

Experimente am Hintereisferner  
mit dem terrestrischen Laserscanner Ilris 3D  
25. und 26. Juli 2006

Thomas Geist, UIBK und alp-S  
Bernhard Höfle, alp-S  
Martin Kodde, UIBK und TU Delft  
Sioeke Kodde  
Fatemeh Karimi, Photogrammetry and Remote Sensing, TU Delft  
Roderik Lindenbergh, Mathematical Geodesy, TU Delft  
Norbert Pfeifer, UIBK und alp-S

### Transport der Gerätschaft

Für den Transport von

- Laserscanner (Ilris3D)
- 2 Stativen (1 Holzstativ für den Scanner, 1 Stativ für einen Zielpunkt)
- 4 Batterien + Ladegerät
- Kabel, PocketPC zur Scannersteuerung, etc.
- 1 Zielkugel mit 20cm Durchmesser

sind (2-)3 Personen nötig. Eine weitere Person ist nötig, die das „normale“ Gepäck derer trägt, die die Ausrüstung (folgendes Bild, links, ohne Stativ) tragen.



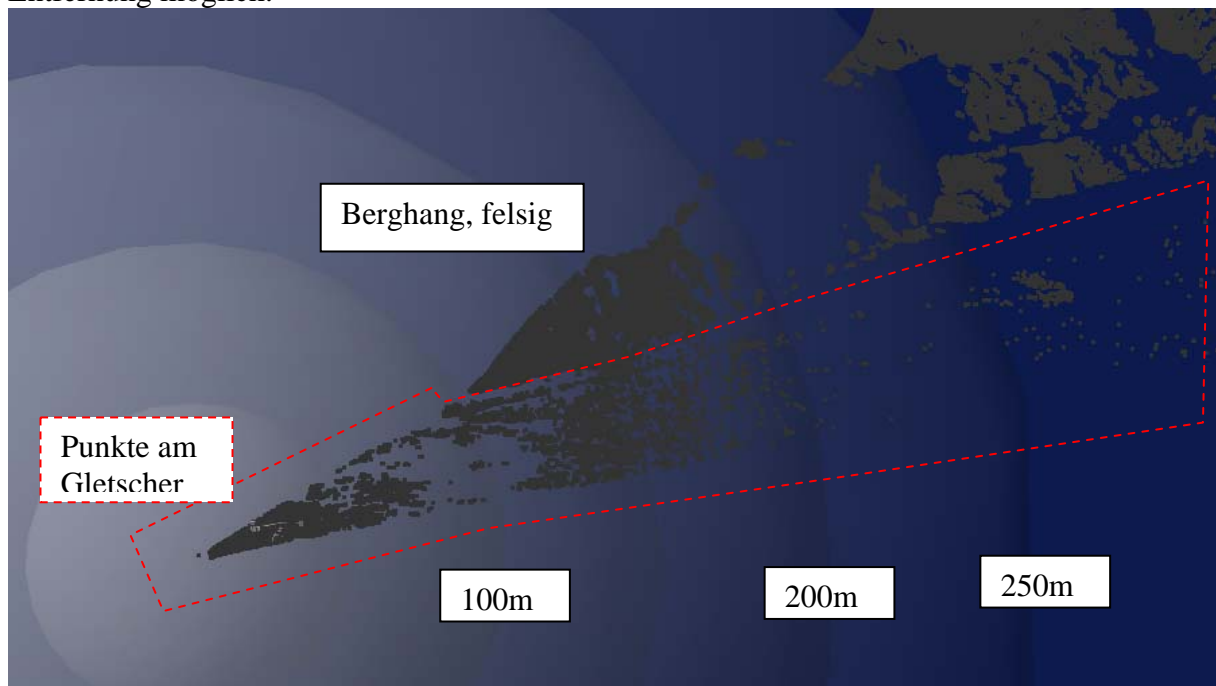
Das rechte Bild zeigt Thomas (von der Seite) mit dem Scanner und Roderik (von hinten) mit den Stativen. Der Rest der Ausrüstung ist in einem weiteren Rucksack.

## Reichweite bei Aufstellung am Gletscher (Hintereisferner)

Das Photo zeigt den Hintereisferner sowie die linke Bergflanke im unteren Bereich der Zunge. Der Laserscanner steht ca. 1,8m über dem Boden. Die Aufnahme ist vom (mehr oder minder) gleichen Standpunkt gemacht wie der Scan.



In einer Seitenansicht sind die Punkte zu sehen sowie Kugeln, deren Zentrum im Scanner liegt mit Radien in Schrittweiten von 50m. Somit ist eine Abschätzung der erzielten Entfernung möglich.



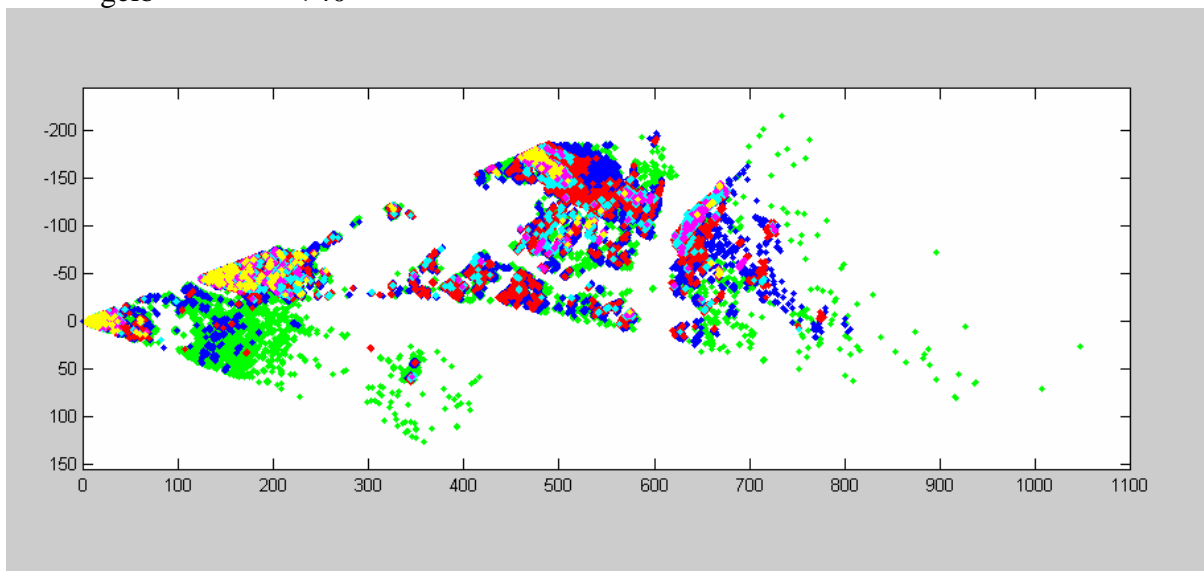
Die abnehmende Punktdichte mit zunehmender Entfernung hat mehrere Gründe

- geometrische Gründe (regelmäßiges Scanmuster im Winkelraum)
- verschlechternder Einfallswinkel mit zunehmender Entfernung
- durch ungünstige Reflexionseigenschaften (Absorption) prinzipiell eingeschränkte Reichweite

Die obige Grafik zeigt, dass ab Entfernungen bei 200m nur noch vereinzelt Punkte am Gletscher gemessen werden. Die Lücke an Messungen im Bereich von 100m ist auf mangelnde Sichtbarkeit des Geländes zurückzuführen.

In der Grafik unten sind die Punkte im Grundriss eingezeichnet. Die Punkte sind je nach Einfallswinkel eingefärbt. Der Einfallswinkel ist der Winkel zwischen der Flächennormalen und der Richtung des einfallenden Lichts. Bei  $0^\circ$  haben also die Flächennormale und der Laserstrahl dieselbe Richtung. Die Bedeutung der Farben ist:

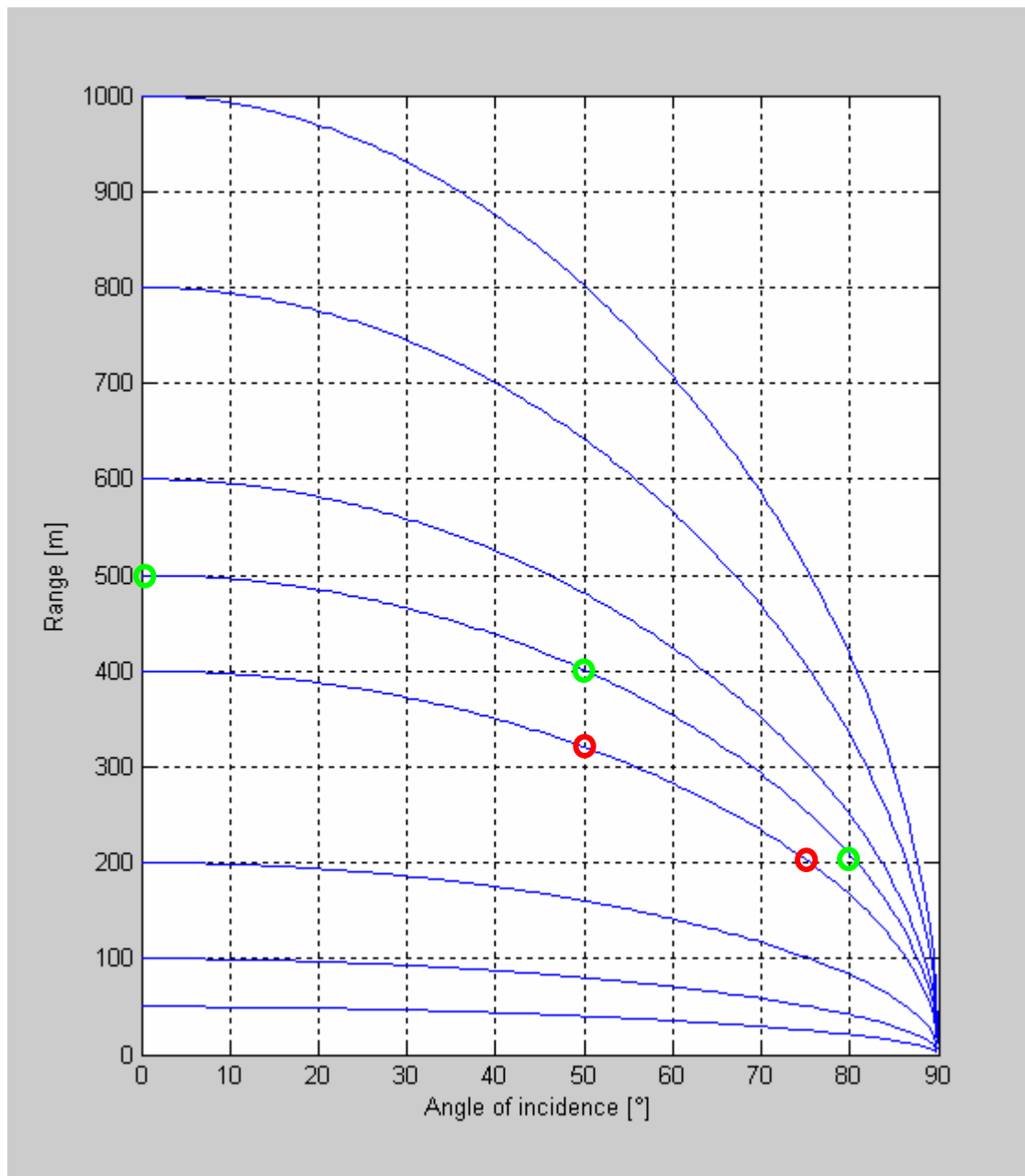
grün	$< 90^\circ$
blau	$< 80^\circ$
rot	$< 70^\circ$
cyan	$< 60^\circ$
magenta	$< 50^\circ$
gelb	$< 40^\circ$



Aus der Grafik mit den Einfallswinkeln lässt sich ablesen, dass bei 200m ein Einfallswinkel von  $80^\circ$  (und höher) noch Messungen auf der Gletscheroberfläche zulässt. Dort wo nur vereinzelt Punkte in der Grafik aufscheinen ist die Bestimmung des Normalvektors des Geländes nicht zuverlässig.

Die Zurückgestreute Energie nimmt aufgrund des schlechteren Einfallswinkels und aufgrund der Entfernung ab. Die folgende Grafik zeigt gleiche Abnahme von empfangener Energie durch 1.) Entfernung oder 2.) Einfallswinkel. Eine Entfernungsmessung bei 200m mit einem Einfallswinkel von  $75^\circ$  entspricht also demselben Leistungsabfall wie eine Entfernungsmessung bei 330m und  $50^\circ$  Einfallswinkel (rote Kreise).

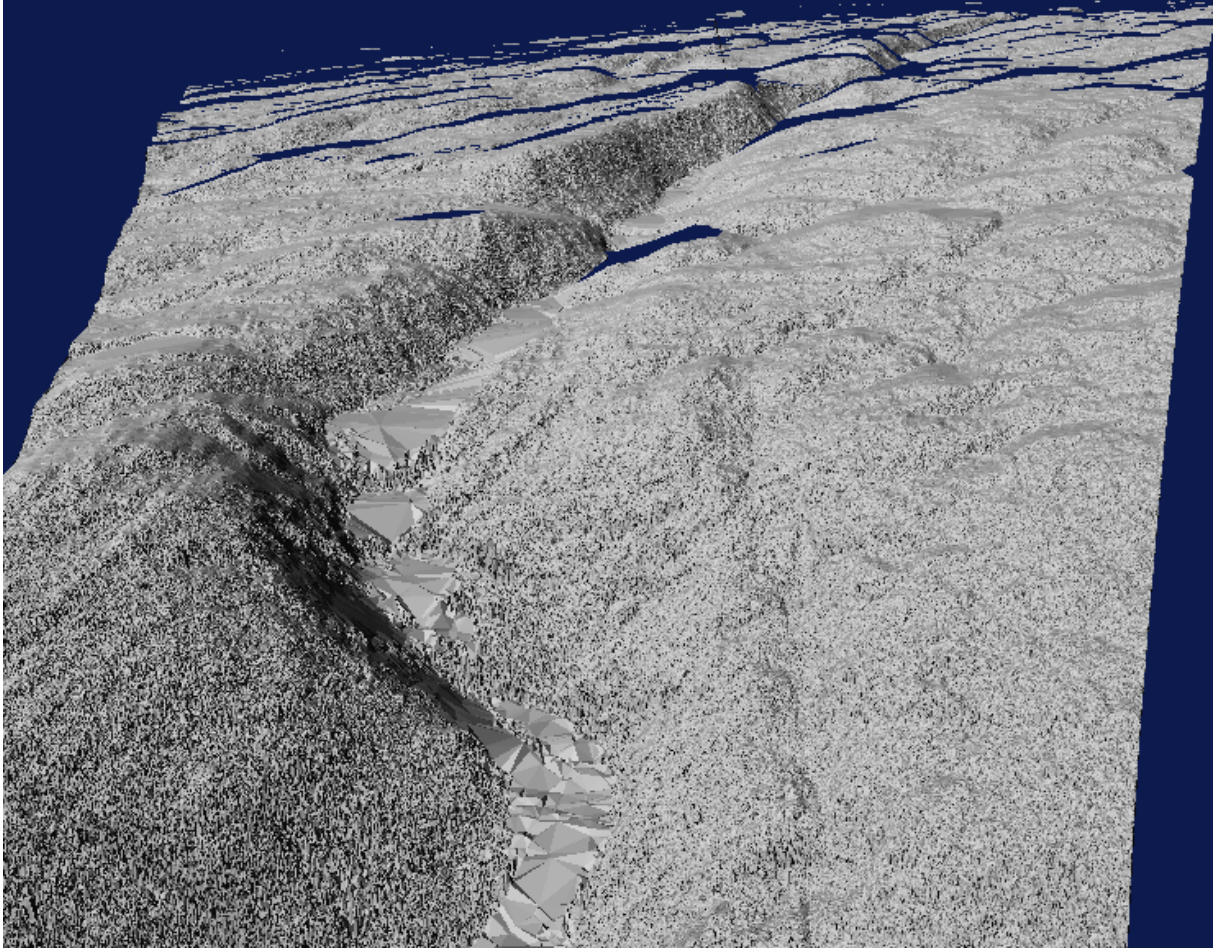
Das Beispiel von oben zeigt Messungen bei  $80^\circ$  Einfallswinkel und 200m Entfernung. Dieselben Reflexionseigenschaften vorausgesetzt ist somit eine Entfernungsmessung bis 400m möglich, wenn man den Einfallswinkel auf  $50^\circ$  beschränkt. Die maximale Entfernung, die bei einem Einfallswinkel von  $0^\circ$  erzielt wird, ist 500m (grüne Kreise).



Eine Triangulierung der Punkt auf der Gletscherfläche mit einem Abstand unter 100m ergibt das folgende Bild. Dreiecke mit allen Kanten länger als 1m wurden nicht gezeichnet.

Der Abflusskanal tritt sehr deutlich auf. Weder auf der Wasseroberfläche noch auf der Sohle des Abflusskanals wurden Punkte gemessen. Dies wird durch die großen Dreiecke sichtbar. Die Stufen im Kanal (siehe auch Photo weiter oben) konnten gemessen werden.

Die glatten Bereiche in der oberen Bildhälfte sind Eigenschatten des Geländes bei der Beleuchtung mit dem Laserscanner. Die Punktdichte ist sehr hoch, und speziell im vorderen Bereich ist daher die Ungenauigkeit in der Entfernungsmessung (7mm Standardabweichung) weitaus größer als der horizontale Punktabstand. Das erklärt das Rauschen in der Fläche.



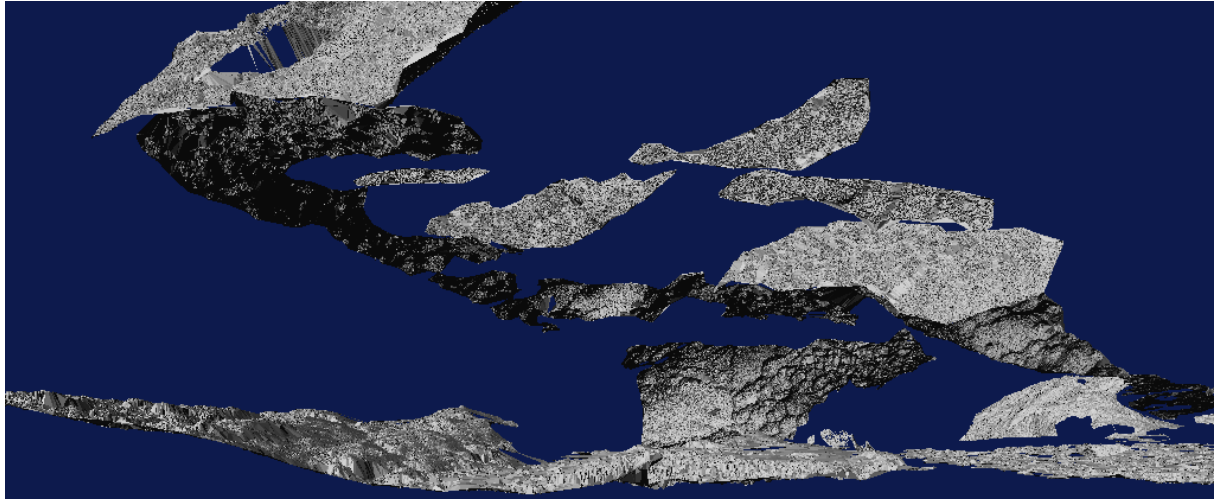
## Messung eines Hohlraums aus klarem Eis (vorderes Gletschertor vom Hintereisferner)

Das Gletschertor vom Hintereisferner ist in der folgenden Abbildung zu sehen. Am Boden fließt über die gesamte Breite Schmelzwasser, die Wände und der Plafond sind aus Eis. Oberhalb des Tors ist der Gletscher mit Schutt bedeckt. Im linken vorderen Bereich (im Bild) ist der Boden steinig.

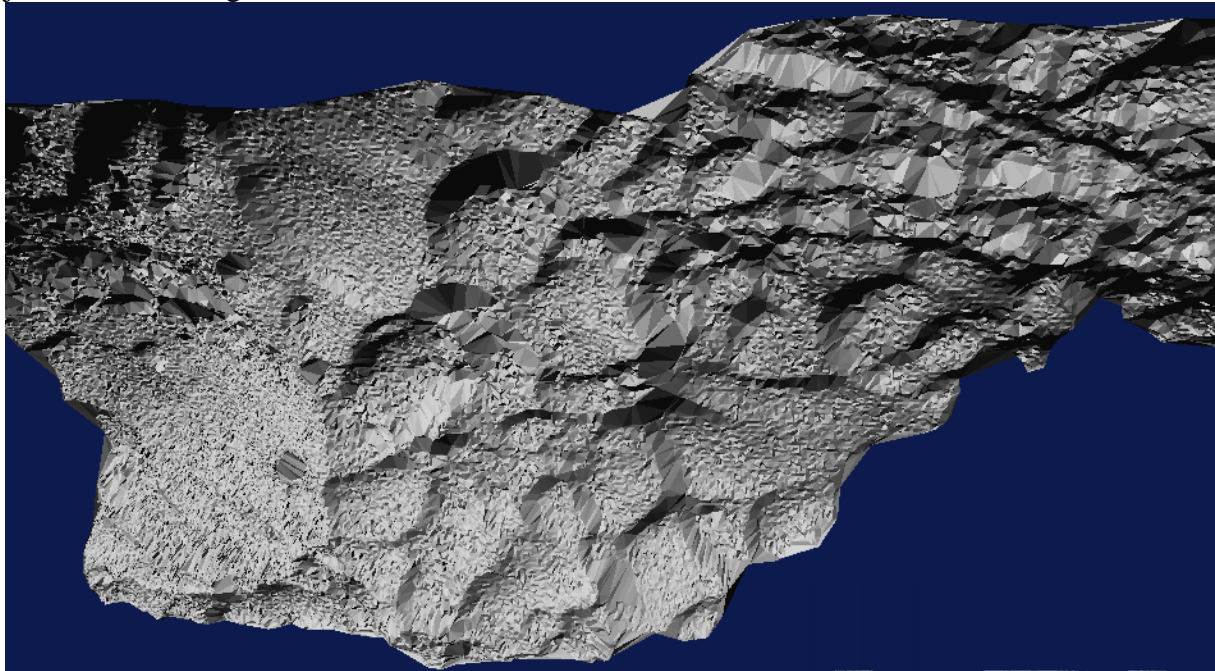


Ein Modell von einem Standpunkt ist mittels Triangulierung erstellt worden. Im ersten Schritt wurden die Daten automatisch segmentiert, dann manuell zusammengehörende Segmente zusammengefasst, und diese schließlich trianguliert. Das folgende Bild zeigt eine Ansicht des Gletschertors von der Seite.

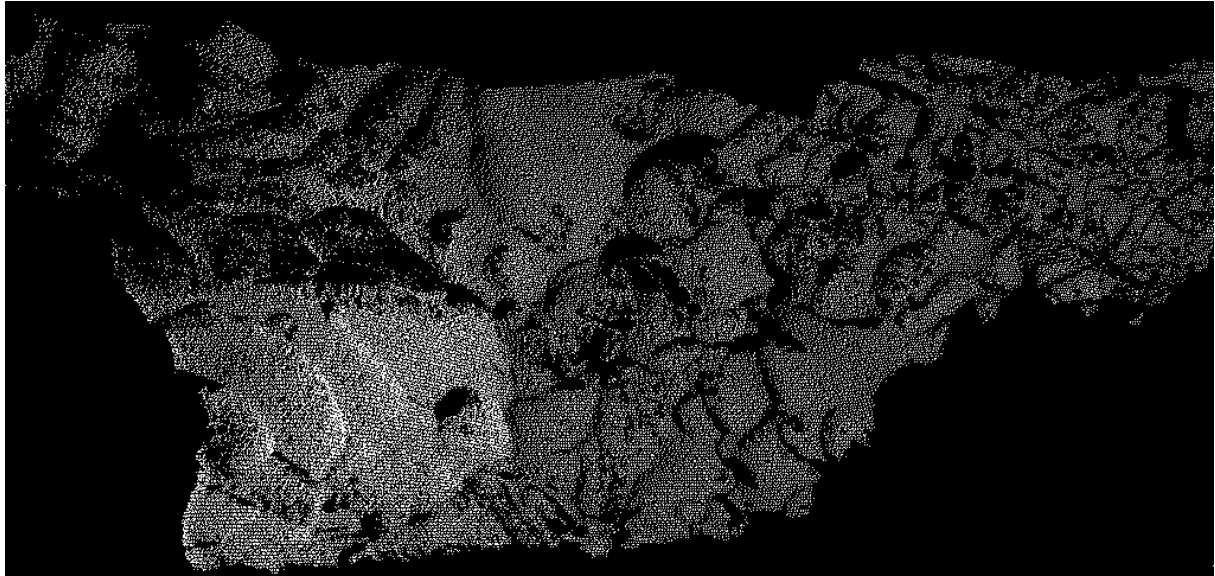
Links oben ist der mit Schutt bedeckte Gletscher zu sehen. Gleich darunter ist ein Teil des Plafonds. Rechts davon sind senkrechte Strukturen im Eis zu sehen, die weiter rechts auch in die horizontale übergehen. Unten links sind der steinbedeckte Grund sowie die Wasseroberfläche zu sehen. Ein Teil der Wand erhebt sich vom Boden. Am rechten Bildrand ist der gegenüberliegende Hang, bereits wieder im Freien zu sehen, sowie die Decke einer kleinen Eishöhle in diesem Hang, die auch im Photo zu erkennen ist.



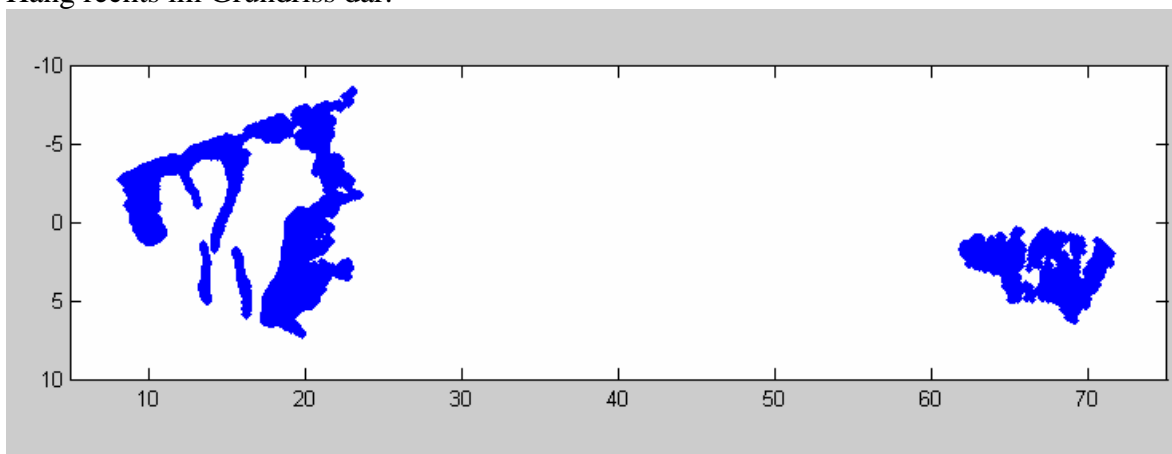
Ein Ausschnitt der Wand ist in der folgenden Abbildung vergrößert dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die Bogenförmigen Schmelzstrukturen, wobei auch hier wieder Eigenschatten aufgrund der großen Dreiecke deutlich werden. Die Vorderkante dieser Strukturen erscheint jedoch zuverlässig erfasst worden zu sein.



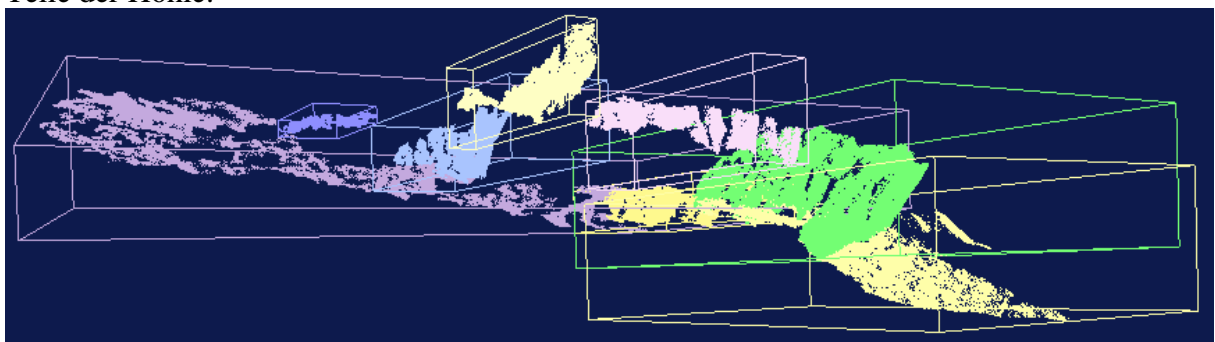
Dieselben Daten, aber als Punktwolke, sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Auch hier sind die Schmelzstrukturen sichtbar. In der Punktwolke treten die zufälligen Messfehler weniger deutlich zutage als in der Triangulierung.



Die Entfernungsmessung auf reiner Eisoberfläche ist, sogar unter ungünstigen Einfallswinkeln bis zu einer Entfernung von 70m möglich. Das folgende Bild stellt die oberen Teile des Gletschertors links sowie die Decke der kleinen Eishöhle am gegenüberliegenden Hang rechts im Grundriss dar.



Dieselbe Auswahl von Punkten, ohne die Höhle rechts, ist in einer 3D-Ansicht in der folgenden Abbildung zu sehen. Die Segmentierung (siehe oben) gruppiert die Punkte in verschiedene Einheiten, wobei die gelbe Punktwolke (rechts unten) und die lila Wolke (links, hinten) den Plafond darstellen. Die anderen Punktgruppen sind mehr oder minder senkrechte Teile der Höhle.



Ein komplettes 3D-Modell ist aus mehreren Gründen sehr schwierig zu erstellen.

1. Das Objekt ist sehr verwinkelt und daher liegen immer viele Teile im Eigenschatten. Es wären also sehr viele Scans nötig.



2. Das Objekt ist nicht zugänglich (unter Beachtung von Sicherheit für die Operatoren), womit eine komplette 3D-Modellierung aus einer Punktwolke nicht möglich ist.

Die Reinheit des Eises hat für die Entfernungen kein Problem dargestellt, obwohl die Wellenlänge ( $1,5\mu\text{m}$ ) des eingesetzten Laserscanners nicht optimal ist. In der Punktwolke können auch interessante Phänomene beobachtet werden (Schmelzformen, etc.).