verschiedenen Lose aneinander stoßen, an der Landesgrenze und an den Übergängen zu alten Laserscanprojekten sollte ein Überlappungsbereich von 100 m geflogen werden. Dieser Parameter ist von allen Flugfirmen eingehalten worden. Die Prüfung mit diesen Parametern war die Grundlage für die Abnahme der vertraglich vereinbarten Leistung zwischen der jeweiligen Flugfirma und dem LHW. Im LHW selbst wurden die DGM-Daten auf Vollständigkeit geprüft. Ein Informationsaustausch zwischen den Mitarbeitern von LHW und LVermGeo findet kontinuierlich statt.

Abb. 17: Fehlinterpretation

falsch interpretiertes Lasersignal mit Auswirkungen auf das DGM I:

oben: Luftbild City-Carré Magdeburg; in dieser Glaspyramide hat sich ein Lasersignal „verfangen“. Der dadurch verfälschte Weg zurück zum Sensor ergibt eine falsch interpretierte Höhe dieses Laserpunktes.

unten: Auswirkung des Laserpunktes mit falscher Höhe im DGM I (weiß), Rohdaten der Nichtbodenpunkte (grün)

5 Bereitstellung der Daten an Nutzer

Bereits von Anfang des Projektes an ist es das Ziel, das neue landesweite DGM I so schnell wie möglich allen Nutzern zur Verfügung zu stellen. Ein wesentlicher Einflussfaktor für die Bereitstellung ist die Datenhaltung. Dazu wird ein Speichervolumen von ca. 11 Terrabyte benötigt. Mehrere Verarbeitungsprozesse sind notwendig, um die Daten in die vorgesehene Datenbank einzuspielen und zu sichern. Erst wenn dieser Vorgang abgeschlossen ist, können die Daten in verschiedenen Bezugssystemen und Gitterweiten nutzergerecht abgegeben werden. Bis dahin wird das DGM I so bereitgestellt, wie es kachelweise von den Firmen geliefert wurde. Da

das Lasersignal nicht von allen Oberflächen mit gleicher Güte und Intensität reflektiert wird und das DGM-Gitter in automatischen Rechenprozessen aus den Rohdaten abgeleitet wurde, liegen in begrenztem Umfang fehl interpretierte oder gar verfälscht aufgenommene Daten vor. Dass es sich hier um eine Größenordnung von ca. 5 % der Daten handelt, bestätigt auch die Prüfung anhand der Kontrollflächen. Bei 20 446 km² Landesfläche handelt es sich hier um ca. 1 000 km². Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt im Dezernat 66 ist die Identifikation und die Bereinigung dieser Fehlerstellen im DGMI. Eine erste Technologie ist bereits entwickelt. Als wesentliches Hilfsmittel hat sich hier das DGM10 erwiesen. In einem ersten Prozess wird die Differenz zwischen dem DGM10 und dem DGMI visualisiert. Stellen, an denen das DGMI erheblich und sprunghaft vom DGM10 abweicht, werden in Abhängigkeit der Höhe farbig dargestellt. Der Bearbeiter interpretiert die farbigen Darstellungen und entscheidet, ob es sich tatsächlich um einen Fehler im DGMI handelt. Die aktuellen Luftbilder im Stereomodell helfen bei diesen Entscheidungen. Fehlklassifizierte Bauten sind auf diese Weise schnell identifiziert. Mit dieser Technologie soll kontinuierlich das gesamte DGMI bearbeitet werden. Vier Stereoarbeitsplätze stehen dafür in der Zukunft zur Verfügung. Neben der kontinuierlichen Bearbeitung des DGMI kommt diese Technologie bereits jetzt für die aktuellen Datenabgaben zum Einsatz. Dem Nutzer wird so ein bearbeitetes und qualitätskontrolliertes DGMI bereitgestellt. In den nächsten Wochen gilt es, diese Technologie anhand der ersten Erfahrungen zu verfeinern und weiter produktiv einzusetzen.

6 Zusammenfassung

Der Aufbau eines hochauflösenden DGM ist in Sachsen-Anhalt auf gutem Wege. Mehr als 50 Jahre nach der „Uraufnahme“ des Geländes zur Darstellung von Höheninformationen in der topographischen Karte 1:10 000 sowie 15 Jahre nach dem Vorliegen eines ersten landesweiten DGM10 in Sachsen-Anhalt ist jetzt binnen kürzester Zeit eine Datenerfassung für ein hochgenaues DGMI erfolgt. Mit den Ergebnissen des aktuellen landesweiten Laserscanfluges wird durch das LVermGeo der Aufbau des DGMI in Sachsen-Anhalt realisiert werden können. Mit diesem DGMI sowie den daraus ableitbaren DGMen mit größeren Gitterweiten und dem bereits vorhandenen DGM10 können alle Nutzeranforderungen an das ATKIS®-DGM erfüllt werden. Ein weiteres Ergebnis des Laserscanfluges ist ein DOM. Damit ist die Grundlage geschaffen, mit Hilfe weiterer bereits vorhandener Informationen des Geobasisinformationssystems z.B. 3D-Gebäudemodelle ggf. automatisch ableiten zu können. Weitere Beispiele für die Verwendung von DGM und DOM werden exemplarisch in diesem Heft aufgezeigt [Bannehr und Jany 2010], [Feuerstake 2010] und [Friedrich 2010].

Das in diesem Artikel beschriebene erfolgreiche Projekt konnte nur dank der guten Zusammenarbeit mit den Kolleginnen und Kollegen des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft gelingen.

**Eine Datenerfassung
– viele Anwendungen**

Anschrift der Autoren**Anke von Wnuck**

Landesamt für Vermessung und Geoinformation
des Landes Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15,
39104 Magdeburg
E-Mail: Anke.vonWnuck@lvermgeo.sachsen-anhalt.de

Steffen Patzschke

Landesamt für Vermessung und Geoinformation
des Landes Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 15,
39104 Magdeburg
E-Mail: Steffen.Patzschke@lvermgeo.sachsen-anhalt.de

Literaturverzeichnis

AdV, 2009: 121. Plenumstagung, Beschluss 121/8, Erfurt, 9./10. September 2009

Bannehr, L., Jany, S. 2010: Erfassung von Umweltdaten mittels Methoden der Fernerkundung, in: Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 16. Jahrgang, Heft 1, S. 67-80, Magdeburg 2010.

Feuerstake, H. 2010: 3D-Gebäudemodelle in der EU-Lärmkartierung – Anforderungen an die Geobasisdaten, in: Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 16. Jahrgang, Heft 1, S. 57-66, Magdeburg 2010.

Friedrich, F. 2010: Anwendung Digitaler Geländemodelle für Hochwasserschutzplanungen im Land Sachsen-Anhalt, in: Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt (LSA VERM), 16. Jahrgang, Heft 1, S. 49-56, Magdeburg 2010.

TU Wien, 2009: Digital Terrain Models from Full Waveform Laser Scanning, Wien, 12./13. November 2009