

Verwaltung landesweiter Full Waveform Airborne Laser Scanning Daten

**GOTTFRIED MANDLBURGER¹, CHRISTIAN BRIESE², JOHANNES OTEPKA¹, BERHARD HÖFLE³
& NORBERT PFEIFER²**

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird das Verwaltungskonzept für Full Waveform ALS Daten innerhalb des am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der TU Wien entwickelten Programmsystems TopDM vorgestellt. Neben der Erweiterung des Tabellenschemas zur Speicherung von punktbezogenen Attributen (Echoweite, Amplitude, ...) wird auf die Zusammenhänge zwischen dem Flugpfad, der Orientierung des Laserscanners und den eigentlichen 3D-Objektpunkten eingegangen. Besondere Bedeutung kommt der Zeit als verbindender Größe zwischen den unterschiedlichen Sensoren zu. Die Definition und gegenseitige Überführung gebräuchlicher Zeitsysteme wird daher ebenso behandelt wie die Datenverwaltung für Aufnahmekonfigurationen mit mehreren Laserscannern auf einer Plattform. Anhand konkreter Anwendungsbeispiele wird das Potential des vorgestellten Verwaltungskonzeptes demonstriert.

1 Einleitung

In Österreich beträgt die Abdeckung mit dichten Airborne Laser Scanning (ALS) Daten derzeit etwa 60% (Abb. 1a). Weitere Teile der Landesfläche sind in der Saison 2009/2010 befliegen worden und eine Gesamtabdeckung kann etwa für 2012 prognostiziert werden. In Deutschland beträgt die derzeitige Abdeckung 51% (Stand: 01.06.2010, Abb. 1b) und in der Schweiz sind alle Gebiete unter 2000m Seehöhe mit ALS erfasst (Abb. 1c). Immer mehr Projekte werden dabei mit Sensoren befliegen, welche die gesamte Wellenform (Full Waveform, FWF) des rückgestreuten Lasersignals aufzeichnen. Neben den 3D-Punktkoordinaten und den klassischen Attributen, wie erstes oder letztes Echo und Signalstärke, erlauben FWF ALS Datensätze einerseits die Bestimmung einer größeren Anzahl von Zwischenechos pro ausgesandtem Laserplus und andererseits die Ableitung von zusätzlichen Attributen pro Echo. Als besonders nützliche Attribute für die anschließende Datenprozessierung (Klassifizierung der Punktwolke, Kantenmodellierung, DGM-Erstellung, Vegetationskartierung) hat sich dabei vor allem die Echoweite, ein Maß, welches die Höhenvariation von Einzelzielen innerhalb des Laserstrahlkegels beschreibt, herausgestellt. Die Datenabgabe an Endkunden erfolgt in der Regel in Form von Digitalen Geländemodellen (DGM) oder Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) und seltener in Form der 3D-Punktwolke. Anwendungen in Fachbereichen, wie Orthophotoproduktion, Gebäudemodellierung, Hydraulik

¹ Gottfried Mandlbürger & Johannes Otepka: Christian Doppler Labor „Räumliche Daten aus Laserscanning und Fernerkundung“ am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gusshausstr. 27-29, A-1040 Wien, E-Mail: gm{jo}@ipf.tuwien.ac.at

² Christian Briese & Norbert Pfeifer, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, TU Wien, Gusshausstr. 27-29, A-1040 Wien, E-Mail: cb{np}@ipf.tuwien.ac.at

³ Bernhard Höfle: Universität Heidelberg, Geographisches Institut, Berliner Straße 48, D-69120 Heidelberg, E-Mail: hoefle@uni-heidelberg.de

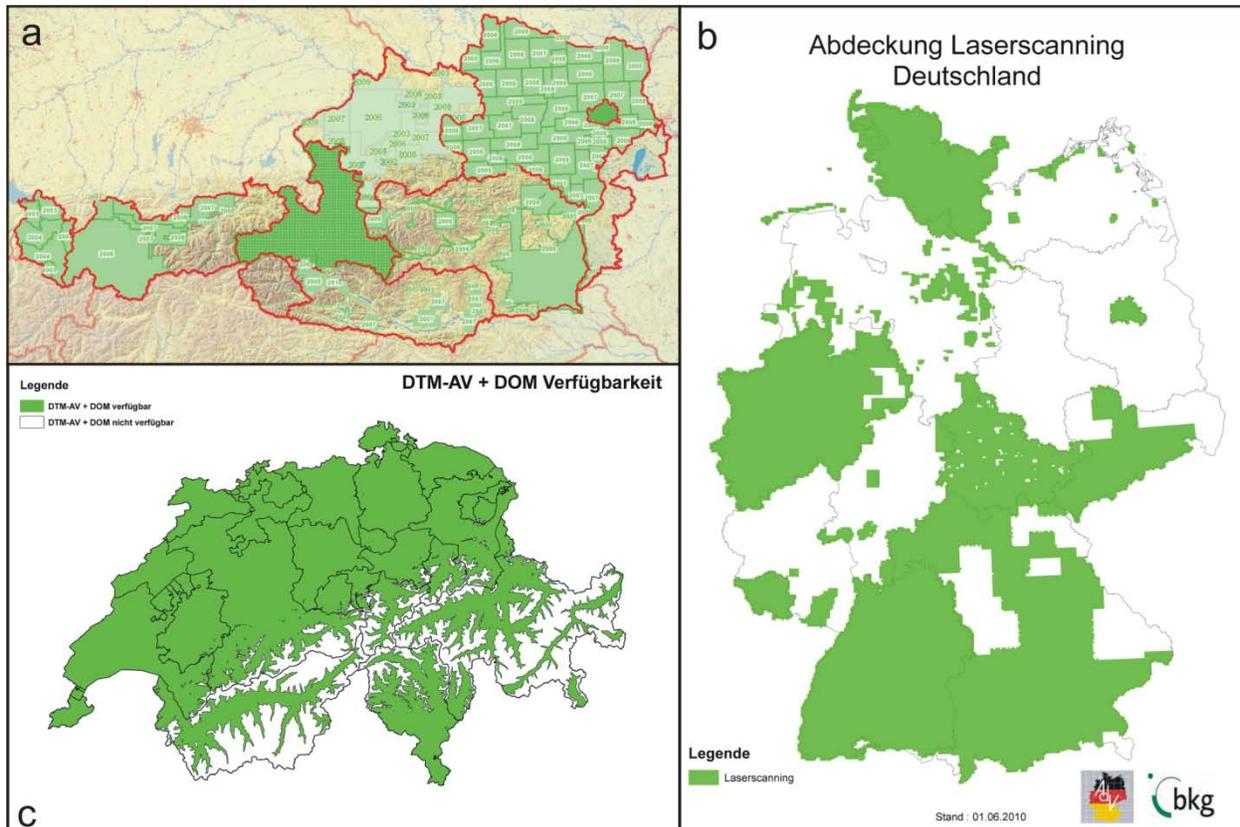


Abb. 1: ALS-Datenabdeckung in Österreich (a), Deutschland (b) und der Schweiz (c), Stand: 1. Juni 2010, Daten und Copyright: Österreich: Geoland (<http://www.geoland.at>), Deutschland: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG/ GeoBasis-DE), Schweiz: swisstopo (<http://www.swisstopo.ch>)

oder Forstwirtschaft, benötigen aber oftmals Informationen, die im DGM/DOM nicht mehr, wohl aber in der originalen Punktwolke enthalten sind. So lassen sich z.B. Rückschlüsse auf die Vegetationsstruktur aus der Analyse der Zwischenechos ziehen, während das DOM generell lediglich aus den ersten, bzw. das DGM aus den letzten Echos abgeleitet wird. Für Anwendungen in der Hydraulik wiederum ist es wesentlich, einerseits die Höhen von Böschungskanten nicht zu unterschätzen und andererseits lokale Depressionen (Entwässerungsgräben, Durchlässe) möglichst präzise abzubilden. Dies verlangt in den neuralgischen Bereichen nach spezialisierten ALS-Filterverfahren, damit Überschwemmungsgrenzen möglichst präzise abgebildet werden können. Daraus erkennt man, dass es ein Potential für die großflächige Bereitstellung von 3D-Punktwolken samt allen verfügbaren punktbezogenen Attributen gibt.

Die landesweite Verwaltung derart komplexer Daten stellt eine Herausforderung für topographische Datenbank-Managementsysteme (DBMS) dar. Neben der eigentlichen 3D-Punktwolke gilt es auch den zugehörigen Flugpfad (Position und Orientierung der Messplattform) zu verwalten. Besondere Bedeutung kommt dabei der Synchronisation aller beteiligten Sensoren zu, was oftmals eine Homogenisierung von Zeitangaben in verschiedenen Systemen (GPS Zeit, UTC...) erforderlich macht. Noch höhere Anforderungen an das Verwaltungssystem werden gestellt, wenn mehrere Laserscanner auf einer Plattform montiert sind, da in diesem Fall die Zeitstempel

alleine nicht mehr ausreichen, um eine eindeutige Zuordnung zwischen Laserpunkt und Aufnahmeposition zu gewährleisten.

Der Beitrag ist daher wie folgt gegliedert: Im Abschnitt 2 wird das Basiskonzept von TopDM zur Verwaltung digitaler Geländehöhendaten vorgestellt. Die Abschnitte 3 und 4 beschäftigen sich mit den erforderlichen Erweiterungen zur Administration der ALS-Punktwolke und des Flugpfades. Einige Anwendungsbeispiele sind im Abschnitt 5 angeführt und der Artikel endet mit einer abschließenden Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf künftige Arbeiten.

2 TopDM Basiskonzept

TopDM (Topographic Data Management) wurde am I.P.F. als System zur Verwaltung landesweiter Geländehöhendaten (HOCHSTÖGER, 1996) auf Basis einer geo-relationalen Datenbank entwickelt. Als Datenbank (DB) kommen wahlweise zum Einsatz:

- TOPDB (LOITSCH & MOLNAR, 1991), Eigenentwicklung des I.P.F.,
- Oracle Spatial (ORACLE, 2010), kommerzielles Produkt
- Postgre SQL/PostGIS (REFRACTION RESEARCH, 2010), Open Source DB (Anbindung in Arbeit)

Die Kommunikation zwischen TopDM und der DB ist über TOPSQL, eine Abfragesprache basierend auf ANSI-SQL (DIN, 2004) mit Erweiterungen hinsichtlich geometrischer Typen und Operatoren, realisiert. Mittels TOPSQL können geometrische und Attribut-bezogene Abfragen in einem einzigen SQL Befehl kombiniert werden.

Das Hauptziel von TopDM ist die Langzeitspeicherung und -archivierung von primären Geländehöhendaten und abgeleiteten Produkten (z.B. DGM, Isolinien...). Neben der Geometrie (Koordinaten) und der Objektkodierung (geometrischer Typ und Semantik) erfordert dies auch die Speicherung von Metadaten (Datenerfasser, Nutzungsberechtigte, Aktualität, Genauigkeit...), um eine detaillierte Datenselektion zu gewährleisten. Weitere wichtige Aspekte sind die Unterstützung von gängigen Datenformaten für einen flexiblen Datenimport und –export und die rigorose Georeferenzierung aller verwalteten Daten. Die Definition der räumlichen Bezugssysteme basiert auf den Spezifikationen des Open Geospatial Consortiums (OGC A, 2010), und für die Koordinatentransformationen werden Open Source Bibliotheken (GDAL, 2010; PROJ4, 2010) genutzt. Diese Komponenten sind in eine Bibliothek der Firma INPHO, eines langjährigen Entwicklungspartners des I.P.F., integriert, welche darüber hinaus auch eine Unterstützung für die Umrechnung vertikaler Bezugssysteme (Geoide, Höhendatum) zur Verfügung stellt (INPHO, 2010). Transformationen sind für ALS Daten von besonderer Bedeutung, da diese ursprünglich in einem globalen, kartesischen Koordinatensystemen (z.B. WGS84) erfasst und in der Regel im Landessystem weiterverarbeitet werden.

TopDM ist in erster Linie als Verwaltungstool für regionale und nationale Vermessungsbehörden ausgelegt. Durch die enormen Datenmengen, welche moderne ALS Sensoren zur Verfügung stellen, wird es aber auch zur Abwicklung größerer ALS Projekte eingesetzt. Darüber hinaus kann TopDM auch als Datenbasis für DGM Programme fungieren. In geeignete Teilbereiche portioniert, werden die originalen ALS Punkte von der DB den jeweiligen Anwendungsprogrammen zur ALS Filterung und DGM Interpolation zur Verfügung gestellt. Endprodukte (z.B.

DOM, DSM, klassifizierte Punktwolke, Höhenlinien) können schließlich wieder in der TopDM DB gespeichert werden, um von dort aus dann an Kunden abgegeben zu werden.

3 Punktdatenverwaltung

Das in Abschnitt 2 beschriebene Basiskonzept hat sich für Daten aus klassischen Erfassungsmethoden (Tachymetrie, Photogrammetrie, Vektorisierung...) bewährt. Auch zur Verwaltung von ALS Punktwolken wurde es bereits erfolgreich eingesetzt. Es sieht allerdings nur die Speicherung der Koordinaten und der Objektkodierung vor, während punktbezogene Zusatzattribute dabei verloren gehen. Neben den klassischen Echoattributen (Anzahl der Echos pro Impuls, Echonummer, Zeitstempel, Auslenkwinkel) können heute durch Analyse der vollen Wellenform und anschließender Signalkalibrierung (WAGNER ET AL., 2006) weitere Zusatzattribute abgeleitet werden:

- Amplitude (Maximale Signalstärke in Einheiten des Empfängers [DN])
- Echoweite (Strahlaufweitung durch Mehrfachreflexion innerhalb des Strahlkegels [ns])
- Streuquerschnitt (Laser Cross Section, ermittelt durch radiometrische Kalibrierung [m²])

Durch simultane Befliegung mit bildgebenden Sensoren können pro Echo noch Farbinformationen (Rot, Grün, Blau, Infrarot) und durch die anschließende Datenprozessierung weitere Attribute (Klassifizierung, etc.) hinzukommen.

Ein Konzept zur Verwaltung landesweiter Full Waveform ALS Punktwolken muss nun folgende Anforderungen erfüllen:

- Effiziente Verwaltung von riesigen ALS-Punktwolken
- Speicherung von ALS-spezifischen Zusatzattributen pro Echo
- Möglichst kompakte Speicherung von Geometrie und Punktattributen
- Datenselektion auf Basis von Metadaten und geometrischen Kriterien
- Zusätzliche Datenfilterung auf Basis der punktbezogenen Attribute

Die folgende Tabelle 1 zeigt den wesentlichen Ausschnitt der Definition für Datenbanktabellen zur Verwaltung von FWF ALS Punkten.

Tab.1: ALS-Punktdatenverwaltung, TOPDB Tabellendefinition (Auszug)

NAME	TYPE	INDEX INFO	NULL INFO	FURTHER PROPERTIES
IDOBJ	INTEGER	UNIQUE INDEX	NOT NULL	SYSNUM IDENTIFIER
AGGREGATE	CHAR(64)	INDEX	NOT NULL	
OBJECTTYPE	CHAR(16)	INDEX	NOT NULL	
FEATURECODE	CHAR(32)	INDEX	NULL	
COORDINATES	POINT	INDEX	NOT NULL	PERIOD(3) RESOLUTION(2,2,3)
PULSETIME	NUMBER(15.6)	INDEX	NULL	ARRAY
AMPLITUDE	NUMBER(6.2)	NO INDEX	NULL	ARRAY
ECHOWIDTH	NUMBER(6.2)	NO INDEX	NULL	ARRAY
CROSSSECTION	NUMBER(6.2)	NO INDEX	NULL	ARRAY
RETURNINFO	INTEGER	NO INDEX	NULL	ARRAY
CLASSINFO	INTEGER	NO INDEX	NULL	ARRAY
CUSTOMINFO	INTEGER	NO INDEX	NULL	ARRAY
COLOR	INTEGER	NO INDEX	NULL	ARRAY
BEAMVECTOR	INTEGER	NO INDEX	NULL	ARRAY

Die Speicherung der ALS Punkte erfolgt nicht in Form von Einzelpunkten (ein Echo = ein Datensatz in der DB-Tabelle), sondern als Punkthaufen. Im Sinne der Simple Feature Spezifikation des Open Geospatial Consortiums (OGC B, 2010) handelt es sich dabei um *MultiPoint* Objekte, deren Äquivalent in TOPDB mit POINT bezeichnet werden. Gegenüber der Speicherung als Einzelpunkte erlaubt die Verwaltung als Punkthaufen einen effizienteren räumlichen Zugriff, vor allem in Hinblick auf die angestrebte landesweite Verwaltung. Des Weiteren rechtfertigt der zufällige Charakter der einzelnen ALS-Punkte die Zusammenfassung zu Gruppen. Für schnellen Datenzugriff ist eine Indizierung, sowohl für die Geometrie (COORDINATES) als auch den Objekttyp (OBJECTTYPE, FEATURECODE), unerlässlich. Die Speicherung der Punktattribute erfolgt nun in Form zusätzlicher Spalten (PULSETIME, AMPLITUDE...), die allesamt (i) als Feld-Typen (ARRAY) definiert sind, wobei die Feld-Länge stets mit der Punktzahl korrespondiert, (ii) optional sind (NULL-Spalten) für den Fall, dass bestimmte Attribute nicht zur Verfügung stehen und (iii) nicht indiziert sind. Von einer Indizierung der Punktattribute kann abgesehen werden, da die Attributwerte innerhalb eines MultiPoint-Objektes nicht speziell ausgeprägt sind. Mit anderen Worten, innerhalb eines Objektes kommen alle möglichen Amplituden, Echoweiten, etc. vor. Da die Datenselektion in erster Linie über Bereichsabfragen sowie auf Basis bestimmter Metadaten erfolgt, stellt dies auch keinen wesentlichen Nachteil dar. Um eine möglichst kompakte Speicherung zu gewährleisten, sind manche Teilattribute zu Kontainern zusammengefasst. So werden z.B. die Anzahl der Echos pro Impuls (1 Byte), die Echonummer (1 Byte), der Auslenkwinkel (1 Byte) und weitere Bits für die Scanrichtung, etc. in der Spalte RETURNINFO als ein 4-Byte-Integer abgelegt. Das DBMS sorgt intern für eine korrekte Aufspaltung in die Teilattribute. Diese Organisation stellt einen Kompromiss dar, da TOPDB keine Zahlentypen kleiner als 32-Bit zur Verfügung stellt, während dies etwa für Oracle oder PostgreSQL sehr wohl der Fall wäre. Die Letztgenannten ermöglichen auch ein direktes Ansprechen der Teilattribute außerhalb von TopDM durch die jeweils eingebetteten prozeduralen Programmiersprachen PL-SQL (Oracle) bzw. PL/pgSQL (PostgreSQL). In der selben Art sind auch die Spalten CUSTOMINFO (formatspezifische Attribute), COLORINFO (Farbwerte Rot, Grün, Blau, Infrarot) und CLASSINFO (Klassifizierung) realisiert, wobei für letztere einerseits der für das ASPRS LAS File Format (ASPRS, 2010) definierte Klassifizierungsschlüssel zur Anwendung kommt und darüber hinaus auch eine benutzerdefinierbare Attributierung (1 Byte) möglich ist.

Auch wenn die Datenselektion nicht über die Punktattribute erfolgt, so ist es trotz allem erforderlich, nach gewünschten Kriterien filtern zu können. Dazu wurde eine allgemeine Grammatik in Erweiterter Backus-Naur-Form (EBNF) eingeführt, welche z.B. eine Selektion aller letzten Echos, aller Echos mit beliebigem Attribut größer/kleiner einem bestimmten Schwellwert oder Ähnlichem erlaubt. Die genaue Syntax kann der Dokumentation des Programmsystems OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data) entnommen werden (OPALS, 2010). Für Beispiele sei auf den Abschnitt 5 verwiesen.

Rascher Zugriff auf die Punktdaten ist nur dann möglich, wenn die einzelnen Datentabellen eine überschaubare Größe aufweisen und darüber hinaus in ein System eingebettet sind, welches eine Vorauswahl aller potentiellen Datentabellen anhand von Übersichtstabellen erlaubt. Für die Datentabellen hat es sich bewährt, wenn die darin gespeicherten Daten regional zusammenhängend sind und die Punktzahl 100 Mio nicht wesentlich überschreitet. Es bietet sich daher etwa

an, die Daten eines Flugstreifens in einer Datentabelle abzulegen. Auf Basis der Streifenumfahrung, die in Form des minimalen orientierten Rechtecks zusammen mit einem Streifen-Identifizier (AGGREGATE), dem Namen der Datentabelle und allen Metadaten in der Übersichtstabelle abgelegt sind, gelingt es in einer Vorauswahl sehr rasch die potentiellen Datentabellen zu finden und die Detailsuche nur auf diese anzuwenden. Für nähere Details, betreffend das generelle Konzept von Datenimport, -selektion und -export, sei auf (HOCHSTÖGER, 1996) bzw. (WARRINER & MANDLBURGER, 2005) verwiesen.

Ein wesentlicher Punkt bei der Konzeption des Verwaltungsschemas für ALS-Punktwolken war auch die Kompatibilität zu Industriestandards. So erlaubt das vorgestellte System etwa eine vollständige Verwaltung aller Datenattribute, die im ASPRS LAS File Standard (ASPRS, 2010) definiert sind (Zeitstempel, Intensität, Auslenkwinkel...). Die aktuelle LAS Version 1.3 sieht darüber hinaus auch die Speicherung der vollen Wellenform als „waveform packages“ vor. Davon wurde für TopDM bewusst Abstand genommen, da dadurch die Datenmengen unverhältnismäßig ansteigen würden und darüber hinaus bei LAS 1.3 keine exakte Synchronisierung zwischen den detektierten Echos und der digitalisierten Wellenform gegeben ist. Für die großräumige Verwaltung von Daten, auf die TopDM ausgelegt ist, wird die vorherige Umwandlung der Wellenform in geometrisch und/oder geophysikalisch interpretierbare Größen (z.B. Echoweite, Streuquerschnitt) als zielführender erachtet. TopDM unterstützt daher Systeme, welche diese Informationen vorhalten, wie etwa das SDW Format der Firma Riegl Laser Measurement Systems (RIEGL, 2010).

4 Flugpfadverwaltung

Im Tabellenlayout zur Verwaltung von ALS Punktdaten ist auch die Spalte BEAMVECTOR (vgl. Tab. 1) vorgesehen. Es handelt sich wiederum um eine Container-Spalte, in welcher für jedes Echo die Länge (2 Byte) sowie Azimut (1 Byte) und Zenitdistanz (1 Byte) des Laserstrahls abgelegt sind. Für viele Anwendungen, wie z.B. die Berechnung von Inzidenzwinkeln (Winkel zwischen dem Laserstrahl und der Flächennormalen), ist diese genäherte Auflösung (Distanz: 1m, Orientierungswinkel: ca. 1°) ausreichend. Um diese Information in voller Genauigkeit zur Verfügung zu haben, ist entsprechend mehr Speicherplatz erforderlich. Andererseits kann der Strahlvektor auch aus den 3D-Punktkoordinaten und dem Flugpfad berechnet werden, sofern die beiden Datensätze über einen gemeinsamen Zeitstempel synchronisiert werden können. Im folgenden ist daher das Grundkonzept einer Flugpfadverwaltung beschrieben. Die Zusammenhänge sind in Gleichung 1 (nach: SKALOUD, J. & LICHTI, D., 2006) verdeutlicht.

$$X = X_{GNSS}(t) + R_{IMU}(t) * \left(m - R_m \begin{pmatrix} 0 \\ \rho \cdot \sin \theta \\ \rho \cdot \cos \theta \end{pmatrix} \right) \quad (1)$$

In Gleichung 1 bezeichnet X den Objektpunkt im Referenzsystem. Das Antennenzentrum X_{GNSS} und die Rotation R_{IMU} der inertialen Messeinheit (IMU) definieren Position und Orientierung der Messplattform und sind zeitabhängig (t). Das System des Laserscanners ist gegenüber der IMU leicht verdreht um R_m und gegenüber dem Antennenzentrum um m verschoben. R_m und m zusammen werden als Mounting Calibration bezeichnet, welche in der Regel für eine Flugmissi-

on konstant ist. Der Laserscanner selbst misst die Distanz ρ und den Auslenkwinkel θ . Das Tabellensystem zur Flugpfadverwaltung muss daher die zeitabhängigen Größen (GNSS, IMU) ebenso abbilden wie die temporär konstanten Werte der Mounting Calibration. In den Tabellen 2 und 3 ist ein entsprechendes Tabellenlayout angegeben.

Tab. 2: Flugpfadverwaltung (Position und Orientierung), TOPDB Tabellendefinition

NAME	TYPE	INDEX INFO	NULL INFO	FURTHER PROPERTIES
IDFLIGHTPOS	INTEGER	UNIQUE INDEX	NOT NULL	SYSNUM IDENTIFIER
COORDINATES	POINT	INDEX	NOT NULL	PERIOD(3) RESOLUTION(2,2)
ORIENTATION	NUMBER(12.8)	NO INDEX	NOT NULL	ARRAY(3)
TIME	NUMBER(15.6)	INDEX	NOT NULL	
IDSCANNER	INTEGER	INDEX	NOT NULL	ARRAY

Das Antennenzentrum (COORDINATES) und die Raumstellung der IMU (ORIENTATION) ist dabei für jeden Messzeitpunkt (TIME) zu speichern, wobei die Abtastrate typischerweise 0,1-1 kHz beträgt. Um einen schnellen räumlichen und zeitlichen Datenzugriff zu ermöglichen, sind die entsprechenden Spalten zu indizieren.

Tab.3: Flugpfadverwaltung (Mounting Calibration), TOPDB Tabellendefinition

NAME	TYPE	INDEX INFO	NULL INFO	FURTHER PROPERTIES
IDMOUNTING	INTEGER	UNIQUE INDEX	NOT NULL	SYSNUM IDENTIFIER
OFFSET	POINT	NO INDEX	NOT NULL	PERIOD(3) RESOLUTION(2,2)
ROTATION	NUMBER(12.8)	NO INDEX	NOT NULL	ARRAY(3)
CALIBDATE	DATE	INDEX	NOT NULL	
IDSCANNER	INTEGER	INDEX	NOT NULL	

Die Mounting Calibration ist für jede Systemkalibrierung (CALIBDATE) festgelegt durch den Vektor zwischen den Zentren der Antenne und des Laserscanners (OFFSET) sowie der Schrägstellung der IMU gegenüber dem Laserscanner (ROTATION). Beide Tabellen werden über einen gemeinsamen Sensor-Identifizierer (IDSCANNER) verknüpft. Dieser kann darüber hinaus verwendet werden, um eine konsistente Verwaltung mit mehreren Laserscannern auf ein und derselben fliegenden Plattform zu realisieren. Aus diesem Grund ist die IDSCANNER-Spalte in Tabelle 2 als ARRAY definiert. Für mehrere Laserscanner kann derart derselbe Flugpfad (GNSS und IMU) verwendet werden.

Wie bereits erwähnt, ist eine strenge Synchronisation aller beteiligten Sensordaten eine Voraussetzung für deren korrekte Verknüpfung. Analog zu den unterschiedlichen räumlichen Bezugssystemen zur Speicherung der Koordinaten, muss das Verwaltungssystem auch die verschiedenen Zeitsysteme und deren gegenseitige Überführung bereitstellen. Im Bereich von ALS sind vor allem folgende Zeitsysteme (NELSON ET AL., 2001) im Gebrauch:

- TAI: Internationale Atomzeit, gleichförmige Zeitskala basierend auf der atomaren Definition der SI Sekunde (Dauer von 9.192.631.770 Schwingungen des Caesium-(133)-Atomkerns), eingeführt 1971.
- UTC: Koordinierte Weltzeit. Zeitskala wie TAI, basierend auf der atomar definierten SI-Sekunde, und mit der astronomischen Zeitskala UT1 über folgende Beziehung verknüpft: $UTC = TAI - n$ Sekunden (n ganzzahlig). Über Schaltsekunden wird UTC derart mit

UT1 synchronisiert, dass: $|\text{UTC} - \text{UT1}| < 0.9 \text{ s}$. Der International Earth Rotation Service (IERS) überwacht die Evolution von UTC - UT1 und entscheidet, wann UTC um eine Sekunde korrigiert wird (jeweils Mitte und/oder Ende des Jahres). Derzeit (02.06.2010) ist $\text{TAI} - \text{UTC} = n = 34 \text{ s}$.

- GPS-Zeit: Zeitsystem des Global Positioning Systems, Zeitskala wie TAI, gegenüber TAI um konstant 19 s verschoben ($\text{GPS} = \text{TAI} - 19\text{s}$), Der Nullpunkt der GPS-Zeit ist am 6. Jänner 1980, 00:00 UT. Zu diesem Zeitpunkt war $\text{GPS} = \text{UTC}$. Da die GPS Zeit die Schaltsekunden nicht mitmacht, ist die GPS-Zeit derzeit 15 s vor UTC.
- GPS-Zeit (Wochensekunden): Als GPS-Woche wird eine kontinuierliche Wochenzählung seit Beginn des Jahres 1980 bezeichnet. Die GPS-Woche beginnt jeden Sonntag um 00:00 UT. Die Wochen werden von 0 bis 1023 (=10 Bit) hochgezählt. Im August 1999 wurde daher das erste Mal die Woche 1023 erreicht und der nächste Überlauf wird im April 2019 stattfinden.
- POSIX: Zeitskala wie GPS-Zeit. Nullpunkt der POSIX Zeitskala ist der 1. Jänner 1970. Die Festlegung stammt aus dem EDV-Bereich und hat deswegen Bedeutung erlangt, weil POSIX alternativ zur GPS Zeit in ASPRS LAS Files als Zeitsystem zulässig ist.

Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass es immer wieder zu Fehlern in der Datenprozessierung kommt, die auf dem Unwissen bezüglich des zugrunde liegenden Zeitsystems beruhen. Auf eine konsequente Berücksichtigung der Zeitangaben ist daher im Rahmen des Verwaltungssystems zu achten.

Wie zu Eingang des Abschnitts erwähnt, steht es dem Anwender frei, Informationen über den Strahlvektor näherungsweise als zusätzliches Attribut bei den ALS-Punkten abzulegen oder den Flugpfad mitzuverwalten. Bis dato wurde mit der Näherungsvariante das Auslangen gefunden, weswegen die Flugpfadverwaltung zwar wie in diesem Abschnitt beschrieben konzipiert, aber noch nicht in TopDM implementiert ist.

5 Anwendungsbeispiele

In diesem Abschnitt wird das Potential des vorgestellten Verwaltungskonzeptes anhand einer FWF Befliegung des Schlosses Schönbrunn aus dem Jahr 2005 demonstriert. Folgende Vorverarbeitungsschritte wurden vorab durchgeführt: Dekomposition der Laserechos aus der digitalisierten Wellenform, direkte Georeferenzierung der Echos auf Basis des Flugpfades (GNSS, IMU, Mounting Calibration), Qualitätskontrolle und Streifenausgleichung. Die präzise georeferenzierte Punktwolke samt allen Zusatzattributen wurde anschließend streifenweise in TopDM importiert. Für den Bereich des Schlosses und des Schlossparks wurden die ersten Echos selektiert und daraus ein DOM berechnet, welches als Schummerung in Abb. 2a dargestellt ist. Abb. 2b-f zeigen verschiedene Sets von ALS Punkten, basierend auf unterschiedlichen Filterkriterien. Allen Abfragen liegt folgende grundsätzliche Selektionsbedingung zu Grunde:

```
SELECT .... WHERE COORDINATES .X. WINDOW (765 338060 2050 338460) AND AGGREGATE='Steifen8';
```

Durch diese Bedingung wird die gesamte Punktwolke auf jene Punkte des Flugstreifens 8 eingeschränkt, welche im angegebenen Datenfenster liegen (Abb. 2b). Durch Anwendung von

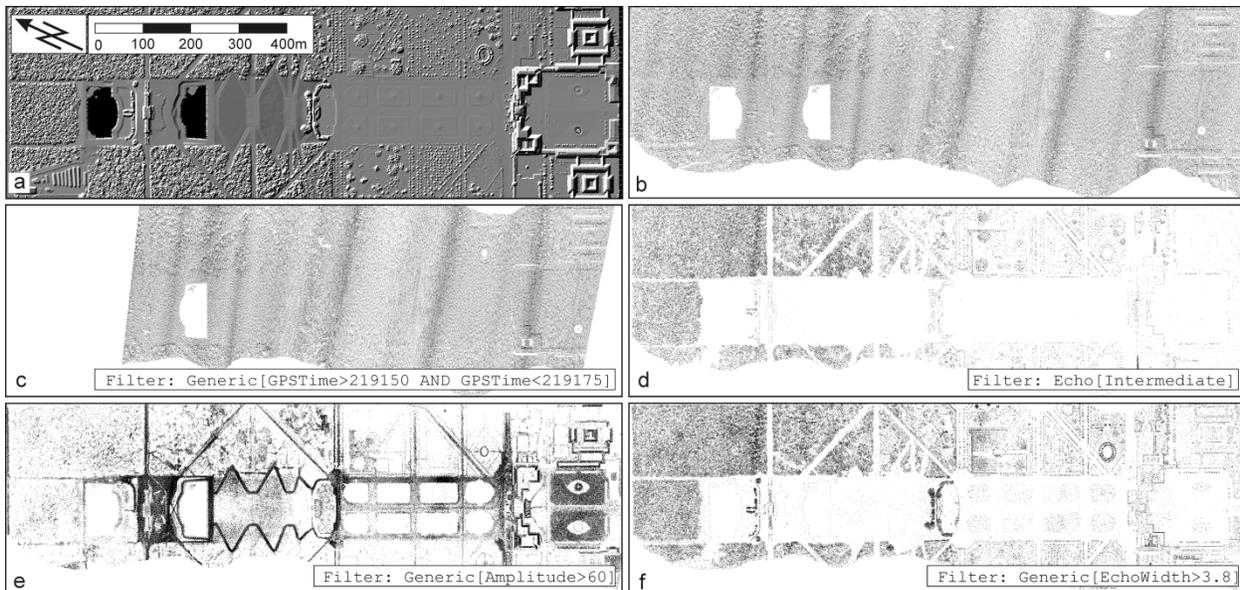


Abb. 2: Schloss Schönbrunn mit Gartenanlage; a) Schummerung des DOM, b) Alle Echos von Streifen 8 (ausgedünnt auf jeden 4. Punkt), c) 25 Flugsekunden von b, d) Zwischenechos, e) Echos mit Amplitude > 60 [DN], e) Echos mit Echoweite > 3.8 [ns], Daten: Schloss Schönbrunn Kultur und Betriebs GmbH

Filtern, kann die Auswahl noch verfeinert werden. So zeigt Abb. 2c alle Echos innerhalb eines 25 Flugsekunden-Ausschnittes und Abb. 2d alle Zwischenechos (d.h. Echos, die weder erstes noch letztes Echo sind). Man erkennt, dass Zwischenechos fast ausschließlich im Vegetationsbereich auftreten. Die Selektion nach Amplituden (Abb. 2e) wiederum lässt deutlich die Wege im Schlosspark und die offenen Flächen vor dem Schloss hervortreten, wogegen hier kaum Echos in der Vegetation oder den geneigten Dachflächen des Schlosses vorhanden sind. Diese Echos sind offensichtlich gut für die DGM Bestimmung verwendbar. Echos in der Vegetation und auch an steilen Flächen (Hauwände) sind meist durch hohe Echoweiten ausgezeichnet (Abb. 3f). Derart selektierte Punkte lassen sich daher gut für die Detektion von Gebäudeumrissen und Waldflächen nutzen. Die angegebenen Filterbeispiele wurden allesamt bewusst einfach gewählt. Je nach Aufgabenstellung lassen sich diese aber auch zu komplexen Bedingungen kombinieren und erlauben dadurch eine gezielte Datenauswahl für spezielle Anwendungen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein Konzept für die landesweite Verwaltung von FWF ALS Daten und dessen Realisierung im Programmsystem TopDM vorgestellt. Neben den Koordinaten der Punkte und den klassischen Informationen, wie Zeitstempel und Intensität, erlaubt das Konzept ein Management von zusätzlichen punktbezogenen FWF Attributen, wie Amplitude, Echoweite Streuquerschnitt, aber auch von zugeordneten Informationen anderer Sensoren (Farbwerte) und aus der Datenprozessierung (Punktklassifizierung, Strahlvektor). Fachanwendungen im Bereich der Gebäudemodellierung, Forstwirtschaft oder Hydraulik sind dadurch nicht mehr länger auf Standardprodukte wie das DGM oder DOM angewiesen, sondern können großflächig auf die

originale Punktwolke mit allen Zusatzattributen zurückgreifen. Darüber hinaus wurde ein System zur Flugpfadverwaltung in den Grundzügen vorgestellt, dessen Implementierung noch aussteht. Das System ist bereits im praktischen Einsatz und hat sich bei der ALS-Befliegung der Stadt Wien (MA 41) sowie bei zahlreichen wissenschaftlichen Projekten am I.P.F. bereits bewährt.

7 Literaturverzeichnis

- ASPRS, 2010: URL: http://www.asprs.org/society/committees/lidar/lidar_format.html. Homepage des ASPRS LAS File Formats, [Stand:2010-06-02].
- DIN, 2004: Die SQL-Normen, Normen der Reihe ISO/IEC 9075. In: DIN-Mitteilungen 4/2004, S. 27- 36
- GDAL, 2010: URL: <http://www.gdal.org/>. Homepage der Geospatial Data Abstraction Library, [Stand:2010-06-02].
- HOCHSTÖGER, F., 1996: Software for Managing Country-Wide Digital Elevation Data. In: IAPRS, Vol. XXXI, Part B2, Vienna, Austria, 1996, S. 160–163
- INPHO, 2010: URL: <http://www.inpho.de/>. Homepage der Firma INPHO GmbH, [Stand: 02-06-2010]
- LOITSCH J. & MOLNAR L., 1991: A Relational Database Management System with Topological Elements and Topological Operators. In: Proceedings of Spatial Data 2000, Department of Photogrammetry and Surveying, University College London, 1991, S. 260–269
- NELSON, R. A., MCCARTHY, D. D., MALYS S., LEVINE, J., GUINOT, B., FLIEGEL, H. F, BEARD, R. L. & BARTHOLOMEW, T. R, 2001: The leap second: its history and possible future. *Metrologia*, **38** (6), S. 509-529
- OGC A, 2010: URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/ct/>. OpenGIS Coordinate Transformation Service Implementation Specification, [Stand:2010-06-02].
- OGC B, 2010: URL: <http://www.opengeospatial.org/standards/sfa/>. OpenGIS Implementation Specification for Geographic information - Simple feature access - Part 1: Common architecture, [Stand: 2010-06-02]
- OPALS, 2010: URL: <http://www.ipf.tuwien.ac.at/opals/>. Dokumentation des Programmsystems OPALS, [Stand: 2010-06-02]
- ORACLE, 2010: URL: <http://www.oracle.com/technology/products/spatial/>. Oracle Spatial Homepage, [Stand:2010-06-02].
- PROJ4, 2010: URL: <http://trac.osgeo.org/proj/>. Homepage der Proj4 Cartographic Projections Library, [Stand:2010-06-02].
- REFRACTION RESEARCH, 2010: URL: <http://postgis.refractions.net/>. PostGIS Homepage, [Stand:2010-06-02].
- RIEGL, 2010: URL: <http://www.riegl.com>. Homepage der Firma Riegl Laser Measurement Systems, [Stand:2010-06-02].
- SKALOUD, J. & LICHTI, D., 2006: Rigorous approach to boresight self-calibration in airborne laser scanning. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **61** (1), S. 47-59.
- WAGNER, W., ULLRICH, A., DUCIC, V., MELZER, T. & STUDNICKA, N., 2006: Gaussian decomposition and calibration of a novel smallfootprint full-waveform digitising airborne laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **60** (2), S. 100– 112.
- Warriner, T. & Mandlbürger G., 2005: Generating a New High Resolution DTM Product from various Data Sources. In: Proceedings of the 50th Photogrammetric Week, D. Fritsch (ed.), ISBN: 3-87907-421-6; S. 197 - 206.