

Korrelation zwischen Permafrost und Lawinenniedergängen in der Landschaft Davos



Autoren: André Gauderon (Jg. 84)
Claudio Pajarola (Jg. 84)

Betreuer: Dr. Ruedi Bless
Betreuerin: Dr. Marcia Phillips

Wettbewerbsarbeit "NCCR-Climate Talent Award"

Davos 2002

Schweizerische Alpine Mittelschule Davos

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort und Zielsetzung	4
1.1	Vorwort	4
1.2	Zielsetzung	4
2	Hypothesen	5
3	Zusammenfassung	5
4	Theorie	6
4.1	Theorie zum Thema Permafrost	6
4.1.1	Allgemeines	6
4.1.2	Der Permafrostindikator Blockgletscher	7
4.1.3	PERMAKART	9
4.1.4	PERMAMAP	11
4.2	Theorie zum Thema Lawinen	12
5	Material	14
5.1	Computerprogramme	14
5.2	Material für die Feldarbeit zur Verifikation der Permafrostkarte	14
5.2.1	Das Inclinometer	14
5.2.2	Das Thermometer	14
5.2.3	Der Sonnenkompass	14
5.2.4	Zusätzliches Material für die Feldarbeit	15
6	Methodik	16
6.1	Erstellung der Permafrostkarte an der Universität Zürich	16
6.2	Weiterverarbeitung der Permafrostkarte mit Arc View Gis 3.2a	16
6.3	Auswertung der Lawinendatenbank des SLF für unser Forschungsgebiet	16
6.4	Indirekte Methoden der Feldarbeit zur Verifikation der Permafrostkarte	17
6.4.1	Neigungswinkelmessungen	18
6.4.2	Quellwassertemperaturmessungen	19
6.4.3	Der Sonnenkompass im Gebrauch	19
6.5	Direkte Methode zur Verifikation der Permafrostkarte	21
7	Resultate	22
7.1	Resultate der Auswertung der Lawinendatenbank des SLF in unserem Forschungsgebiet	22
7.2	Auswertung der Sonnenkompassdaten zur Verifikation der Permafrostkarte	25
7.3	Verifikation der Permafrostkarte im Gebiet Flüelatal	26
7.3.1	PERMAKART	26
7.3.2	PERMAMAP	27
7.3.3	Fazit der Verifikation im Bereich Flüelapass	27
7.4	Verifikation der Permafrostkarte im Gebiet Monstein	27
7.4.1	PERMAKART	27
7.4.2	PERMAMAP	28
7.4.3	Fazit der Verifikation im Bereich Monstein	28
8	Diskussion und Schlussfolgerung	33
8.1	Hypothese 1	33
8.2	Hypothese 2	34

9	Quellen	34
9.1	Internetseiten	34
9.2	Literaturverzeichnis.....	34
10	Dank	36
11	Rohdaten	37
11.1	Rohdaten der Feldarbeit vom Montag 8.07.02.....	37
11.2	Rohdaten der Feldarbeit vom Dienstag 9.07.02.....	40
11.3	Rohdaten der Feldarbeit vom Samstag 17.08.02.....	42

Bildquellen des Titelblattes:

Bild 1: Blockgletscher Schwarzhorn Nord, Foto Autoren

Bild 2: Lawinenanrisse, Foto Marcia Phillips

1 Vorwort und Zielsetzung

1.1 Vorwort

Im Rahmen der Maturaarbeit 2002 haben wir nach einem interessanten Thema für unsere bisher umfangreichste Arbeit gesucht. Da wir mit Herrn Dr. Bless, unserem Geographielehrer, und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF zwei hervorragende Informationsquellen hatten, beschlossen wir, etwas im Bereich der Geographie zu planen. Nach einigen Überlegungen kamen wir auf das Thema „Permafrost“. Da dieser Titel zu wagen war, trafen wir uns mit einer der führenden Permafrostexpertinnen der Schweiz, Frau Dr. Marcia Phillips vom SLF. In einem Gespräch mit ihr konkretisierten wir unser Vorhaben. Da sie von den Medien oft gefragt wird, ob ein Zusammenhang zwischen Lawinnenniedergängen und Permafrost bestehe, entschlossen wir uns für das folgende Thema: „Korrelation zwischen Permafrost und Lawinnenniedergängen in der Landschaft Davos“.

1.2 Zielsetzung

Wir setzen uns zum Ziel, Belege zu finden, die unsere Hypothesen widerlegen oder beweisen. Zu diesem Zweck werden wir eine Permafrostkarte in einem Forschungsgebiet erstellen. Wir wählen die Gebiete Flüelapass (Koordinaten: 789/174, Ecke unten links, 794/192, Ecke oben rechts) und Monstein (Koordinaten: 778/171, Ecke unten links, 789/181, Ecke oben rechts). Anhand von Feldarbeiten werden wir versuchen, diese Karte zu verifizieren. In diese überprüfte Karte werden wir die Lawinnenanrisskoordinaten aus einer Schadenlawinen - Datenbank des SLF eintragen, um feststellen zu können, ob sich Massierungen in Permafrostgebieten ergeben. Wir werden dann anhand der Karte und unseres erarbeiteten Fachwissens erkennen können, ob es eine Korrelation zwischen Lawinen und Permafrost gibt.

2 Hypothesen

1. Eine hohe Prozentzahl aller Lawinenanrisse befindet sich in Permafrostgebieten.
2. Es gibt einen Zusammenhang zwischen Lawinnenniedergängen und Permafrost. Daher wird angenommen, dass Permafrost die darüberliegende Schneedecke beeinflusst.

3 Zusammenfassung

Durch das Leben in einer Bergregion wird man häufig mit der Natur und deren Phänomenen konfrontiert. Zwei dieser Phänomene, Lawinen und Permafrost, erforschen wir genauer und versuchen einen Zusammenhang herauszusehen. Wir bauen die Arbeit auf den oben beschriebenen zwei Hypothesen auf, die sich wie ein roter Faden durch unsere Arbeit ziehen. Um die Hypothesen zu bestätigen oder zu widerlegen, ist ein detailliertes Wissen über das Permafrostvorkommen in der Region Davos nötig. Deshalb simulieren wir mit Hilfe von zwei Computerprogrammen das theoretische Permafrostvorkommen der Landschaft Davos. Um nun herauszufinden ob die Programme richtig gerechnet haben, verifizieren wir die errechneten Karten mittels Feldaufnahmen. Dabei untersuchen wir einen direkten und mehrere indirekte Permafrostindikatoren in unserem Gebiet. Der einzige direkte Indikator ist eine Bohrung in unserem Forschungsgebiet. Indirekte Indikatoren sind Musterböden, perennierende Schneeflecken und aktive Blockgletscher. Letztere untersuchen wir mit Temperatur-, Neigungswinkel-, und Sonneneinstrahlungsmessungen sowie der Beobachtung äusserer Erscheinungen wie zum Beispiel der Vegetation und der Oberflächenbeschaffenheit. Durch diese Feldarbeiten können wir erkennen, dass die errechneten Permafrostkarten für unsere Fragestellung genügend genau sind und uns gute Auswertungen ermöglichen.

In einem nächsten Schritt fügen wir die Lawinenanrisskoordinaten aus einer ausführlichen Schadenlawinen – Datenbank des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos, in unsere Karten ein. Dies ermöglicht uns eine präzise Auswertung der Datenbank und der Permafrostkarten.

Diese Analyse ergibt, dass sehr wenig Lawinen, nämlich nur etwa 15 %, im Permafrostgebiet anreissen. Diesen Wert errechnen wir mittels der Schadenlawinen – Datenbank. Daraus schliessen wir, dass Permafrost kein lawinenauslösender Faktor ist. Es stimmt aber, dass Permafrost auf die darüberliegende Schneedecke einwirkt, indem er den Temperaturgradienten zwischen Boden und der Oberfläche der Schneedecke verkleinert. Dieser kleinere Gradient wirkt schneedeckenstabilisierend und ist somit kein lawinenauslösender Faktor. Wir müssen also unsere Hypothesen klar widerlegen.

4 Theorie

4.1 Theorie zum Thema Permafrost

4.1.1 Allgemeines

Permafrost ist Lithosphärenmaterial, das während mindestens einem Jahr dauernd Temperaturen unter 0° C aufweist. Die Lithosphäre ist die starre äussere Hülle der Erde, die nicht nur die Kruste, sondern auch den oberen Erdmantel bis zu einer Tiefe von 100 km umfasst. Enthält der Permafrost zudem Eis, so zählt man ihn zu der Kryosphäre. Diese Sphäre umfasst das gefrorene Wasser und beinhaltet wasserhaltigen Permafrost, Gletscher, Blockgletscher und Polkappen. Das ungefrorene Wasser wird der Hydrosphäre zugeordnet (Salz- und Süswasser).

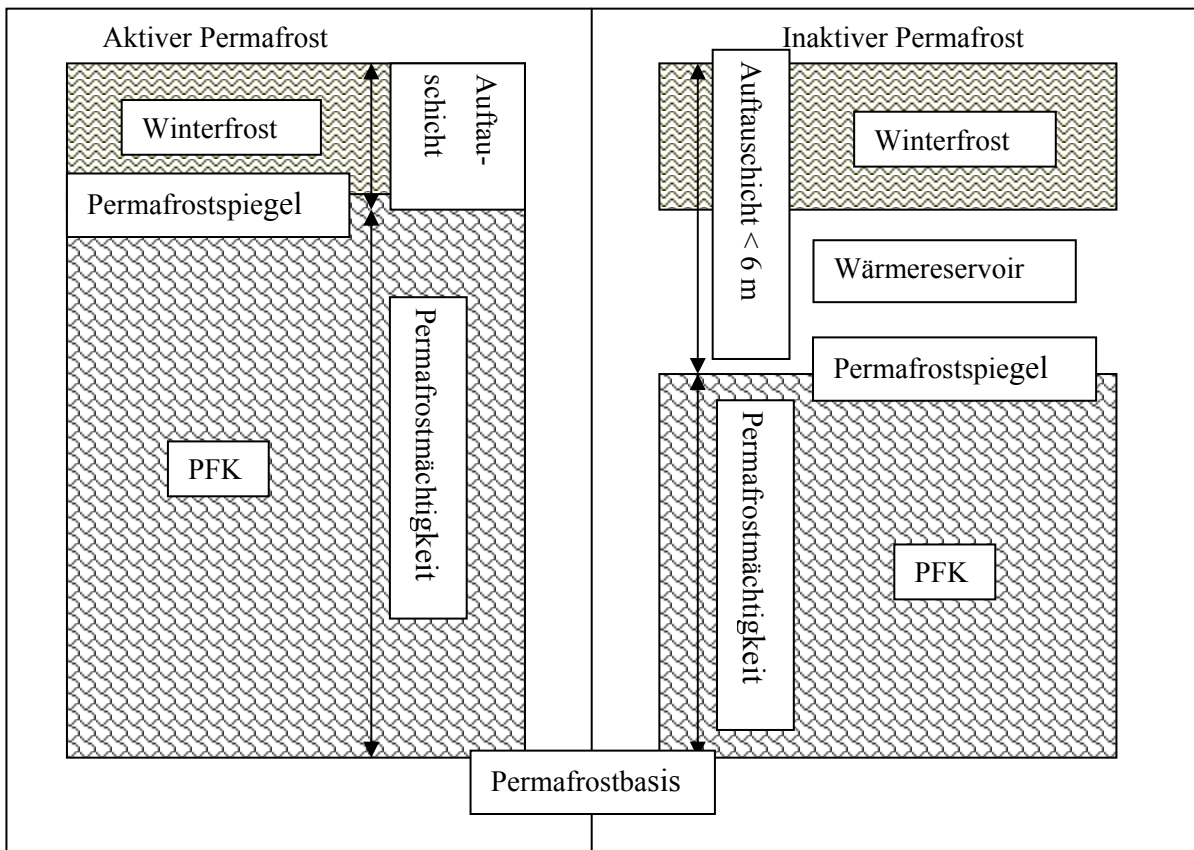
Washburn beschreibt in Keller (1994) das Phänomen Permafrost folgendermassen:

„Permafrost ist ein zeitabhängiges thermisches Phänomen des Untergrundes, welches unabhängig von der Existenz von Eis definiert wird.“

Permafrost besteht hauptsächlich aus zwei Schichten:

- Die oberste Schicht im Permafrostboden, die im Sommer aufgrund der höheren Temperaturen auftaut, heisst Auftauschicht. Sie erreicht eine Mächtigkeit von bis zu 6 m.
- Die ganzjährig gefrorene Schicht im Permafrostboden heisst Permafrostkörper (PFK). Darin werden zum Beispiel Liftmasten und Felsanker befestigt. Der PFK erreicht in den Schweizer Alpen eine Mächtigkeit von bis zu 50 m. Ab dieser Tiefe wirkt die geothermische Wärme des Erdinneren. Folglich kann der Boden nicht mehr gefrieren.

Beim inaktiven Permafrost entsteht zusätzlich ein Wärmereservoir zwischen Permafrostkörper und Winterfrost. Dieses entsteht, wenn der Winterfrost zu wenig mächtig ist, um bis zum Permafrostspiegel vorzudringen.



Figur 1: Aufbau des Gebirgspermafrosts (nach Keller, 1994)

4.1.2 Der Permafrostindikator Blockgletscher

Eine besondere Form des Permafrosts und zugleich einen Permafrostindikator bilden die Blockgletscher. Blockgletscher sind keine Gletscher im eigentlichen Sinn, sondern gefrorenes Schuttmaterial, dessen oberste Schicht im Sommer auftaut. Man bezeichnet sie als eine Form des kriechenden Permafrostbodens. Solange Eis im Untergrund vorhanden ist, bewegen sich Blockgletscher langsam hangabwärts. Blockgletscher können drei verschiedene Zustände einnehmen:

Aktive Blockgletscher

Sie enthalten Eis in ihrem Inneren, kriechen und weisen eine steile Stirn (36° bis 45°) auf. Da der natürliche Reibungswinkel von Schutt jedoch nur 36° beträgt, muss der Blockgletscher Eis enthalten, das die einzelnen Schuttbestandteile zusammenhält.

Weitere typische Indizien für einen aktiven Blockgletscher sind steile hohe Flanken, die gewölbte Form und eventuell vorhandene Fließstrukturen. Möglicherweise besitzt er kalte Quellen am Hangfuß. Das dort austretende Wasser weist eine charakteristische Temperatur von $0^\circ - 3^\circ$ Celsius auf und ist Schmelzwasser aus dem Blockgletscher. Vorsicht bei diesem Merkmal ist aber geboten, wenn das Wasser auch von oberhalb liegenden Schneefeldern stammen kann. Dieses Schmelzwasser hat die gleiche Temperatur.

Das einfachste Kennzeichen ist die Vegetation. Befindet sich keine Vegetation auf dem Blockgletscher, so ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass der Blockgletscher aktiv ist. Die Vegetation kann dort nicht gedeihen, weil sie von herunterfallendem Gestein zerstört würde. Auch grosse Flechten können nicht entstehen, da die Steine nie über längere Zeit die gleiche Seite der Sonne zuwenden.

Allfällige Flechten bilden sich auf der Oberfläche der Steine. Diese Steine werden durch die Kriechbewegung des Blockgletschers bewegt, wodurch die Flechten auf die Unterseite der Steine geraten.

Fossile Blockgletscher

Sie enthalten kein Eis und kriechen deshalb nicht mehr. Die Stirn weist eine Neigung unter 36° auf und zudem bilden sich, durch die Rückbildung des Eises, Steinhaufen („Talus apron“) am Hangfuss. Meistens haben sie keine Quelle an der Stirn, und falls dies trotzdem der Fall ist, zeigt das dort austretende Wasser eine Temperatur über 3° Celsius. Die ehemals gewölbte Form ist zusammengesunken und bildet nun eine Mulde. Durch die lange Zeit ohne Kriechbewegung konnten Vegetation und Flechten entstehen.

Inaktive Blockgletscher

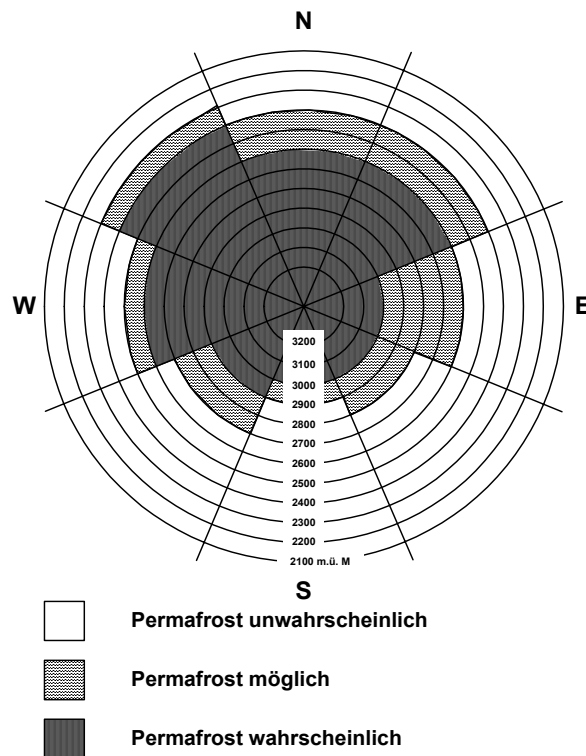
Bei inaktiven Blockgletschern treten Merkmale von aktiven und fossilen Blockgletschern gleichzeitig auf. Ein inaktiver Blockgletscher befindet sich in der Übergangsphase von aktiv zu fossil. Er zeigt zum Beispiel die Merkmalausprägung einer steilen Stirn (Indikator für aktiv) kombiniert mit entwickelter Vegetation (Indikator für passiv).

Weitere Indikatoren für Permafrost sind, neben den oben erwähnten aktiven Blockgletschern, perennierende Schneeflecken. Das sind Schneeflecken, die während des ganzen Jahres nicht schmelzen. Sie können die Sommerzeit nur wegen des kalten Bodens (\rightarrow Permafrost) überdauern. Zudem schützen die perennierenden Schneeflecken den Boden vor direkter Sonneneinstrahlung und lassen den Boden somit weiter abkühlen. Somit kommt Permafrost zumindest lokal vor.

Hinzu kommen Musterböden wie zum Beispiel Steinringe und Steinstreifen. Diese Musterböden entstehen, wenn das Wasser im Permafrostkörper gefriert und der Boden angehoben wird. Die auf diesem Boden liegenden Steine kullern herunter und bilden die beschriebenen Formen. In der wärmeren Jahreszeit taut das Wasser wieder auf und der Boden senkt sich wieder.

4.1.3 PERMAKART

Die empirische, d.h. aus Messungen und Versuchen entnomme Methode basiert auf den Mitte der siebziger Jahre entstandenen zehn Faustregeln von W. Haeberli, die zwanzig Jahre später F. Keller als Grundlage für das Computerprogramm PERMAKART verwendete. Diese Regeln fasste W. Haeberli auch im „Diagramm zur Abschätzung des Permafrostvorkommens“ zusammen:



Figur 2: Diagramm zur Abschätzung des Permafrostvorkommens
(nach W. Haeberli, 1975)

Unter „Permafrost unwahrscheinlich“ versteht man, dass der ganzjährige Temperaturverlauf zu warm für die Entstehung von Permafrost ist. „Permafrost möglich“ heisst, dass die natürlichen Voraussetzungen zur Bildung von Permafrost gegeben sind. Als „Permafrost wahrscheinlich“ bezeichnet man ein Gebiet, in dem ideale Voraussetzungen für die Bildung und Erhaltung von Permafrost herrschen.

Die Faustregeln von W. Haerberli entstanden aus Seismik, Geoelektrik, BTS – Messungen (Basistemperatur der Schneedecke) sowie Quellwassertemperaturmessungen und beinhalten expositionsabhängige Strahlungseffekte, höhenabhängige Veränderungen der Lufttemperatur sowie reliefbedingte Schneedeckeneinflüsse:

1. In steileren Hanglagen mit über 5° Neigung wirkt sich die Exposition des Hanges aufgrund der Unterschiede der Direktstrahlung stark auf die Permafrostuntergrenze aus.
2. Da in Hangfusslagen und unter Lawinenanrisszonen oft bis in den Hochsommer Schneereste liegen, führt das zu einem bodenabkühlenden Effekt, der die Permafrostuntergrenze tiefer sinken lässt.
3. Bei flacheren Hanglagen (Neigung unter 5°) nimmt man an, dass der Einfluss der Lufttemperatur und der Schneehöhe wichtiger sind, als der expositionsabhängige Strahlungsunterschied.
4. Verflachungen in Gipfellagen sowie Grate sind windexponiert. Das führt zu einer reduzierten Schneedecke, die eine kühlende Wirkung auf den Boden hat, weil sie ihn schlecht isoliert.
5. Unterhalb der Waldgrenze kann in extremen Schattenlagen auch Permafrost entstehen und erhalten bleiben. Die generelle Untergrenze beträgt 1000 m.ü.M.
6. Intakte Blockgletscher sind eindeutige Hinweise für die Existenz von Permafrost.
7. Perennierende Schneeflecken sowie Lawinenreste weisen auf Permafrost hin.
8. Unbewachsene Schutthalden liegen zu 75 Prozent im Permafrostgebiet. Gebiete mit Vegetation enthalten sporadisch Eislinien.
9. Quellwassertemperaturen, die unter 1° Celsius liegen, können, ausser im Zusammenhang mit der Schneeschmelze, nur im Kontakt mit Permafrostkörpern auftreten. Treten Quelltemperaturen über 2° Celsius auf, kann in der näheren Umgebung nicht mit Permafrost gerechnet werden.
10. Grosse Oberflächensteinkomponenten sind permafrostgünstig, während feinkörnige, wasserführende Bodenschichten permafrostungünstig sind.

[nach Keller, 1994]

4.1.4 PERMAMAP

Diese Methode basiert auf den 1992 von Hoelzle gemachten BTS – Messungen, der Lufttemperatur und der potentiellen direkten Sonneneinstrahlung. Unter einer BTS – Messung (Basistemperatur der Schneedecke) versteht man die Messung der Temperatur zwischen Schneedecke und Boden. Sie wird gemessen, indem man eine Sonde durch die Schneedecke bis zum Boden steckt und die Temperatur dort mit einem am Ende der Sonde montierten Thermometer misst.

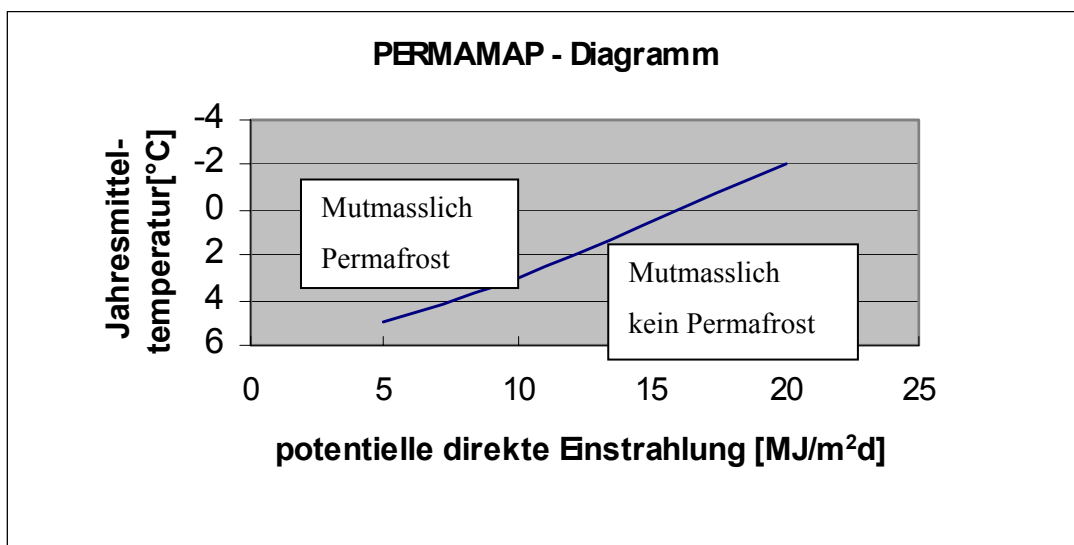
Um die Einstrahlung zu berechnen schlägt Hoelzle folgende Funktion vor:

$$y = 95.83x + 651.63$$

x = potentielle direkte Einstrahlung

Die Werte für diese Gleichung erhielten wir von Frauenfelder.

Aus y ergeben sich zwei Klassen: Mutmasslich Permafrost
Mutmasslich kein Permafrost



Figur 3: PERMAMAP – Diagramm

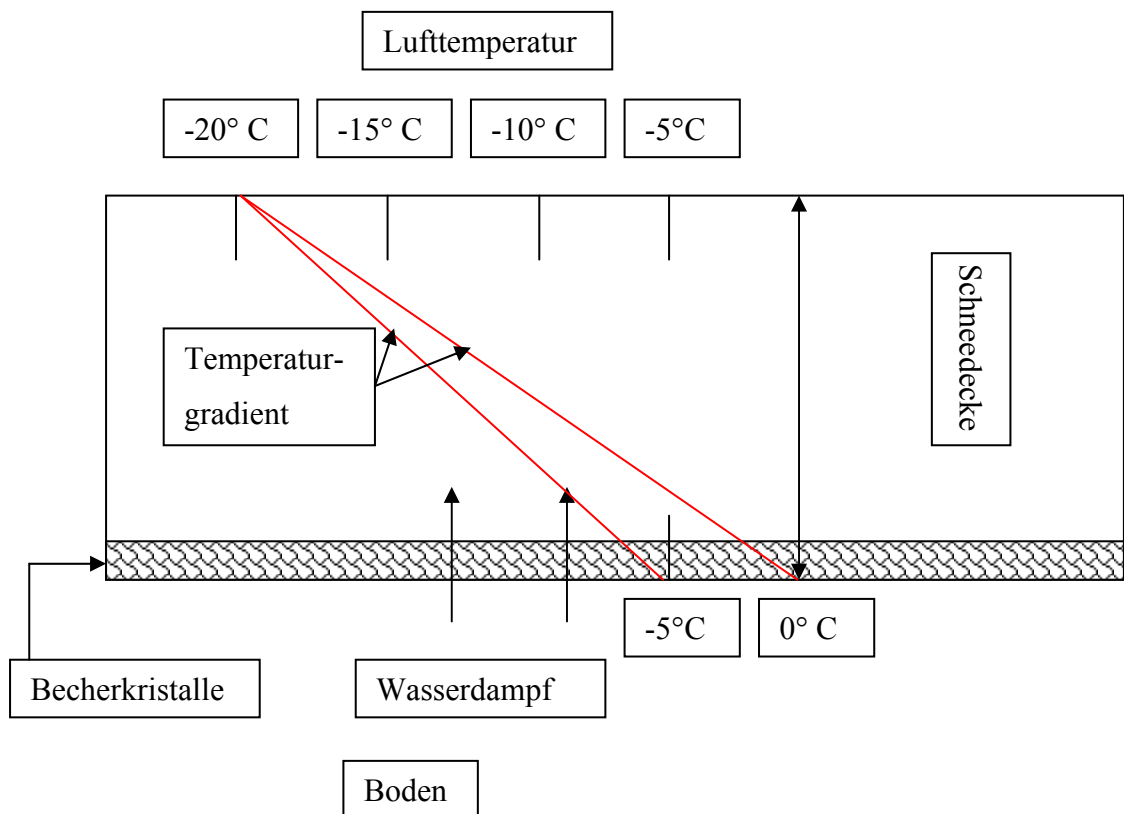
Das statistische Programm PERMAMAP ist besonders geeignet für tieferliegende Gebiete, allerdings nicht für südexponierte Hänge.

4.2 Theorie zum Thema Lawinen

Für die Bewohner der Alpentäler zählten Lawinen schon immer zu den bedrohlichsten Formen der Naturkatastrophen, weil sie unberechenbar waren.

Unter einer Lawine versteht man das plötzliches Abgehen einer großen Masse Schnee oder Eis einen Abhang oder eine Steilwand hinunter. Ein solcher Abgang kann Menschenleben und Besitz zerstören. Lawinen entstehen am häufigsten an Hängen mit einem Gefälle von über 30° und besonders dann, wenn in kurzer Zeit eine mächtige Neuschneesicht abgelagert wird, deren Schneeflocken sich noch nicht miteinander verbinden konnten, oder wenn eine ältere Schneedecke durch Tauwetter instabil wird. Besonders gefährlich sind Tribschneeansammlungen, die durch starken Wind verursacht werden. Diese Ansammlungen sind häufig die Ursache für Schneebretter.

Viele Lawinen reissen in Schattenhängen an. Das Anrissgebiet ist der Punkt oder die Linie, wo die Lawine losbricht. In schneebedeckten Schattenhängen ohne Permafrost entsteht ein grosser Temperaturunterschied zwischen der vorherrschenden Lufttemperatur und jener des Bodens. Der wärmere Boden gibt Wasserdampf an die unterste Schneeschiicht ab. Die Schneekristalle werden grösser und bilden die sogenannte Becherform. Der Prozess, der zu dieser Becherform führt, heisst aufbauende Schneemetamorphose und verläuft am besten, wenn der Temperaturgradient zwischen Luft und Bodentemperatur gross ist. Der Aufbau der Becherkristalle wird auch Tiefenreifbildung genannt. Diese Becherkristalle sind sehr instabil und bilden daher häufig die Schwachschicht, auf der Lawinen abgleiten. Ist jedoch Permafrost vorhanden ist dieser Temperaturgradient kleiner. Somit bilden sich weniger und kleinere Becherkristalle.



Figur 4: Aufbauende Schneemetamorphose und die Änderung des Temperaturgradienten durch Permafrost

5 Material

5.1 Computerprogramme

- File Maker Pro 5.0
- Arc View Gis 3.2a
- Sonnenkompass-Programm „ausaperung_sun“

5.2 Material für die Feldarbeit zur Verifikation der Permafrostkarte

5.2.1 Das Inklinometer

Das Inklinometer ist ein praktisches und preiswertes Gerät, um die Hangneigung zu messen. Es besteht aus einer drehbaren Wasserwaage, die in eine Gradskala eingebaut ist.

5.2.2 Das Thermometer

Um die Quelltemperatur des Blockgletschers zu bestimmen, wurde uns ein dazu geeignetes Thermometer zur Verfügung gestellt, welches einen Eichungsfehler von $0,3^{\circ}$ Celsius hatte. Die Eichung erfolgte mit einem Eiswasserbad, welches genau die Temperatur 0° Celsius besitzt. Dabei zeigte das Thermometer $-0,3^{\circ}$ Celsius an.

5.2.3 Der Sonnenkompass

Der Sonnenkompass ist ein Gerät, das erlaubt, die potentielle Sonneneinstrahlungsdauer eines Ortes zu bestimmen. Ursprünglich wurde er von Forstleuten entwickelt, um an einem bestimmten Ort im Wald die Lichtverhältnisse abzuschätzen. Permafrostforscher machen sich dieses Gerät zunutze und bestimmen damit die potentielle Energie, die zum Beispiel auf die Stirn eines Blockgletschers trifft. Der Sonnenkompass besteht aus einer Platte, auf der ein Kompass und eine Wasserwaage befestigt sind. Umgeben ist das Ganze von einer Plexiglashülle, auf der sich der Horizont widerspiegelt.

6 Methodik

6.1 Erstellung der Permafrostkarte an der Universität Zürich

An der Universität Zürich erstellten wir mit der Hilfe von R. Frauenfelder die Permafrostkarte. Die in den Kapiteln 4.1.3 und 4.1.4 beschriebenen Programme PERMAKART und PERMAMAP wendeten wir mit Hilfe des Computers auf die topographische Landeskarte der Forschungsgebiete Flüelapass und Monstein an. So entstanden die Permafrostkarten.

6.2 Weiterverarbeitung der Permafrostkarte mit Arc View Gis 3.2a

Zusammen mit A. Stoffel, trugen wir die zuvor aus der Datenbank exportierten Lawinenkoordinaten in die Permafrostkarte ein, die wir über die topographische Landeskarte der Schweiz gelegt hatten. Dabei verwendete A. Stoffel das Programm Arc View Gis 3.2a. Nun sollte uns eine bessere Auswertung der Fragestellung möglich sein.

6.3 Auswertung der Lawinendatenbank des SLF für unser Forschungsgebiet

Unter Verwendung der Datenbank der Lawinenniedergänge in dem für unsere Arbeit gewählten Gebiet ermittelten wir die Anzahl Lawinen in jeder Exposition. Dabei berücksichtigten wir auch die Permafrostuntergrenze, die wir aus dem Diagramm von W. Haeberli lasen (siehe 4.1.3 PERMAKART). Dies erwies sich schwieriger als vermutet, da zum Beispiel unter der Hangexposition N (Nord) auch Anrisse in der Hangexposition NNW (Nordnordwest) aufgeführt waren. Danach übertrugen wir die so ermittelte Anzahl der Lawinen in eine Excel – Tabelle.

Figur 6: Die wichtigen Suchkriterien in der SLF - Lawinenschadendatenbank

6.4 Indirekte Methoden der Feldarbeit zur Verifikation der Permafrostkarte

Durch unsere erarbeiteten Kenntnisse aus der Theorie konnten wir die Feldarbeit effizienter gestalten. Der Ablauf einer Permafrostindikatoranalyse (Blockgletscheranalyse) sah somit folgendermassen aus:

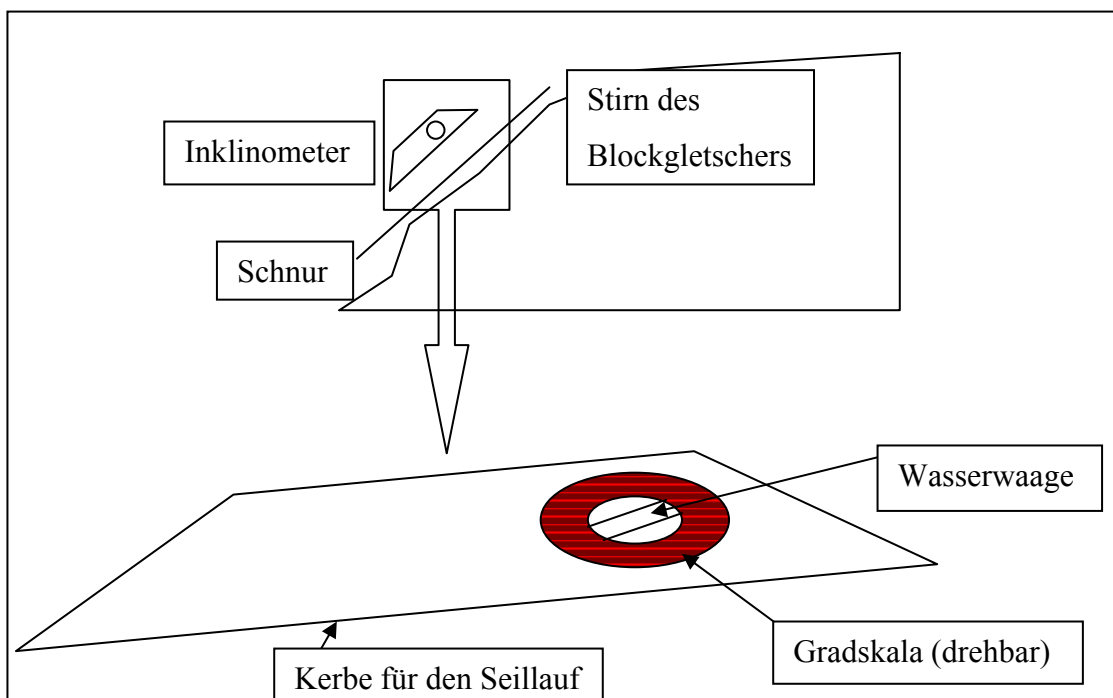
Zuerst fotografierten wir das Objekt vom Gegenhang um eine genaue Dokumentation zu ermöglichen. Als zweites erfolgte eine genaue Aufnahme diverser Kriterien, wie zum Beispiel der Vegetation, der Oberflächenbeschaffenheit, der Komponentengrösse und der Form. Danach folgten die Messungen. Falls eine Quelle vorhanden war, bestimmten wir die Temperatur des Wassers. Beim Erklimmen des Blockgletschers massen wir die Neigung der Stirn. Auf der Stirn des Blockgletschers stellten wir den Sonnenkompass auf, um den Horizont auf das Versuchsblatt zu übertragen. Danach untersuchten wir die Steine auf das Vorkommen und die Lage von Flechten, die uns eine genauere Interpretation des Blockgletschers ermöglichten. Diese Methoden sind jedoch nur indirekt. Die einzig direkte Methode ist das Bohren eines Bohrloches. Diese Methode ist allerdings teuer und aufwändig. In den nun folgenden Unterkapiteln sind die einzelnen Messgeräte und deren Anwendung detailliert beschrieben.

6.4.1 Neigungswinkelmessungen

Das Gerät für diese Messungen nennt sich Inklinometer. Die Handhabung geht wie folgt:

Man spannt eine Schnur von der Stirn des Blockgletschers einige Meter nach unten. Dies ist eine sehr heikle Phase der Blockgletscheranalyse im Feld, da die Hangneigung bei aktiven und inaktiven Blockgletschern sehr steil ist und die Schuttcomponenten unterschiedliche Größe aufweisen, ähnlich wie bei Moränen eines Gletschers.

Danach setzt man das Inklinometer parallel mit der dafür vorgesehenen Kerbe an die gespannte Schnur. Nun richtet man die Wasserwaage so aus, dass sie horizontal liegt. Man kann jetzt anhand der Gradskala die Hangneigung messen.



Figur 7: Detaillierte Skizze des Inklinometers und dessen Gebrauch



Figur 8: André bei einer Hangneigungsmessung

6.4.2 Quellwassertemperaturmessungen

Um die Einteilung des Blockgletschers in die verschiedenen Zustände (aktiv, inaktiv oder fossil) zu tätigen, misst man die Temperatur des Quellwassers am Hangfuss. Das Thermometer muss mehrere Sekunden lang vom Quellwasser umspült werden. Dann kann die Temperatur auf dem Display abgelesen werden.

6.4.3 Der Sonnenkompass im Gebrauch

Der Sonnenkompass muss waagrecht und nach Norden ausgerichtet auf der Stirn des Blockgletschers platziert werden. Die Wasserwaage muss dazu im Gleichgewicht sein. Dies ist nicht sehr einfach zu bewerkstelligen und es sind oft Unterlagen und Stützen dazu nötig. Nun kann man den Horizont auf das vorgedruckte Blatt, das auch nach Norden ausgerichtet ist, übertragen. Bei starkem Sonnenschein ist jedoch ein schattenspendender Gegenstand hilfreich, der die blendende Sonne auf dem Kompass abschirmt, damit man den Horizont genau zeichnen kann.

Um die potentielle Sonnenscheindauer eines Monats festzustellen, muss man den Schnittpunkt zwischen der Horizontlinie und der Monatslinie suchen. Jetzt sieht man die Uhrzeit des Sonnenaufgangs und diejenige des Sonnenuntergangs und kann daraus die theoretisch maximale Sonnenscheindauer berechnen. Eine genauere Auswertung ermöglicht das Computerprogramm „ausaperung_sun“.

In dieses Programm gibt man die Daten jedes Blockgletschers ein. Die folgende Editordatei soll dies veranschaulichen:

Flüelapass							Name des Blockgletschers
46							Geographische Breite [°]
41							Hangneigung [°]
40							Flächenexposition [°]
2.423							Höhe über Meer [m]
0.3							Albedo
1							Beginn der Berechnungsdauer [d]
365							Ende der Berechnungsdauer [d]
7.75	7.66	6.75	6.25	5.83	5.75	}	Sonnenauf- und Sonnenuntergangs - Zeiten
5.83	6.25	6.75	7.66	7.75	8.50		
13.25	14.16	15.66	17.50	18.33	19.00		
18.33	17.50	15.66	14.16	13.25	12.75		

Die Werte entnehmen wir unseren eigenen Messungen. Der Albedowert stammt aus <http://scienceworld.wolfram.com/physics/albedo.html>.

Daraus erhält man die potentielle Strahlung des Ortes, auf dem der Sonnenkompass stand.

Mit der Formel:

$$BTS = 0.55 \text{ mittlere Jahrestemperatur} + 2.71887 * 10^{-10} * \text{potentielle Strahlung} - 1.58$$

kann man die Basistemperatur der Schneedecke theoretisch errechnen.

Liegt dieser Wert unter -1.5 °C ist es möglich, dass Permafrost vorhanden ist.

6.5 Direkte Methode zur Verifikation der Permafrostkarte

Die einzige direkte Methode zur Bestimmung des Vorkommens von Permafrost ist eine Bohrung. Glücklicherweise konnten wir bei einer solchen auf dem Flüelapass dabei sein. Der Bohrplatz lag etwa 20 m oberhalb des Schottensees und hat die Koordinaten 791400/180500. Die sehr teure, für Permafrostforscher spannende Methode, läuft wie folgt ab: Zuerst wird mit einem Zertrümmerungsbohrer ein Loch in den Boden gebohrt. Danach wird mit Hilfe eines Diamantbohrers das Loch soweit verlängert, bis man den Bohrkern ans Tageslicht fördern kann. Der Bohrkern wird danach in ein Rohr gelegt, mit Styropor gepolstert und dann mit Trockeneis (-80°C) gekühlt. Nun kann der Bohrkern im Kältelabor untersucht werden. Nach der Bohrung wird das Bohrloch mit Beton ausgekleidet und es werden Messinstrumente, die die Temperatur und die Bewegungen im Hang messen, eingebaut. So wird eine sinnvolle Nutzung des ohnehin vorhandenen Bohrlochs ermöglicht.



Figur 9: SLF – Permafrostbohrung am Schottensee (Flüelapass)

7 Resultate

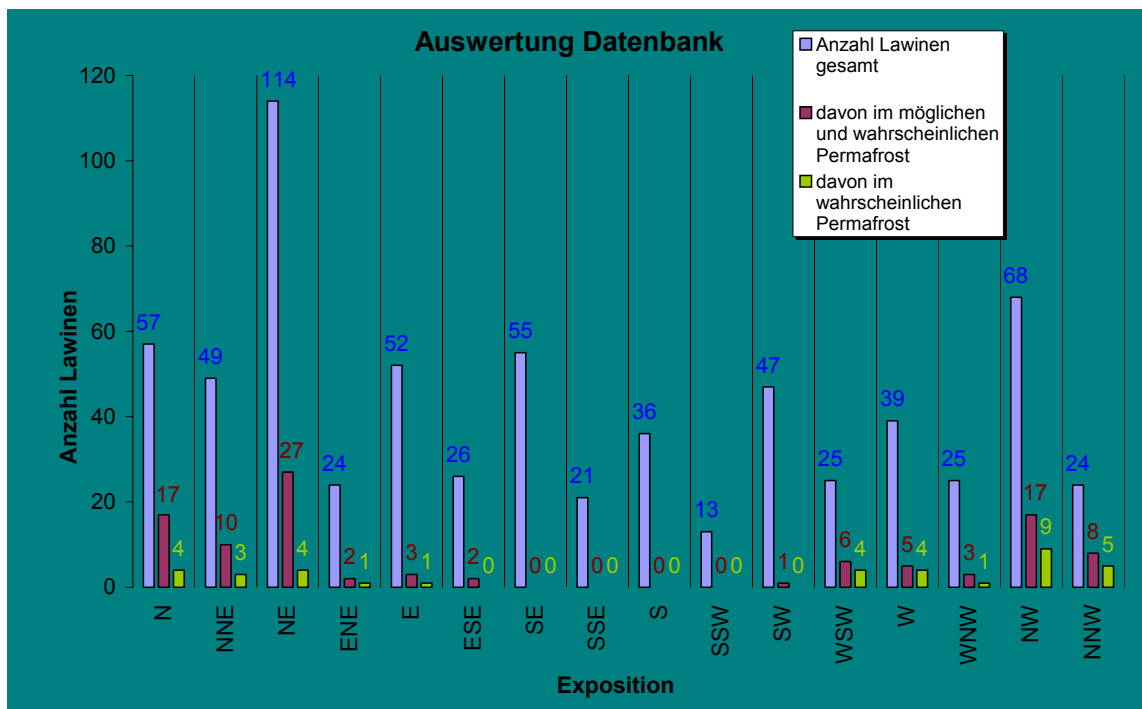
7.1 Resultate der Auswertung der Lawinendatenbank des SLF in unserem Forschungsgebiet

Wir erstellten 2 Tabellen, mit den von W. Haeberli errechneten, verschiedenen Permafrostuntergrenzen.

Exposition	Anzahl Lawinen (A)	mögliche Permafrostuntergrenze in Metern (nach Diagramm von W. Haeberli, 1975)	davon im möglichen und wahrscheinlichen Permafrost Bereich (B)	% B aus A
N	57	2400	17	30
NNE	49	2400	10	20
NE	114	2400	27	24
ENE	24	2600	2	8
E	52	2600	3	6
ESE	26	2600	2	8
SE	55	2800	0	0
SSE	21	2900	0	0
S	36	2900	0	0
SSW	13	2900	0	0
SW	47	2700	1	2
WSW	25	2500	6	24
W	39	2500	5	13
WNW	25	2500	3	12
NW	68	2300	17	25
NNW	24	2400	8	33
TOTAL	675		101	15

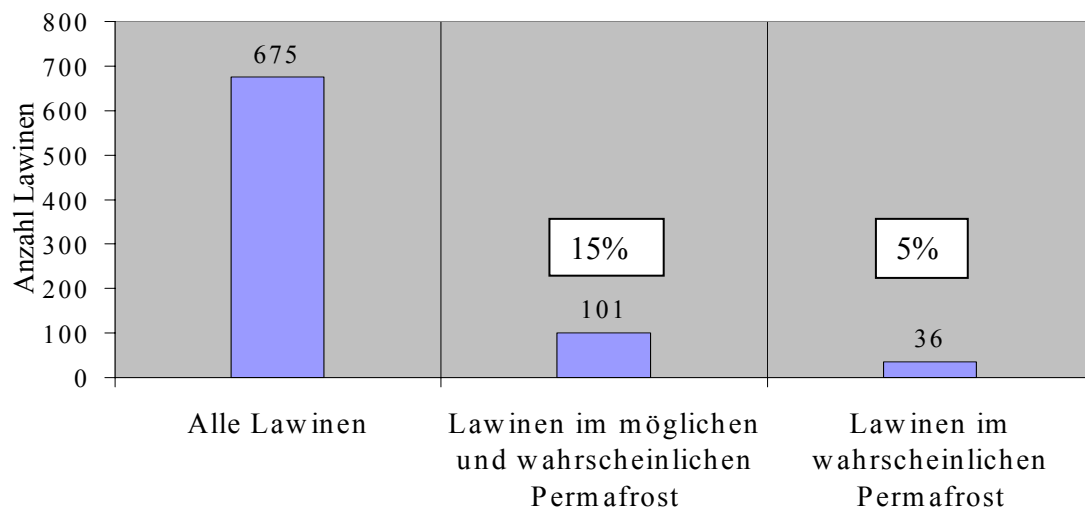
Exposition	Anzahl Lawinen (A)	wahrscheinliche Permafrostuntergrenze in Metern (nach Diagramm von W. Haeberli, 1975)	davon im Permafrost wahrscheinlichen Bereich (B)	% B aus A
N	57	2600	4	7
NNE	49	2600	3	6
NE	114	2600	4	4
ENE	24	3000	1	4
E	52	3000	1	2
ESE	26	3000	0	0
SE	55	3000	0	0
SSE	21	3000	0	0
S	36	3000	0	0
SSW	13	3000	0	0
SW	47	2900	0	0
WSW	25	2600	4	16
W	39	2600	4	10
WNW	25	2600	1	4
NW	68	2400	9	13
NNW	24	2600	5	21
TOTAL	675		36	5

Figur 10: Lawinenanzahl in allen Expositionen



Figur 11: Lawinenanzahl in allen Expositionen in einem Excel - Diagramm

Wie anhand der Tabelle und des Diagramms gut zu sehen ist, kann man in den Expositionen Nord und West hohe Prozentzahlen von Lawinenanrissen im Permafrost erkennen. Jedoch erreicht die Permafrostuntergrenze auch eine Höhe von 2300 m.ü.M.!
Somit ist es viel wahrscheinlicher, dass Lawinen im Permafrost anreissen.



Figur 12: Vergleich Alle Lawinen – Lawinen im Permafrost

7.2 Auswertung der Sonnenkompassdaten zur Verifikation der Permafrostkarte

Mit der Formel

$$\text{BTS} = 0.55 \text{ mittlere Jahrestemperatur} + 2.71887 * 10^{-10} * \text{potentielle Strahlung} - 1.58$$

ermittelten wir aus der potentiellen Strahlung und der mittleren Jahrestemperatur die BTS-Werte.

Alle Blockgletscher ausser Ravigliel haben einen tiefen BTS-Wert, was die Wahrscheinlichkeit von Permafrostvorkommen erhöht. Da die tiefen errechneten BTS-Werte oft auf von den Programmen simulierten Permafrost liegen, sieht man gut, dass die Programme PERMKART und PERMAMAP teils auf BTS-Messungen basieren.

Blockgletscher	Höhe über Meer	Potentielle Strahlung	BTS
Schwarzhorn Nord	2423	0.328	-1.268
Wissrüfi	2420	0.410	-1.038
Sereina	2480	0.258	-1.616
Verborgen Pischa	2779	0.464	-1.878
Mattjischtälli	2600	0.465	-1.381
Ravigliel	2600	0.799	-0.475
Hoch Ducan	2460	0.185	-1.758

Figur 13: Sonnenkompassdaten (teils errechnet)

7.3 Verifikation der Permafrostkarte im Gebiet Flüelatal

Durch die im Kapitel Theorie und Methoden beschriebenen Messungen versuchten wir, die Karte zu verifizieren. Wir beschränkten uns dabei weitgehend auf Blockgletscheranalysen, da diese die besten indirekten Permafrostindikatoren sind. Zudem konnten wir noch die beschriebene Bohrung in unsere Verifikation miteinbeziehen. Bei der Verifikation der Karten unterschieden wir zwischen PERMAKART und PERMAMAP. Wir kamen zu folgendem Schluss:

7.3.1 PERMAKART

PERMAKART ist in einigen von uns untersuchten Gebieten bei der Simulation von Permafrost erstaunlich genau. Die Indikatoren, die wir untersucht haben, erlauben folgende Aussagen:

- Das Programm zeigt beim Bohrplatz am Schottensee einen kleinen Fleck Permafrost an. Bei der Bohrung wurde dort tatsächlich auch Eis gefunden. Dieses Eis entstand durch die fast ganzjährige Kühlung, die der liegende Lawinenschnee bewirkt.
- Der aktive Blockgletscher „Verborgen Pisch“ liegt im permafrostwahrscheinlichen Bereich. Somit ist es naheliegend, dass PERMAKART im Grossraum Pischahorn richtig simulierte.
- Der aktive Blockgletscher „Wiss Rüfi“ liegt mit dem unteren Teil im Permafrost möglichen und mit dem oberen Teil gar im nach PERMAKART permafrostwahrscheinlichen Gebiet.
- Der aktive Teil von „Schwarzhorn Nord“ liegt im Permafrostgebiet, der wahrscheinlich inaktive ist knapp ausserhalb.
- Der Blockgletscher „Sereina“, der oberhalb „Wiss Rüfi“ liegt, zeigt ebenfalls eine Übereinkunft mit der vorausgerechneten Karte.
- Der von unserer Seite als fossil klassifizierte Blockgletscher im „Mattjischtäli“ liegt jedoch im Permafrostbereich. Hier glauben wir einen Fehler in der Simulation des Programmes PERMAKART gefunden zu haben.

7.3.2 PERMAMAP

PERMAMAP erwies sich aufgrund unserer Feldbegehungen als eher fehlerhaft:

- Die Blockgletscher „Verborgen Pischa“, „Wiss Rüfi“, „Schwarzhorn Nord“ und „Sereina“ liegen allesamt im Bereich ohne Permafrost.
Die Blockgletscher sind aber alle aktiv und sollten deshalb im permafrostwahrscheinlichen Bereich liegen.
- Das Gebiet um den fossilen Blockgletscher „Mattjischtälli“ wird zurecht als Gebiet ohne Permafrost bezeichnet.
- Der Bereich um das Bohrloch, wo Eis gefunden wurde, wird im Programm PERMAMAP als permafrostfrei eingestuft.

7.3.3 Fazit der Verifikation im Bereich Flüelapass

Die Verifikation zeigt uns, dass auf PERMAKART eher Verlass ist als auf PERMAMAP. Diese grössere Genauigkeit verdankt PERMAKART jedoch auch seinen drei Unterteilungen „Permafrost wahrscheinlich“, „Permafrost möglich“ oder „kein Permafrost“, während PERMAMAP nur zwei Unterteilungen hat („kein Permafrost“ und „mutmasslich Permafrost“). Für unsere Arbeit sind beide Programme geeignet, für Arbeiten die eine metergenaue Abgrenzung zwischen Permafrost und permafrostfrei benötigen, sind diese beiden Programme aber nicht zu empfehlen.

7.4 Verifikation der Permafrostkarte im Gebiet Monstein

Siehe Kapitel 7.3

7.4.1 PERMAKART

Auch im Untersuchungsgebiet Monstein erwies sich PERMAKART als äusserst genau:

- Der aktive Blockgletscher „Ravigliel“ liegt vollständig im von PERMAKART berechneten Permafrostgebiet.
- Der sich von aktiv zu inaktiv entwickelnde „Hoch Ducan“ liegt im permafrostwahrscheinlichen Bereich.
- Die Musterböden, die wir auf der Mäschafurka gefunden haben, liegen ebenfalls im nach PERMAKART simulierten Permafrost.

7.4.2 PERMAMAP

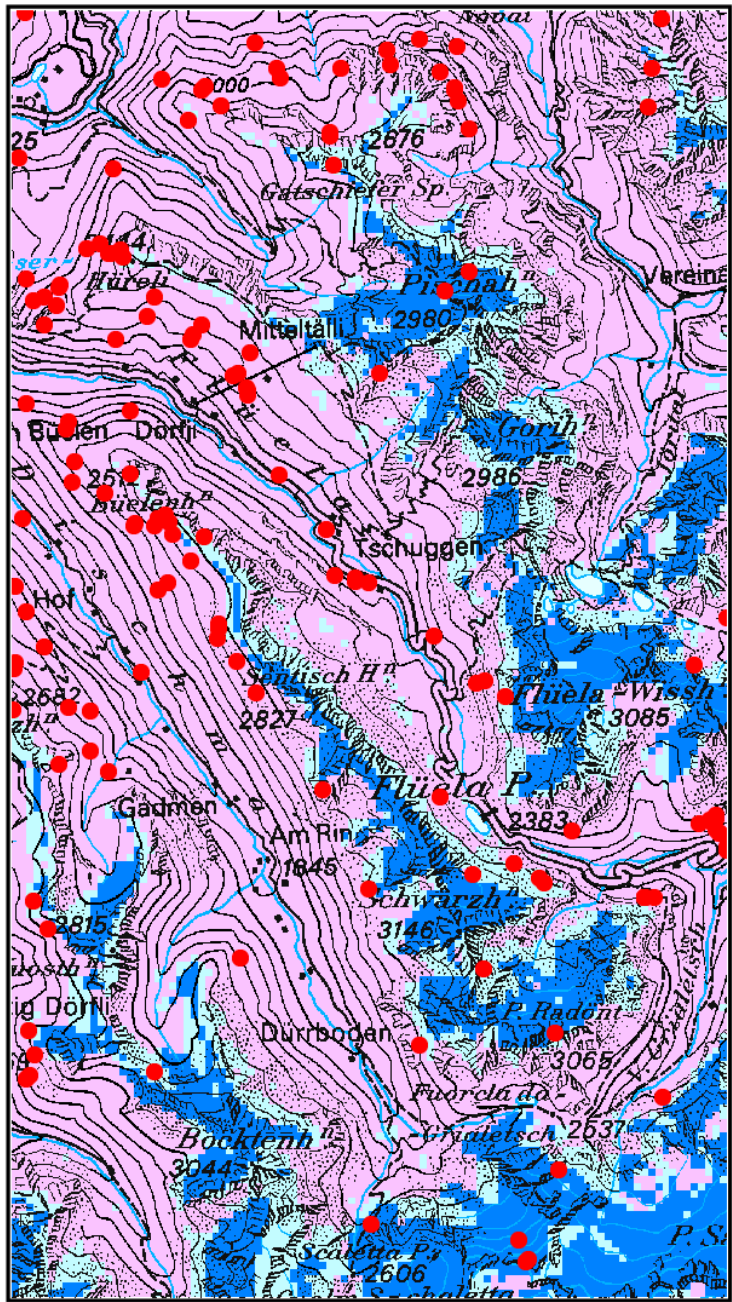
Im Gebiet Monstein erwies sich PERMAMAP als etwas genauer als beim Flüelapass:

- Der aktive Blockgletscher „Ravigliel“ liegt mit dem oberen Teil im PERMAMAP-Permafrost. Der untere Teil liegt im Bereich ohne simulierten Permafrost.
- Im Gebiet um den Blockgletscher „Hoch Ducan“, gibt es eine Übereinstimmung zwischen der Feldarbeit und der Karte. Es ist jedoch Vorsicht geboten, da der Blockgletscher sich von aktiv zu inaktiv entwickelt.
- Die permafrostindizierenden Musterböden auf der Mäschafurka (2583 m.ü.M.) sind in der Karte jedoch im Bereich ohne Permafrost zu finden.

7.4.3 Fazit der Verifikation im Bereich Monstein

Erneut zeichnet sich das Resultat ab, dass PERMAKART etwas zuverlässiger in seinen Resultaten ist. PERMAMAP ist allerdings in der Simulation im Bereich Monstein genauer als im Flüelatal. Doch wie schon gesagt, reichen die Simulationen beider Programme für unsere Arbeit aus.

Permafrostverbreitung im Gebiet Flüelapass mit Permakart simuliert und Lawinenanrisse (Schadenlawinendatenbank SLF)

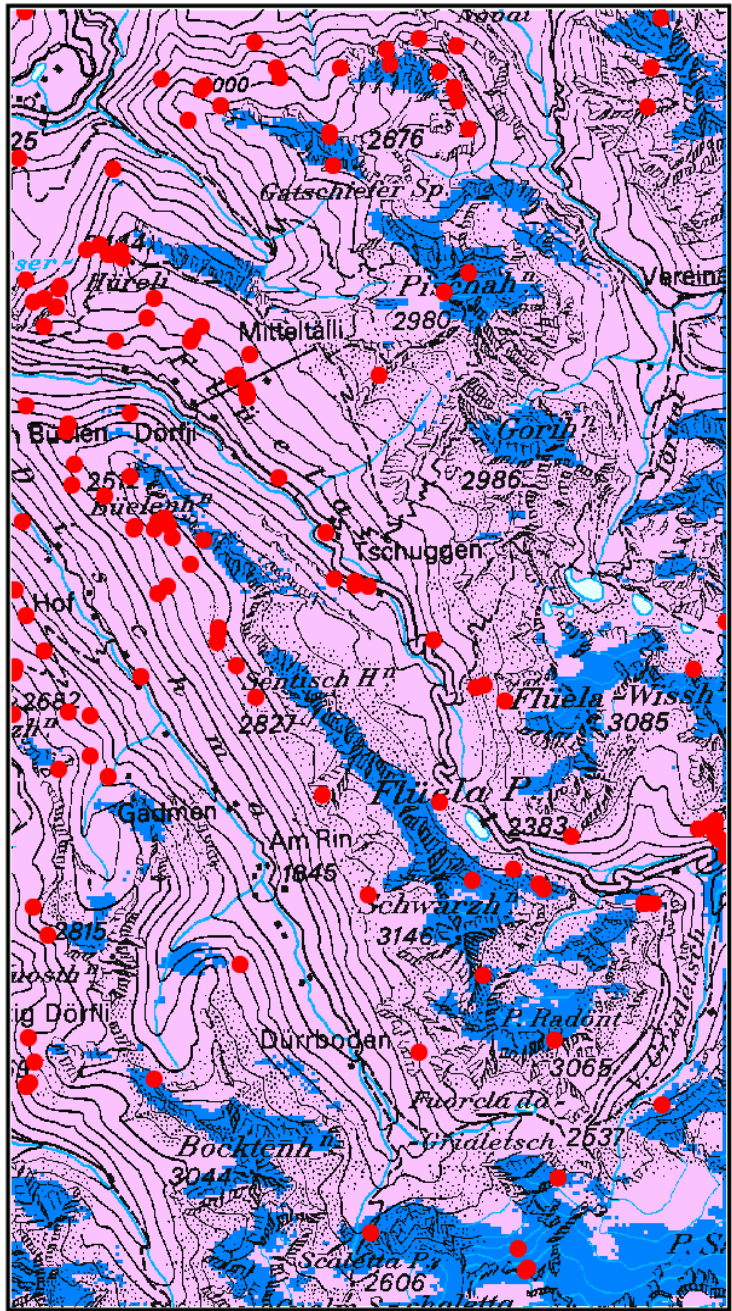


Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: (c) Bundesamt für Landestopographie

- Lawinenanrisse
- kein Permafrost (Forschungsgebiet)
- Permafrost möglich
- Permafrost wahrscheinlich



Permafrostverbreitung im Gebiet Flüelapass mit Permamap simuliert und Lawinenanrisse (Schadenlawinendatenbank SLF)

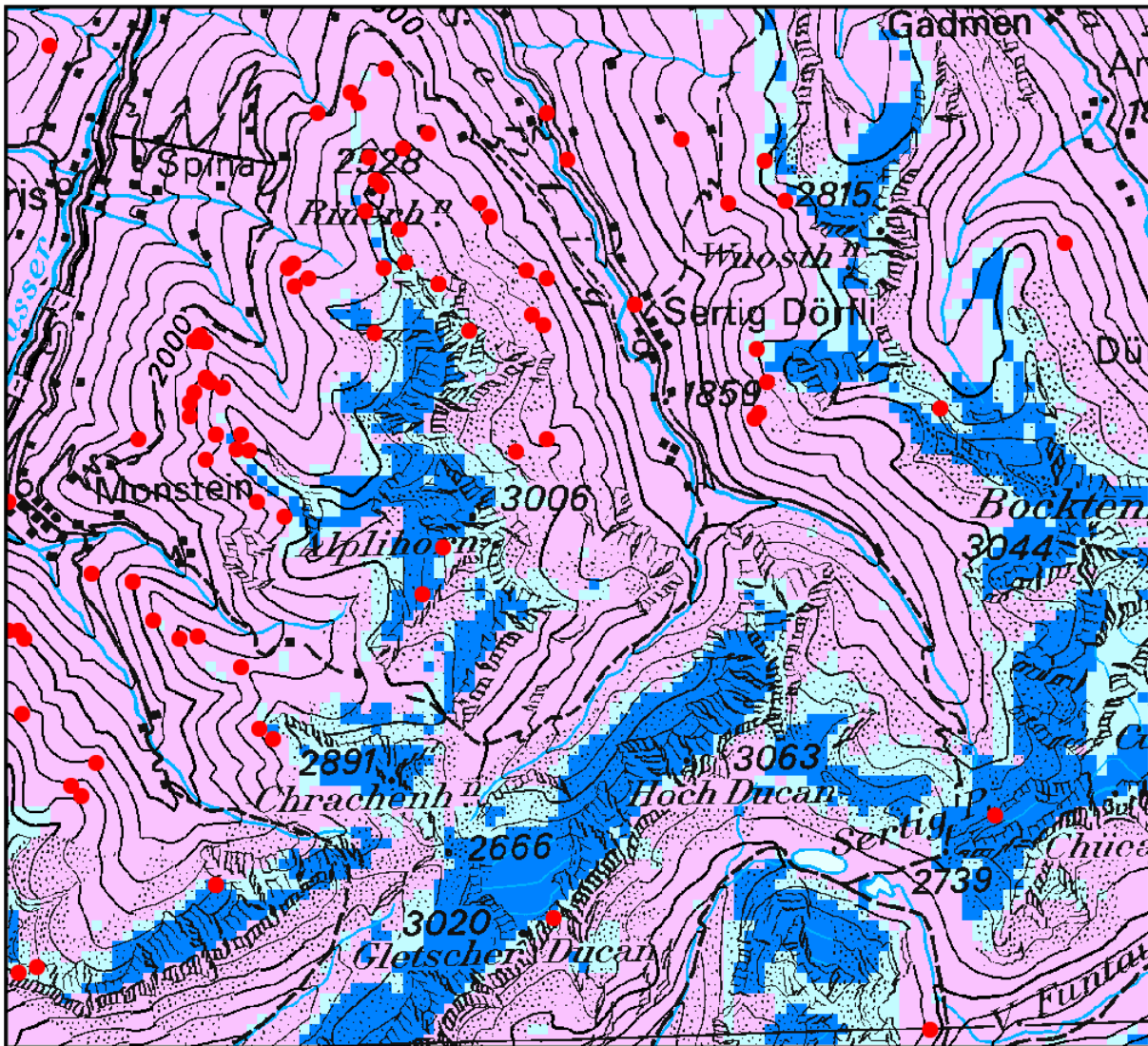


Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: (c) Bundesamt für Landestopographie

- Lawinenanrisse
- kein Permafrost (Forschungsgebiet)
- Permafrost wahrscheinlich

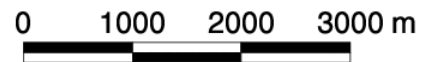


Permafrostverbreitung im Gebiet Monstein mit Permakart simuliert und Lawinenanrisse (Schadenlawinendatenbank SLF)

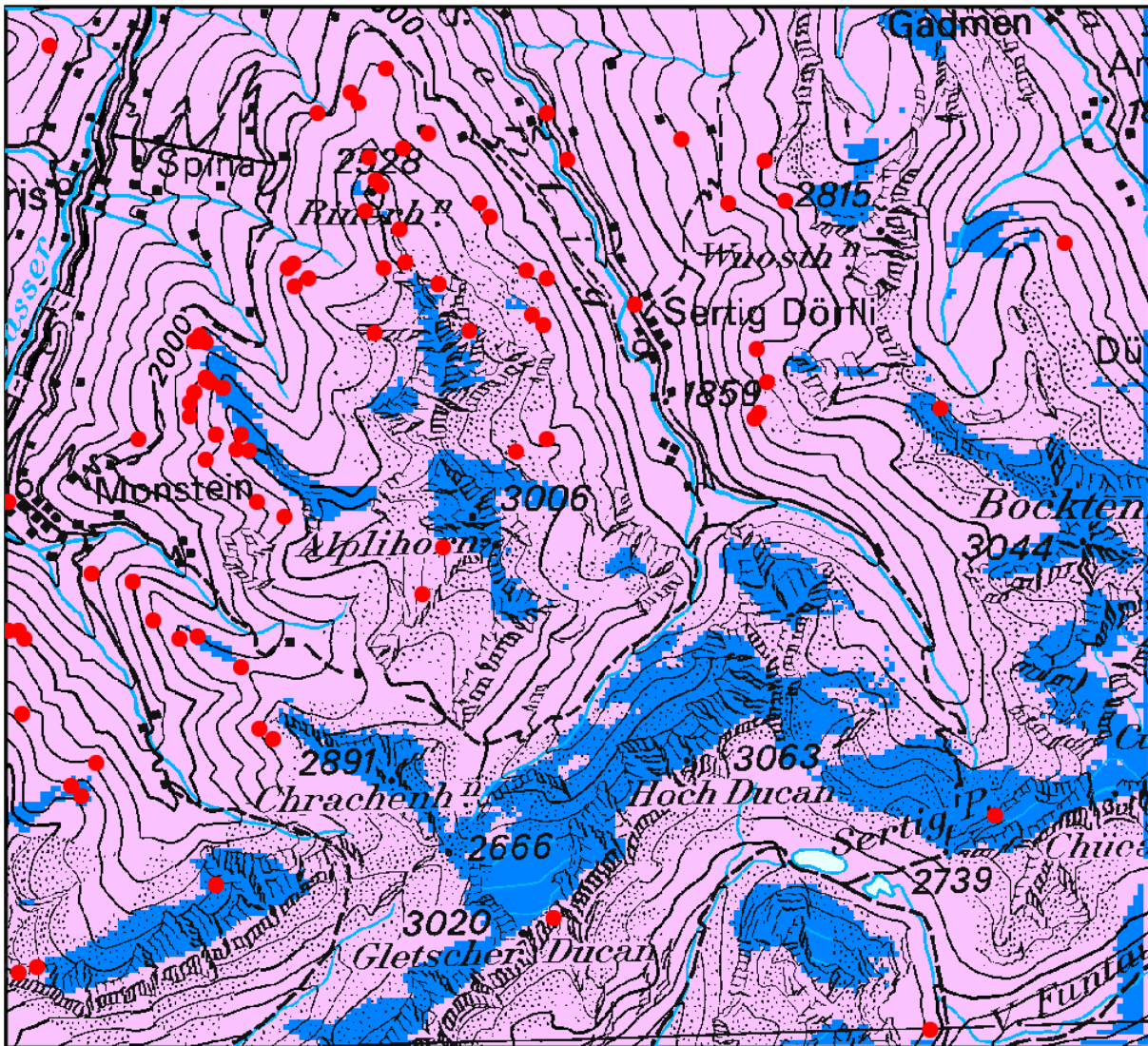


Digitale Daten aus der Landeskarte der Schweiz: (c) Bundesamt für Landestopographie

- Lawinenanrisse
- kein Permafrost (Forschungsgebiet)
- Permafrost möglich
- Permafrost wahrscheinlich

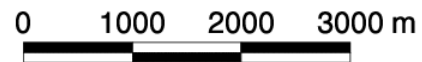


Permafrostverbreitung im Gebiet Monstein mit Permapap simuliert und Lawinenanrisse (Schadenlawinendatenbank SLF)



Digitale Daten aus der Landkarte der Schweiz: (c) Bundesamt für Landestopographie

- Lawinenanrisse
- kein Permafrost (Forschungsgebiet)
- Permafrost wahrscheinlich



8 Diskussion und Schlussfolgerung

Betrachtet man die von uns erstellte Permafrostkarte mit den Lawinenanrissen, kann man gut sehen, dass Lawinenanrisse selten auf Permafrostgebiet stattfinden. Grössere Massierungen von Lawinenanrissen kann man in Skigebieten, wie im Raum Jakobshorn, Pischa und Rinerhorn feststellen. Diese Lawinen werden aber meistens von Skifahrern und Snowboardern ausgelöst. Aus diesem Grund sind solche Anhäufungen mit Vorsicht zu interpretieren, da die Lawinen nicht nur durch natürliche Faktoren ausgelöst werden. Zudem kamen wir zum Schluss, dass vor allem in abgelegenen, schwer erreichbaren Regionen, wie der Ducanregion und um das Bocktenhorn, sich nicht alle Lawinnenniedergänge in unserer für die Karte zur Verfügung stehenden Kartei befinden. Diese Dunkelziffer von Lawinnenniedergängen würde sich im möglichen Permafrostgebiet befinden und das Resultat eventuell verändern.

Aus den Diagrammen im Kapitel 7.1 sieht man, dass Lawinenanrisse sehr stark von der Hangexposition abhängen. Besonders in Nordexpositionen sieht man hohe Prozentzahlen von Lawinenanrissen im Permafrostgebiet. Die Prozentzahlen reichen von 33% in den Expositionen Nord bis Nord-Nordwest bis zu 0% in den Expositionen Süd bis Ost. In nordexponierten Regionen ist die Permafrostverbreitung jedoch viel grösser und somit ist die Wahrscheinlichkeit auch grösser, dort Lawinenanrisse zu finden.

Im Widerspruch dazu steht aber der folgende Punkt: Permafrost ist kein lawinenauslösender Faktor, da er das Temperaturgefälle zwischen Boden und Schneedecke vermindert. Ein kleines Temperaturgefälle verringert die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Becherkristallen, die die Lawinengefahr deutlich erhöhen.

8.1 Hypothese 1

«Eine hohe Prozentzahl aller Lawinenanrisse befindet sich in Permafrostgebieten.»

Diese Hypothese müssen wir klar widerlegen, da nur 15% aller Lawinenanrisse im Permafrostgebiet (bestimmt nach PERMAKART) liegen.

8.2 Hypothese 2

«Es gibt einen Zusammenhang zwischen Lawinenniedergängen und Permafrost. Daher wird angenommen, dass Permafrost die darüberliegende Schneedecke beeinflusst.»

Einen echten Zusammenhang zwischen Lawinenniedergängen und Permafrost konnten wir nicht erkennen.

Es stimmt aber, dass Permafrost auf die Schneedecke einwirkt, indem er das Temperaturgefälle zwischen Boden und Schneedecke verkleinert. Dies ist jedoch für Lawinenniedergänge nicht förderlich.

9 Quellen

9.1 Internetseiten

<http://www.geo.unizh.ch/~hoelzle/E&M/e&mhtml/pfmodell.html>

<http://www.geo.unizh.ch/~hoelzle/E&M/e&mfig/bts.gif>

<http://scienceworld.wolfram.com/physics/Albedo.html>

9.2 Literaturverzeichnis

Affentranger R. (2001): Einsatz des Sonnenkompasses zur örtlichen Abschätzung des Vorkommens von Permafrost, Diplomarbeit an der Universität Bern.

Herausgeber: Prof. Dr. Hans Kienholz, Bern

Broccard A. (1998): Géomorphologie du Turtmantal (Valais)
Mémoire du Institut de Géographie Lausanne

Herausgeber: Jörg Winistörfer, Lausanne

Bundesamt für

Landestopographie (1985): Landeskarte der Schweiz Nr.5002 Chur- Arosa- Davos

W. Haeberli (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch

Herausgeber: VAW – ETH Zürich

- Keller F. (1994): Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost
(Eine Grundlagenstudie im Oberengadin)
Mitteilung 127 der ETH Zürich.
Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h.c. D. Vischer, Zürich
- Krummenacher B.
et al. (2003): Use of the Solar Compass to Estimate the Presence of
Permafrost, 8th International conference on Permafrost, 2003,
Zürich. In Vorb.
- Munter W. (1997): 3 x 3 Lawinen, entscheiden in kritischen Situationen
Herausgeber: Agentur Pohl & Schellhammer, Garmisch-
Partenkirchen
- Phillips M. (2000): Das Naturphänomen Permafrost: Vorkommen in der
Landschaft Davos
Davoser Revue
Herausgeber: Genossenschaft Davoser Revue, Davos Platz
- Projekt des WWF (1998): Auf den Spuren des Klimawandels: Broschüre zum
Klimaweg im Oberengadin
Herausgeber: WWF Schweiz, SESN, Zürich und Samedan
- Stucki T. (1994/1995): Permafrosttemperaturen im Oberengadin
(Eine Auswertung der Bohrlochtemperaturen im alpinen
Permafrost des Oberengadins im Hinblick auf einen
Erwärmungstrend und Schmelzwasserabfluss aus dem
Permafrost, Diplomarbeit an der ETH Zürich)
Herausgeber: Dr. D. Vonder Mühl, Zürich

10 Dank

Unsere erste grössere Arbeit haben wir nur dank der geduldigen Hilfe folgender Personen realisieren können. Diesen Personen möchten wir aus tiefstem Herzen danken.

Marcia Phillips, die uns in jeder Situation mit Rat und Tat zur Seite stand, uns viele wertvolle Tipps gegeben und uns stets zum Nachdenken veranlasst hat. Auch während der Feldarbeit hat sie uns mit ihrer Kompetenz immer wieder zum Staunen gebracht.

Unserem Betreuer **Ruedi Bless**, der uns mit seinem Wissen über die örtlichen geographischen und geologischen Gegebenheiten bei der Feldarbeit überaus hilfreich war. Zudem waren wir froh, dass er über Unsicherheiten betreffend dieser Arbeit hinweghalf.

Regula Frauenfelder, die uns die Erstellung der Permafrostkarte ermöglichte und uns die ersten Fragen zum interessanten Thema beantwortete.

Andi Stoffel, der in seiner ruhigen und geduldigen Art die Lawinenanrisse auf die Permafrostkarte übertrug und uns somit eine genauere Auswertung ermöglichte.

Martina Lütschg, die uns einen einmaligen Einblick in eine Permafrostbohrung ermöglichte.

Stephan Harvey, der die Lawinendatenbank des SLF auf unser Gebiet zuschnitt.

Wertvolle Unterstützung zu unserer Arbeit trugen auch **unsere Familien** bei, die sich stets um unser leibliches Wohl kümmerten und auch sonstige wertvolle Hilfen erbrachten.

Dankbar sind wir auch für die Taxidienste bei unserer Feldarbeit. Unser Dank richtet sich dabei an **Vreni Gauderon, Jörg Pajarola** und **Herrn Flury** aus Monstein.

11 Rohdaten

11.1 Rohdaten der Feldarbeit vom Montag 8.07.02

1. Blockgletscher

Name	Schwarzhorn Nord
Koordinaten	792000/180200
Bodenbeschaffenheit	Durchmischte Komponenten
Exposition	Nordost
Höhe über Meer	2423
Quelltemperatur	0.8°C
Neigungswinkel	40° am Nordosthang
Vegetation	Keine Vegetation; nur Schutt
BTS	-1.3°C
Bemerkungen	rechte Seite mit Vegetation (inaktiv)
Unser Fazit	Der eine Teil aktiv, der andere inaktiv



Figur 14: Blockgletscher Schwarzhorn Nord, fotografiert von der Gegenseite.

2. Blockgletscher

Name	Wiis Rüfi
Koordinaten	791800/182400
Bodenbeschaffenheit	Durchmischte Komponenten; Schutt; lose Komponenten
Exposition	West
Höhe über Meer	2420
Quelltemperatur	Keine Quelle
Neigungswinkel	West 46°; Flanke Nord 39°
Vegetation	Fast keine Vegetation und Flechten
BTS	-1.0°C
Bemerkungen	Schwer begehbar
Unser Fazit	Aktiv; andere Quellen behaupten anderes



Figur 15: Randzone „Wiis Rüfi“

3. Blockgletscher

Name	Sereina
Koordinaten	792200/182800
Bodenbeschaffenheit	Schutt; sehr viele grosse Steinblöcke
Exposition	Nordwest
Höhe über Meer	2480
Quelltemperatur	0.7°C
Neigungswinkel	Stirn 38°
Vegetation	Ost Seite mehr Flechten
BTS	-1.6°C
Bemerkungen	Neu entdeckt
Unser Fazit	Aktiv



Figur 16: Blockgletscher „Sereina“

11.2 Rohdaten der Feldarbeit vom Dienstag 9.07.02

4. Blockgletscher

Name	Verborgen Pischa
Koordinaten	790500/187500
Bodenbeschaffenheit	Lose, grosse Steine
Exposition	West
Höhe über Meer	2779
Quelltemperatur	1°C; viel Schnee!
Neigungswinkel	1. Stirn 30°; 2. Stirn 39°
Vegetation	Wenig bis gar keine Flechten
BTS	-1.9°C
Bemerkungen	Wird von Bach durchflossen; entstand wahrscheinlich aus einer Moräne; Bach hinter Blockgletscher: 8.2°C
Unser Fazit	Aktiv; andere Quellen behaupten anderes



Figur 17: Blockgletscher Verborgen Pischa

5. Blockgletscher

Name	Mattjisch Tal
Koordinaten	791200/187100
Bodenbeschaffenheit	Steinhaufen am Fusse
Exposition	West
Höhe über Meer	2600
Quelltemperatur	Keine Quelle
Neigungswinkel	38° (wahrscheinlich durch Vegetation ermöglicht)
Vegetation	Sogar blumenartige Pflanzen, Flechten
BTS	-1.4°C
Bemerkungen	Schwer zu erreichen, Anstieg über Grat nicht zu empfehlen
Unser Fazit	Fossil



Figur 18: Blockgletscher Mattjisch Tal

11.3 Rohdaten der Feldarbeit vom Samstag 17.08.02

6. Blockgletscher

Name	Ravigliel
Koordinaten	781900/172100
Bodenbeschaffenheit	Schuttig; grosse und kleine Komponenten
Exposition	Nord (350°)
Höhe über Meer	2600
Quelltemperatur	0.3°C
Neigungswinkel	43°
Vegetation	Fast keine Vegetation; wenn vorhanden, dann inselartig
BTS	-0.5°C
Bemerkungen	Schwer zu begehen und zu erreichen; sehr grosser Blockgletscher
Unser Fazit	Aktiv



Figur 19: Blockgletscher Ravigliel (Foto: Maja Bless)

7. Blockgletscher

Name	Hoch Ducan
Koordinaten	784300/174300
Bodenbeschaffenheit	Schuttig; lose, gemischte Komponenten
Exposition	Nord (350°)
Höhe über Meer	2460
Quelltemperatur	Keine Quelle
Neigungswinkel	41° (nicht steilste Stelle)
Vegetation	Wenig Vegetation
BTS	-1.8°C
Bemerkungen	Steinhaufen am Fusse; ungefähr 200m tiefer liegt eine Quelle mit Temperatur 2°C; wir vermuten, dass sich unter der Schutthalde Eis befindet; 5m weiter weg andere Quelle mit 7.2°C Wassertemperatur
Unser Fazit	Übergang aktiv - inaktiv



Figur 20: Blockgletscher Hochducan (Foto: Maja Bless)