



GPR – Messungen der Eisdicke am Oberen Ortlerferner



Bericht über die Messungen am Oberen Ortlerferner im Juli 2014 des Institutes für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften.

Mag. Martin Stocker-Waldhuber
Mag. Daniel Binder
PD Dr. Andrea Fischer

Im Rahmen des **INTERREG** Projektes **ClimOpt** im Auftrag von:

Ufficio Idrografico di Bolzano
Via Mendola 33, I-39100 Bolzano

Hydrograophisches Amt Bozen
Mendelstrasse 33, I-39100 Bozen



Inhalt

Inhalt.....	2
1 Einleitung.....	3
2 Messmethode.....	4
3 Ergebnisse.....	5
3.1 Messung.....	6
3.2 Auswertung und Ergebnisse.....	7
3.3 Diskussion der Ergebnisse.....	13
4 Ausblick	14
5 Literatur	14
6 Anhang	15
6.1 Move starttime (page 278)	15
6.2 Remove header gain (page 267)	15
6.3 AGC-Gain (page 266)	15
6.4 Bandpassbutterworth (page 253)	16

1 Einleitung

Am 03.07.2014 wurden die Eisdicken (Abschnitt 2) am Oberen Ortlerferner (46°30'35"N, 10°32'25"E) am Gipfelplateau des Ortlers (Abbildung 1) gemessen. Die Messungen wurden vom Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften unter der Projektleitung von Dr. Andrea Fischer im Auftrag vom Hydrographischen Amt Bozen im Rahmen des INTERREG Projektes ClimOPT durchgeführt.



Abbildung 1: Lage des Oberen Ortlerferners mit Blickrichtung SSO (Quelle: Google Earth).

Der folgende Bericht beinhaltet die Auswertungen der Messungen am Gletscher und gibt Aufschluss über die Eismächtigkeit und Topographie des Untergrundes (Binder, et al., 2009; Fischer, 2009). Die Messprofildicke wurde den topographischen Gegebenheiten und der damit verbundenen Zugänglichkeit am Gletscher angepasst. Der Schwerpunkt der Messungen lag am Plateau des Gletschers. Mit dem Digitalen Geländemodell und den Gletschergrenzen von 2005 wurden die Eisdicken und Höhen des Untergrundes entlang der Messprofile ermittelt und über die ganze Gletscherfläche interpoliert. Daraus resultierend wurden Karten des Messprofiles, des Untergrundes und der Eisdicke erstellt (Abschnitt 3). Die Eisdicken wurden bei Schneeauflage gemessen und wurden zeitgleich mit den Arbeiten im „Projekt Ortler“ durchgeführt. Aufgrund der dadurch erforderlichen Reduktion der Mannschaftsgröße von vier Personen auf drei Personen inkl. Bergführer wurden bei den laufenden GPR Messungen keine Schneehöhen sondiert.

Die Abbildungen, ESRI Raster der Eisdicke und des Untergrundes, Excel Dateien der gemessenen Profile mit X, Y, Z Koordinaten und Eisdicken der einzelnen Punkte der Radarauswertungen sowie der Bericht werden auf CD geliefert.

Alle Daten wurden im Koordinatensystem UTM Zone 32 N, Datum ETRS 89 bearbeitet.

2 Messmethode

Die Eisdickenmessungen wurden mittels Radioecholotung / Ground Penetrating Radar (GPR) durchgeführt. Bei der Radioecholotung wird ein elektromagnetisches Signal ausgesendet, das an der Grenzschicht zwischen Eis und Fels reflektiert wird (Abbildung 2). Diese Reflexion muss nicht zwangsläufig im Profil, sondern kann auch an einem anderen Punkt entlang einer Kugeloberfläche stattfinden. An einzelnen Stellen können auch interne Reflexionen (Gletscherspalten) oder Reflexionen von Metallteilen (Stützen, Leitungen) im Profil sichtbar sein (Abbildung 3).

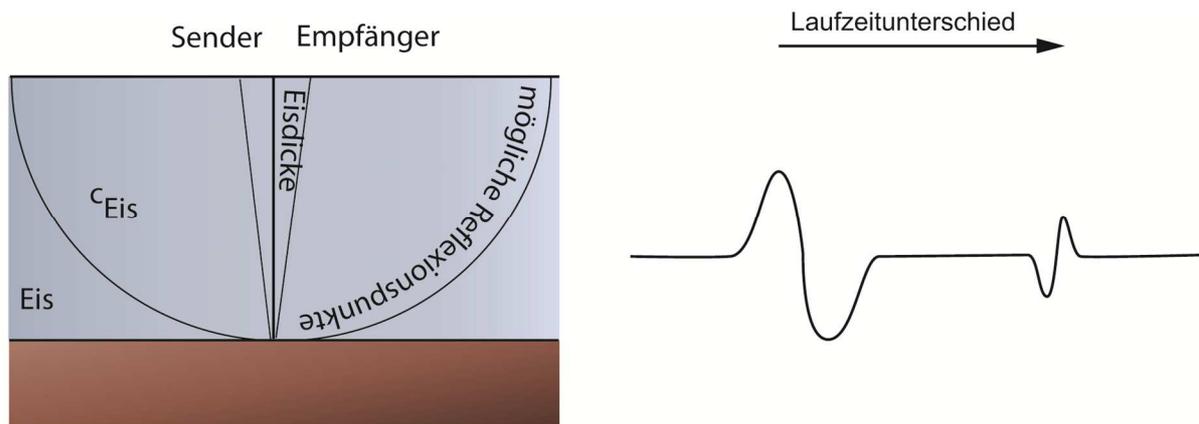


Abbildung 2: Skizze des Messprinzips.

Bei den Messungen wurde ein GPR System der Firma GSSI (<http://www.geophysical.com/gssibrochures.htm>) eingesetzt, das auf einem Schlitten mit einem konstanten Antennenabstand von 2 m montiert wurde (Abbildung 4). Als Recorder wurde ein SIR 3000 Gerät benutzt, dazu wurden Antennen der Bauart 3200 MLF mit einer Antennenhalblänge von 2,40 Metern und einer Frequenz von 50 MHz verwendet. Die Signale wurden im kontinuierlichen Modus mit einer Aufnahmezeit von 1500 ns aufgezeichnet. Von vier Messungen pro Sekunde wurden jeweils zwei Messungen gestapelt und ergeben somit zwei Radarspuren pro Sekunde.

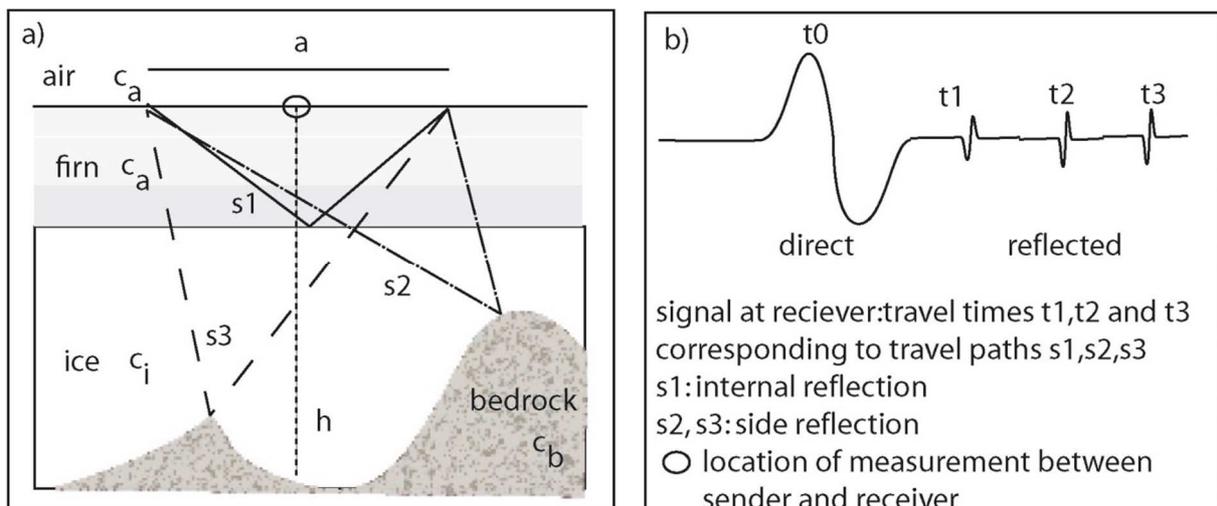


Abbildung 3: Mögliche Mehrdeutigkeiten in der Interpretation durch multiple Reflektoren.



Abbildung 4: Das GPR der Firma GSSI in der verwendeten Konfiguration.

3 Ergebnisse

Der Obere Ortlerferner ($46^{\circ}30'35''\text{N}$, $10^{\circ}32'25''\text{E}$) erstreckt sich über einen Höhenbereich zwischen 3020 und 3890 Meter. Die Fläche des Gletschers beträgt $1,04 \text{ km}^2$ gültig für das Jahr 2005. Der Gletscher liegt auf der nord-nordwestlichen Seite des Ortlers. Vom relativ flachen Plateau des Gletschers fließt das Eis in zwei steiler werdende Zungen nach Norden bzw. Nordwesten (Abbildung 5).

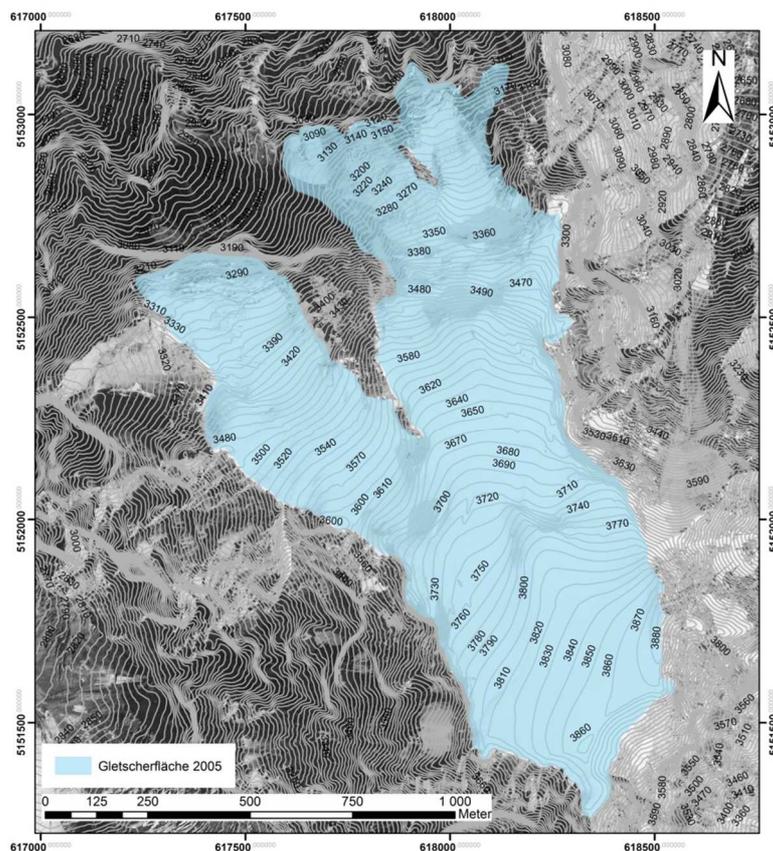


Abbildung 5: Oberer Ortlerferner mit Gletscherfläche von 2005 (blau) des Hydrographischen Amtes Bozen am Orthophoto von 2005.

3.1 **Messung**

Die Radarmessung wurde am 03.07.2014 durchgeführt. Ausgangspunkt für den Hubschrauberflug war am Landeplatz Franzeshöhe. Der Transport erfolgte zum Plateau des Gletschers. Nach der Montage der Ausrüstung am Schlitten (Abbildung 4) wurden in Form von Schleifen über das Plateau mehrere Querprofile und weiter in Richtung der orographisch rechten Gletscherzunge gemessen. Im anschließenden Aufstieg wurde ein Längsprofil angelegt und die Querprofile im oberen Bereich des Gletscherplateaus bis knapp unterhalb des Gipfels vervollständigt (Abbildung 9). Zusätzlich wurden laufende Messungen mit differenziellem GPS (DGPS) durchgeführt. Die Montage der DGPS Antenne erfolgte direkt am Schlitten (Abbildung 4) Die Messungen wurden von einem lokalen Bergführer begleitet.

Durchführung der Messungen:

Mag. Daniel Binder

Mag. Martin Stocker-Waldhuber



Abbildung 6: Plateau am Oberen Ortlerferner mit Blickrichtung Gipfel. Standpunkt am Ausgangspunkt der Messungen.



Abbildung 7: Plateau am Oberen Ortlerferner mit Blickrichtung Nordwesten. Standpunkt am Ausgangspunkt der Messungen.

3.2 Auswertung und Ergebnisse

Zur Auswertung wurden einerseits die aktuellen GPR und DGPS Messungen verwendet, zusätzlich wurde jedoch noch mit den Radarprofilen von 2013 (Abbildung 11) und Daten der Bohrlochauswertung für die GPR Geschwindigkeitsfunktion gearbeitet. Die DGPS Daten wurden mit den STPOS Stationen Mals, Sterzing, Bozen und Meran korrigiert.

Die Auswertung der Radardaten erfolgte mit dem Programm ReflexW mit 2D Prozessierung (Beispiel s. Abbildung 8). Eine genaue Beschreibung der einzelnen Schritte ist im Appendix zu finden:

- Nullpunktkorrektur (Anhang 6.1)
- Zusammenspielung mit den DGPS Daten
- Entfernung von „Header Gain“ (Anhang 6.2)
- Normalized Automatic Gain Control (AGC) mit einem Fenster von 500 ns (Anhang 6.3)
- Bandpass Filter (Anhang 6.4)
- Picken der Reflexionen am Untergrund

Weiters wurde eine 3D Prozessierung durchgeführt (Binder, et al., 2009). Die Interpolation beruht dabei auf der Annahme, dass die räumliche Varianz der basalen Scherspannung ein Minimum einnimmt. Am Grad der Glättung der Oberflächenneigung wird dabei das Modell eingestellt. Für die 3D Migration auf Basis der Eikonalgleichung wurde eine konstante GPR Geschwindigkeit von 0,1819 m/ns verwendet. Dies entspricht der mittleren Geschwindigkeit aus der 1D Geschwindigkeitsfunktion welche aus den Bohrlochdaten berechnet wurde.

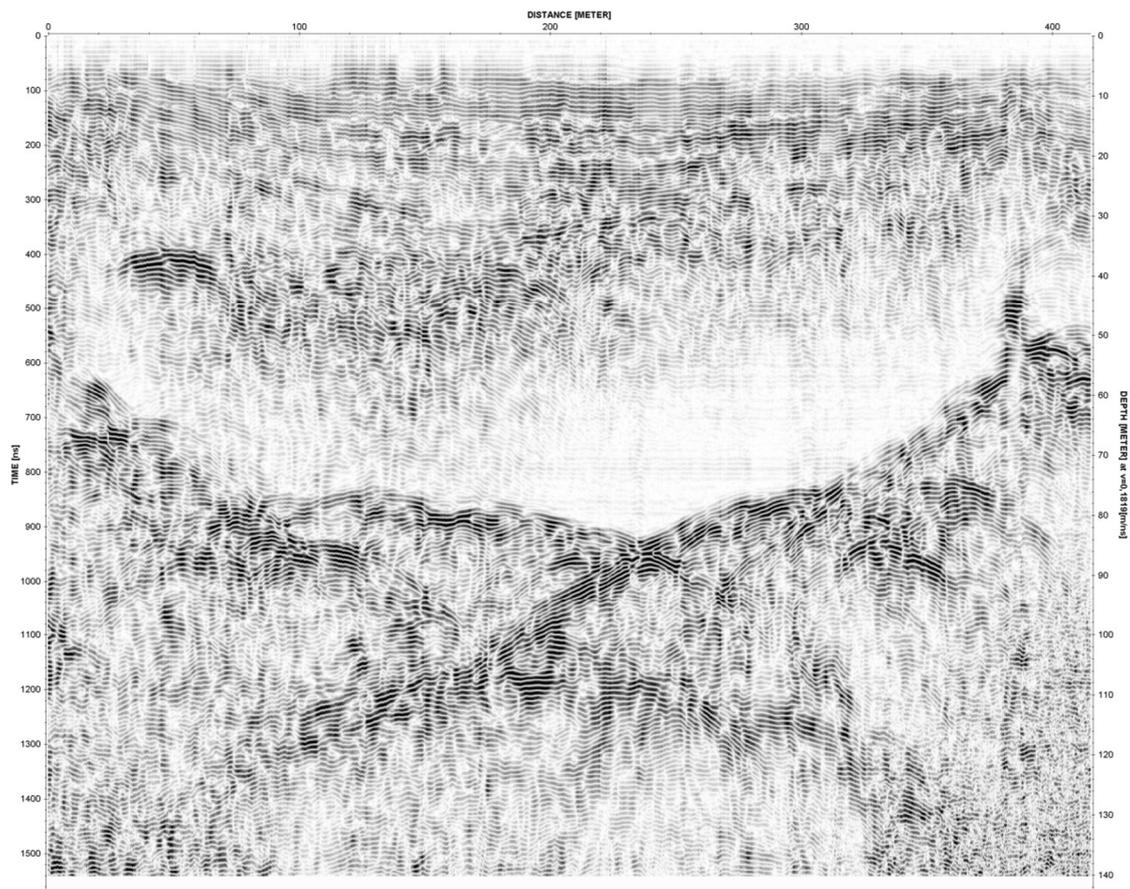


Abbildung 8: Beispiel eines Radargramms vom Plateau am Oberen Ortlerferner. Deutlich sichtbar ist die Reflexion des Signals am Untergrund in Tiefen zwischen 50 und 80 m. Übergang von Firn zu Eis bei ca. 20 bis 30 m.

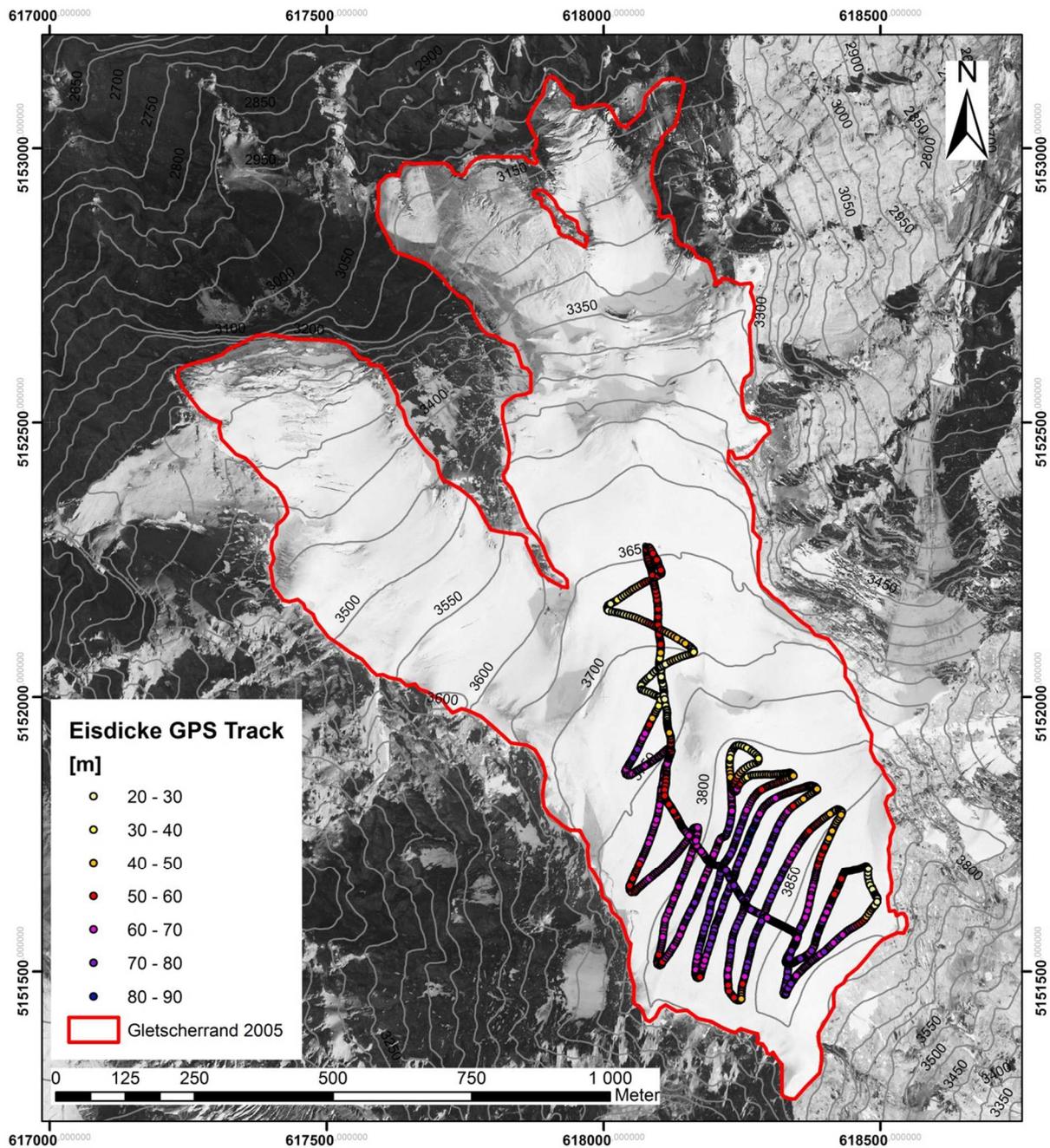


Abbildung 9: Übersicht vom Gletscher und GPS Track der Eisdickenmessungen am Orthophoto von 2005. Die farblichen Abstufungen entsprechen den jeweiligen Eisdicken.

Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen den genauen Verlauf der Messlinien. Für die Auswertung wurden jedoch nur eindeutige Profile verwendet. So wurden beispielsweise die Kurven zwischen den Profilen bzw. größere Bereiche Richtung Gletscherzunge mit deutlich höherem Anteil multipler Reflexionen nicht in Betracht gezogen. Die Detailansicht des Profils rund um den Startpunkt der Messungen in Abbildung 11 zeigt die hohe räumliche Auflösung der GPR Profile von 2013. In diesem Bereich befinden sich auch die Bohrlöcher mit deren Daten die Geschwindigkeitsfunktion berechnet wurde.

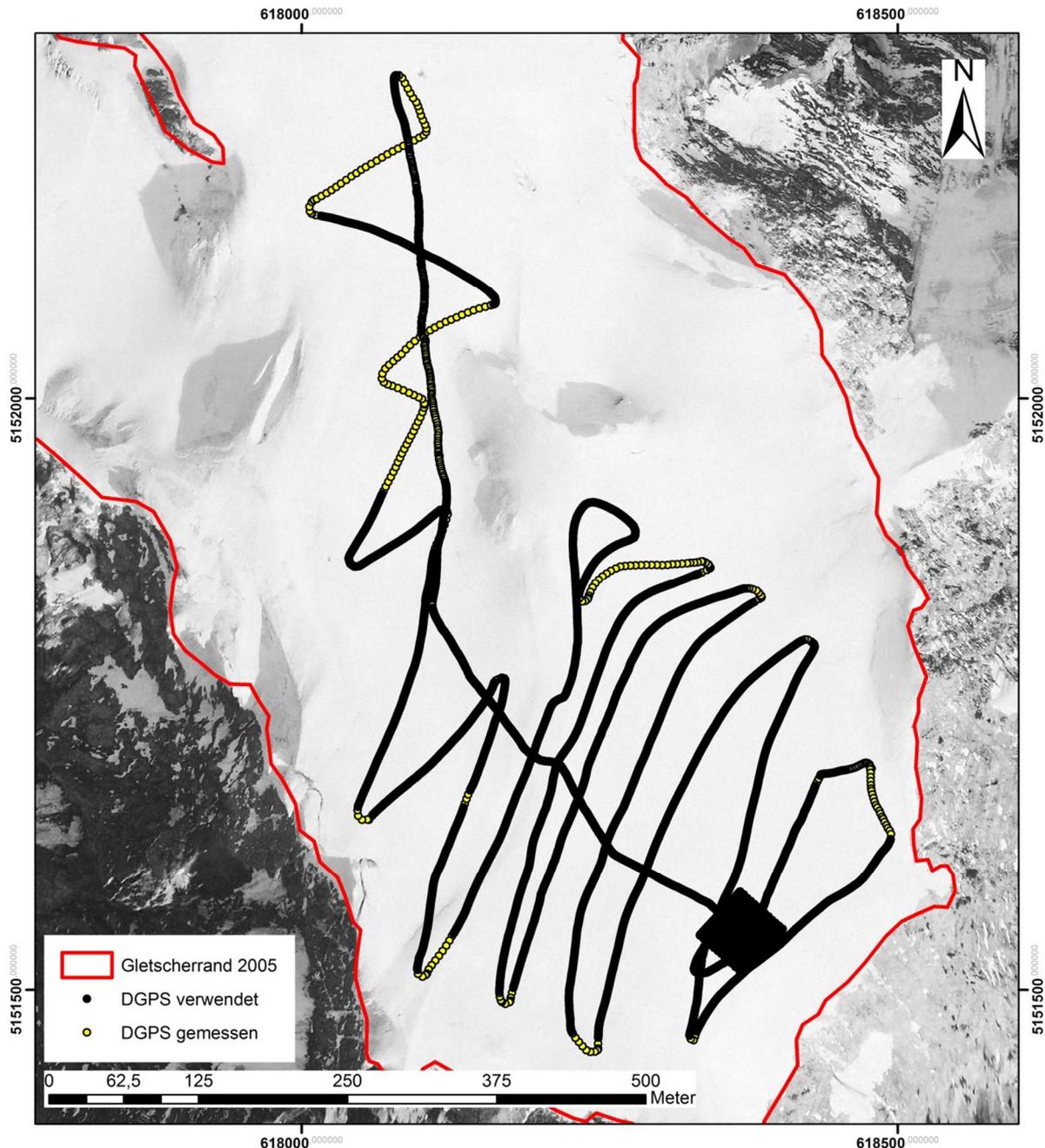


Abbildung 10: DGPS gemessene und für die Auswertung verwendete GPR Profile am Orthophoto von 2005. Die Profile in der schwarzen Fläche sind in höherer Auflösung in Abbildung 11 dargestellt.

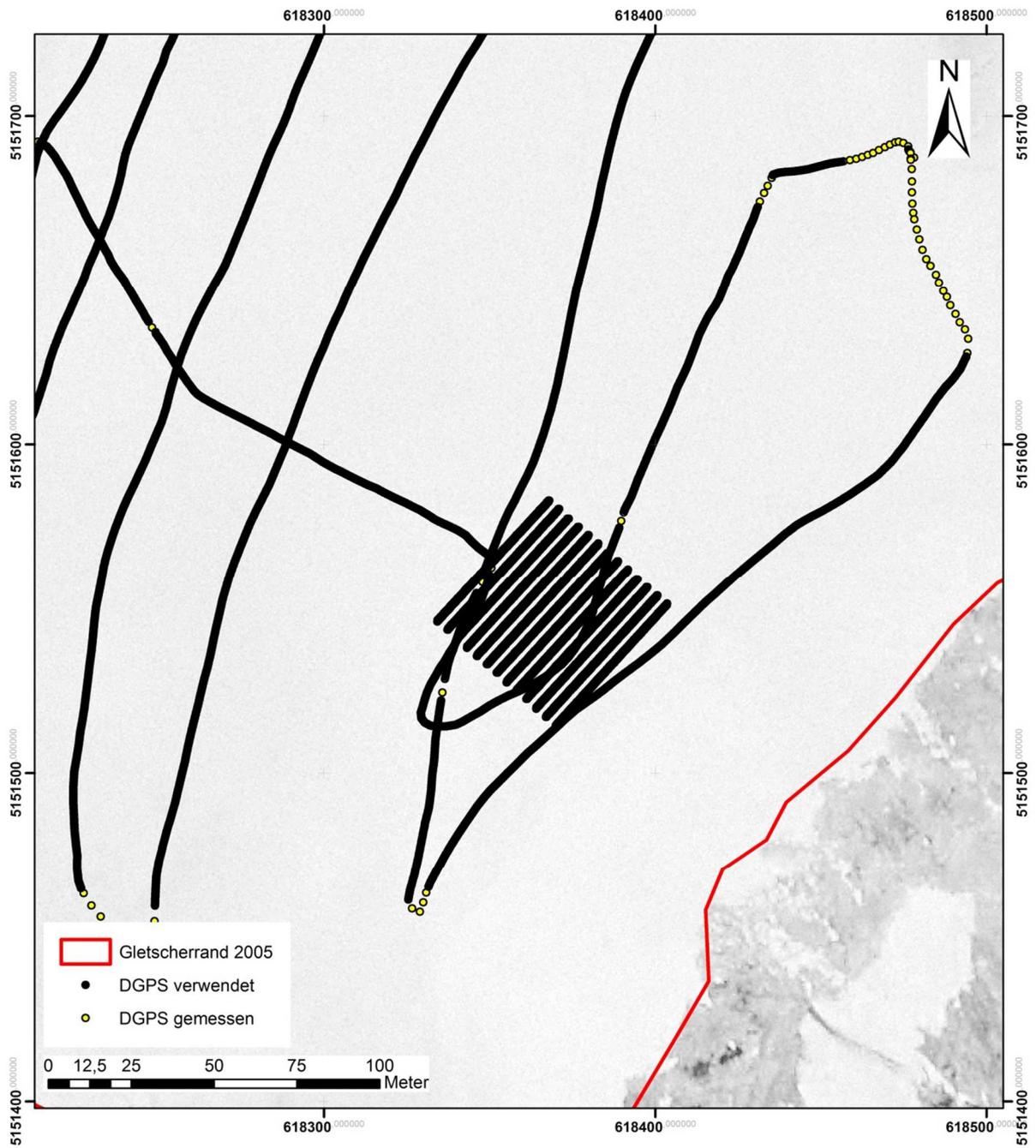


Abbildung 11: Detailansicht der Messlinien. Die kurzen, räumlich höher aufgelösten Profile wurden bereits 2013 gemessen.

Abbildung 12 zeigt die Topographie des Gletscheruntergrunds im 20 m Abstand. Aufgrund der deutlich dichteren Profilmessung am Plateau des Gletschers kann der Untergrund in diesem Gebiet mit höherer räumlicher Auflösung dargestellt werden. Im Gegensatz dazu liefert die Interpolation über die Gletscherfläche besonders in den Gebieten der Gletscherzungen nur kontinuierliche Abstufungen im Untergrund. Im tiefsten Bereich der orographisch rechten Gletscherzunge und im mittleren Großen Bereich der orographisch linken Zunge liefert die Interpolation hingegen keine Ergebnisse mehr.

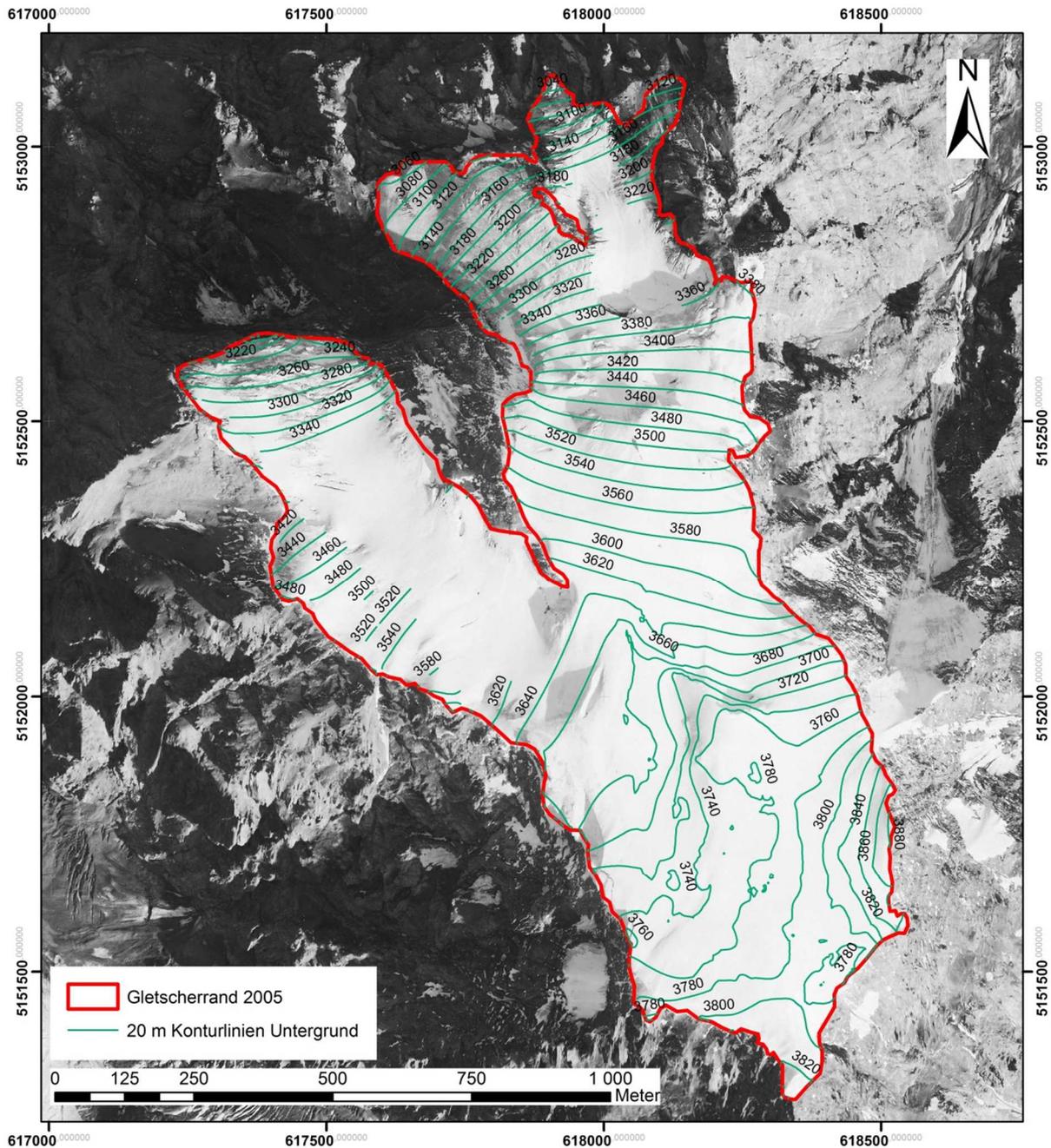


Abbildung 12: Konturlinien des berechneten Gletscheruntergrunds im 20 m Abstand am Orthophoto von 2005.

Abbildung 13 zeigt die Verteilung der berechneten Eisdicken am Oberen Ortlerferner mit den weißen Bereichen in denen die Interpolation nicht erfolgreich war. Deutlich sichtbar sind zwei Eisdickenmaxima mit bis zu 90 m Eis am Plateau und im mittleren orographisch rechten Bereich des Gletschers. Während das Maximum am Plateau direkt gemessen wurde, ist das zweite Maximum eine Folge der Interpolation. Eine weitere Folge der Interpolation sind die berechneten Eisdicken am orographisch linken Teil des Gletschers. Für diesen Bereich sind keine Felddaten vorhanden und daher sind die interpolierten Werte als kritisch zu betrachten und stellen lediglich eine erste Abschätzung der Eisdicken dar. Eine Abschätzung der fehlenden Volumina in den „weißen“ Bereichen wird in Abschnitt 3.3 vorgenommen.

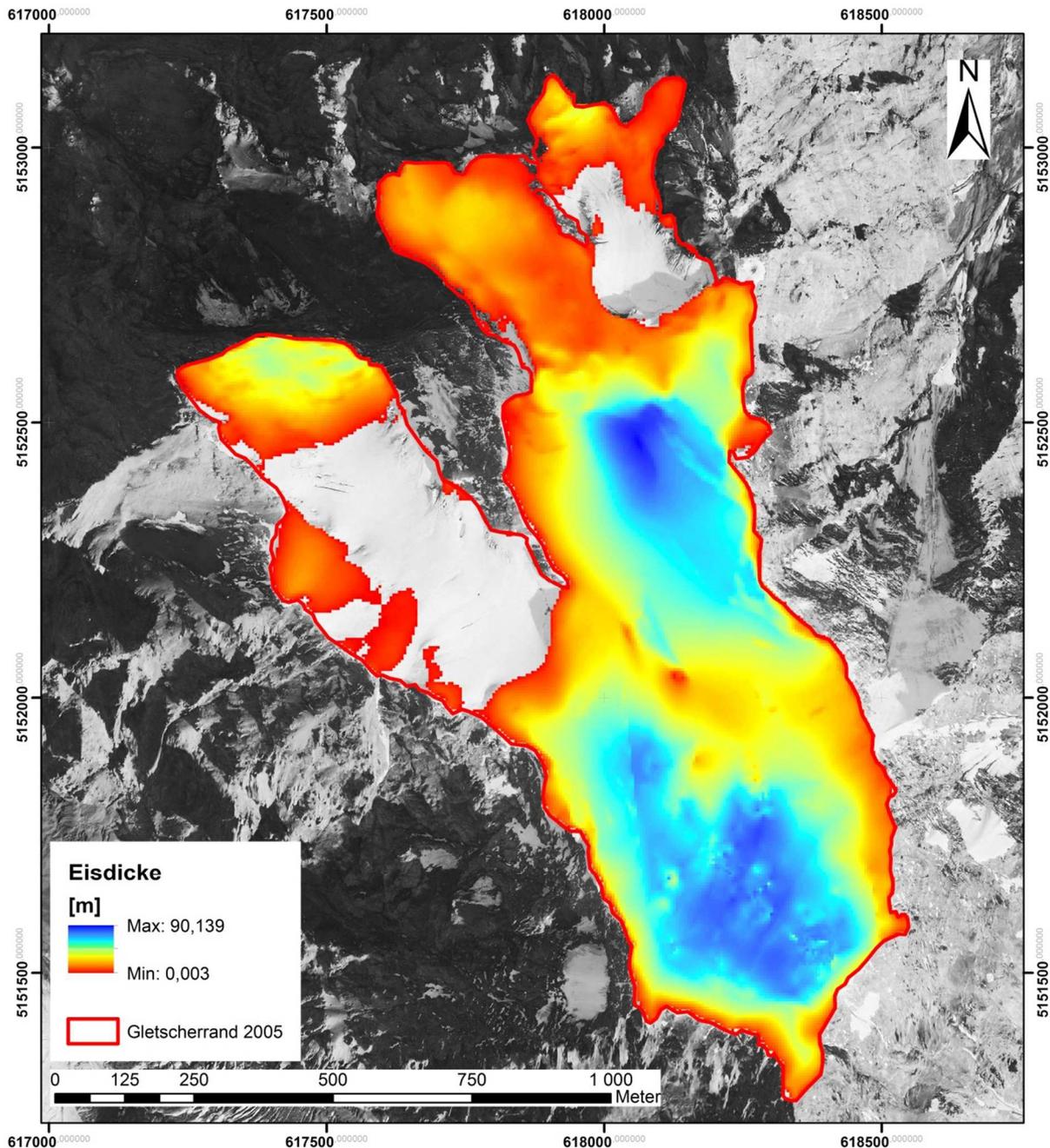


Abbildung 13: Berechnete Eisdickenverteilung am Oberen Ortlerferner am Orthophoto von 2005. An den weißen Flächen war die Interpolation nicht erfolgreich.

3.3 Diskussion der Ergebnisse

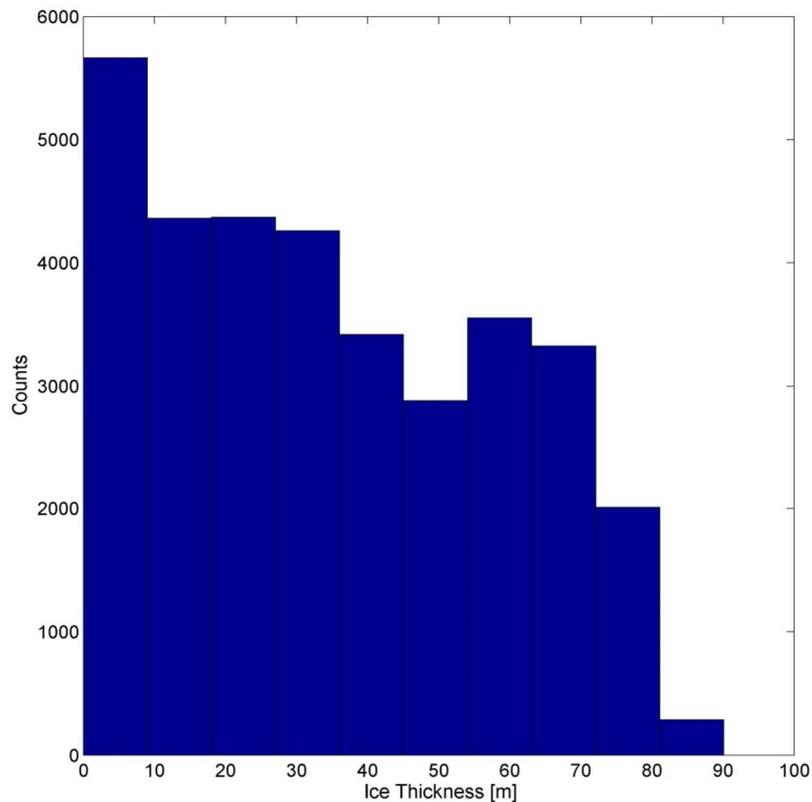


Abbildung 14: Histogramm der Eisdickenverteilung zur Anzahl der Rasterpixel entsprechend der Abbildung 13.

Das Histogramm der Eisdickenverteilung in Abbildung 14 zeigt, dass die größte Anzahl der Pixel des Eisdickenrasters (Abbildung 13) bei Eisdicken zwischen 0 und 10 m liegen. Bei sehr wenigen Pixeln hingegen liegen die Eisdicken über 80 m. Die Auflösung des Eisdickenrasters beträgt 5 x 5 m. Somit entspricht die Größe eines Pixels einer Fläche von 25 m². Das aus dem Eisdickenraster errechnete Volumen ergibt aufgrund der „weißen“ Lücken einen Wert von nur rund 0,03 km³ (29,86 *10⁶ m³) berechnet aus der Anzahl der Pixel des Eisdickenrasters und der mittleren Eisdicke. Die mittlere berechnete Eisdicke des Gletschers beträgt ca. 35 m. Unter der Annahme, dass in die fehlenden Flächen, in denen die Interpolation nicht erfolgreich war, die Eisdicke in etwa der mittleren berechneten Eisdicke entspricht, würde bei einer gesamten Gletscherfläche von 1,04 km² das Gesamtvolumen des Gletschers rund 0,036 km³ (36,51 *10⁶ m³) betragen.

Die Eisdickenmessung und Auswertung mit dieser Methode kann prinzipiell mit einer Genauigkeit von ±20% angegeben werden (Binder, et al., 2009). Besonders die Gebiete deren Eisdicken nicht durch direkte Messungen bestätigt werden, sondern das Resultat der Interpolation sind, müssen kritisch betrachtet werden, was vor allem die fehlenden Bereiche und besonders auch das zweite Maximum im Mittelbereich der orographisch rechten Zunge betrifft. Am Plateau hingegen ist die Genauigkeit aufgrund der hohen räumlichen Auflösung der Messung und der sehr guten Übereinstimmung der Bohrlochdaten mit den berechneten Eisdicken höher einzuschätzen.

4 Ausblick

Besonders interessant für das Plateau des Oberen Ortlerferners wäre eine Untersuchung der GPR Daten in Bezug auf das Vorhandensein von kaltem Eis. Ein Indiz dafür wären zum Beispiel die Regionen geringer Signalstreuung im Beispielradargramm in Abbildung 8.

5 Literatur

Binder, D., Brückl, E., Roch, K., Behm, M., Schöner, W., & Hynek, B. (2009). Determination of total ice volume and ice-thickness distribution of two glaciers in the Hohe Tauern region, Eastern Alps, from GPR data. *Annals of Glaciology*, 50(51), S. 71-79(9).

Fischer, A. (2009). Calculation of Glacier volume from sparse ice-thickness data, applied to Schaufelferner, Austria. *Journal of Glaciology*, 55, S. 453-460(8).

Sandmeier, K. (2014). ReflexW Manual Version 7.5. *Windows 9x/NT/2000/XP/7/8-program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data*, S. 1 - 598.

6 Anhang

Erklärungen zu den Verarbeitungsschritten aus dem Software Manual (Sandmeier, 2014).

6.1 *Move starttime (page 278)*

The filter acts on each trace independently. The processing step move starttime facilitates a static correction in time direction by a given value (by default the start time specified within the fileheader time specification).

Within the groupbox move starttime you may define if the moving value is always taken from the fileheader (option fileheader activated) or whether a manual input is possible (manual input activated).

The filter parameter move time determines the time value each trace is shifted in the case the option manual input is activated. The default value is the start time value stored in the fileheader.

After having performed the processing step the start time of the processed file is automatically set to 0.

When using this option within the Sequence Processing with activated option fileheader, always the start time values stored in the individual fileheaders are used. With activated option manual input the entered constant value is used for all files.

You may use this option for removing all data in time before the start time or you may use this option as a simple static correction (see also static correction).

6.2 *Remove header gain (page 267)*

The filter acts on each trace independently. The option allows to apply the inverse of a digitized gaincurve stored in the fileheader.

The gainvalues used for the GSSI data-acquisition, which are stored in the RADAN-header, are automatically read in (see also option FileHeader Edit). Therefore it is possible to remove the gaincurve and to get raw data without timevariant amplification. Any gaincurve, which is applied on the data after the conversion (e.g. using the option manual gain (y)) is not automatically transferred into the fileheader. This must be done manually within the option option FileHeader Edit (max. 8 values (time and gain)).

The filter is useful if you want to compare data files acquired with different gain functions or if you want to use the true amplitude information.

6.3 *AGC-Gain (page 266)*

The filter acts on each trace independently. The gain filter facilitates the creation of equally distributed amplitudes in y-direction (normally time axis) within a predefinable window. The information of the true amplitude is lost, of course.

The filter parameter window length determines the window size in the given timedimension. The program calculates at first an average amplitude over the total time range for each trace. After that the program scales each amplitude value in that way that the mean amplitude has the same

value for each selected window around the current value within a trace. The size of the window determines the kind of amplitude equality distribution. A window size of only one sample increment means that each time sample within one trace receives the same amplitude value (no reasonable choice), a window size of the whole trace length causes no modification of the amplitude. Small window sizes cause a strong equality distribution, large windows a weak.

After the application of the AGC all data points are automatically multiplied by a scaling factor. You should choose this factor in such a way that all amplitude values lie within the 16 data bits if your REFLEX format is 16 bit Integer. If not, those amplitudes are automatically restricted to values of 32000 or -32000 in this case. If your REFLEX format is 32 bit floating point, the scaling value can be set to 1.

The option max. gain can be used in order to restrict the gain for each sample. The option normalize performs a trace normalization. If this option is active the max. normalize value must be entered. This option is by default set to 2048. Each value can be entered but if the data had been stored using one of the 16 bit integer formats the max. value should be within the 16 bit integer range and should not be less than 2048.

This option serves for emphasizing of low amplitude ranges against ranges with high amplitudes.

6.4 ***Bandpassbutterworth (page 253)***

The filter acts on each trace independently. Here you can apply a bandpass filtering in the time domain using a recursive filter.

The filter band is specified by the setting of two frequency values. The first point determines the low cut frequency, the second one the high cut frequency. The frequency spectrum below the low cut and above the high cut frequency is set to zero. By the corresponding choice of the points of the bandpass either a lowpass or a highpass can be approximately realized.

The frequency values can be set either manually or within the frequency spectrum of the original example trace. For that activate the wanted filter parameter by simply enter it and then choose the wanted frequency value using the left mouse button within the frequency spectrum. The activated filter parameters is automatically updated.

Noise can be suppressed with the bandpass filter when it differs from the signal in its frequency content. It is recommended to select a trace containing both a significant portion of noise and of the signal for the filter parameters setting.