



ClimOpt

Optimierung des Managements klimabedingter Naturgefahren

Interreg IV A Italien-Schweiz 2007-2013

● GPR – Messungen der Eisdicke am Oberen Ortlerferner

AUTONOME
PROVINZ
BOZEN
SÜDTIROL



PROVINCIA
AUTONOMA
DI BOLZANO
ALTO ADIGE



KANTON
GRAUBÜNDEN
AMT FÜR WALD
UND NATURGEFAHREN



Herausgeber: Autonome Provinz Bozen - Südtirol und Kanton Graubünden

Autonome Provinz Bozen - Südtirol

Abteilung Brand- und Zivilschutz, Drususallee 116, 39100 Bozen
brand.zivilschutz@provinz.bz.it, www.provinz.bz.it/zivilschutz
Abteilungsdirektor Hanspeter Staffler

Kanton Graubünden

Amt für Wald und Naturgefahren, Loëstraße 14, CH-7000 Chur
info@awn.gr.ch, www.awn.gr.ch
Bereichsleiter Christian Wilhelm

© 2014

Projektsteuerung

Andreas Zischg (abenis alpinexpert GmbH/abenis AG)
a.zischg@abenis.it, www.abenis.it, www.abenis.ch
Roberto Dinale (Hydrographisches Amt der Autonomen Provinz Bozen)
roberto.dinale@provinz.bz.it, www.provinz.bz.it/hydro

Grafik

sonya-tschager.com

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers gestattet.



ClimOpt – Optimierung des Managements klimabedingter Naturgefahren

Interreg Italien-Schweiz 2007-2013

Autoren:

Martin Stocker-Waldhuber, Daniel Binder, Andrea Fischer



Le opportunità non hanno confini.



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Messmethode	6
3	Ergebnisse	8
3.1	Messung.....	8
3.2	Auswertung und Ergebnisse.....	10
3.3	Diskussion der Ergebnisse	17
4	Ausblick	18
5	Literatur.....	18



1 Einleitung

Am 03.07.2014 wurden die Eisdicken (Abschnitt 2) am Oberen Ortlerferner ($46^{\circ}30'35''\text{N}$, $10^{\circ}32'25''\text{E}$) 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 Messprofildichte 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).

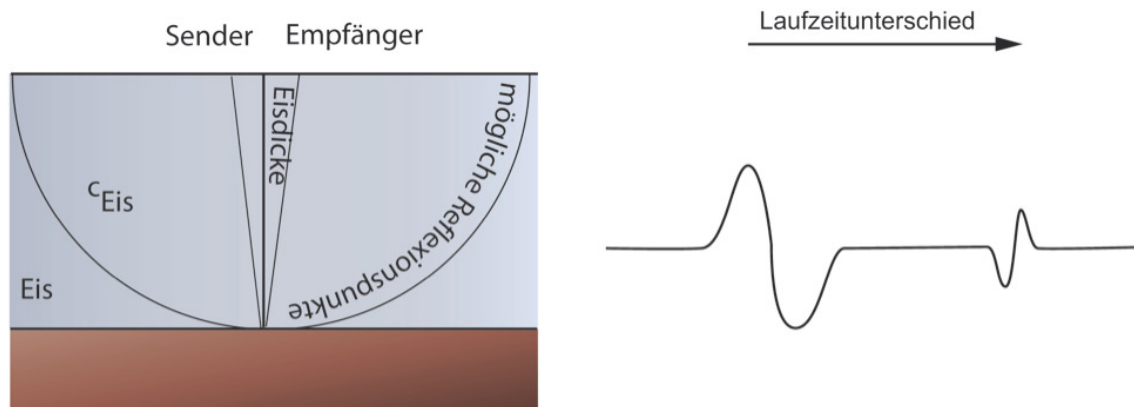


Abbildung 2: Skizze des Messprinzips.

Bei den Messungen wurde ein GPR System der Firma GSSI (<http://www.geophysical.com/gssi-brochures.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.

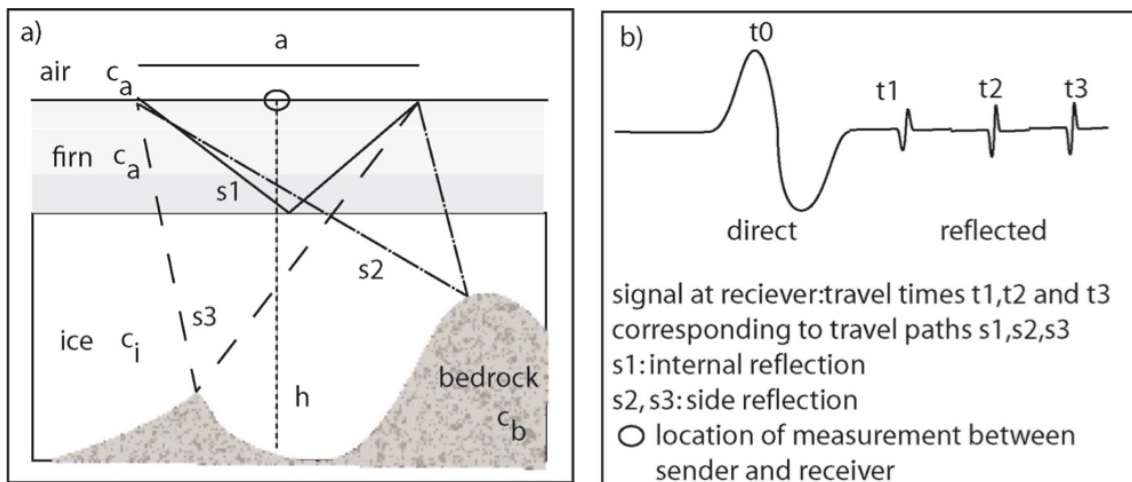


Abbildung 3: Mögliche Mehrdeutigkeiten in der Interpretation durch multiple Reflektoren.



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



3 Ergebnisse

Der Obere Ortlerferner (46°30'35"N, 10°32'25"E) erstreckt sich über einen Höhenbereich zwischen 3020 und 3890 Meter. Die Fläche des Gletschers beträgt 1,04 km² 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).

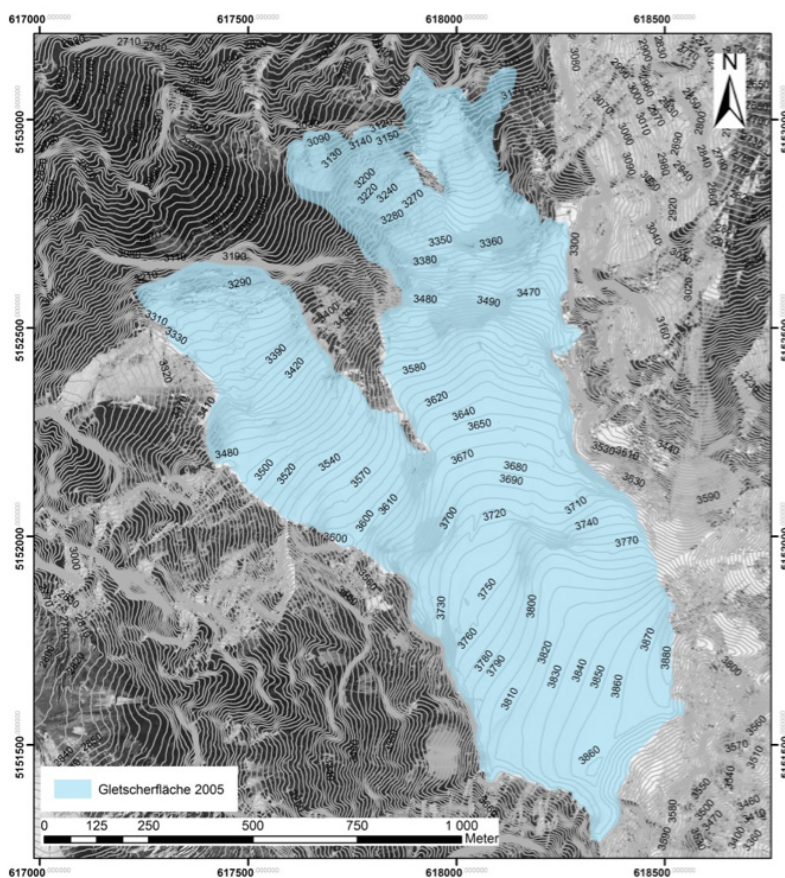


Abbildung 5: Oberer Ortlerferner mit Gletscherfläche von 2005 (blau) des Hydrographischen Amtes Bozen am Orthophoto von 2005.

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 Glet-



scherzunge 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):

- Nullpunktkorrektur
- Zusammenspielung mit den DGPS Daten
- Entfernung von „Header Gain“
- Normalized Automatic Gain Control (AGC) mit einem Fenster von 500 ns
- Bandpass Filter
- 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.

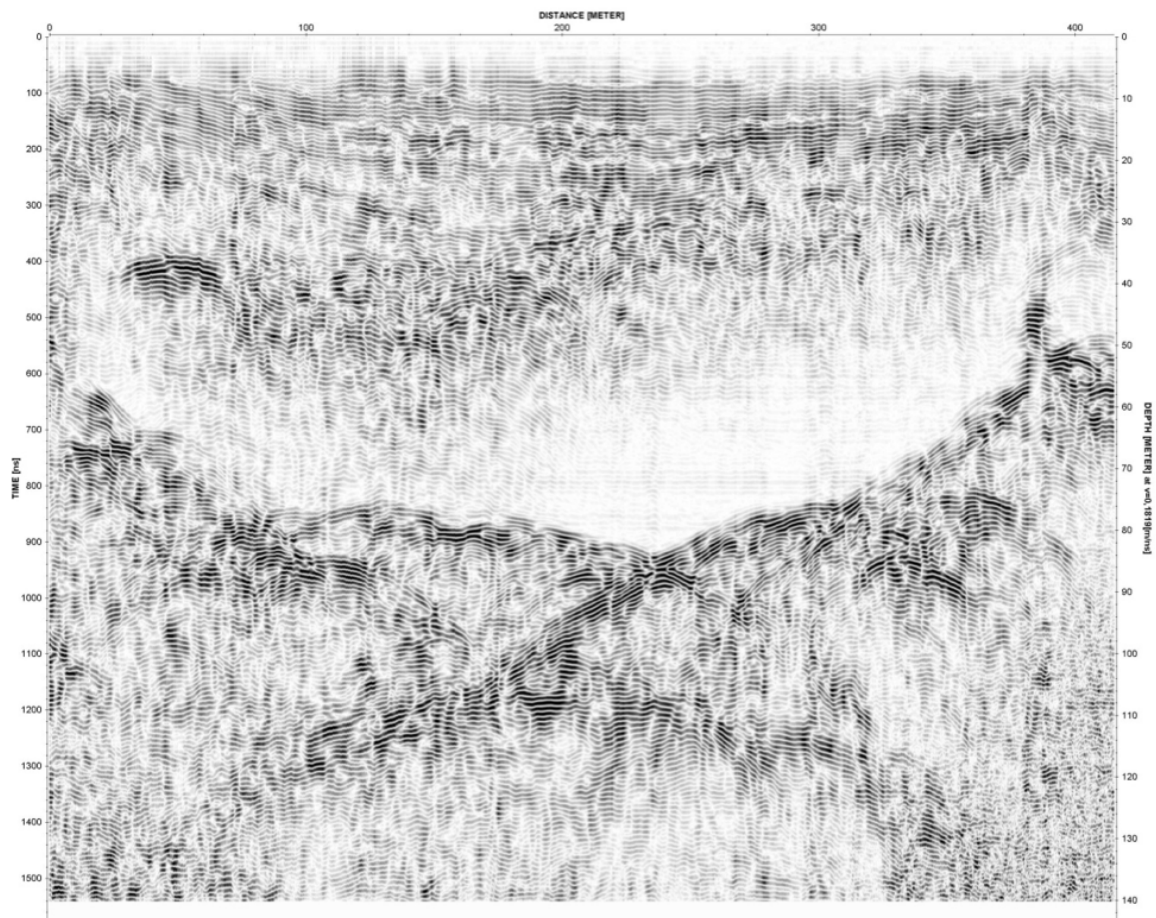


Abbildung 8: Beispiel eines Radargramms vom Plateau am Oberen Ortlerferner. Deutlich sichtbar ist die Reflexion des Signals am Untergrund in Tiefen zwischen 50 und 80 m. Übergang von Firn zu Eis bei ca. 20 bis 30 m.

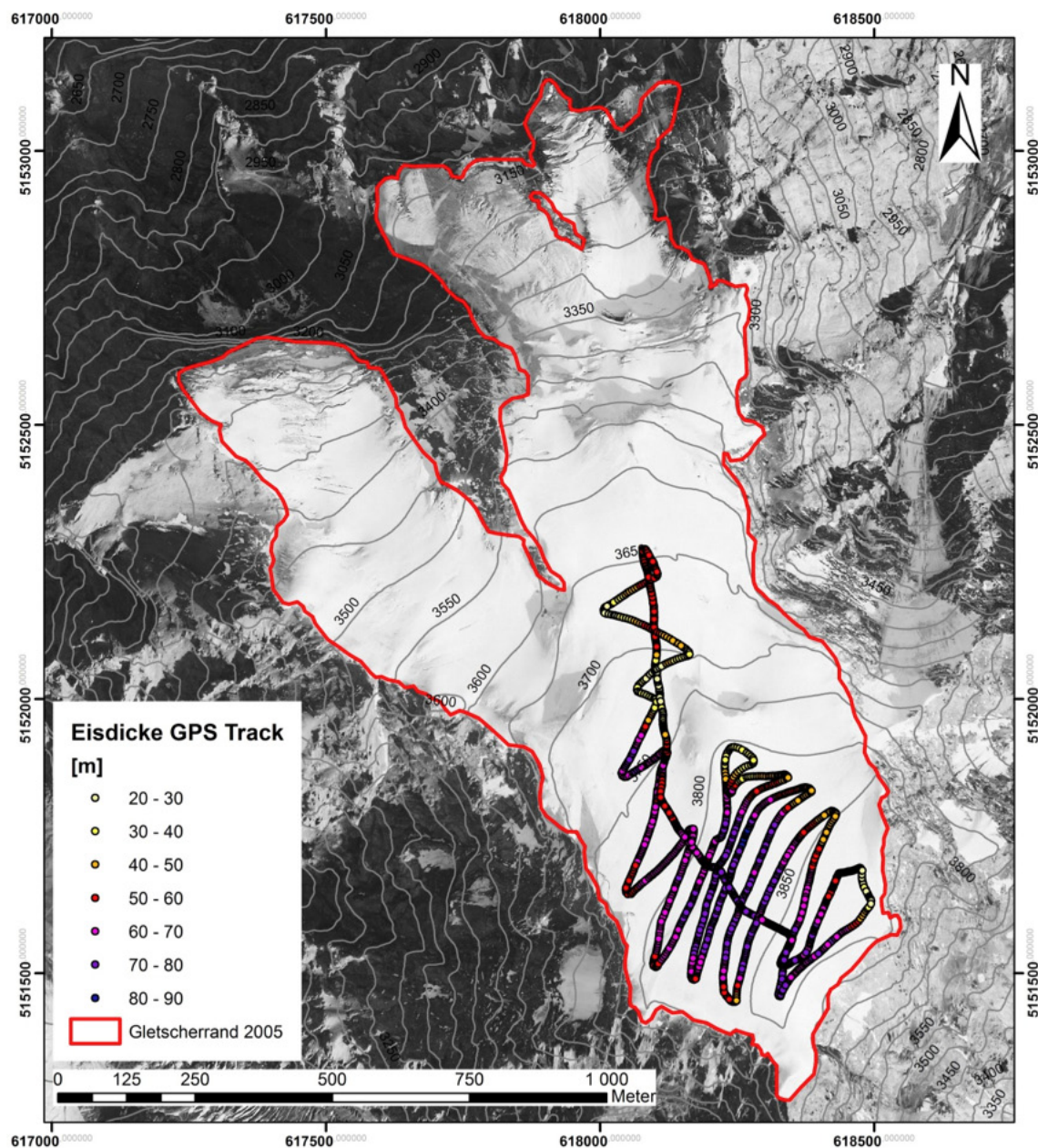


Abbildung 9: Übersicht vom Gletscher und GPS Track der Eisdickenmessungen am Orthophoto von 2005. Die farblichen Abstufungen entsprechen den jeweiligen Eisdicken.



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.

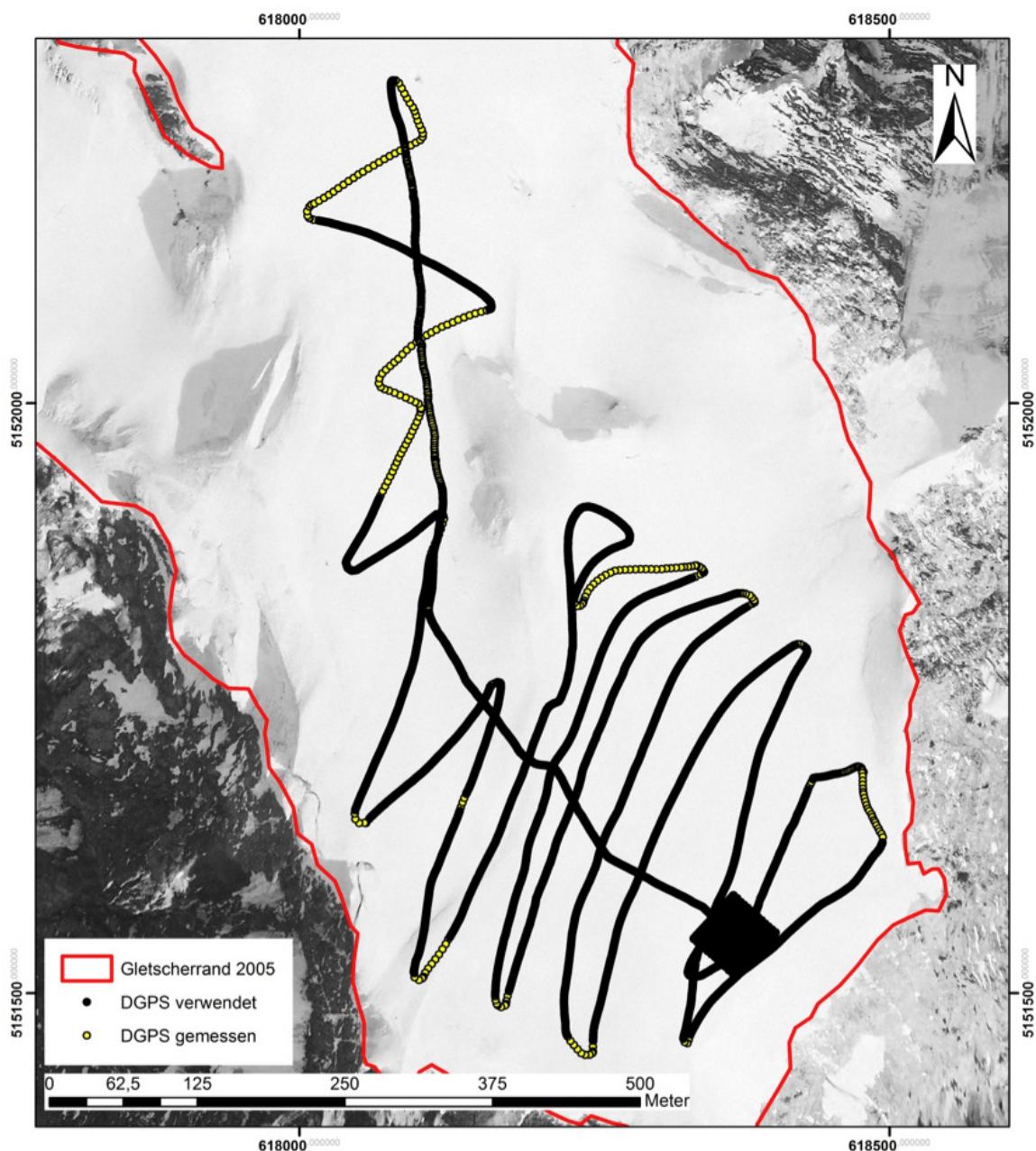


Abbildung 10: DGPS gemessene und für die Auswertung verwendete GPR Profile am Orthophoto von 2005. Die Profile in der schwarzen Fläche sind in höherer Auflösung in Abbildung 11 dargestellt.

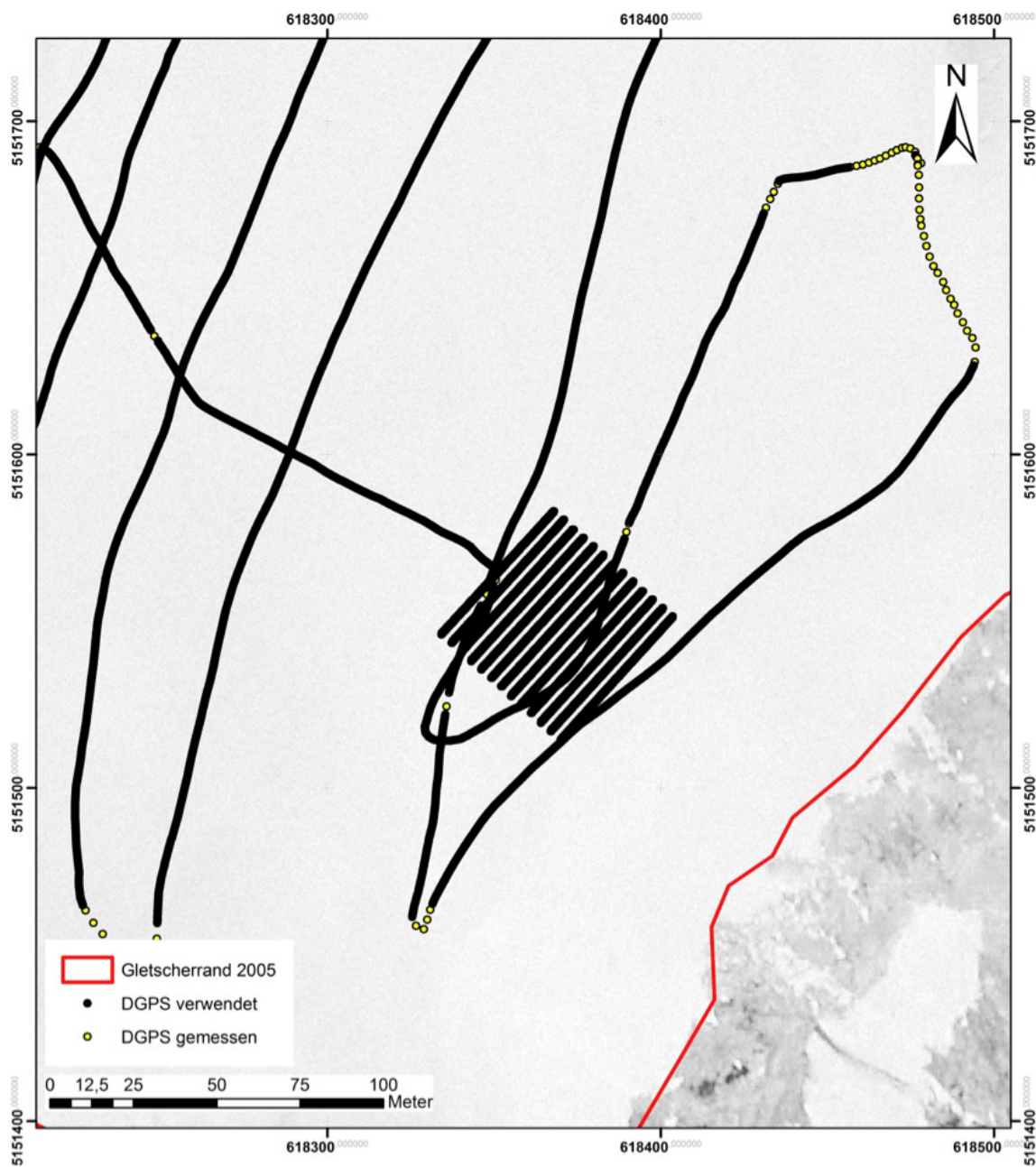


Abbildung 11: Detailansicht der Messlinien. Die kurzen, räumlich höher aufgelösten Profile wurden bereits 2013 gemessen.



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.

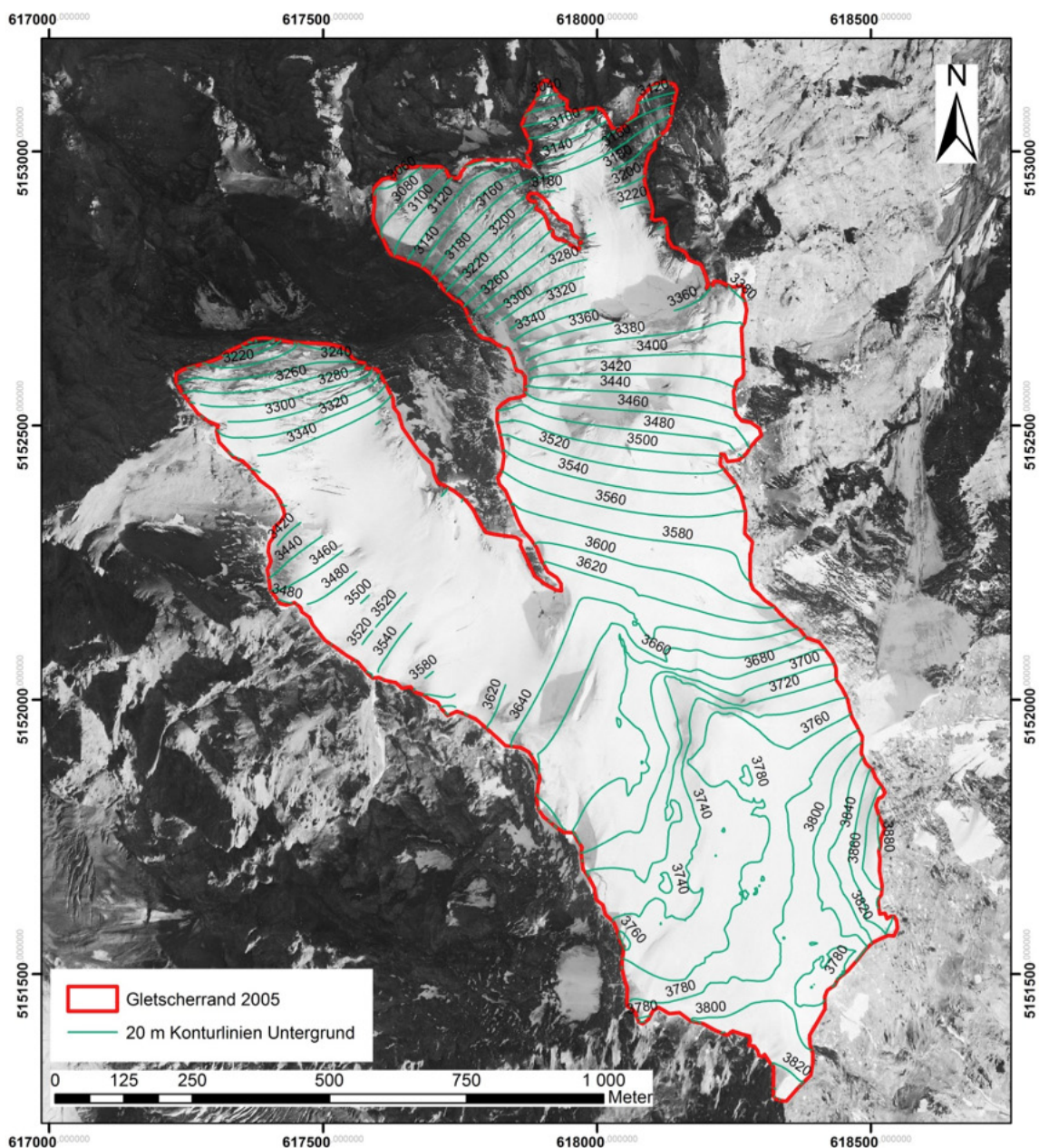


Abbildung 12: Konturlinien des berechneten Gletscheruntergrunds im 20 m Abstand am Orthophoto von 2005.



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. Dieser Fehler und eine Abschätzung der fehlenden Volumina in den „weißen“ Bereichen wird in Abschnitt 3.3 vorgenommen.

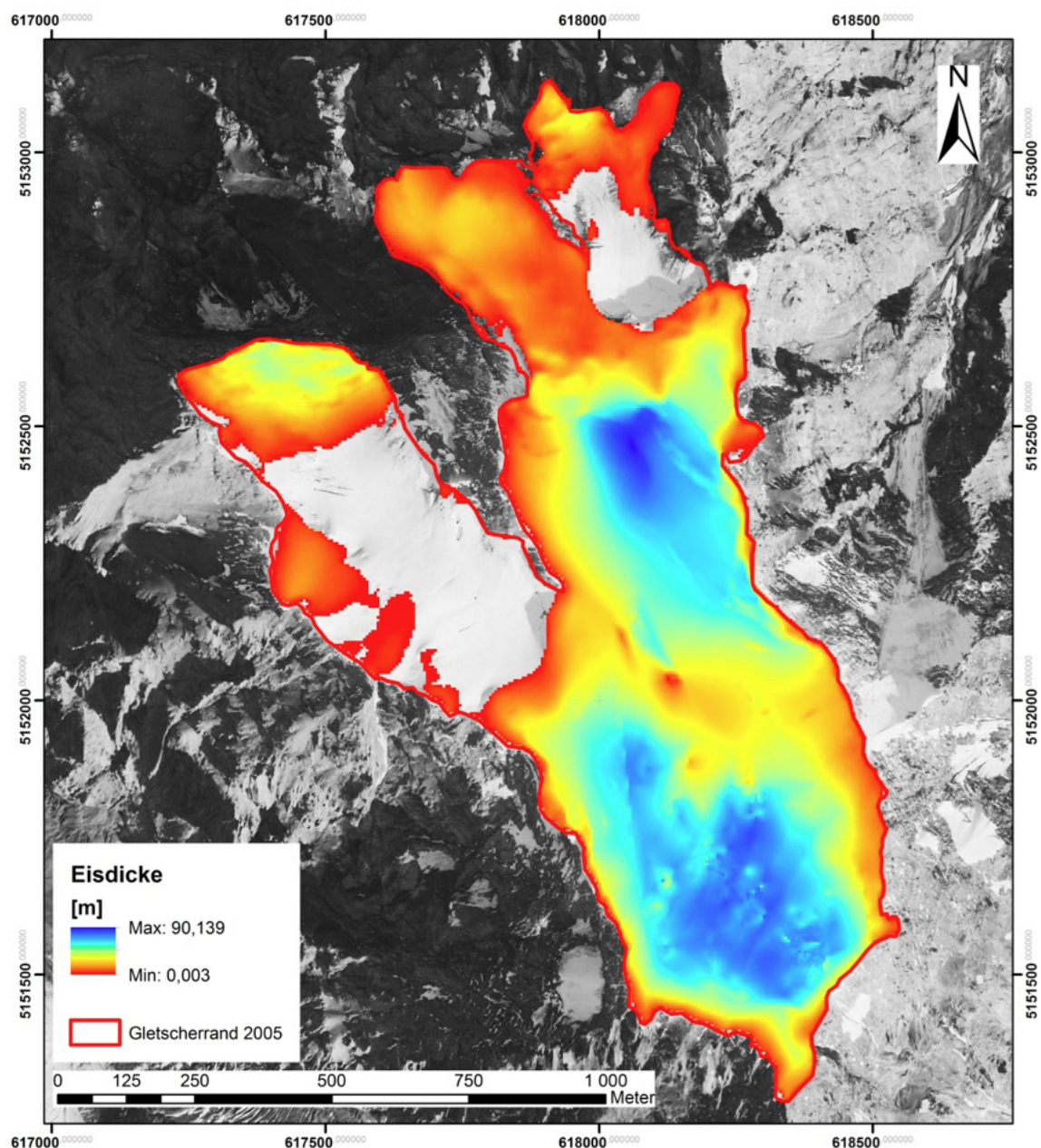


Abbildung 13: Berechnete Eisdickenverteilung am Oberen Ortlerferner am Orthophoto von 2005. An den weißen Flächen war die Interpolation nicht erfolgreich.

3.3 Diskussion der Ergebnisse

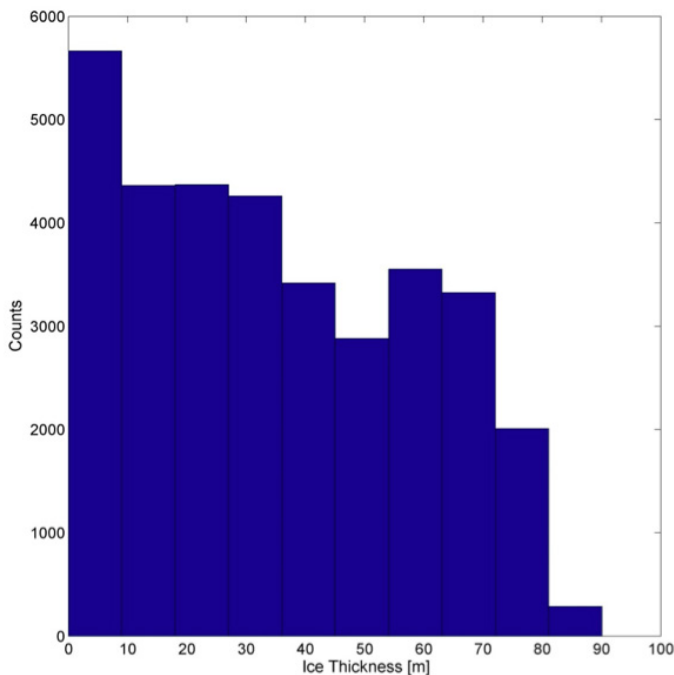


Abbildung 14: Histogramm der Eisdickenverteilung zur Anzahl der Rasterpixel entsprechend der Abbildung 13.

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). Deteermination of total ice voulume 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).

