

Die verfeinerte Georeferenzierung von ALS-Daten – Methodik und praktische Erfahrungen

Roland WÜRLÄNDER, Klaus WENGER-OEHN

Zusammenfassung

Ein wesentliches Qualitätsmerkmal für die aus einer Laserscannerbefliegung ableitbaren Produkte ist die Genauigkeit der Georeferenzierung. Dieser Artikel erläutert die zumeist übliche Vorgehensweise bei der Georeferenzierung von ALS-Daten und stellt darauf aufbauend mit dem Softwaresystem ORIENT-LIDAR eine Methode vor, die eine Überprüfung und Verfeinerung (=Verbesserung) der Georeferenzierung ermöglicht. Auf der Grundlage einer Reihe von bei der DI Wenger-Oehn ZT GmbH praktisch durchgeführten ALS-Projekten werden die mit dieser Methode erzielbaren Qualitätssteigerungen dokumentiert.

1 Einführung

Die besondere Eignung der Datenerfassungsmethode Airborne Laser Scanning (ALS) für die Ableitung von hochgenauen Digitalen Höhenmodellen – in Form von Digitalen Geländemodellen (DGM) oder Digitalen Oberflächenmodellen (DOM) ist inzwischen hinlänglich bekannt und dokumentiert. Maßgebend für die tatsächlich im Zielkoordinatensystem erreichbare Genauigkeit ist eine möglichst exakte Georeferenzierung der ALS-Daten. Diese ist entscheidend für die Qualität sämtlicher aus der ALS-Punktwolke ableitbaren Folgeprodukte.

Mit dem Begriff Georeferenzierung wird der Vorgang umschrieben, aus den im Rahmen der Datenerfassung (ALS-Befliegung) und zusätzlicher Messungen am Objekt anfallenden Meßgrößen die Koordinaten der Punktwolke im Zielkoordinatensystem zu bestimmen. Bei der „direkten Georeferenzierung“ werden hierzu ausschließlich die Informationen über das während der Befliegung eingesetzte Messsystem verwendet (siehe Kapitel 2), während bei der „verfeinerten Georeferenzierung“ zusätzlich Informationen am Objekt für eine Verbesserung der Ergebnisse verwendet werden (siehe Kapitel 3).

Die Wahl des Zielkoordinatensystems selbst (in der Regel das Landeskoordinatensystem) und die Transformation zwischen dem Koordinatensystem des Aufnahmesystems und dem Zielkoordinatensystem beeinflussen zusätzlich die Qualität der georeferenzierten ALS-Daten.

Die über die eigentliche Georeferenzierung hinausgehenden Schritte zur Erstellung hochwertiger Produkte aus ALS-Daten (Filterung, Interpolation etc.) sind ebenfalls

wichtige Aspekte für deren Qualität, werden jedoch im Rahmen dieses Artikels nicht behandelt.

2 Direkte Georeferenzierung von ALS-Daten

Bei der Koordinatenbestimmung für die Punkte einer ALS-Befliegung handelt es sich prinzipiell um eine Polarkoordinatenmessung, d.h. ausgehend von einer bekannten Position wird mittels einer bekannten Richtung im 3D-Raum und der Strecke entlang dieser Richtung der Objektpunkt koordiniert. Für die Erfassung der Variablen Position, Raumrichtung und Strecke gibt es innerhalb eines ALS-Systems drei unterschiedliche System-Komponenten, nämlich eine

- Komponente für die Positionsbestimmung (GPS und/oder GLONASS), eine
- Komponente für die Bestimmung der Raumorientierung des Messsystems (IMU) und eine
- Komponente für die Punktbestimmung am Boden über Richtungswinkel- und Laufzeitmessung (Phasenmessung) des Laserstrahles (Lidar)

Jede dieser Komponenten besitzt innere Genauigkeitswerte für die Bestimmung der Messgrößen, die in die Genauigkeit der Bodenpunkte einfließen. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über typische Genauigkeitswerte von handelsüblichen Messkomponenten, wie sie bei ALS-Systemen eingesetzt werden.

Tab. 1: Kennzahlen handelsüblicher ALS-Systeme

Messgröße	Position X [dGPS]	Position Y [dGPS]	Position Z [dGPS]	Roll [gon]	Pitch [gon]	Heading [gon]	Strecke (Laufzeit)
Messfrequenz	1-2 Hz	1-2 Hz	1-2 Hz	64-200 Hz	64-200 Hz	64-200 Hz	30-100 kHz
Genauigkeit	5-20 cm	5-20 cm	5-20 cm	~ 0,005	~ 0,005	~ 0,01	2-5cm

Da es sich die drei System-Komponenten an unterschiedlichen Positionen befinden (die GPS-Antenne muss z.B. nach oben freie Sicht haben, der Laserstrahl nach unten), ist auch die Lagerung der Einzelkomponenten zueinander (Exzentrizität, Orientierung) und ihre zeitliche Synchronisation von Bedeutung und sollte möglichst exakt bekannt sein. Die entsprechenden Daten werden durch direkte Messung am Fluggerät (für die Lage) und im Rahmen von Kalibrierflügen (für die Raumwinkelunterschiede, die sog. „mounting calibration“) ermittelt. Bei diesen Kalibrierflügen wird ein Testfeld mit bekannten Objektgeometrien mehrmals in verschiedenen Höhen und Richtungen überflogen und anschliessend aus den Diskrepanzen zwischen den Laserstreifen die Kalibrierparameter bestimmt.

Bereits geringe Abweichungen bei der Bestimmung dieser Parameter führen zu systematischen Fehlern an den Koordinaten der ALS-Punktewolke am Boden. Besonders

kritisch sind Ungenauigkeiten bei den Raumwinkeln. Dies verdeutlicht die Tabelle 2, in der für einen typischen Fall eines Raumrichtungsfehlers von ca. 0,02 gon (Winkelmessgenauigkeit und mounting) resultierende Abweichungen am Objekt in Abhängigkeit verschiedener Flug- und Objektparameter dargestellt werden.

Tab. 2: Einfluss eines Raumrichtungsfehlers von 0,02 gon auf die Objektkoordinaten

Flughöhe	Geländeneigung	Auslenkwinkel l	Lageabweichung	Höhenabweichung g
800 m	0 °	Nadir (0°)	25 cm	0 cm
		25°	22,7 cm	10,6 cm
		30°	25 cm	12,5 cm
1400 m	0 °	Nadir (0°)	43,75 cm	0 cm
		25°	39,7 cm	18,5 cm
		30°	43,75 cm	21,9 cm
		25°	bis 45 cm	bis 26 cm

Aus diesen Werten lässt sich ablesen, dass Raumrichtungsfehler Lage- und Höhenfehler erzeugen können, die Lage jedoch kritischer ist. Zusätzlich wichtig ist die Erkenntnis, dass die Werte proportional zur Flughöhe sind. Leistungsstarke ALS-Systeme mit hohen Reichweiten benötigen deshalb eine besondere Sorgfalt bei der Kalibrierung. Eine zusätzliche Unsicherheit entsteht dadurch, dass die über dem Testfeld ermittelten Kalibrierparameter nicht immer exakt auf das Befliegungsgebiet übertragbar sind, da die ALS-Systeme wegen innerer und äußerer Einflüsse nicht stabil sind.

Die Summe dieser Erkenntnisse legt nahe, für ALS-Projekte eine verfeinerte Georeferenzierung mit zusätzlicher Nutzung von Objektinformation einzusetzen.

3 Verfeinerte Georeferenzierung von ALS-Daten

Bei der Georeferenzierung von streifenweise vorliegenden Daten unterscheidet man die relative (= Übereinstimmung zwischen den Flugstreifen) und absolute Genauigkeit (=Übereinstimmung mit der Passinformation). Eine ALS-Befliegung erfordert zur Sicherstellung der Gebietsabdeckung eine Überlappung zwischen den Flugstreifen. Diese liegt in der Regel zwischen 10 und 30%. In diesen Überlappungszonen lässt sich über die dreidimensionalen Differenzen an identischen Objekten die relative Genauigkeit beurteilen und entsprechend über die Differenzen zu Einpassobjekten die absolute Genauigkeit.

Eine Verbesserung der Georeferenzierung kann über die Minimierung dieser Differenzen im Rahmen eines statistischen Schätzverfahrens erzielt werden. Hierzu wurden bereits verschiedene Ansätze vorgestellt, die entweder auf einer ausschließlichen Korrektur der Punktwolke einzelner Streifen (Lage und Orientierung des Streifens) oder auf einer

strengen Lösung beruhen, basierend auf den mathematischen Beziehungen der Flugfad- und Polarkoordinatenbestimmung (FILIS&Vosselmann 2004, MAAS 2002, BURMANN 2002).

Am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien (I.P.F.) wurde mit ORIENT-LIDAR eine strenge Lösung für die simultane absolute und relative Georeferenzierung von ALS-Flugstreifen entwickelt (KAGER 2004). Diese enthält dieselbe Vorgehensweise wie eine Kalibrierung, d.h. es werden die Parameter der drei Systemkomponenten GPS, IMU und LiDAR im Rahmen des statistischen Schätzverfahrens in einer Weise adaptiert, dass die Restfehler an korrespondierenden Objekten in allen Streifen minimiert werden. Diese korrespondierenden Objekte sind idealerweise glatte, geneigte und unterschiedlich orientierte Flächen.

Abb. 1: Prinzip des Streifenangleichs (Quelle KAGER&RESSL 2006)

Nach Möglichkeit werden hierzu Dachflächen unterschiedlicher Neigungsrichtungen in den Überlappungsbereichen der Laserdaten (Verknüpfungsflächen) oder direkt im Projektsgebiet (Passflächen) bestimmt (siehe Abbildung 1).

4 Praktische Erfahrungen mit ORIENT-LIDAR

Im Rahmen des Christian-Doppler-Labors für „Räumliche Daten aus Laserscanning und Fernerkundung“, angesiedelt am I.P.F., wurde unter maßgeblicher Beteiligung der DI Wenger-Oehn ZT GmbH die Methode ORIENT-LIDAR für die Anwendung in der Praxis weiterentwickelt. Seit nahezu zwei Jahren wird darauf aufbauend diese Methode direkt im Büro für eine größere Reihe von ALS-Projekten standardmäßig eingesetzt. Diese praktischen Beispiele erstrecken sich über unterschiedliche Flächenausdehnungen (1 bis 500 qkm) und Landschaftstypen (Flachland, Flusstäler, Hügelland, Hochgebirge) und wurden mit ALS-Systemen mehrerer verschiedener Hersteller und Flugfirmen durchgeführt.

Die nachstehende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Parameter und Ergebnisse der verfeinerten Georeferenzierung ausgewählter Projekte.

Tab. 3: Ergebnisse der verfeinerten Georeferenzierung für ausgewählte Projekte

Projekt	Fläche [qkm]	Gebiet	Flugfirma	Flugstreifen	Anzahl VK-Flächen	σ_0 [cm]
1	< 50	Fluss	A	37	662	2,5
2	< 50	Fluss	B	40	993	6,3
3	< 50	Fluss	E	45	2063	2,5
4	> 200	Flachland	B	78	6074	6,0

5	50-200	Flachland	D	71	2713	3,5
6	50-200	Flachland	C	21	361	1,7
7	< 50	Flachland	E	10	162	2,1
8	50-200	Hügellan	C	22	1418	1,7
9	50-200	Hügellan	C	26	904	2,0
10	> 200	Hügellan	B	94	3034	1,8
11	> 200	Gebirge	A	112	3754	11,1
12	50-200	Gebirge	B	44	2397	2,6

Eine Abhängigkeit des erzielten Genauigkeitswertes (σ_0) von einem der Charakteristika, sei es die Gebietsgröße, die Gebietscharakteristik oder die verantwortliche Flugfirma ist nicht ersichtlich. Bei den Projekten mit den vier schlechtesten Genauigkeitswerten (2, 4, 5 und 11) konnten im Rahmen der Analyse der verbleibenden Streifendifferenzen nach der verfeinerten Georeferenzierung nicht modellierbare systematische Effekte nachgewiesen werden. Auf Grundlage entsprechender Hinweise war z.B. die Flugfirma „B“ in der Lage, bei nachfolgenden Flügen deutlich verbesserte Daten bereitzustellen (Projekte 10 und 12).

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Methode ORIENT-LIDAR erfolgreich in die Praxis übergeführt werden konnte und damit in der Regel sehr gute Ergebnisse im Bereich von wenigen Zentimetern mittlerer Fehler (relative und absolute Genauigkeit) erzielbar sind. Grundlegend hierfür ist jedoch eine ordentliche Durchführung der direkten Georeferenzierung (Datenerfassung, Kalibrierung, Berechnung) durch die Flugfirmen.

5 Globale und lokale Koordinatensysteme

Die direkte Georeferenzierung erfolgt in der Regel im globalen Koordinatensystem UTM/WGS84. Lokale Auftraggeber verlangen zumeist die Lieferung der Daten im System der Landesvermessung. Zwischen diesen Systemen gibt es jedoch in der Regel Spannungen, die auf die Verwendung unterschiedlicher Höhensysteme (ellipsoidische Höhen, orthometrische Höhen), unterschiedlicher Kartenabbildungen und historisch gewachsene Ungenauigkeiten im Netz des Zielkoordinatensystems hervorgerufen werden. Die Genauigkeit der ALS-Punktwolke im Zielsystem hängt deshalb auch von der Genauigkeit des Geoidmodells und der Größenordnung der Netzspannungen ab. Für die in Kapitel 4 gelisteten Projekte wurden in der Regel Transformationsparameter (7-Parameter über ein überbestimmte Helmerttransformation) ermittelt. Die mittleren Fehler dieser Berechnungen bewegen sich in der Bandbreite von 4 bis 7 cm. Damit sind sie in der Regel höher als die mit der verfeinerten Georeferenzierung erzielbaren Genauigkeitswerte (Tabelle 3).

Die optimale Ausschöpfung des Genauigkeitspotentials von ALS mit verfeinerter Georeferenzierung erfordert folglich die Beurteilung und Bewertung des lokalen Festpunktfeldes in Bezug auf vorliegende Netzspannungen.

6 Dank und Ausblick

Wesentliche Beiträge für den gelungenen Einsatz von ORIENT-LIDAR im Rahmen der präsentierten Projekte leisteten einerseits Dr. Kager und Dr. Ressler vom I.P.F. durch Ihre Entwicklungs- und Beratungsleistung für ORIENT-LIDAR und andererseits die Mitarbeiter der DI Wenger-Oehn ZT GmbH durch Ihre engagierte und hochwertige Tätigkeit im Bereich der Messung (Pass- und Verknüpfungsflächen), Berechnung und Ergebniskontrolle.

Laufende technische Weiterentwicklungen lassen erwarten, dass die für die ALS-Datengewinnung eingesetzten Sensoren und Methoden zunehmend genauer werden, z.B. durch Einsatz des europäischen Navigationssystems GALILEO. Auch die Qualität der Sensor-Kalibrierung wird zunehmen. Es ist jedoch eine Überprüfung und Verfeinerung der Georeferenzierung weiterhin notwendig und sinnvoll, da sich systematische Fehler in einem sehr komplexen Messsystem nicht ausschließen lassen und die prinzipiell durch diese Methode erzielbare deutliche Qualitätssteigerung den Wert der Daten erhöht.

Die Methode ORIENT-LIDAR ist auch sehr gut geeignet, die Georeferenzierung bereits vorliegender, „historischer“ Daten nachträglich zu prüfen und zu verbessern und ALS-Daten verschiedener Epochen optimal miteinander zu kombinieren.

7 Literatur

- BURMANN, H. (2002): Laser strip adjustment for data calibration and verification. In: Proceedings of the ISPRS commission III meeting Graz, part 3A, 67-72.
- FILIN, S., VOSSELMAN, G. (2004): Adjustment of airborne laser altimetry strips. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV, Part B3, 285–289.
- KAGER, H. (2004): Discrepancies Between Overlapping Laser Scanner Strips - Simultaneous Fitting of Aerial Laser Scanner Strips. Proceedings XXth ISPRS Congress, Istanbul, Vol. XXXV, Part B/1, 555-560.
- KAGER, H. & RESSL, C. (2006): Georeferenzierung und ihre Qualitätskontrolle (Daten von flugzeuggetragenem Laserscanner). Präsentation im Rahmen des CDL-Workshops „Räumliche Daten aus Laserscanning und Fernerkundung“, Wien, 25.04.2006.
- MAAS, H.G. (2002): Methods of Measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanning data. PE&RS, Vol. 68, No. 9, 933-940.