

**Projektbericht**  
**zu der**  
**Laserscannermessung**  
**MUSICALS 2010**

**- im Auftrag des alpS -**



## 1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der alpS wurde für das Projektgebiet Kaunertal eine Laserscannermessung durchgeführt.

Als Ergebnisse wurden geliefert:

System: UTM Zone 32 bezogen auf ETRS89

- Flugpfade (GPS- und IMU-Daten mit Zeitangaben) als ASCII-File und eine Übersicht aller Flugpfade als Shape-File;

System: UTM Zone 32 bezogen auf ETRS89 und Landeskoordinatensystem GK M28

- Punktwolke vor und nach der Feingeoreferenzierung ungefiltert für das erste und letzte Echo sowie die Intensität flugstreifenweise im ASCII-Format (zeilenweise Rechtswert, Hochwert, Höhe, Zeit, Intensität) und im LAS Format;
- Nachweis der geforderten Punktdichte durch Punktdichtekarten des gesamten Projektgebietes;
- Flächenhafte Dokumentation der Diskrepanzen in den Streifenüberlappungsbereichen und der Genauigkeit der Georeferenzierung;
- GPS-Daten der Bodenstationen und der virtuellen Referenzstationen;
- Punktwolke der bereinigten Punkte des ersten Echos zur Berechnung des DOMs im ASCII-Format (zeilenweise Rechtswert, Hochwert, Höhe, Zeit, Intensität) im Blattschnitt 1:5000;
- Punktwolke der klassifizierten Bodenpunkte aus den Registrierungen des letzten Echos aller Streifen zur Berechnung des DGMs im ASCII-Format (zeilenweise Rechtswert, Hochwert, Höhe, Zeit, Intensität) im Blattschnitt 1:5000;
- Punktwolke der übrigen Punkte des letzten Echos aller Streifen im ASCII-Format (zeilenweise Rechtswert, Hochwert, Höhe, Zeit, Intensität) im Blattschnitt 1:5000;
- Raster-DOM mit 1m Auflösung im Blattschnitt 1:5000 im Format ArcInfo-ASCII-Grid;
- Raster-DGM mit 1m Auflösung im Blattschnitt 1:5000 im Format ArcInfo-ASCII-Grid;

System: Landeskoordinatensystem GK M28

- Intensitätsbilder des ersten und letzten Echos im Format .tif mit .tfw-Files in Form eines 1m Rasters;
- Projektbericht;

## 2 Flugplanung

Folgende Flug- und Systemparameter wurden festgesetzt und während den Befliegungen eingehalten, um die geforderte Punktdichte von 2 Punkten/m<sup>2</sup> einhalten zu können (Tab. 1):



<i>Flugparameter</i>	
<i>Fluggerät</i>	Cessna 402 D-IHLB
<i>Fluggeschwindigkeit</i>	65 m/s
<i>Flughöhe über Grund</i>	1000 m
<i>Messsystem ALTM Gemini</i>	
<i>Lasermessrate</i>	70 000 Hz
<i>max. Scanwinkel</i>	± 25 deg
<i>Scanfrequenz</i>	36 Hz
<i>Streifenabstand</i>	350 m
<i>mittlere Streifenbreite</i>	933 m
<i>mittlere Überlappung</i>	582 m

**Tab. 1:** Flug- und Systemparameter

### 3 Befliegung

Die Laserscannermessungen erfolgten am 07.10.2010, 08.10.2010, 09.10.2010, 10.10.2010, 11.10.2010 und 12.10.2010.

Das Projektgebiet wurde aufgrund von Wolkenschleiern nicht vollständig erfasst. In folgenden Bereichen (Tabelle 2) sind Datenlücken vorhanden.

<i>Hochwert</i>	<i>Rechtswert</i>	<i>Fläche</i>
32658643	5190008	ca. 0,002 km <sup>2</sup>
32658837	5191589	ca. 0,200 km <sup>2</sup>

**Tab. 2:** Datenlücken

Weitere technische oder sonstige Beeinträchtigungen traten nicht auf.

Für die GPS-Auswertung standen die Permanentstationen Krahberg, Mats, Patscherkofel und Sterzing zur Verfügung.

Die Flugstreifen sind in der Abbildung 1 dargestellt.



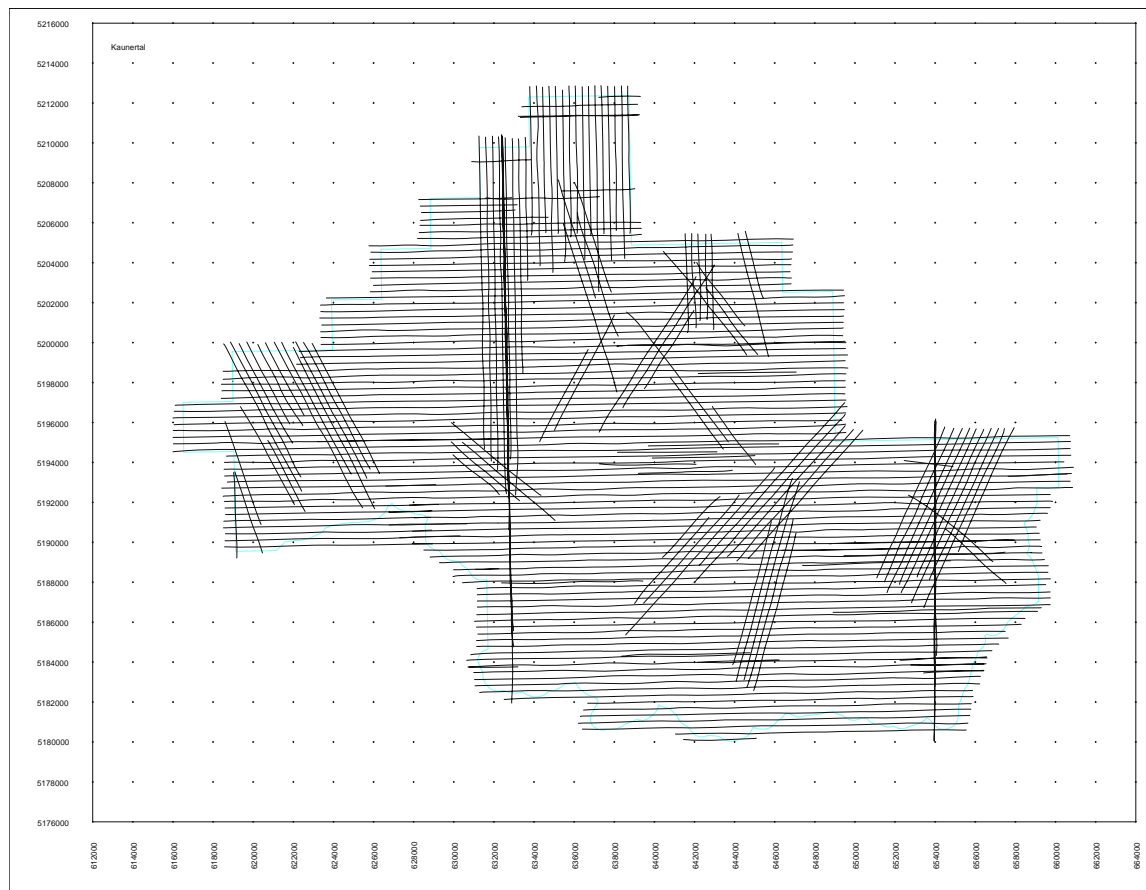


Abb. 1: Flugstreifenübersicht (ETRS89/UTM)

#### 4 Auswertung

Die Auswertung einer Laserscanneraufnahme gliedert sich in folgende Arbeitsschritte:

- Datenaufbereitung;
- GPS-Auswertung;
- Überprüfung der Systemkalibrierung;
- Überprüfung der automatischen Klassifizierung;
- Berechnung der Laserpunkte;
- Modellberechnungen;

Die wesentlichen Ergebnisse der Auswertung sind nachfolgend zusammengefasst.



#### 4.1 Datenaufbereitung - Datumstransformation

Die Berechnung der Laserpunkte erfolgte im ETRS89. Die Punkte wurden mittels UTM abgebildet. Folgende Datumstransformationsparameter zur Transformation vom ETRS89 in das Zielsystem (Gauß-Krüger/M28) sowie die Geoidinformationen wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Translation in X:	-526,1453 m	Rotation um X:	6,34553“
Translation in Y:	-79,6999 m	Rotation um Y:	1,75504“
Translation in Z:	-410,0523 m	Rotation um Z:	6,65518“
Massstab:	0,9999857971		

#### 4.2 GPS-Auswertung

Die GPS-Beobachtungen des Flugzeugempfängers und der Bodenstationen wurden zunächst einzeln dekodiert und auf Vollständigkeit (kontinuierliche Datenaufzeichnung) überprüft. Die Berechnung der Flugwege basierte auf einem Modell zur relativen kinematischen Positionsbestimmung unter Verwendung von doppelten Differenzen der Phasenbeobachtungen. In der Tabelle 3 sind für die Flugtage die GPS-Bodenstationen und die mittleren Standardabweichungen der Koordinaten der GPS-Flugzeugantenne angegeben.

<i>Flugtag</i>	<i>Bodenstation</i>	<i>Flugweg</i>		<i>Standardabweichung</i>		
		<i>Startzeit [UTC]</i>	<i>Endzeit [UTC]</i>	<i>East- WGS [cm]</i>	<i>North- WGS [cm]</i>	<i>Height- WGS [cm]</i>
<b>07.10.10</b> <i>Session 1</i>	Krahberg	09:00	11:15	0,9	1,7	1,7
<b>07.10.10</b> <i>Session 2</i>	Mats	12:07	14:44	1,6	3,6	3,5
<b>08.10.10</b> <i>Session 1</i>	Krahberg	08:30	12:45	0,9	1,8	1,7
<b>08.10.10</b> <i>Session 2</i>	Krahberg	14:00	15:45	0,7	1,4	1,4
<b>09.10.10</b>	Krahberg	08:00	11:45	1,0	1,9	1,8
<b>10.10.10</b>	Krahberg	09:00	12:45	1,0	1,8	1,8



<i>Flugtag</i>	<i>Bodenstation</i>	<i>Flugweg</i>		<i>Standardabweichung</i>		
		<i>Startzeit [UTC]</i>	<i>Endzeit [UTC]</i>	<i>East- WGS [cm]</i>	<i>North- WGS [cm]</i>	<i>Height- WGS [cm]</i>
<i>11.10.10 Session 1</i>	Krahberg	08:33	12:45	1,0	1,9	1,9
<i>11.10.10 Session 2</i>	Krahberg	13:30	15:45	0,8	1,6	1,6
<i>12.10.10 Session 1</i>	Krahberg	07:30	12:00	0,8	1,5	1,5
<i>12.10.10 Session 2</i>	Krahberg	13:00	15:45	0,7	1,4	1,4

**Tab. 3:** Theoretische Genauigkeit der Flugzeugkoordinaten

### 4.3 Überprüfung der Systemkalibrierung

Die Laserpunkte wurden unter Verwendung der GPS-Trajektorie, der Aufzeichnungen des Inertialen Navigations Systems, der Laufzeitmessung und der Spiegelablenkung mit dem Programm LMS (Optech Inc., Kanada) berechnet. Diese lagen dann unklassifiziert im ETRS89 vor.

Die Überprüfung der Systemkalibrierung erfolgte mit Hilfe der Querstreifen sowie der aufgemessenen Kontrollflächen und wurde mittels einer empirischen Genauigkeitsanalyse durchgeführt.

#### 4.3.1 Streifenausgleichung

Das Programm LMS bestimmt mittels einer Ausgleichung der unklassifizierten Laserpunkte die Kalibrierungsparameter für das System. Die Parameter wurden mit Hilfe von korrespondierenden Ebenen aus den gesamten Überlappungsbereichen von Längs- und Querstreifen bestimmt. Die Bestimmung der einzelnen Kalibrierungsparameter wurde durch die Verwendung von Horizontal- und Schrägebenen optimiert. Ebenso wirkte die Verteilung der Ebenen in der Streifenmitte und am Streifenrand stabilisierend auf die Bestimmung der Kalibrierungsparameter. Nach der Bestimmung der Kalibrierungsparameter mittels Ausgleichung, wurden diese bei der Laserpunktberechnung genutzt und im Anschluss die relative (innere) Genauigkeit der Laserpunkte geprüft. Streifenverkippen sind in den Laserpunktdaten nicht vorhanden.

Die Analyse der Absolutgenauigkeit basierte auf dem Vergleich der Laserpunkte mit den gemessenen Kontrollflächen. Für die Kontrollflächen wurden aus den gemessenen Höhenpunkten jeweils ein 'Soll-DHM' mit einer Rasterweite von 1 m berechnet. Für jeden auf den Kontrollflächen gemessenen Laserpunkt wurde eine Höhe aus dem jeweiligem 'Soll-DHM' interpoliert und mit der gemessenen Laserpunkthöhe verglichen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.



<i>Kontrollfläche</i>	<i>Anzahl LP</i>	<i>max. <math>\Delta H</math> [cm]</i>	<i>min. <math>\Delta H</math> [cm]</i>	<i>arith. Mittelwert <math>\Delta H</math> [cm]</i>	<i>quad. Mittelwert <math>\Delta H</math> [cm]</i>	<i>Standard-abw. <math>\Sigma \Delta H</math> [cm]</i>	<i>LP mit <math> \Delta H  \leq 20</math> cm</i>
1921a104	1082	13	-22	-2,8	5,6	4,9	99,8%
1921a105	797	15	-24	1,7	7,9	7,7	99,2%
2022a198	51	10	-9	0,4	3,9	3,9	100%
2120a108	312	9	-6	2,4	3,8	2,9	100%
2120a109	521	8	-9	-0,7	3,0	2,9	100%
Zwieselstein	41526	40	-10	7,6	8,9	4,7	99,9%

**Tab. 4:** Genauigkeitsanalyse der Laserpunkte ( $\Delta H = H_{\text{Laser}} - H_{\text{Soll-DHM}}$ )

#### 4.4 Überprüfung der automatischen Klassifizierung

Für die interaktive Überprüfung der automatischen Klassifizierung wurden die Laserpunkte in das Programm GVE der Firma Inpho GmbH eingelesen. Aus den klassifizierten Bodenpunkten wurden Höhenlinien abgeleitet. Bei Anomalien im Höhenlinienbild wurden die Laserpunkte in diesem Bereich kontrolliert und gegebenenfalls einer anderen Punktklasse zugewiesen. Die Anzahl der Punkte, deren Punktklasse verändert wurde, ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

<i>Gesamtanzahl Laserpunkte</i>	2.712.165.640 (100%)
<i>Anzahl Laserpunkte mit Punktklassenänderung</i>	20.666.088 (0,76%)

**Tab. 5:** Attributänderung

#### 4.5 Berechnung der Laserpunkte

Die Laserpunkte wurden unter Verwendung der GPS-Trajektorie, der Aufzeichnungen des Inertialen Navigations Systems, der Laufzeitmessung und der Spiegelablenkung berechnet.

Es ergab sich folgende Punktverteilung (Tabelle 6):



<i>Fläche</i>	ca. 744 km <sup>2</sup>
<i>Gesamtanzahl Laserpunkte mit Last-Return</i>	2.712.165.640 (100%)
<i>Bodenpunkte (Last-Return)</i>	2.580.232.581 (95,1%)
<i>sonstige Punkte (Last-Return)</i>	131.933.059 (4,9%)
<i>Gesamtanzahl Laserpunkte mit First-Return</i>	2.711.017.025
<i>mittlere Punktdichte aller Laserpunkte mit Last-Return</i>	3,6 Punkte/m <sup>2</sup>
<i>mittlere Punktdichte aller Laserpunkte mit First-Return</i>	3,6 Punkte/m <sup>2</sup>

**Tab. 6:** Punktverteilung

#### 4.6 Modellberechnungen

Die Berechnung der Digitalen Geländemodelle (DGM) und der Digitalen Oberflächenmodelle (DOM) erfolgte mit dem Programmsystem SCOP unter Verwendung aller Bodenpunkte des Last-Returns bzw. aller Laserpunkte des First-Returns. Um Interpolationsschwierigkeiten am Projektrand zu vermeiden, wurden Punkte außerhalb des Projektgebietes zur Berechnung hinzugezogen.

Folgende Eingabeparameter wurden zur Erstellung der Modelle verwendet.

##### Digitales Geländemodell:

Die Berechnung der Geländemodelle erfolgte mit dem Programmsystem SCOP (Inpho GmbH, Stuttgart). Als Interpolationsmethode wurde die Delaunay-Triangulation unter Verwendung folgender Parameter eingesetzt.

Gridwidth = 1.0  
 Useprocessing = 0  
 Triangulation = 1  
 Detailstriangulation/gridlinesperCU = 7

##### Digitales Oberflächenmodell:

Die Berechnung der Oberflächenmodelle erfolgte ebenfalls mit dem Programmsystem SCOP. Als Interpolationsmethode wurde die Delaunay-Triangulation unter Verwendung folgender Parameter eingesetzt.

Gridwidth = 1.0  
 Useprocessing = 0  
 Triangulation = 1  
 Detailstriangulation/gridlinesperCU = 7





## 5 Intensitätsbilder

Bei der Laserscannermessung wird für jeden zurückkommenden Laserstrahl die Amplitude des empfangenen Signals registriert. Diese Signalstärke wird als Intensität bezeichnet.

Zur Erstellung der Intensitätsbilder wurde ein Raster von 1 m erstellt und die Intensität durch Interpolation der in der Rastereinheit liegenden Punkte ermittelt. Aus den so erhaltenen Intensitäten wurden dann die Intensitätsbilder prozessiert.

