

Laserscanning Kanton Zürich 2014

Technischer Abschlussbericht

Version 2.0



Für Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Raumentwicklung
Abteilung Geoinformation, Vermessung
Stampfenbachstrasse 12
8090 Zürich

Autor BSF Swissphoto AG/SPM
Dorfstrasse 53
8105 Regensdorf-Watt
Stephan Landtwing (Projektleiter)

Datum 10.02.2015

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
1.1 Ausgangslage	4
1.2 Vertragsgrundlagen	4
1.3 Spezifikationen und Umfang der Arbeiten Teil „Lidar“	4
1.4 Lieferumfang Arbeitsergebnisse „Lidar“	5
1.5 Perimeter	5
1.6 Projektorganisation	6
1.7 Zeitplan gemäss. Pflichtenheft	6
2 Eingesetzte Systeme und Technologien	8
2.1 Laserscanner Trimble AX60	8
2.2 Flugplattformen	9
2.3 Software	9
3 Flugplanung	10
4 Datenerfassung	12
4.1 Befliegung	12
4.2 Kontrollpunkte und -flächen	13
5 Datenauswertung	16
5.1 Übersicht	16
5.2 GPS/IMU-Auswertung	16
5.3 Full Waveform-Analyse	16
5.4 Punktberechnung, Systemkalibrierung und Streifenausgleichung	17
5.5 Automatische (Vor-)Klassifizierung	17
5.6 Interaktive Kontrolle und Feinklassifizierung	17
5.7 Übergang in das Koordinatensystem CH1903/LN1902	18
5.8 Abgabeprodukte pro Kachel	18
6 Qualitätskontrollen Lidar	20
6.1 Lückenlose Gebietsabdeckung	20
6.2 Punktdichte	20
6.3 Streifendifferenzen	23
6.4 Höhengenaugigkeit	24
6.5 Lagegenauigkeit	24

7 Datenlieferungen und -prüfung	25
7.1 Zusammenfassung Teillieferungen	25
7.2 Lieferungen zur Verifikation	26
7.3 Inhalt pro Teillieferung	27
7.4 Befund Verifikation	27
7.5 Schlusslieferung Lidar	28
8 Bestätigungen und Schlussbemerkung	29
A.1 Projektplan	30

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Am 20. Februar 2014 erhielt die Firma BSF Swissphoto AG mit der Subunternehmerin COWI A/S vom Kanton Zürich, vertreten durch die Abteilung Geoinformation/Vermessung den Auftrag für das Projekt „Luftaufnahmen42“, welches die flächendeckende Erstellung von Laserscanning-Höhenmodellen (DTM, DOM) sowie von digitalen Orthophotos (DOP) über das gesamte Kantonsgebiet beinhaltet.

Der vorliegende Bericht behandelt den Laserscanning (Lidar)-Teil. Die Arbeiten zur Erstellung des Orthophotos sind in einem separaten Bericht dokumentiert.

1.2 Vertragsgrundlagen

Folgende Dokumente bilden die rechtliche Grundlage dieses Auftrags (in chronologischer Reihenfolge):

- **Ausschreibung/Pflichtenheft** "Luftaufnahmen42 Kanton Zürich 2014/2016" vom 27. 9. 2013 mit Verweis auf den „Leitfaden Qualitätssicherung Photogrammetrie & DTM-Generierung“, KKVA, Juli 2000
- **Offerte** "Luftaufnahmen42" Kanton Zürich der BSF Swissphoto AG vom 3. 11. 2013
- **Werkvertrag** für Projekt "Luftaufnahmen42" zwischen den Kanton Zürich und der BSF Swissphoto AG vom 20. 2. 2014

1.3 Spezifikationen und Umfang der Arbeiten Teil „Lidar“

Die Arbeiten umfassten folgende Teilaufgaben

- Laser-Datenerfassung über den gesamten Kanton Zürich mit der geforderten Punktdichte von 8 Punkten pro m²
- Berechnung der 3D-Punktwolke im lokalen Koordinaten- und Höhensystem
- Klassifizierung der Punktwolke in 9 Klassen und Erstellung der Rastermodelle (DTM, DOM)
- Lieferung der verlangten Abgabeprodukte und -Formate
- Qualitätskontrollen und Dokumentation (Metadaten, Technischer Bericht)

Folgende Spezifikation wurden durch die Vertragsgrundlagen festgelegt:

- Befliegung möglichst bei Laub-, Hochwasser-, Eis- und Schneefreiheit sowie trockener Oberfläche
- Mittlere Punktdichte (Lasershots) ohne Überlappung 8 Punkte/m²
- Querüberlappung der Flugstreifen mind. 10%, im Mittel 30%
- Öffnungswinkel max. +/- 20°
- Höhengenaugigkeit: 0.1 m (1 σ = 68%)
- Lagegenauigkeit: 0.2 m (1 σ = 68%)
- Koordinatensysteme: LV95 / CH1903
- Höhensysteme: LHN95 / LN1902
- Klassifizierung der Punktwolke in
 - Bodenpunkte → DTM & DOM
 - Tiefe Vegetation (< 3 m über Boden) → DOM
 - Hohe Vegetation (> 3 m über Boden) → DOM
 - Gebäude → DOM
 - Brücken, Stege → DOM
 - Freileitungen, Masten, Antennen

- Temporäre Objekte (Fahrzeuge, Schiffe, Lagerstätten, Zelte etc.)

1.4 Lieferumfang Arbeitsergebnisse „Lidar“

- Dokumentation
 - Technischer Bericht
 - Metadaten zu den Produkten DTM und DOM: Flugzeitpunkt, Kacheleinteilung
 - Nachweis der erreichten Punktdichte (Punktdichtekarten)
 - Nachweis des Vergleichs mit den Kontrollflächen
 - Nachweis der Qualität der Klassierung der Punkte im DOM
 - Übersicht zu den Höhendifferenzen zwischen den einzelnen Flugstreifen
 - Flugwege
- Rohdaten
 - Ungefilterte Punktwolke pro Kachel in LV95/LHN95 und LV03/LN02 im Format LAS 1.3
- DTM und DOM in LV95/LHN95 und LV03/LN02
 - Punktwolke ASCII xyz/xyzk und LAS
 - Interpolierte Raster ESRI Grid 0.5 m

1.5 Perimeter

Der Projektperimeter erstreckt sich über den gesamten Kanton Zürich (siehe Tabelle 1) sowie einen Puffer von 500 m zu den angrenzenden Kantonen. Die Gesamtfläche beträgt 1'868 km² und beinhaltet Höhenlagen von 330 bis 1'292 m über Meer.

Im Verlauf der Befliegung erfolgte eine Erweiterung des Perimeters in Richtung Westen für ein Zusatzgebiet im Auftrag der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA). Dieses Gebiet wurde in den Flugplan sowie die Georeferenzierung der Rohdaten integriert.

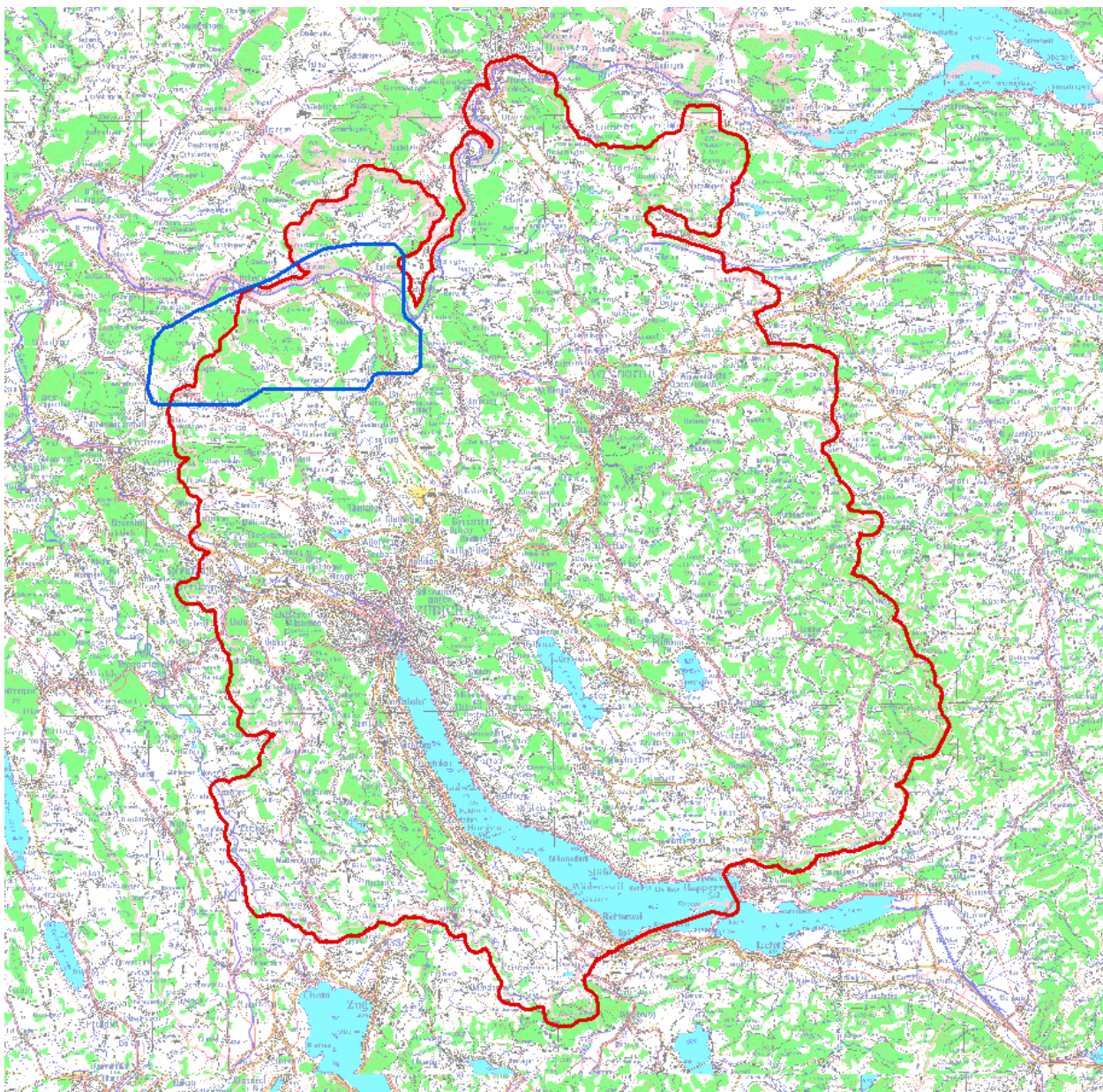


Tabelle 1: Projektgebiet Kanton Zürich inkl. 500 m Puffer (rot) und Zusatzgebiet NAGRA (blau)

1.6 Projektorganisation

Auftraggeber

Kanton Zürich, Abteilung Geoinformation, Vermessung

- Projektleiter: Erich Schwengeler

Auftragnehmer

BSF Swissphoto

- Projektleiter: Stephan Landtwing
- Stv. Projektleiter: Andreas Morach

1.7 Zeitplan gemäss. Pflichtenheft

Meilenstein	Datum
Arbeitsbeginn	Januar 2014
Messflug Lidar	17. März bis 17. April 2014
Zwischenkontrolle Lidar	Juni 2014

Abgabe aller Ergebnisse Lidar	25. September 2014
Abnahme Lidar	November 2014

Tabelle 2: Meilensteine gem. Pflichtenheft

Der detaillierte Projektplan kann dem Anhang A.1 entnommen werden. Es zeigt den Terminplan, wie er von Auftraggeber und Auftragnehmer an der Startsitzenz vom 10. 2. beschlossen wurde.

2 Eingesetzte Systeme und Technologien

2.1 Laserscanner Trimble AX60

Für die Laserdatenerfassung kommt der Trimble AX60 Laserscanner zum Einsatz, ein Hochleistungsscanner, welcher mit einer Wiederholrate (PRR) von bis zu 400 kHz Laserpunktewolken mit hoher Auflösung erfassen kann. Das System nutzt fortgeschrittene Techniken wie die Multi-Puls-Verarbeitung, Mehrfach-Echo Digitalisierung und Fullwaveform-Analyse.



Tabelle 3: Airborne Laserscanner Trimble AX60

Die wichtigsten Systemspezifikationen der beiden Typen sind in Tabelle 4 zusammengefasst:

Laser-Klasse	Klasse 3B
Laser -Wellenlänge	Nahes Infrarot (ca. 1000 nm)
Laserpuls-Wiederholungsrate	400 kHz (266 kHz effektive Messrate)
Scan-Mechanismus	Rotierender Polygonspiegel
Scan-Muster	Parallele Scanlinien, gleichmässige Punktverteilung
Scan-Frequenz (max)	200 Hz
Öffnungswinkel	60°
Maximale Flughöhe über Grund	4700 m (15.500 ft) AGL
Distanzmess-Genauigkeit	2 cm (1 σ)
Vertikale Genauigkeit	<15 cm (absolut)
Horizontale Genauigkeit	<20 cm (absolut)
Strahldivergenz	≤ 0.25 mrad
Anzahl Echos	Unlimitiert (Wellenform-Analyse)
Intensitätsbereich	16 bit pro Echo
Vertikaler Separierungsabstand	0.4 m–0.7 m

Tabelle 4: Spezifikationen Laserscanner Trimble AX 60

Position und Orientierung des Messsystems im Flug werden vom Trimble AP50-System aufgezeichnet. Dieses ist eine Kombination aus geodätischem Zweifrequenz-GPS-Empfänger (Aufzeichnungsrate 5 Hz) und High-End-Inertialmesssystem (IMU, Aufzeichnungsrate 200 Hz). Die Komponenten sind in Tabelle 5 zu sehen.



Tabelle 5: Trimble AP 50

Die von Trimble publizierten Genauigkeitsspezifikationen dieses Systems sind in Tabelle 6 zusammengefasst:

Position	0.05 - 0.2 m
Geschwindigkeit	0.005 m/s
Roll- & Pitch-Winkel	0.005°
Heading-Winkel	0.008°

Tabelle 6: Genauigkeitsspezifikationen Trimble AP 50 (RMS-Werte)

Die Sensoren werden jährlich vom Hersteller gewartet und auf die Einhaltung der spezifizierten Leistungskennziffern überprüft.

2.2 Flugplattformen

Im Verlauf der Befliegungskampagne kamen verschiedene Flugzeuge der BSF Swissphoto-Flotte sowie von Subunternehmern zum Einsatz (siehe auch Tabelle 12):



Tabelle 7: Helikopter R44 HB-ZJL



Tabelle 8: Pilatus PC6 D-FGPG

2.3 Software

Die folgenden Software-Pakete kommen bei BSF Swissphoto in den verschiedenen Schritten der Laserdaten-Prozessierung zum Einsatz:

Software	Hersteller	Funktion
POSPac	Applanix Inc., Kanada	Post-Processing der GNSS- und IMU-Daten des AX60-Systems
Ri-Process, Ri-Scan	Riegl, Österreich	Berechnung der 3D-Punktkoordinaten System-Kalibrierung und Streifenausgleichung
TerraScan TerraModeler	TerraSolid Inc., Finnland	Klassifizierung (Filterung) und Bearbeitung der Punktwolke, Intensitätsbilder
GeoCue	GeoCue Corp, USA	Daten- und Prozessmanagement Differenzanalyse der Kontrollflächen
ArcGIS ArcView	ESRI, USA	Erstellen von Übersichtskarten Qualitätschecks der Lidar-Daten mittels Schummerngebilder und anderen Themen

Tabelle 9: Software im Einsatz bei BSF Swissphoto Lidar-Projekten

3 Flugplanung

Bei der Flugplanung wurden folgende Aspekte berücksichtigt:

- Anforderungen des Pflichtenhefts bezügl. Punktdichte und Genauigkeit, Querüberlappung und Öffnungswinkel
- Leistungsparameter der verfügbaren Sensoren und Flugzeuge
- Topographie, auch hinsichtlich sinnvoller Etappierung
- Anforderungen der Flugsicherung und andere Sicherheitsaspekte
- Wirtschaftlichkeit

Aufgrund der einschneidenden Restriktionen der Flugsicherung Skyguide im Umfeld des Flughafens Zürichs wurde das Projektgebiet in fünf Teilgebiete aufgeteilt, welche mit unterschiedlichen Flughöhen, Flugzeitpunkten und Sensor-Settings geplant und befliegen wurden.

Der eingesetzte Laserscanner AX60 zeichnet fix Daten mit einem Öffnungswinkel von +/- 30° auf, während im Pflichtenheft ein maximaler Öffnungswinkel von +/- 20° gefordert ist. An der Startsituation vom 24. 2. wurde vereinbart, dass für die Produktion lediglich der Bereich +/- 20° genutzt wird. Auf dieser Basis muss die Flugplanung die minimal geforderte Querüberlappung von 10% aufweisen. Die Differenz zur geforderten mittleren Querüberlappung von 30% darf jedoch durch den Bereich zwischen +/- 20° und 30° abgedeckt werden.

Aufgrund der Vorgaben von Skyguide war in Area 5 ausschliesslich eine Befliegung bei Nacht möglich. Dies machte den Einsatz eines Flächenflugzeugs zwingend. Um in diesem Bereich die geforderte Punktdichte zu erreichen, müssen die Daten mehrerer Fluglinien kombiniert werden. Es wurde deshalb mit einer Querüberlappung von 71% gerechnet, um jede Stelle durch drei Flugstreifen abzudecken.

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5
Fluggerät	Helikopter	Helikopter	Helikopter	Helikopter	Flächenflugzeug
Flughöhe über Meer (AMSL)	5'000 ft (≈ 1'520 m)	5'000 ft (≈ 1'520 m)	6'000 ft (≈ 1'825 m)	4'500 ft – 5'500 ft (≈ 1'370 – 1675 m)	5'200 ft (≈ 1'585 m)
Fluggeschwindigkeit	45 kts	45 kts	45 kts	45 kts	130 kts
Öffnungswinkel	+/- 20° (+/-30° erfasst)	+/- 20° (+/-30° erfasst)	+/- 20° (+/-30° erfasst)	+/- 20° (+/-30° erfasst)	+/- 20° (+/-30° erfasst)
Streifenbreite am Grund (bei 20°)	ca. 1'100 m (in der Ebene)	ca. 1'100 m (in der Ebene)	ca. 1'325 m (in der Ebene)	ca. 1'100 m (in der Ebene)	ca. 1'150 m (in der Ebene)
Querüberlappung (bei 20°)	Auf 1200 m AGL: ca.20% (170m)	Auf 1200 m AGL: ca.18% (150m)	Auf 1200m AGL: Area 3_1 ca. 24% (210 m); Area 3_2 ca. 10% (85 m); Area 3_3 ca. 58% (510 m)	Auf 700m AGL: 37% (190m)	Auf 1000m AGL: 71% (520m) → Dreifachüberlappung
Querüberlappung (bei 30°)	Auf 1200m AGL: ca.50% (690m)	Auf 1200m AGL: ca.48% (670m)	Auf 1200m AGL: Area 3_1 ca. 52% (720m); Area 3_2 ca. 942% (595m);	Auf 700m AGL: 60% (490m)	Auf 1000m AGL: 81% (950m) → Dreifachüberlappung

			Area 3_3 ca. 73% (1000m)		
Impulsrate (effektiv) [kHz]	266	266	266	266	266
Scanrate [Hz]	67	67	57 (Area 3_1 68)	114	111
Punktabstand längs (Nadir)	0.34	0.34	0.36	0.34	0.6
Punktabstand quer (Nadir)	0.34	0.34	0.36	0.34	0.6
Mittlere Punktdichte	8.8	8.8	8.5	9.0	2.8 ¹
Anzahl Fluglinien	21	14	88	12	125
Geplante Objektflugzeit [h]	8:45	3:30h	27:30	1:00	21:30

Tabelle 10: Flug- und Scanparameter Lidar

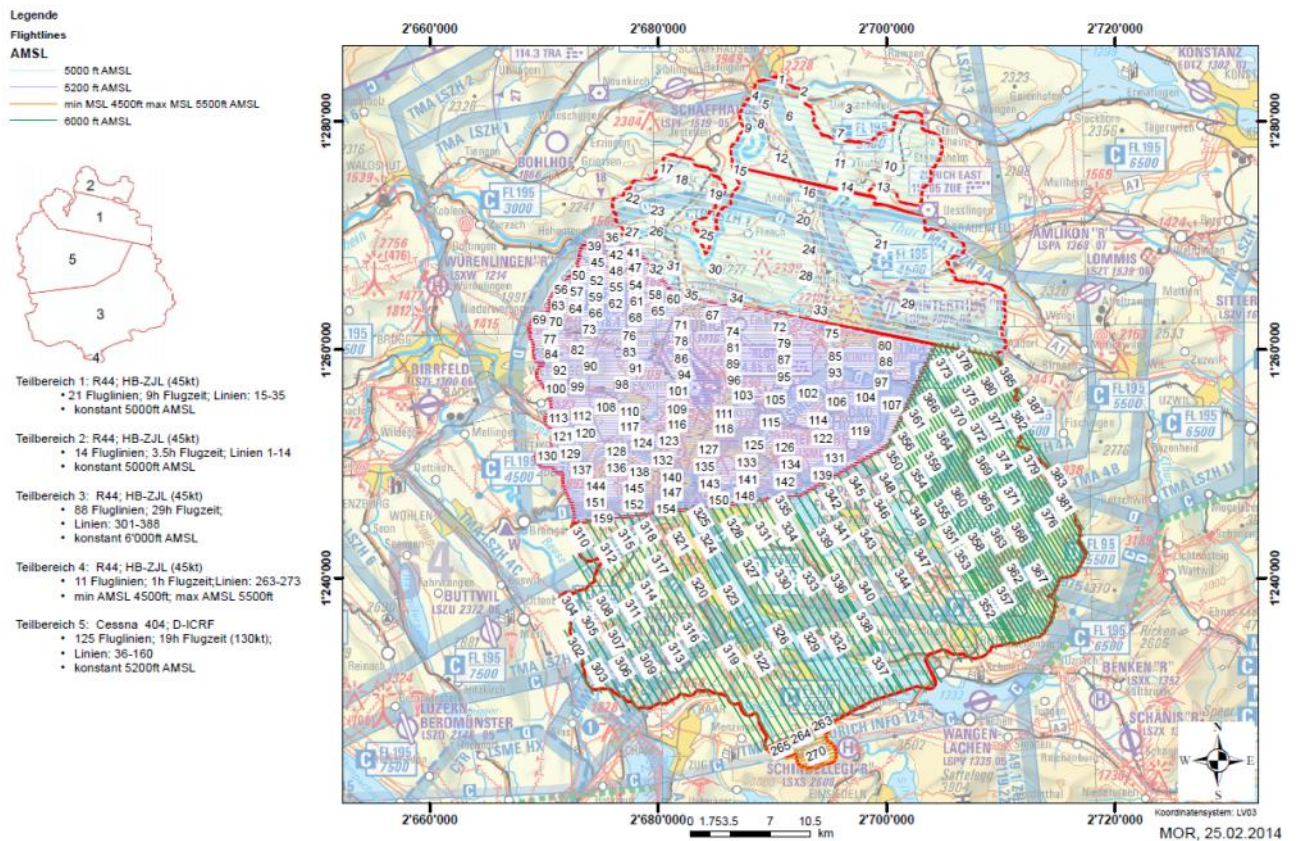


Tabelle 11: Flugplanung Laserscanning

¹ Werte pro Flugstreifen. Aufgrund der Dreifachüberlappung wird in Summe eine mittlere Punktdichte von ca. 8.4 Pkt/m² erreicht.

4 Datenerfassung

4.1 Befliegung

Der – insbesondere im Flachland – schneearme Winter ermöglichte einen frühen Beginn der Lidar-Datenerfassung bei besten Bedingungen. Der Start der Befliegung erfolgte am 8. März 2014 mit dem Helikopter. Die Helikopter-Missionen konnten bis zum 31. 3. abgeschlossen werden. Vom 2. bis 16. April wurden dann in Nachteinsätzen mit dem Flächenflugzeug auch die Linien in Teilgebiet 5 über dem Flughafen erfasst.

Bei der Auswertung der Daten wurde eine kleine Datenlücke zwischen zwei Fluglinien ganz im Süden des Kantons bei Rüti festgestellt. Diese wurde am 4. Juli in einem Nachflug geschlossen.

Datum	Mission	Area(s)	Sensor	Flugzeug	Startzeit (UTC)	Endzeit (UTC)
08.03.2014	2014030801	4	AX60	R44 HB-ZJL	13:53	15:43
09.03.2014	2014030901	3.1	AX60	R44 HB-ZJL	09:38	11:24
	2014030902	3.1	AX60	R44 HB-ZJL	13:16	15:23
10.03.2014	2014031001	3.1	AX60	R44 HB-ZJL	07:53	10:06
	2014031002	2, 1	AX60	R44 HB-ZJL	11:48	14:30
12.03.2014	2014031201	3.1	AX60	R44 HB-ZJL	07:16	10:21
	2014031202	3.1, 3.2	AX60	R44 HB-ZJL	13:05	16:23
13.03.2014	2014031301	3.2	AX60	R44 HB-ZJL	07:01	10:05
	2014031302	2, 1	AX60	R44 HB-ZJL	11:31	14:19
17.03.2014	2014031703	1	AX60	R44 HB-ZJL	13:02	14:26
18.03.2014	2014031802	2, 1	AX60	R44 HB-ZJL	11:13	12:29
19.03.2014	2014031901	1	AX60	R44 HB-ZJL	07:33	09:44
	2014031902	1	AX60	R44 HB-ZJL	11:12	12:14
	2014031903	1	AX60	R44 HB-ZJL	13:25	14:23
20.03.2014	2014032001	1	AX60	R44 HB-ZJL	07:33	09:45
	2014032002	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	14:01	15:39
	2014032003	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	16:11	17:32
21.03.2014	2014032102	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	13:20	15:23
30.03.2014	2014033001	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	08:24	10:05
	2014033002	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	12:29	15:16
31.03.2014	2014033101	3.3	AX60	R44 HB-ZJL	06:41	08:37
02.04.2014	2014040201	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:26	03:47
03.04.2014	2014040301	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:13	03:52
09.04.2014	2014040901	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:31	02:53
10.04.2014	2014041001	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:30	03:51
14.04.2014	2014041401	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:37	03:55
15.04.2014	2014041501	5	AX60	PC6 D-FGPG	23:31	03:57
04.07.2014	2014070401	3.2	AX60	R44 HB-ZJL	12:28	13:48

Tabelle 12: Flugmissionen Lidar: Daten, Equipment und Zeiten

Insgesamt wurden an 19 Tagen 28 Missionen mit einer Flugzeit von 70 h 08 min geflogen.

Sämtliche Missionsflüge erfolgten bei guten meteorologischen Bedingungen (Trockenheit, keine tiefen Wolken oder starken Winde), ohne technische Probleme und unter Einhaltung der geplanten Flug- und Scanparameter.

Tabelle 13 zeigt die Missionen farbcodiert nach ihrem Befliegungsdatum.

LAN, 26. 06. 2014
 Anzahl Fluglinien total: 259 (100%)
 Fluglinien befliegen: 259 (100%)

Legende

Datum

- 08.03.2014
- 09.03.2014
- 10.03.2014
- 12.03.2014
- 13.03.2014
- 17.03.2014
- 18.03.2014
- 19.03.2014
- 20.03.2014
- 21.03.2014
- 30.03.2014
- 31.03.2014
- 03.04.2014
- 04.04.2014
- 09.04.2014
- 10.04.2014
- 14.04.2014
- 15.04.2014



Koordinatensystem: LV03

0 2.5 5 10 15 km

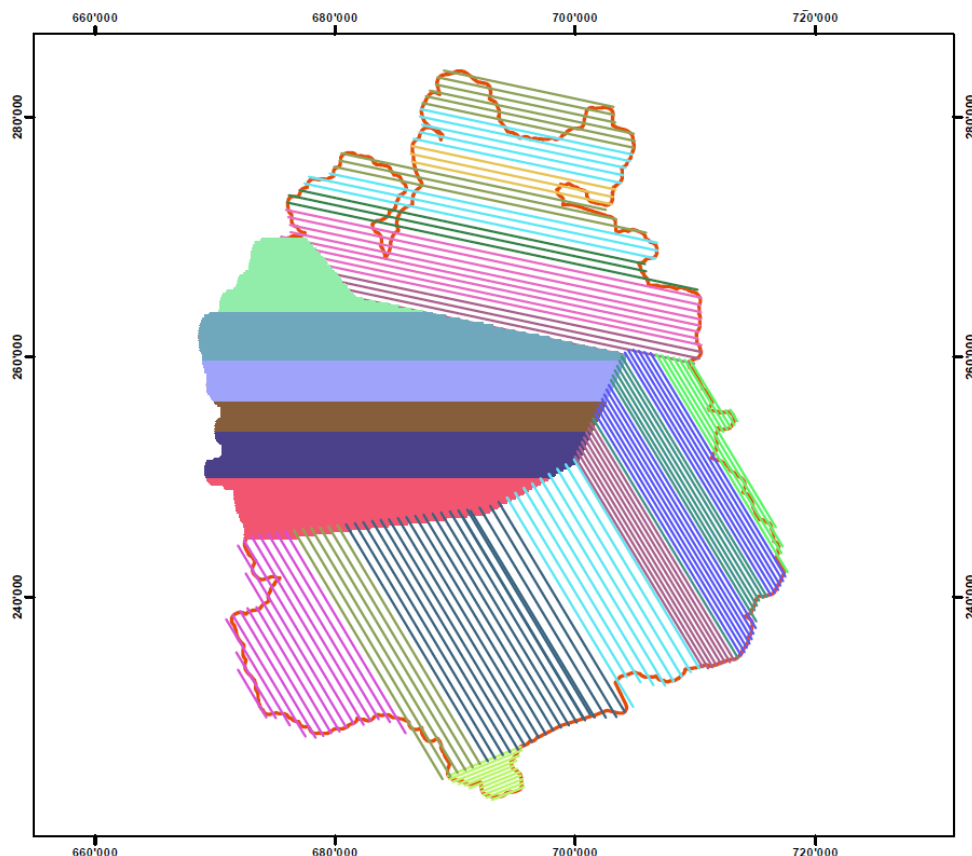


Tabelle 13: Missionen Lidar nach Befliegungsdatum

4.2 Kontrollpunkte und -flächen

Zur Kontrolle der Georeferenzierung wurden über das ganze Kantonsgebiet verteilt folgende Elemente terrestrisch vermessen:

- **18 Höhenkontrollflächen**, bestehend aus jeweils 30 – 50 Punkten in einem regelmässigen Raster (5 - 10 m Punktabstand) auf einer geeigneten Fläche (Sportplatz, Parkplatz, etc.). Siehe Tabelle 14
- **18 Gruppen von geneigten Flächen zur Lagekontrolle** der Lidar-Daten, jeweils bestehend aus 2 Gebäuden mit Giebel- oder Satteldach (min. 25° Neigung), in unterschiedlichen Richtungen orientiert und in einem Winkel von ungefähr 90° zueinander (nach Möglichkeit keine Dachaufbauten wie Dachgauben, Schornsteine oder Antennen). Siehe Tabelle 15



Tabelle 14: Beispiel für eine Höhenkontrollfläche



Tabelle 15: Beispiel Dachflächen zur Lagekontrolle

Die Verteilung der 18 Lidar-Kontrollflächen erfolgte anhand der geplanten Flugblöcke, siehe Tabelle 16.

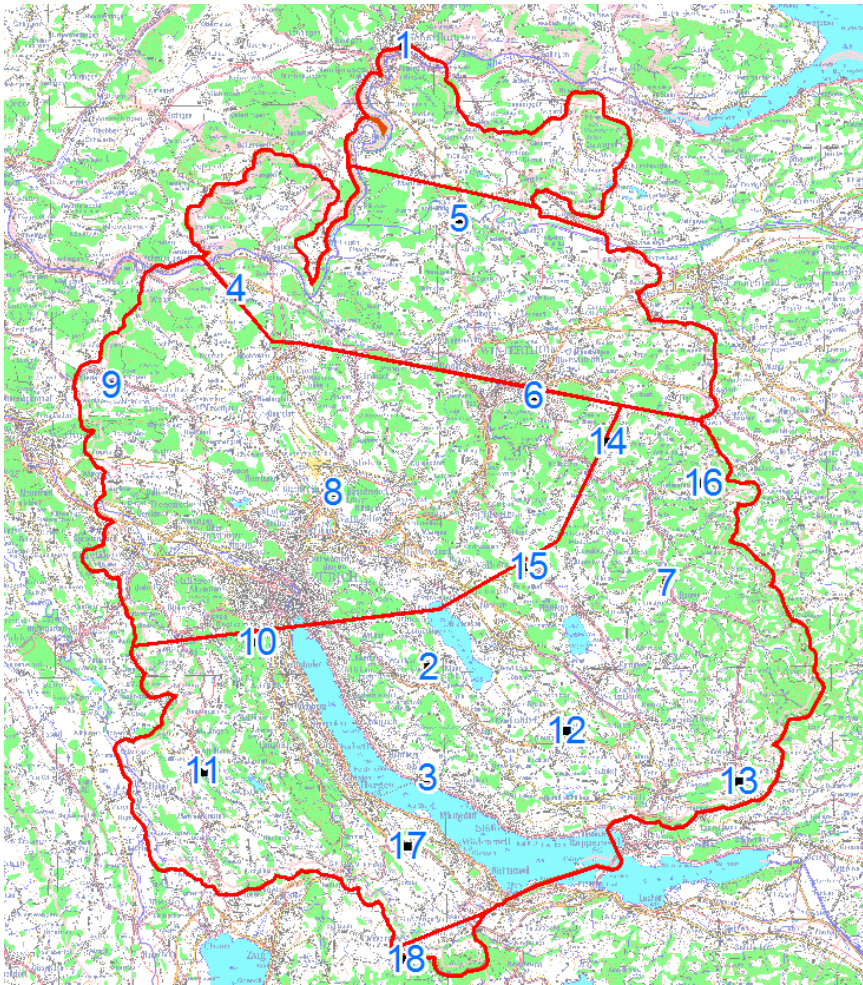


Tabelle 16: Kontrollmessungen Lidar

Sämtliche Messungen der Höhen- und Lagekontrollpunkte erfolgten mittels GNSS-Messungen mit einem geodätischen Zweifrequenz-Empfänger (z. B. Leica GNSS1200+) im RTK-Modus (swipos), sowie mittels Anschlussmessungen mit reflektorloser Totalstation. Mit dieser Methode können direkt im Feld 3D-Koordinaten in LV95/LHN95 mit einer Genauigkeit < 3 cm gemessen werden. Zur Kontrolle der Einstellungen auf dem GNSS-Empfänger und des Korrektursignals wurden pro Messeinsatz mindestens 2 Fixpunkte gemessen, deren 3D-Koordinaten im Zielsystem LV95/LHN95 bekannt sind.

Die Messungen wurden am 21. und 27. Februar sowie am 4. März 2014 durchgeführt.

5 Datenauswertung

5.1 Übersicht

Die Datenauswertung der Laserscanning-Daten gliederte sich in folgende Teilprozesse:

- GPS/IMU-Datenauswertung und Kombination der beiden Lösungen zum Flugpfad (Trajektorie) inkl. Orientierungswinkel
- Prozessierung der Laserscanner-Rohdaten: Generierung der 3D-Koordinaten aller Messpunkte
- Kontrolle der Systemkalibrierung und Flugstreifenausgleichung
- Transformation ins Referenzsystem LV95/LHN95
- Automatische Klassifizierung der Laserrohdaten (Fehlerpunkte, Bodenpunkte, Gebäudepunkte, übrige Nichtbodenpunkte)
- Qualitätskontrollen und manuelle Korrekturen (v.a. Bodenpunktfilterung, Brückenklasse, temporäre Objekte, Masten und Antennen)
- Export der Abgabeprodukte (LAS- und ASCII-Files, Interpolation der Rastermodelle)

Die meisten dieser Prozessschritte laufen weitgehend automatisiert in den jeweiligen Programmpaketen ab. Alle (Zwischen-)Resultate wurden dokumentiert und manuell kontrolliert bevor der nächste Schritt gestartet wurde.

5.2 GPS/IMU-Auswertung

Die Bahn des Flugzeugs wurde anhand der GPS-Messungen in Applanix POSGNSS 6.2 ausgewertet. Zur differentiellen Basislinienberechnung wurden die umliegenden GNSS-Permanentstationen von swipos genutzt (Messrate 1 Hz). In der Regel wurden pro Mission die zwei nächstgelegenen Stationen genutzt und/oder eine virtuelle Referenzstationen verwendet.

Alle GPS-Auswertungen führten zu guten Resultaten mit

- DOP-Werten < 4
- Guter Übereinstimmung zwischen Vorwärts- und Rückwärts-Lösung
- Guter Genauigkeit a posteriori (< 4 cm RMS horizontal, < 7 cm RMS vertikal)

Im Anschluss wurden die GPS-Positionen mit den IMU-Daten kombiniert, um die endgültige Lösung für Position und Orientierung zu jedem Zeitpunkt der Datenerfassung zu erhalten ("Smoothed Best Estimated Trajectory", SBET). Die Resultate wurden kontrolliert und sichergestellt, dass

- die a posteriori-Genauigkeit von Position und Orientierung den Genauigkeitsspezifikationen des POS-AV 510-Systems entspricht (siehe Tabelle 6).
- im Kalman-Filter keine systematischen Fehler detektiert wurden
- die IMU keine kritischen Drift-Effekte aufweist.

Diese Kriterien wurden in allen Missionen eingehalten. Die entsprechenden Logfiles und Kontrollplots können dem Auftraggeber auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

5.3 Full Waveform-Analyse

Beim AX60-Scanner wird die zurückgestreute Signalstärke hochfrequent diskretisiert und somit in den Rohdaten die volle Wellenform („Waveform“) des Echosignals gespeichert. Diese Informationen stehen für Spezialanwendungen zur Verfügung. Da im vorliegenden Projekt punktförmige Geometrie-Information im Vordergrund steht, wurden im ersten Prozessierungsschritt im Programm Ri-Analyse aus den Wellenformen diskrete Distanzmessungen (bis zu 10 pro ausgesendetem Puls) berechnet.

5.4 Punktberechnung, Systemkalibrierung und Streifenangleichung

Zur Berechnung der 3D-Koordinaten sowie zur optimalen Kalibrierung und Streifenangleichung wurde die Software „RiProcess“ von Riegel verwendet. Diese nutzt korrespondierende Ebenen im Überlappungsbereich der Fluglinien zur Bestimmung diverser Kalibrier- und Offsetparameter pro Flugmission und/oder pro Fluglinie. Diese Korrekturen werden anschliessend direkt an den Winkel- und Distanz-Rohmessungen – und nicht etwa wie bei anderen Verfahren üblich an den Punktkoordinaten – angebracht und mit diesen korrigierten Beobachtungen die Punktdaten im LAS-Format geozentrisch-kartesischen Koordinaten ausgegeben.

Die Resultate dieser Streifenanpassung wurden anhand von Streifendifferenzbildern überprüft (siehe Kapitel 6.3).

Zur einfacheren Handhabung der grossen Datenmengen wurden die Punktdaten für die Bearbeitung in Kacheln mit Kantenlängen von 500 m aufgeteilt.

5.5 Automatische (Vor-)Klassifizierung

Die Punktdaten wurden einer ersten, automatischen Klassifizierung unterzogen und in folgende Klassen aufgeteilt:

- Ausreisser und Fehlmessungen
- Streifenrandpunkte
- Bodenpunkte
- Gebäudepunkte
- Sonstige Punkte (beinhaltet Vegetation, Freileitungen, sonstige Objekte)

Hierfür wurde eine Kombination von TerraScan-Klassifizierungsalgorithmen verwendet, wobei die Parameter auf die Projekt-Charakteristiken von Punktdichte und Topographie optimiert wurden. Die entscheidende Bodenpunktfiltrierung funktioniert nach dem Prinzip der progressiven TIN-Verdichtung². Diese basiert auf (innerhalb eines Suchfensters tiefstgelegenen) Startpunkten, welche sukzessive durch zusätzliche Modellpunkte verdichtet werden, die bestimmte geometrische Kriterien erfüllen (siehe Tabelle 17).

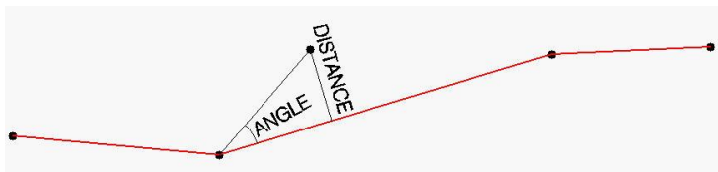


Tabelle 17: Prinzip der progressiven TIN-Verdichtung

Die erreichbare Qualität einer rein automatischen Boden-/Nichtboden-Klassifizierung ist stark vom erfassten Gelände und dessen Variabilität abhängig. Während in offenem, wenig bewegtem Gebiet über 99% aller Punkte automatisch korrekt klassifiziert werden können, sinkt dieser Wert für innenstädtische oder hochalpine Regionen auf 90 – 95 %.

5.6 Interaktive Kontrolle und Feinklassifizierung

Für die Kontrolle der inhaltlichen Qualität wurden die Daten mit geeigneter Software (TerraScan, ArcGIS, GeoCue) visualisiert (2D, 3D, Schnitte). Punktdichte (First und Last Return), Güte der Punktklassifizierung und übrig gebliebene Ausreisser-Punkte wurden visuell untersucht und erkannte Probleme direkt manuell korrigiert.

In diesem Schritt wurden auch zusätzliche Objekte visuell identifiziert und manuell klassifiziert:

- Brücken und Überführungen
- Freileitungen, Masten, Antennen und Kräne

² Axelsson, P., 2000. „DEM generation from laser scanner data using adaptive tin models“, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIII, Part B3:85–92

- Fahrzeuge und andere temporäre Objekte

Diese Überarbeitung und Detailunterscheidung erfolgte weitgehend in manueller Interaktion durch einen Bearbeiter in der Software TerraScan.

Orthophotos aus dem Jahr 2009 sowie die Daten der amtlichen Vermessung (Ebenen Bodenbedeckung und Einzelobjekte) wurden zur Unterstützung der Interpretation beigezogen. Als zusätzliche Interpretationshilfen werden Intensitätsbild sowie berechnete Schummerungsdarstellungen genutzt.

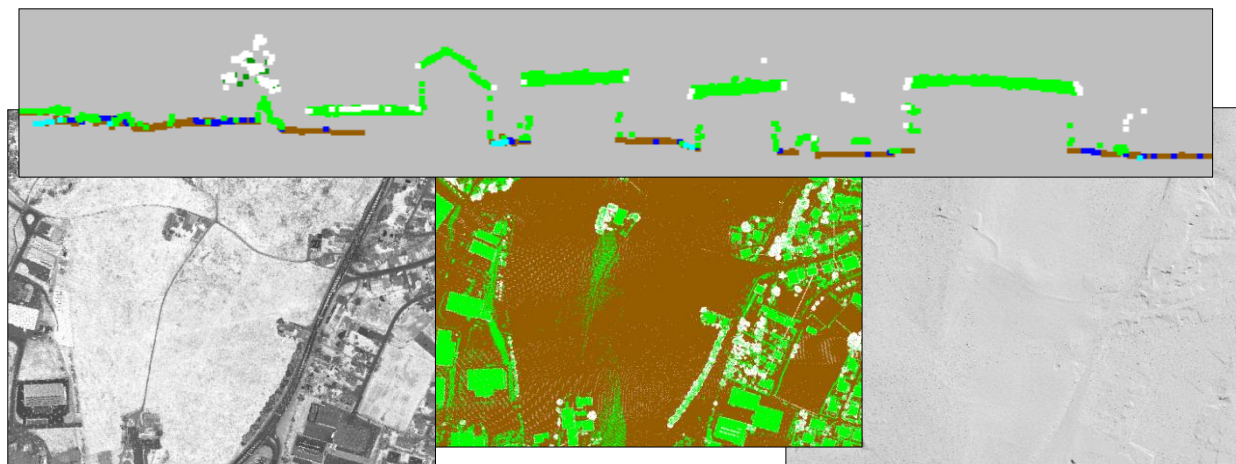


Tabelle 18: Verschiedene Darstellungen als Grundlage für Q-Kontrolle und manuelles Editing

Als Resultat der Klassifizierung sind sämtliche erfassten Punkte einer der folgenden Klassen zugewiesen:

Klasse	LAS-Code	DOM	DTM
Bodenpunkte	2	X	X
Bodennahe Punkte/Vegetation tief (< 50 cm)	3	X	
Vegetation mittel (< 3 m)	4	X	
Vegetation hoch (> 3 m)	5	X	
Gebäude	6	X	
Ausreisser und Fehlmessungen	7		
Brücken, Stege (> 3 m)	10	X	
Streifenrandpunkte	12		
Freileitungen, Masten, Antennen	15		
Übrige (Fahrzeuge etc.)	17		

Tabelle 19: Klassen Punktwolke

5.7 Übergang in das Koordinatensystem CH1903/LN1902

Für die Transformation vom globalen ins lokale Koordinatensystem wurden die Algorithmen der swisstopo (Reframe, HTrans) verwendet. Hierzu kam eine eigens von BSF Swissphoto entwickelte Software zum Einsatz, welche die Transformation für grosse Punktdatenmengen unter Zuhilfenahme der Reframe-dlls direkt in LAS-Files durchführen kann.

5.8 Abgabeprodukte pro Kachel

5.8.1 Kachelschnitt

Die Kacheleinteilung wurde aufgrund der zu erwartenden Datenmengen ggü. dem ursprünglichen Pflichtenheft verkleinert und besteht jetzt aus 500 x 500 Meter grossen Einheiten auf geraden/halben km-Werten im jeweiligen Koordinatensystem. An der Kantonsgrenze werden die Daten mit einem Puffer von 500 m geliefert. Der Kachelname setzt sich zusammen aus den signifikanten

Stellen der Ost- und Nordkoordinaten der linken unteren Ecke. So ist auch am Kachelnamen bereits zu erkennen, ob es sich um eine Datei im Koordinatensystem LV95 (Kachelname 11-stellig) oder LV03 (Kachelname 9-stellig) handelt.

Beispiel: Die Kachel 26950_12745 ist im Koordinatensystem LV95 und hat..

- ... ihre linke untere Ecke im Punkt 2'695'000/1'274'500
- ... ihre rechte obere Ecke im Punkt 2'695'500/1'275'000

5.8.2 Rohdaten

Punktwolke im Format LAS 1.2, Point Record Format 1, Adjusted GPS Standard Time

(http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/asprs_las_format_v12.pdf) klassifiziert in

- Klasse 0: unklassifiziert
- Klasse 12: Streifenrandpunkte (Scan-Winkel > 20°)

5.8.3 0.5 m Raster

Für die Interpolation der 0.5m-Rastermodelle kamen folgende Algorithmen zur Anwendung:

- DTM: Dreiecksvermaschung (Delaunay-Triangulation) der Klasse 2 (siehe Tabelle 19). Die maximale Dreieckslänge beträgt 1000 m. Am Kachelrand wird mit einem Übergriff auf die Nachbarpunkte von 30 m gerechnet.
- DOM: „Highest Hit“ (höchster Punkt) sämtlicher First Returns pro Rasterzelle, Klassen 2, 3, 4, 5, 6 und 10 (siehe Tabelle 19). Leere Zellen (z.B. kleinere Wasserflächen) werden mit dem DTM-Wert gefüllt.

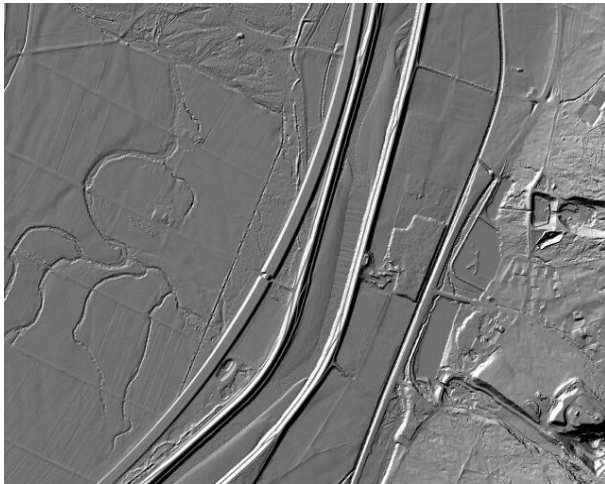


Tabelle 20: DTM-Raster (Schummerung)



Tabelle 21: DOM-Raster (Schummerung)

6 Qualitätskontrollen Lidar

6.1 Lückenlose Gebietsabdeckung

Unmittelbar nach jeder geflogenen Mission wurden die gesammelten Daten einem ersten Qualitätscheck unterzogen. Die Lidar-Punktwolke wurde mit reduzierter Genauigkeit (ca. 1 – 5 m) und Punktdichte (ca. 10-fache Ausdünnung) berechnet und folgende Themen abgeleitet:

- Polygone der abgedeckten Flächen pro Flugstreifen („Swath“)
- Punktdichte über das abgedeckte Gebiet im 10m-Raster

Diese Themen sowie die Punktdaten wurden anschliessend manuell folgenden Kontrollen unterzogen:

- Prüfung der kompletten Gebiets-Abdeckung (keine Lücken zwischen Flugstreifen, keine „Aussetzer“ des Laserscanners).
- Prüfung auf Einhaltung der geforderten Punktdichte über das ganze Gebiet
- Grobe Kontrolle der Höhen- und Intensitätswerte sowie der Echo-Attribute auf ihre Plausibilität

6.2 Punktdichte

Pro Teilabgabe wurde die Punktdichte analysiert und als ESRI Grid dem Auftraggeber geliefert. Hierbei wurde pro Laserpuls nur das letzte Echo („any last“, inkl. „only“). Tabelle 22 zeigt die globale Analyse über die realisierte Punktdichte aller erfassten Punkte in der ersten Teillieferung. Tabelle 23 zeigt die Situation, wenn bei jedem Flugstreifen nur der Bereich bis +/- 20° berücksichtigt wird.



Tabelle 22: Punktdichteraster Teillieferung 1, sämtliche erfassten Punkte

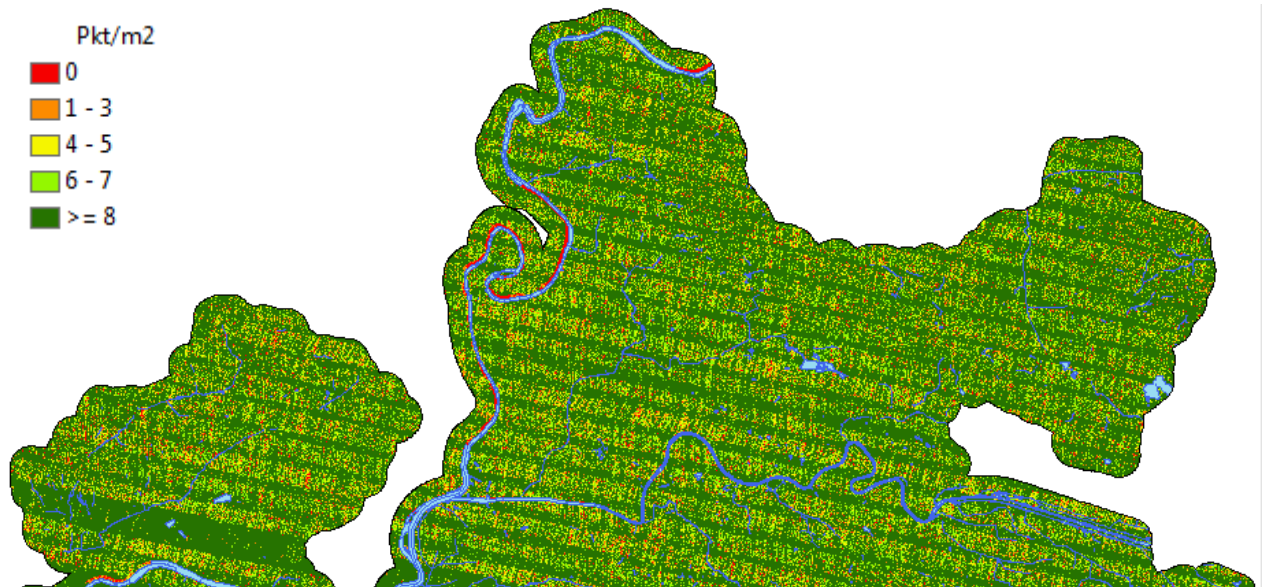


Tabelle 23: Punktdichteraster Teillieferung 1, Punkte innerhalb +/- 20°

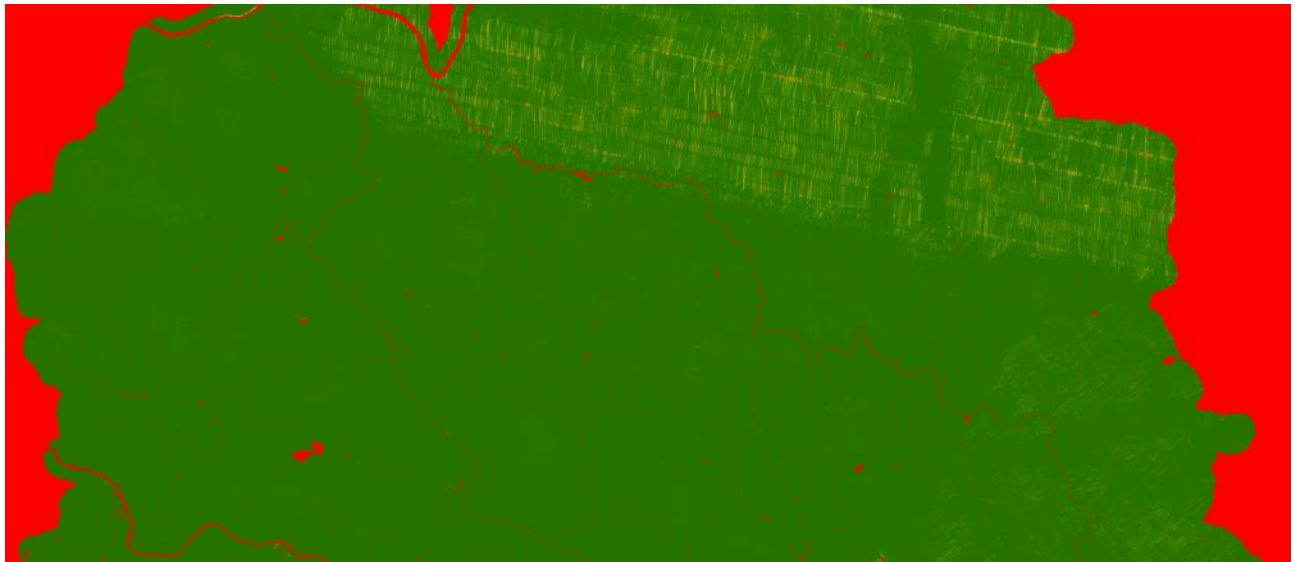


Tabelle 24: Punktdichteraster Teillieferung 2, sämtliche erfassten Punkte

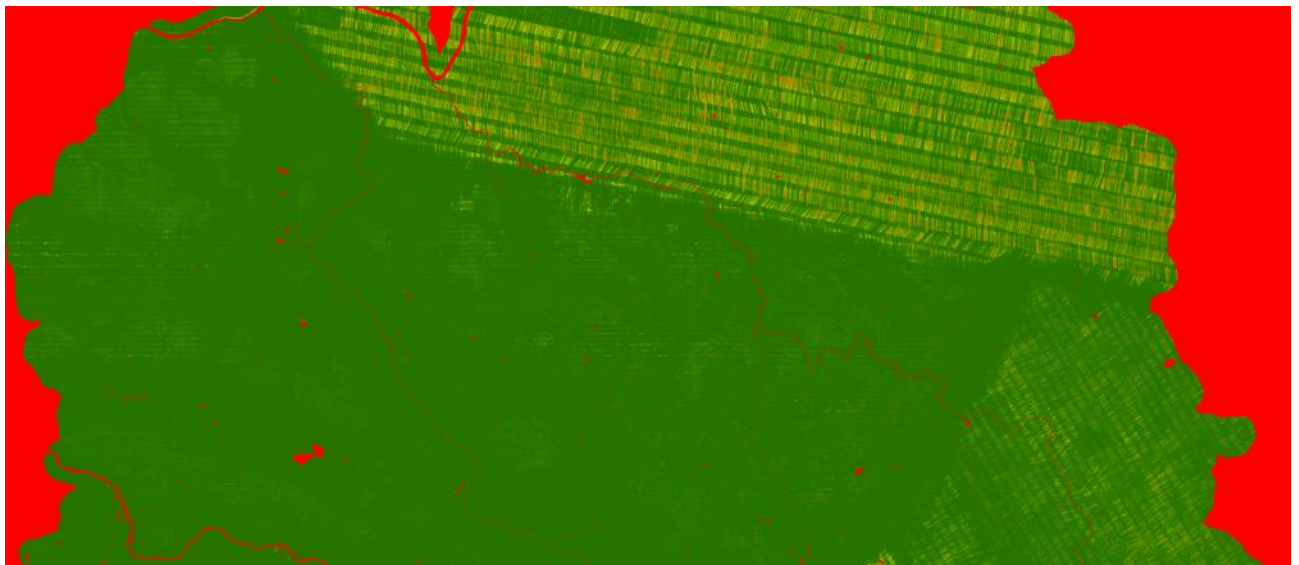


Tabelle 25: Punktdichteraster Teillieferung 2, Punkte innerhalb +/- 20°

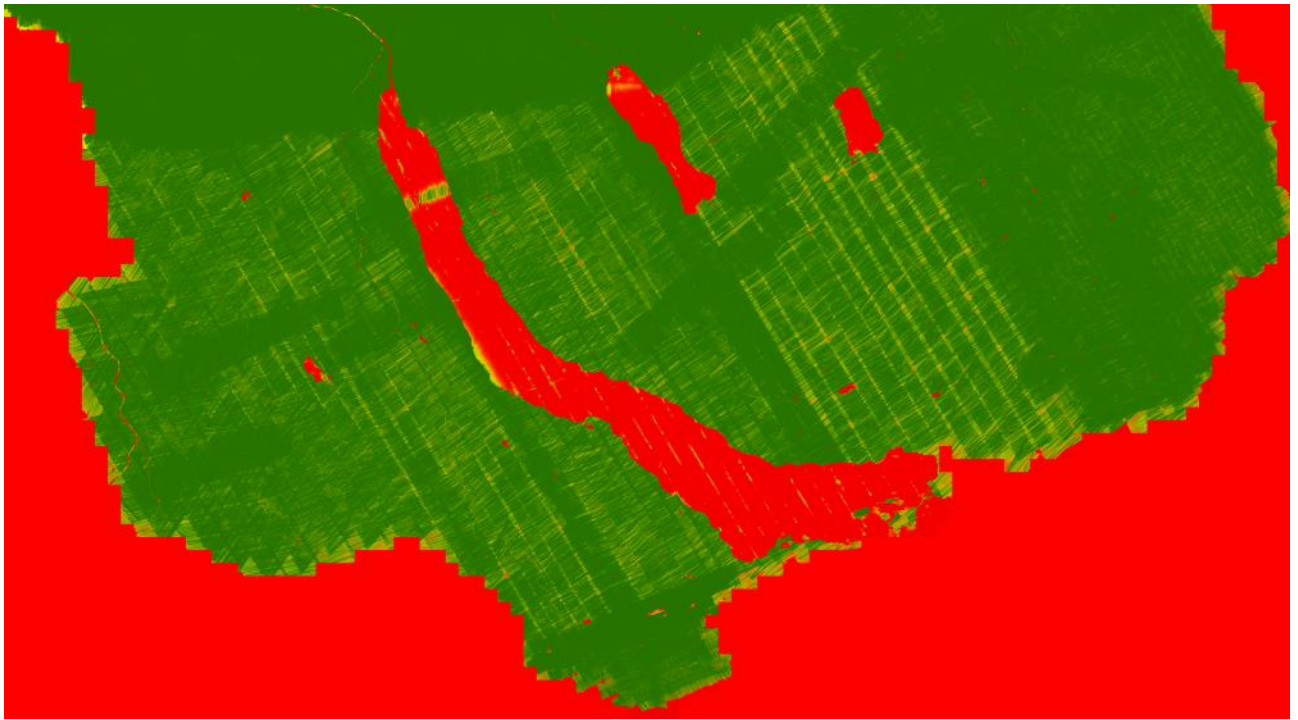


Tabelle 26: Punktdichteraster Teillieferung 3, sämtliche erfassten Punkte

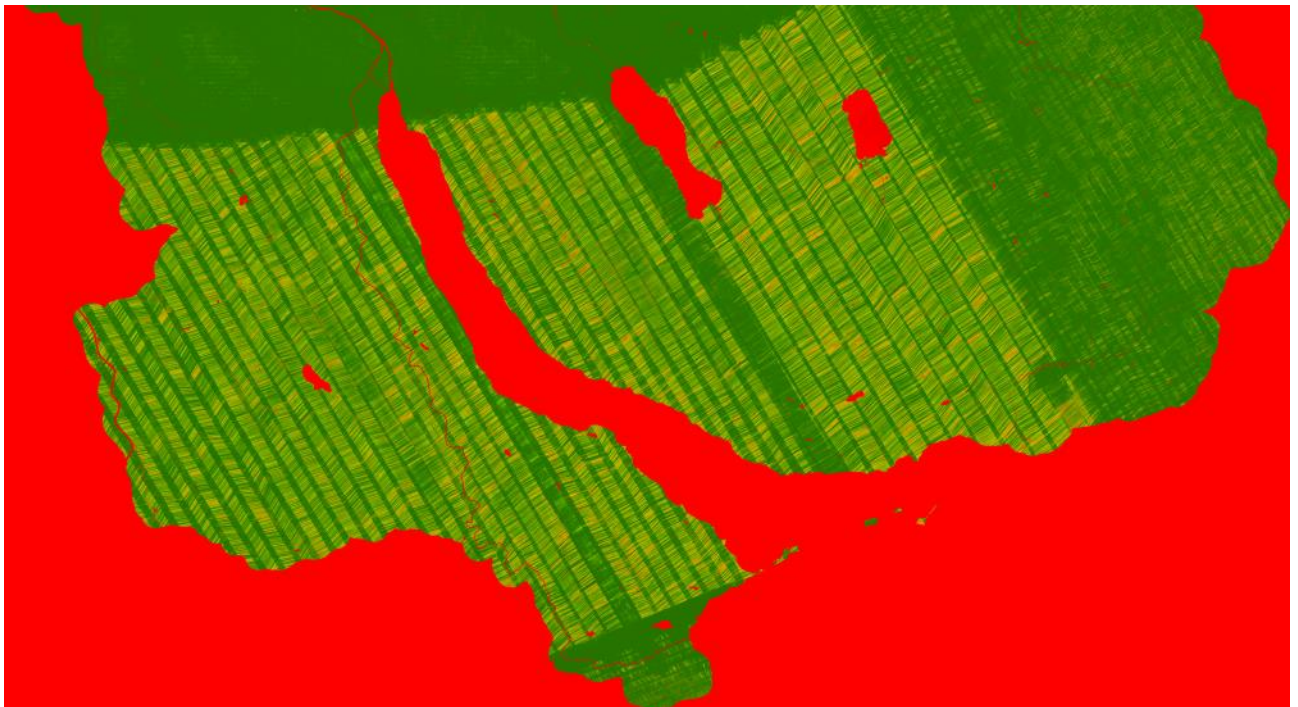


Tabelle 27 Punktdichteraster Teillieferung 3, Punkte innerhalb +/- 20°

Neben den erwarteten Lücken auf den Wasserflächen sind aufgrund der Topographie sowie von Kippbewegungen des Helikopters lokal Stellen mit < 8 Punkten pro m^2 erkennbar. Insgesamt wird die angestrebte Punktdichte jedoch sehr gut erreicht. Dies wird auch durch die statistischen Eckwerte in Tabelle 28 bestätigt.

Gebiet	Fläche [km ²] ohne Wasser- flächen	Alle Punkte		+/- 20°	
		Anz. Punkte	Mittl. Punkt- dichte [Pkt/m ²]	Anz. Punkte	Mittl. Punkt- dichte [Pkt/m ²]
Teillieferung 1	218.36	4'200'062'550	19.2	2'801'112'204	12.8
Teillieferung 2	779.27	20'297'874'267	26.1	13'680'142'731	17.6
Teillieferung 3	776.45	17'706'211'707	22.8	11'662'395'928	15.0
Total	1774.1	42'204'148'524	22.7	28'143'650'863	15.1

Tabelle 28: Statistische Auswertung Punktdichte

6.3 Streifendifferenzen

Um die Qualität der Streifenausgleichung flächendeckend zu überprüfen wurden folgende Daten herangezogen:

- Logfiles der Ausgleichungssoftware
- Visualisierung der Höhendifferenzen im Überlappungsbereich benachbarter Fluglinien („Streifendifferenzbilder“, siehe Beispiel Tabelle 29) und flächendeckende visuelle Kontrolle derselben.
Streifenweise Analyse der Passgenauigkeit an den Kontrollflächen
- Stichprobenkontrollen in der Punktwolke

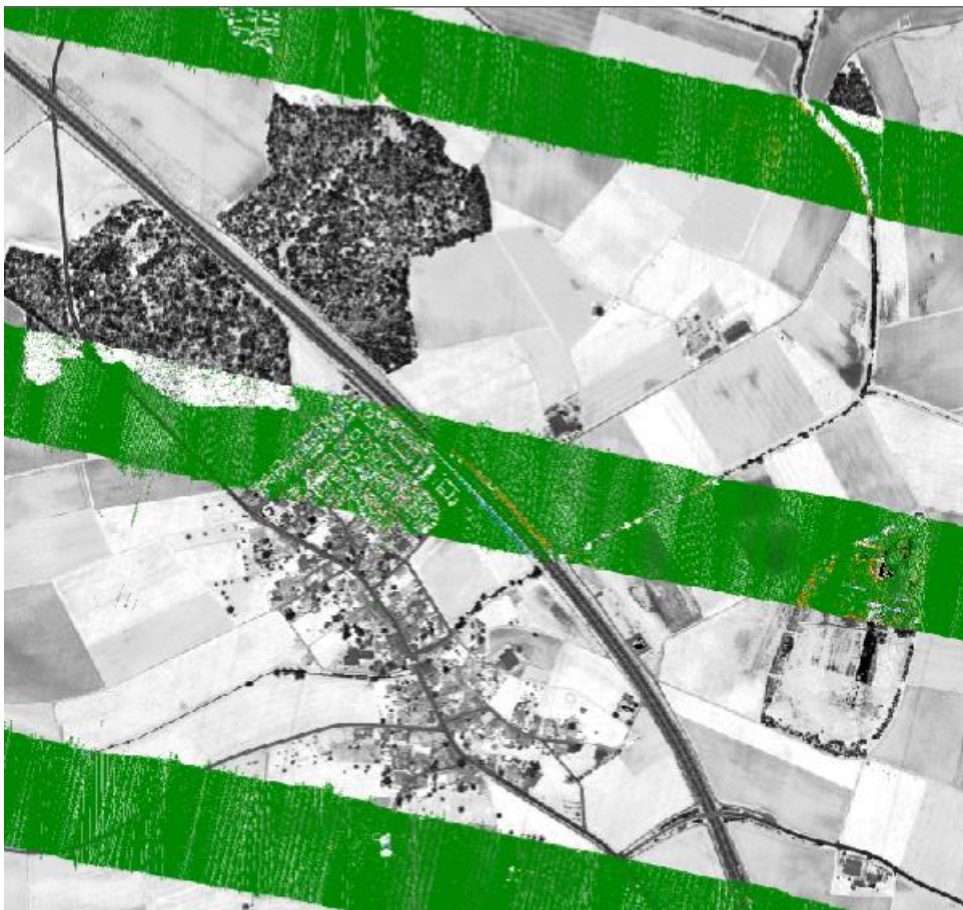


Tabelle 29: Beispiel eines Streifendifferenzbildes (grün entspricht < 10 cm Höhendifferenz)

Diese Kontrollen lieferten für sämtliche Flugstreifen Resultate im Rahmen der Anforderungen. An Stellen, wo mehr als zwei Flugstreifen übereinander liegen, führt das Messrauschen in dieser Berechnungsmethode automatisch zu einer leicht höheren Streuung der Differenzwerte. Dies bedeutet nicht zwingend das Vorhandensein systematischer Streifendifferenzen.

Ebenso werden im steilen Gelände aufgrund der Hangneigung höhere Werte ausgewiesen.

6.4 Höhengenaugigkeit

Die absolute Höhengenaugigkeit wurde mit Hilfe der terrestrisch vermessenen Kontrollflächen (siehe Kapitel 4.2) verifiziert.

Für die Höhenkontrolle wurden die Abstände der Kontrollpunkte zu einem aus den Lidar-Bodenpunkten berechneten DTM (Dreiecksvermaschung, TIN) berechnet.

Fläche	1	2	3	4	5	6	7
Anzahl Kontrollpunkte	38	41	56	40	42	43	35
Mittlere Differenz [m]	+0.02	+0.01	+0.05	+0.01	-0.03	+0.03	-0.01
Minimum [m]	-0.02	-0.02	-0.01	-0.03	-0.07	-0.03	-0.05
Maximum [m]	-0.06	+0.04	+0.11	+0.06	-0.00	+0.07	+0.05
RMS (Standardabweichung vom Sollwert Null) [m]	0.03	0.02	0.05	0.02	0.04	0.04	0.02
Fläche	8	9	10	11	12	13	14
Anzahl Kontrollpunkte	37	63	41	42	38	42	39
Mittlere Differenz [m]	+0.01	-0.00	-0.01	+0.03	+0.03	+0.05	-0.00
Minimum [m]	-0.04	-0.05	-0.05	+0.01	-0.02	-0.04	-0.04
Maximum [m]	+0.08	+0.05	+0.04	+0.08	+0.09	+0.04	+0.03
RMS (Standardabweichung vom Sollwert Null) [m]	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02
Fläche	15	16	17	18			Total
Anzahl Kontrollpunkte	55	36	37	48			773
Mittlere Differenz [m]	-0.03	-0.03	-0.01	+0.03			+0.01
Minimum [m]	-0.10	-0.09	-0.10	-0.09			-0.10
Maximum [m]	+0.01	+0.04	+0.03	+0.07			+0.11
RMS (Standardabweichung vom Sollwert Null) [m]	0.04	0.05	0.03	0.04			0.03

Vorzeichenkonvention

Differenzen $\Delta = h_{Lidar} - h_{Kontrolle}$ (Soll - Ist), d.h. positive Werte bedeuten, dass die ALS-Daten über den Kontrollpunkten liegen

Tabelle 30: Analyse Höhenkontrolle: Vergleich Kontrollflächen mit Lidar-DTM

Die statistische Auswertung in Tabelle 30 zeigt, dass die geforderten Genauigkeiten gem. Spezifikationen (10 cm 1 σ = 68% Wahrscheinlichkeit) auf allen Flächen eingehalten wurden.

6.5 Lagegenauigkeit

Ein quantitativer, statistisch signifikanter Nachweis der Lagegenauigkeit von Punktwolkedaten ist schwierig. In diesem Projekt wurde die Einhaltung der geforderten Lagegenauigkeit (20 cm 1 σ) durch Vergleich der Punktwolke mit den terrestrisch vermessenen Dachflächen geprüft. Tabelle 31 zeigt ein Beispiel einer solchen Überprüfung. Diese qualitative Kontrolle zeigte an allen untersuchten Dachflächen gute Resultate.

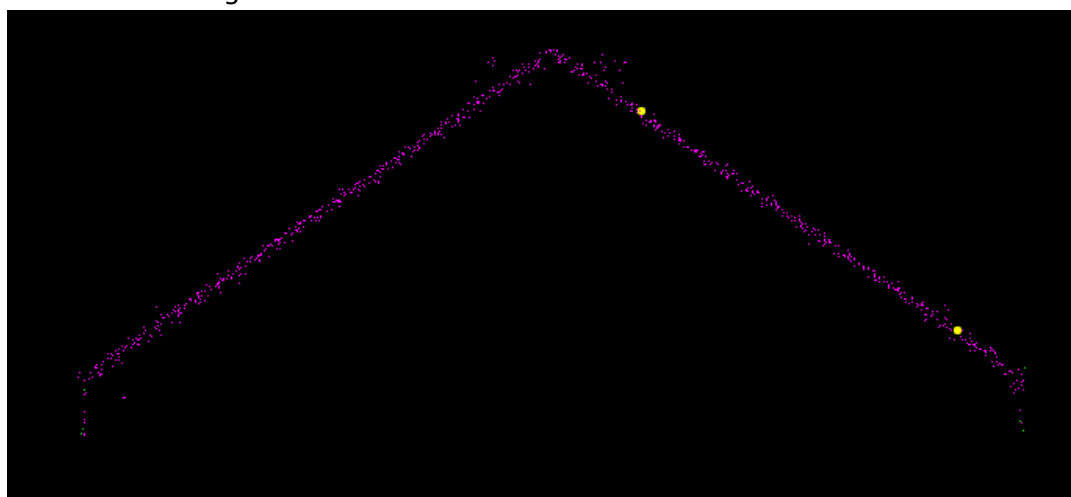


Tabelle 31: Lagekontrolle mittels Kontrollpunkten auf geneigten Dachflächen

7 Datenlieferungen und -prüfung

7.1 Zusammenfassung Teillieferungen

Teillieferung	Koord.-system(e)	Datum	Empfänger	Anz. Kacheln / Dateien	Medium	Bemerkung
Rohdaten Teillieferung 1	LV95/LHN95	30.06.2014	Flotron AG	1048	Ext. USB-Harddisk	
Rohdaten Teillieferung 2	LV95/LHN95	15.07.2014	Flotron AG	3509	Ext. USB-Harddisk	Beinhaltet Zusatzgebiet „NAGRA“ ausserhalb Kt. ZH
Rohdaten Teillieferung 2	LV95/LHN95	21.07.2014	Flotron AG	3758	Ext. USB-Harddisk	
Produkte Pilotlieferung	LV95/LHN95	24.07.2014	Flotron AG	44	USB-Stick	Pilotgebiet südlich Schaffhausen
Produkte Pilotlieferung v2	LV95/LHN95	28.08.2014	Flotron AG	44	USB-Stick	Geänderte Interpolationsmethode DOM
Produkte Pilotlieferung v2	LV95/LHN95	26.09.2014	ARE Kt. ZH	44	USB-Stick	
Produkte Lidar Ausschnitt Weinland	LV95/LHN95	21.10.2014	Kantonsarchäologie	202	Ext. USB-Harddisk	Vorab-Lieferung, Zusatzauftrag
Produkte Teillieferung 1	LV95/LHN95	22.10.2014	Flotron AG	2946	Ext. USB-Harddisk	
Produkte Teillieferung 2	LV95/LHN95	06.11.2014	Flotron AG	4838	Ext. USB-Harddisk	Nichtbodenpunkte nur 4775 Dateien (Seeflächen etc.)
Produkte Lidar Ausschnitt Wetzikon	LV03/LN02	08.01.2015	Wiesendanger AG	4	Online-Transfer	Vorab-Lieferung, Zusatzauftrag
Schlusslieferung	LV95/LHN95 LV03/LN02	22.01.2015	ARE Kt. ZH	7783	2 Ext. USB-Harddisks	


Tabelle 32: Zusammenfassung Teillieferungen

7.2 Lieferungen zur Verifikation

LAN, 21. 07. 2014

Legende

Perimeter Kt. ZH inkl. Buffer 500m


 Perimeter Kt. ZH inkl. Buffer 500m

Perimeter NAGRA

 Perimeter NAGRA

500m-Kacheln, Lieferdatum

 30.06.2014

 15.07.2014

 21.07.2014

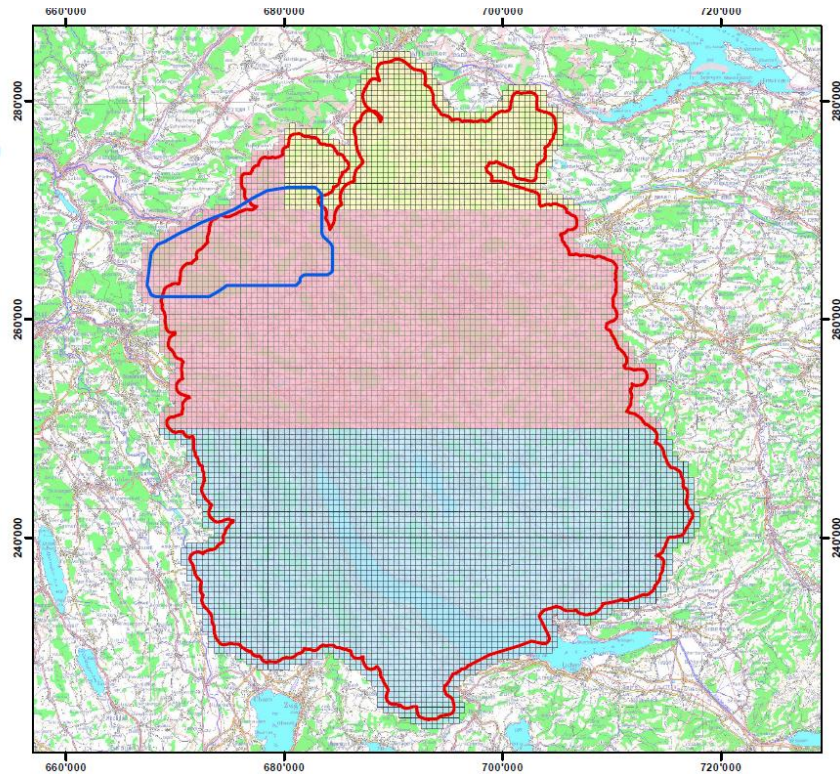
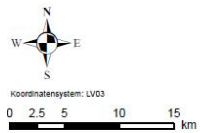



Tabelle 33: Übersicht Teillieferungen Rohdaten Lidar zur Verifikation

Status Teillieferungen LIDAR Kt. Zürich 2014


LAN, 06. 11. 2014


Legende


Perimeter Kt. ZH inkl. Buffer 500m

 Perimeter Kt. ZH inkl. Buffer 500m

Lieferdatum Produkte

 noch nicht geliefert

 06.11.2014

 22.10.2014

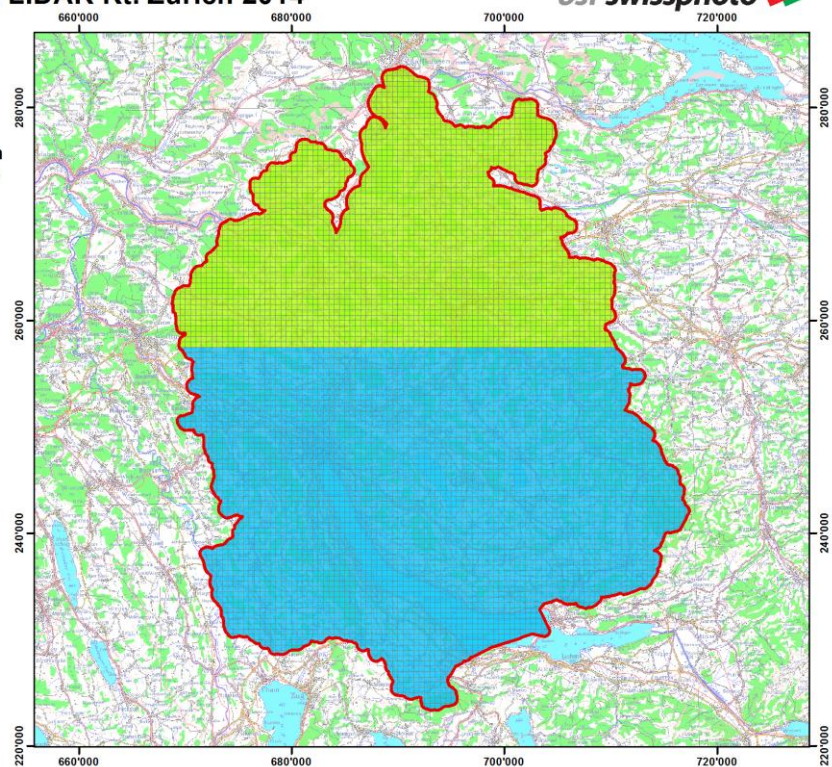
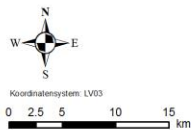


Tabelle 34: Übersicht Teillieferungen Lidar-Produkte (DTM, DOM) zur Verifikation

7.3 Inhalt pro Teillieferung

Rohdaten Lidar	Produkte Lidar
<ul style="list-style-type: none"> ▲ 01_Rohdaten <ul style="list-style-type: none"> ▷ 01_LV95_LHN95 ▷ 04_Flugwege ▲ 05_Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> 01_Technischer_Bericht 02_Kacheleinteilung 03_Punktdichte 04_Nachweis_Kontrollflaechen 06_Nachweis_Streifendifferenzen 	<ul style="list-style-type: none"> 01_Punktwolke_LAS 02_DTM <ul style="list-style-type: none"> 01_Bodenpunkte_XYZ 02_ESRI-Grid 03_DOM <ul style="list-style-type: none"> 01_Nichtbodenpunkte_XYZK 02_ESRI-Grid 04_Flugwege <ul style="list-style-type: none"> 01_SHP_Missionen_LV95_hEll 02_SHP_Fluglinien_LV95_2D 03_TerraScan_Trajectories_LV95_hEll 05_Dokumentation <ul style="list-style-type: none"> 01_Technischer_Bericht 02_Kacheleinteilung 03_Punktdichte 04_Nachweis_Kontrollflaechen 05_Punktluicken 06_Nachweis_Streifendifferenzen

Tabelle 35: Verzeichnisstruktur Teillieferungen Lidar

7.4 Befund Verifikation

Die mit der Verifikation der gelieferten Daten betraute Firma Flotron AG hält im Schlussbericht vom 12.12.2014 fest:

Die geprüften Daten entsprechen flächenhaft dem Pflichtenheft.

Die Lage- und Höhengenaugigkeit ist sehr gut. Kleinere Mängel waren bei der Streifenanpassung in der Region Winterthur vorhanden, diese wurden jedoch korrigiert und sind jetzt auch zufriedenstellend.

Auch die mittlere Punktdichte ist gut, allerdings ist die Punktverteilung in den Helikopterbeflogenen Gebieten nicht optimal. Eine verbindliche Vorgabe für allfällige zukünftige Durchführung ist hier vorzusehen.

Die Klassierung der Testgebiete weisen gute Ergebnisse auf. Die Vorgaben des Pflichtenheftes (98% aller Punkte sollen die richtige Klasse zugewiesen haben) wurden auf die Fläche betrachtet erfüllt. Hervorzuheben ist an dieser Stelle die sehr gute Arbeit bei der DTM-Erstellung (=Klassierung der Klasse „Boden“). Das DTM weist eine sehr gute Qualität in Abhängigkeit der Erfassungsmethode auf.

Insbesondere die Klassen Vegetation hoch und tief sind aber noch mit vielen „temporären“ Objekten (Autos, Fussgänger, Strassenlampen, tlws. kleinere Gebäude etc). versehen. Hier ist eine Korrektur wünschenswert. Vor allem in städtischen Bereichen, können mit dem oben erwähnten Milderungsvorschlag (Einführung einer neuen Klasse ‚Messrauschen/bodennahe Vegetation‘) einige Fragen der Endbenutzer unserer Meinung nach von vornherein vermieden werden.

Die Aufgabe der Verifikationsstelle ist es die Schwächen der Produkte aufzuzeigen. Gemäss dem Motto „wer sucht der findet“ wurde das Produkt auf Herz und Nieren geprüft. Die oben aufgeführten Mängel und Fehler sollen genau diese Schwächen beispielhaft wieder-geben. Nicht zu vergessen ist die Erwähnung der Stärken der Produkte. Die beeindruckende Höhengenaugigkeit und die (fast) termingerechte Abwicklung des gesamten LiDAR-Projektes sind hierbei hervorzuheben. Insgesamt erfüllt das Projekt aus unserer Sicht die Anforderungen und bildet den aktuellen Stand der Technik ab.

Der erwähnte Minderungsantrag (Einführung einer neuen Klasse ‚Messrauschen/bodennahe Vegetation‘) wurde im Anschluss umgesetzt und ist in der Schlusslieferung vom 22.01.2015 enthalten, siehe auch Kapitel 5.6.

7.5 Schlusslieferung Lidar

Die Schlusslieferung sämtlicher Produkte aus der Lidar-Befliegung erfolgte am 22.01.2015 auf zwei externen USB-Festplatten. Die Datenmenge sämtlicher Dateien in beiden Koordinatensystemen beträgt ca. 7 TB. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Die Anzahl Dateien kann je nach Produkt leicht variieren, da es – z. B. auf Seeflächen – punktleere Kacheln gibt.
- Die Spezifikationen des ESRI-Grid-Formats begrenzen die maximale Anzahl Raster-Datensätze in einem Verzeichnis auf 5000. Aus diesem Grund mussten die entsprechenden Datensätze aufgeteilt werden in ein Verzeichnis „West_bis690000“ und „Ost_ab690000“.
- Die meisten Metadaten und Nachweise sind gem. Pflichtenheft nur im Koordinatensystem LV95/LHN95 zu liefern.


Lidar Zürich 2014 Übersicht Schlusslieferung - Formate und Dateien							
LAN, 19.01.2015				Disk 152-WD-4000		Disk 153-WD-4000	
				Koordinatensystem LV95		Koordinatensystem LV03	
				Höhensystem LHN95		Höhensystem LN02	
Verzeichnis	Beschreibung	Dateiformat	Anz. Dateien	Grösse [GB]	Anz. Dateien	Grösse [GB]	
01_Punktwolke_LAS	Punktwolke sämtlicher erfasster Messpunkte inkl. aller Attribute: Zeitstempel, Intensitätswert, Scanwinkel, Echo-Nummer.	ASPRS LAS 1.2	7783	1853.0	7783	1853.0	
02_DTM	01_Bodenpunkte_XYZ	Punktwolke sämtlicher als "Gelände" klassifizierter Messpunkte	7783	601.0	7783	601.0	
	02_ESRI-Grid	Interpoliertes Raster-Modell des Geländes, 0.5 m Rasterweite	7784	28.6	7784	28.6	
03_DOM	01_Nichtbodenpunkte_XYZK	Punktwolke sämtlicher Messpunkte der Klassen Vegetation, Gebäude, Brücken	7721	767.0	7721	767.0	
	02_ESRI-Grid	Interpoliertes Raster-Modell der Oberfläche, 0.5 m Rasterweite	7784	28.6	7784	28.6	
04_Flugwege	01_SHP_Missionen_LV95_hEII	Flugwege pro Mission; Position und Orientierung des Sensors in 1s-Intervallen	196	0.0	-	-	
	02_SHP_Fluglinien_LV95_2D	Fluglinien gesamtes Projektgebiet mit Flugdatum	7	0.0	7	0.0	
	03_TerraScan_Trajectories_LV95_hEII	Fluglinien gesamtes Projektgebiet im TerraScan-Format	304	0.2	-	-	
05_Dokumentation	01_Technischer_Bericht	Projektdokumentation	1	0.0	-	-	
	02_Kacheleinteilung	500 x 500 m Kacheleinteilung	7	0.0	7	0.0	
	03_Punktldichte	Dokumentation der erreichten Messpunktdichte im 1m-Raster für den gesamten Scanbereich ("alle_Punkte") und den Bereich +/- 20°; Jeweils pro Bearbeitungsabschnitt (Teillieferung 1 bis 3)	172	5.8	-	-	
	04_Nachweis_Kontrollflaechen	Protokolle der Differenzberechnung (Software TerraScan) zu den Kontrollflächen in LHN95	18	0.0	-	-	
	05_Punktluuecken	Polygone der Flächen > 50 m2 ohne DTM-Punkte	12	0.1	12	0.1	
	06_Nachweis_Streifendifferenzen	Streifendifferenzbilder (1m Pixelgrösse): Farbcodierte Darstellung der Höhenunterschiede überlappender Flugstreifen	69	7.5	-	-	
			39641	3291.8	38881	3278.3	

Tabelle 36: Übersicht Schlusslieferung Lidar

8 Bestätigungen und Schlussbemerkung

Der Auftragnehmer BSF Swissphoto bestätigt hiermit, dass die vertraglich vereinbarten Vorgaben bezüglich eingehalten wurden und die gelieferten Daten den Anforderungen des Auftraggebers gemäss Leistungsbeschreibung entsprechen. Geringe Einschränkungen und Vorbehalte sind in diesem Bericht transparent dokumentiert und begründet.

Ebenso sind in diesem Bericht sämtliche Verfahren offengelegt, welche zur Erzeugung, Bearbeitung und Kontrolle der abgelieferten Daten zur Anwendung kamen.

Die Firma BSF Swissphoto bedankt sich beim Kanton Zürich und bei allen involvierten Personen für das entgegengebrachte Vertrauen und für die gute Zusammenarbeit in diesem Projekt.

BSF Swissphoto, im Februar 2015



Stephan Landtwing
Projektleiter

Anhang

A.1 Projektplan

